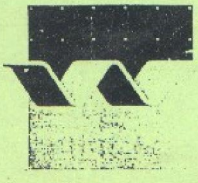
Local training of IHR staff members

The Hanoi lecture notes on coastal engineering

E. van Meerendonk



delft hydraulics

KỸ THUẬT BIỂN

BỘ CÁC BÀI GIẢNG VỀ KỸ THUẬT BỜ BIỂN DÀNH CHO LỚP ĐÀO TẠO CÁC CÁN BỘ VIỆN KHOA HỌC THUỶ LỢI, HÀ NỘI

Biên tập tiếng Anh: E. van Meerendonk

Delft Hydraulics

TẬP II

NHỮNG VẤN ĐỀ CẢNG VÀ BỜ BIỂN

Người dịch: Đinh Văn Ưu

Hà Nội – 2003

LỜI GỚI THIỆU

Để phục vụ chương trình đào tạo mới của các chuyên ngành Hải dương học, chúng tôi đã lựa chọn các sách giáo khoa và chuyên khảo liên quan tới các chuyên ngành mới như Kỹ thuật biển, Quản lý tài nguyên và môi trường biển đã được xuất bản ở nước ngoài và dịch ra tiếng Việt.

Bộ các bài giảng về kỹ thuật bờ biển sử dụng cho lớp đào tạo cán bộ Viện Khoa học Thuỷ lợi Hà Nội được E. van Meerendonk biên soạn theo các bài giảng từ Viện Delft Hydraulics, Hà Lan là một tài liệu tương đối hoàn chỉnh về lĩnh vực này. Trong giáo trình này có nhiều phần liên quan tới thuỷ động lực biển và các công trình bảo vệ bờ đã được trình bày kỹ trong các giáo trình hiện hành bằng tiếng Việt. Chúng tôi chỉ chọn tập I và II của bộ sách này để dịch vì trong đó đã trình bày tương đối đầy đủ tổng quan về Kỹ thuật biển nhằm làm tài liệu giảng dạy cho sinh viên năm thứ 3 trước khi đi vào các chuyên ngành. Do tập III trình bày rất sâu về những khía cạnh kỹ thuật của công trình bờ thuộc lĩnh vực thiết kế, xây dựng công trình và tập IV chỉ tập chung cho một vấn đề chuyên sâu của thuỷ động lực bờ là sóng thần vì vậy chúng tôi không dịch cả hai tập này. Trên cơ sở đó chng tôi lấy tên cho bản dịch này là Kỹ thuật biển

Để đảm bảo tính khoa học của vấn đề chúng tôi biên dịch toàn bộ phần mở đầu cho Bộ sách, tuy nhiên do không biên dịch các tập, III và IV nên sẽ có những bổ sung nhất định để sinh viên có thể nắm được đầy đủ yêu cầu nội dung của môn học này.

LỜI NÓI ĐẦU

Bộ bài giảng về kỹ thuật bờ được biên soạn phục vụ Viện nghiên cứu khoa học thuỷ lợi của Cộng hoà Xã hội Chủ ngiã Việt Nam. Trong thời gian 7 tuần từ tháng 10 đến tháng 11 năm 1989 tập bài giảng này được E. van Meerendonk từ Viện Delft Hydraulics sử dụng cho khoá đào tạo các cán bộ của Viện khoa học thuỷ lợi. Những bài giảng này là một phần của dự án hỗ trợ cho Viện nghiên cứu Khoa học thuỷ lợi do Delft Hydraulics triển khai với sự tài trợ của UNDP tại Nữu Ước. Bộ bài giảng về kỹ thuật bờ bao gồm các nội dung sau đây:

Tập I: Mở đầu
Tập II: Những vấn đề cảng, vịnh và bãi biển
Tập III: Thiết kế các công trình ngăn sóng
Tập IV: Tsunami

Những bài giảng này cung cấp các kiến thức chung về nguyên lý, các vấn đề và phương pháp giải quyết. Ngoài ra một loạt các bài tập khác nhau cũng được triển khai trong quá trình đào tạo.

1 MỞ ĐẦU

W.W. Massie

Tập II của bộ giáo trình về kỹ thuật biển này được xem như phần mở rộng của một số chủ đề đã được đề cập trong tập I. Về cấu trúc cũng cố gắng giữ như trong quyển thứ nhất; hai trong năm chủ đề được đi sâu chi tiết: cảng và địa mạo.

Những kiến thức cơ bản liên quan tới ứng suất xạ được trình bày ngắn gọn trong chương 9. Những thông tin cơ bản đều được lấy từ tập I.

Một điểm lưu ý trong tập này là việc chúng tôi sử dụng từ ngữ theo tiếng Anh kiểu Mỹ và những từ kỹ thuật phức tạp được tập trung thành một danh sách từ ngữ kèm theo.

Các hình vẽ cố gắng được trình bày theo tỷ lệ, ngoại trừ những hình đã được ghi chú, các ký hiệu cũng được sử dụng theo một hệ thống nhất cho toàn tập sách theo một bảng kèm theo.

Các tài liệu tham khảo được dẫn theo tên tác giả và năm công bố; các tài liệu tham khảo được liệt kê ở phần cuối sách. Bảng các ký hiệu cũng được đưa ra trong phần cuối sách này.

Những khía cạnh kỹ thuật của các chủ đề trình bày trong sách được tóm lược trong chương tiếp sau đây của tập này. Các tác giả tham gia viết tập này được trình bày trong bảng 1.1. Những người chịu trách nhiệm hiệu đính cho từng chương được ghi trên phần mở đầu chương đó.

Bảng 1.1. Các tác giả của tập sách

Giáo sư Tiến sỹ kỹ thuật E.W. Bijker,	Giáo sư
Kỹ sư J.J. van Dijk,	NCV chính
Kỹ sư J. van de Graaff,	NCV
Kỹ sư L.E. van Loo,	NCV chính
Thạc sỹ W.W. Massie,	NCV chính
Kỹ sư P.J. Visser,	NCV

Tất cả các tác giả đều là thành viên của nhóm Kỹ thuật bờ, Đại học công nghệ Delft, Hà Lan.

Các sửa chữa đối với lần tái bản này được toàn nhóm tác giả trên cùng với trợ lý đào tạo P.J.M. Lapidaire đảm nhận.

Một số thí dụ tính toán cũng được trình bày trong tập này. Những thí dụ này nhằm mục đích minh hoạ quá trình tính toán, đồng thời cũng chỉ ra các dạng kết quả thu được. Đọc giả có thể không cần đi quá chi tiết vào các thủ tục tính toán, chúng dễ dàng diễn hiểu đối với những ai đã có ít nhiều kinh nghiệm nghề nghiệp. Mục tiêu của tập sách này là phát triển và trang bị các kinh nghiệm đó cho các đọc giả.

2 NHỮNG VẤN ĐỀ ĐƯỢC TRÌNH BÀY

W.W. Massie

2.1 MỤC TIÊU

Mục tiêu của tập sách là tập trung nghiên cứu một số chủ đề kỹ thuật bờ liên quan trực tiếp đến lạch vào cảng và địa mạo bờ. Các lĩnh vực này của kỹ thuật biển đã được định nghĩa cụ thể trong chương 2 của tập I. Lạch tàu vào cảng và địa mạo bờ được tập trung xem xét đồng thời do mối phụ thuộc lẫn nhau giữa chúng. Việc xây dựng cửa vào cảng, hay chỉ mỗi việc nạo vét lạch vào cảng cũng đã dẫn đến sự biến dạng của địa mạo trên khu vực dọc bờ hoặc dọc theo lạch. Các nhà thiết kế cửa vào tối ưu cho cảng cần chú ý tới cả hai vấn đề lưu thông tàu và địa mạo.

2.2 NHỮNG VẤN ĐỀ CHI TIẾT

Mặc dầu các chủ đề này gắn liền với nhau, chúng ta vẫn cố gắng tách chúng ra thành những vấn đề chi tiết hơn. Sáu chương tiếp theo sẽ đề cập chủ yếu tới kích thước của lạch tàu vào cảng dựa chủ yếu vào yêu cầu lưu thông tàu; năm chương tiếp theo sẽ cung cấp các thông tin về chuyển động của tàu thuyền và cách sử dụng chúng trong thiết kế lạch tàu. Trong chương 8 các khía cạnh khác nhau của thiết kế lạch tàu được xem xét đồng thời nhằm đưa ra các thiết kế tối ưu. Các quá trình địa mạo dẫn đến việc vận chuyển trầm tích dọc bờ và trên các lạch tàu gây một ảnh hưởng đáng kể tới việc thiết kế tối ưu.

Cơ chế chuyển động của nước- dòng dọc bờ- chảy dọc bờ được xem xét kỹ lưỡng từ chương 9 đến chương 16. Các vật liệu chuyển động dọc bờ cát được xem xét kỹ từ chương 17 đến chương 19. Các công thức xác định dòng vận chuyển tốt nhất được xây dựng dựa trên cơ sở dòng dọc bờ được trình bày kỹ trong chương 16. Các kết quả xác định dòng vận chuyển trầm tích được sử dụng trong mô hình đơn giản dự báo biến động đường bờ được trình bày trong chương 20. Mô hình đơn giản này sẽ được xem xét và chứng minh trong các chương từ 21 đến 23.

Có hai ứng dụng cụ thể của các tính toán dòng vận chuyển trầm tích được trình bày trong phần cuối của tập này. Việc đánh giá các công trình bảo vệ bờ được trao đổi trong chương 24 và việc dự báo xói lở và bồi tụ lạch tàu được đề cập trong chương 25. Chúng sẽ là phần tổng kết của toàn bộ sách này cũng như khép kín chu trình quay trở lại với vấn đề tối ưu hoá lạch vào cảng được trình bày trong chương 8.

Còn có hai ứng dụng nữa của tính toán dòng trầm tích vận chuyển đó là dự báo xói lở các trụ móng công trình ngoài khơi và ống dẫn dầu nằm dưới đáy biển cần được các bạn đọc quan tâm khi nghiên cứu tập sách này.

3 CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU, THUYỀN

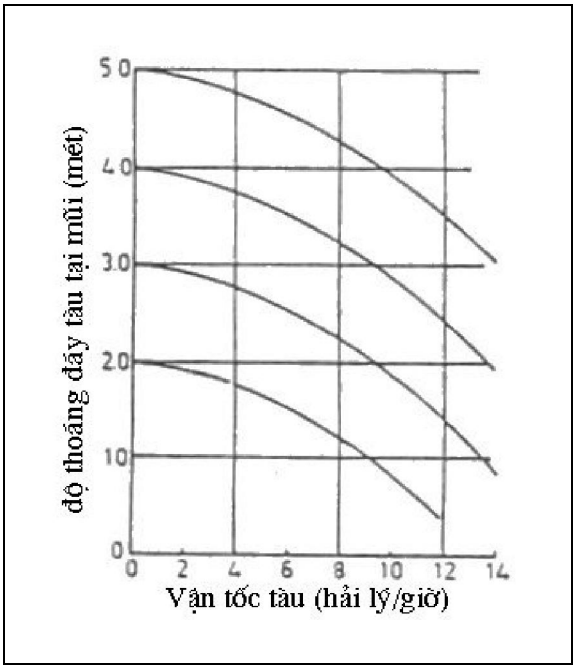
W.W. Massie

3.1 MỞ ĐẦU

Sự dịch chuyển (chuyển động) tương đối của tàu so với vị trí ổn định khi nước tĩnh là một vấn đề hết sức quan trọng khi thiết kế cửa ra vào cảng. Sự dịch chuyển theo phương thẳng đứng rất quan trọng khi xác định độ sâu lạch tàu, còn dịch chuyển ngang theo một hướng nào đó sẽ được sử dụng để xác định bề rộng lạch và các biện pháp tránh va tàu trong cảng.

3.2 CÁC CHUYỂN ĐỘNG THẲNG ĐỨNG

Dịch chuyển tương đối của tàu theo phương thẳng đứng có thể gây nên do sóng, nhưng cũng có thể do kết quả tàu chạy về phía trước trên nước đứng yên. Dạng dịch chuyển này có thể được tách thành 2 thành phần: hạ đều và hạ mũi trong khi sóng tạo nên chuyển dịch lên thông qua mũi tàu nhào vắt trên đỉnh sóng hay do lắc (quay) tàu. Những thành phần chuyển dịch cơ bản này sẽ được mô tả kỹ sau đây.

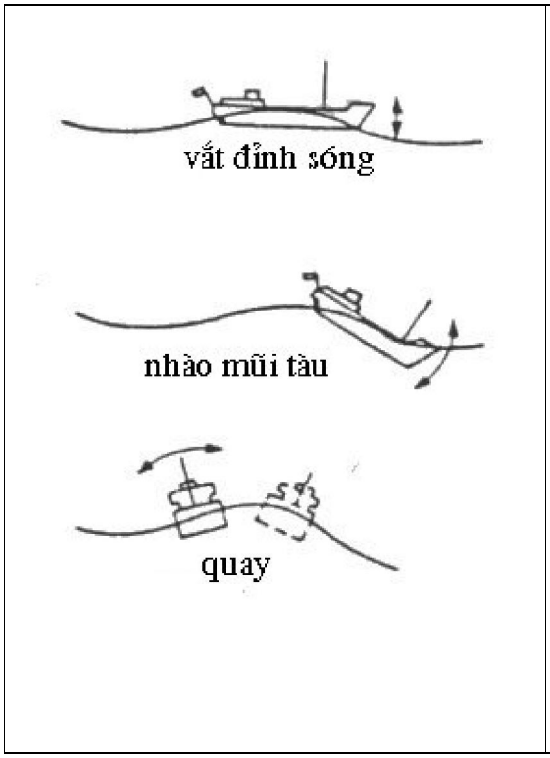


Hình 3.1. **Các ảnh hưởng hạ đều và hạ mũi tàu đối với tàu chở hàng lớn**

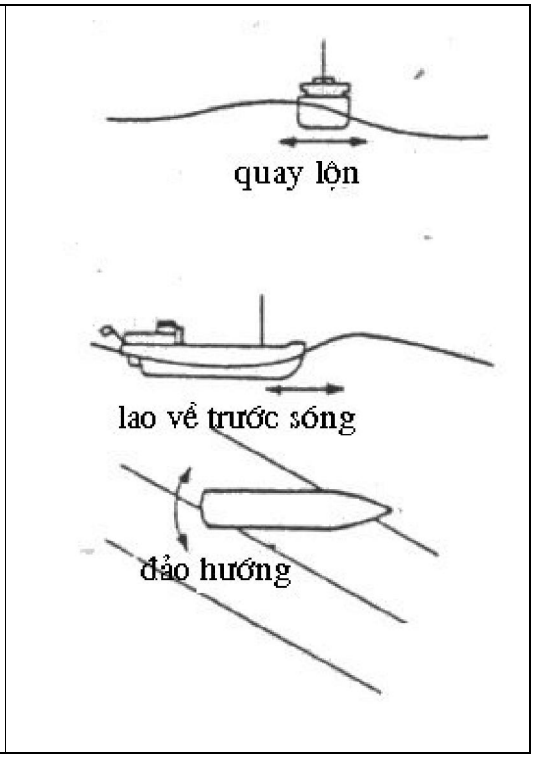
Hạ đều

Đây là hiện tượng bị hạ xuống- giống như khi trọng tải tăng lên – do kết quả thay đổi áp suất của nước bao quanh tàu. Khi tàu chuyển động về phía trước sẽ tạo nên dòng nước chảy ngược lại từ mũi đến đuôi tàu. Theo định luật Becnui thì

áp suất trong nước quanh tàu sẽ nhỏ hơn áp suất khi nước đứng, mặt nước sẽ hạ xuống và tàu cũng hạ xuống theo. Hiện tượng sẽ xuất hiện mọi nơi trên lạch tàu cũng như ngoài biển khơi. Trong các lạch tàu do khối lượng nước chảy trên một tiết diện hẹp nên vận tốc lớn hơn so với biển khơi, dẫn đến hiệu ứng hạ mực nước trong kênh cũng lớn hơn.



Hình 3.3. **Chuyển động thẳng đứng của tàu trên sóng**



Hình 3.4 **Chuyển động ngang của tàu trên sóng**

Hạ mũi

Đó là hiện tượng hạ mực nước (thân tàu) khác nhau tại mũi tàu và đuôi tàu. Như vậy đây là hiện tượng quay tàu xung quanh trục chính tâm ngang, và là hệ quả của sự bất đối xứng của dòng nước giữa hai phần mũi tàu và đuôi tàu. Đối với các tàu conteiner, tàu hàng nhanh, cánh quạt làm cho dòng dưới đuôi tàu tăng lên dẫn đến đuôi tàu bị hạ sâu hơn so với mũi. Các tàu chở hàng khô hoặc các tàu chở dầu lớn, thì ngược lại, do hệ số khối rất lớn và mũi rộng làm cho dòng chảy ngược tập trung tại đây, dẫn đến mũi tàu hạ sâu hơn đuôi. (Hệ số khối được xác định bằng tỷ số giữa khối lượng nước bị chiếm và tích của độ dài, rộng và trọng tải tàu).

Trên hình 3.1 cho ta kết quả định lượng thí nghiệm mô hình tiến hành tại Phòng thí nghiệm Vật lí Quốc gia Anh, được công bố trên tạp chí *The Motor Ship,* tháng 7 năm 1974. Các đường cong cho ta thấy sự phụ thuộc của độ thoáng dưới mũi tàu là một hàm của vận tốc và độ thoáng ban đầu đối với tàu chở hàng lớn dài 300 m.

Các chuyển động do sóng gây nên

Trên hình 3.2 cho ta thấy có ba dạng chuyển động thẳng đứng của tàu. Tỷ lệ trên hình vẽ đã được thay đổi nhằm thể hiện rõ các chuyển động đó. Chuyển động thẳng đứng tại mỗi điểm sẽ được xác định bởi tổng của 3 hiện tượng: vắt trên đỉnh sóng, nhào và lắc quay.

Chuyển động thẳng đứng của tàu phụ thuộc vào kích thước tương đối của tàu so với sóng. Về nguyên lý, cả ba chuyển động nêu trên có thể xem tương đương chuyển động của một hệ động lực. Chúng ta có thể nhắc lại từ cơ sở động lực học rằng những hệ như vậy đều có tần số tự nhiên hay tần số cộng hưởng, và các dịch chuyển tại các tần số này có thể lớn hơn nhiều so với lực tác động (sóng). Các tàu thuyền nhỏ có thể bị phản ứng mạnh đối với với sóng biên độ 0,5 mét và chu kỳ 2 giây nếu so sánh với một tàu chở hàng lớn. Nhìn chung những tàu này chỉ bị dao động nhẹ ở phần đầu. Tại phần giữa, ngược lại, vai trò của lắc quay có thể ảnh hưởng đến trọng tải cực đại của tàu. Điều này phụ thuộc vào kích thước ngang của tàu. Ví dụ, nếu một tàu chở dầu lớn với bề rộng 60 mét có thể bị lắc quay một góc tới 3°, mớm nước một bên có thể sẽ tăng lên đến:

$$\frac{60}{2}\sin 3^0 = 1{,}6m \tag{3.01}$$

3.3 CÁC CHUYỂN ĐỘNG NGANG

Có ba thành phần chuyển động ngang của tàu do sóng gây nên, chúng được minh hoạ trên hình 3.3. Mặt khác khác với việc sử dụng bánh lái khi chuyển động trên nước tĩnh cũng sẽ tạo ra hiện tượng đảo hướng, xoay lộn và xuay lắc. Tác động cuối cùng này càng thể hiện rõ đối với các tàu lớn, vì trọng tâm của chúng thường cao hơn tâm của trở kháng ngang. Gia tốc ly tâm kết hợp với trở kháng thuỷ lực ngang làm cho tàu bị xoay lắc.

Các thành phần chuyển động ngang đảo hướng và xuay lộn gây nên bởi các tác động khác ngoài bánh lái hay sóng rất quan trọng cho việc xác định diện tích đảm bảo và độ rộng lạch tàu. Các thành phần lao về phía trước, đảo hướng và xuay cũng rất quan trọng ảnh hưởng đến lực neo và xoay lắc có thể trở thành nhân tố bổ sung lên vị trí đậu tàu bên cầu cảng.

3.4 TẦN SỐ VƯỢT SÓNG

Khi tàu đi vào đầu sóng (ngược với hướng truyền sóng) sẽ gặp nhiều sóng hơn trong cùng một đơn vị thời gian so với trường hợp quan trắc tại một điểm cố định. Mặt khác, nếu như, tàu đi ngang sóng ta gặp được ít số sóng hơn trong một đơn vị thời gian. Trường hợp tổng quát được chỉ ra trên sơ đồ hình 3.4. Công thức tính tần số sóng vượt có thể thu được từ hình vẽ thông qua nguyên lí động học:

$$\omega_e = \omega\left(1 - \frac{v_S}{c}\cos\alpha\right) \tag{3.02}$$

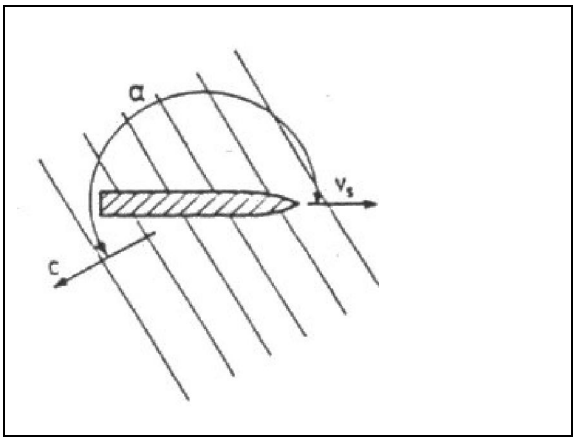
trong đó c là vận tốc sóng

v_S là tốc độ tàu,

α là góc các hướng dương của v_S và c,

ω là tần số sóng,

ω_e là tần số sóng vượt do tàu chuyển động.



Hình 3.4. **Sơ đồ xác định tần số vượt sóng**

Có thể thấy từ hình 3.4 rằng α lớn hơn 90° và do đó cosα có giá trị âm. Chu kỳ sóng vượt Te cũng có thể tính được từ công thức chung:

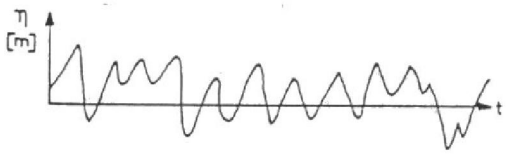
$$T_e = \frac{2\pi}{\omega_e} \tag{3.03}$$

Tuy nhiên, thông thường các phân tích động lực học đưa ra các tần số như những tham số độc lập.

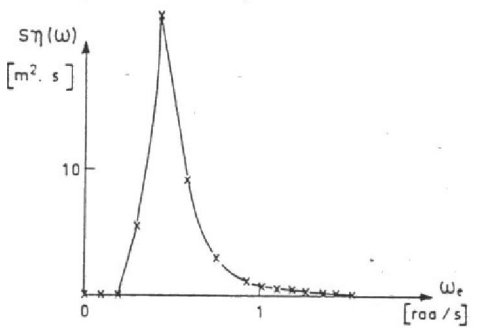
3.5 XÁC ĐỊNH CHUYỂN ĐỘNG TÀU THUYỀN TRONG SÓNG

Vào khoảng năm 1860, bá tước William Froude đã phân tích chuyển động của các chiến thuyền vào thời kì đó và cho rằng chuyển động của thuyền cũng tương tự như chuyển động của thể tích nước tương đương trên biển lặng. Dạng tương đương của giả thiết đó cho rằng áp lực lên thành tàu cũng tương tự như áp suất tại điểm đó khi không có sóng. Nhiều vấn đề thực tế có thể giải quyết nhờ việc chấp nhận giả thiết đơn giản và khá thô này. Tuy nhiên, nếu độ thoáng (sống) đáy tàu bị hạn chế hay tàu quá rộng so với bước sóng, thì sự tán xạ sóng tới do tàu có thể trở nên quan trọng và không thể bỏ qua được nữa.

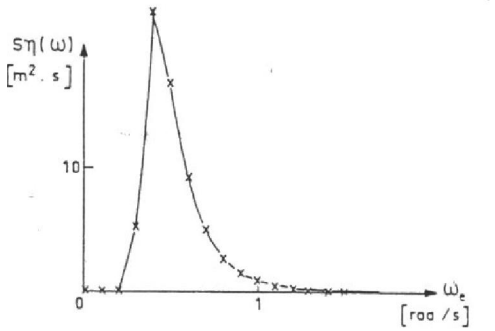
Các nhà thiết kế tàu thuỷ đã phát triển các mô hình lí thuyết tốt hơn nhằm tính toán các chuyển động của tàu thời kỳ hậu Froude. Lí thuyết được gọi là strip thường sử dụng để tính lắc đứng và lắc dọc trong sóng đều; phương pháp này được ghi nhận dưới sự hiệu chỉnh của Comstock (1967). Những phương pháp sau này cho phép kể đến các ảnh hưởng của tán xạ sóng và các sóng do tàu chuyển động tạo nên.



***H*ình 3.5a Băng sóng ghi và phổ sóng**



Hình 3.5b Phổ chuyển hoá



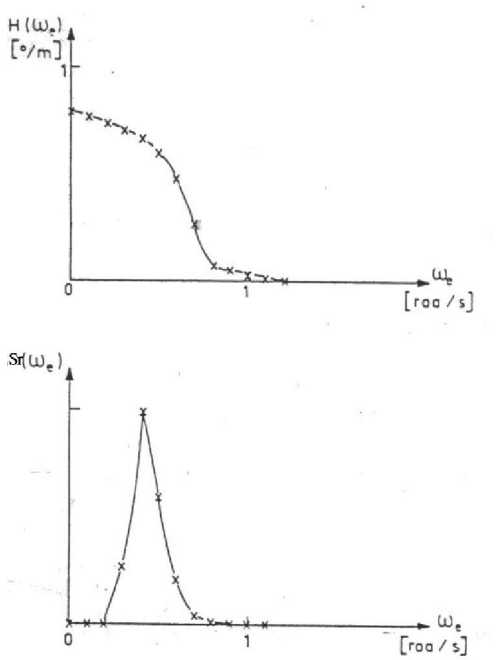
Khi các thành phần chuyển động của tàu là tuyến tính (phụ thuộc trực tiếp vào độ cao sóng) thì có khả năng xác định các phản hồi chung của sóng bằng cách tổng hợp các phản hồi riêng rẽ. Thật may mắn khi các vấn đề phản hồi của tàu có thể nghiên cứu sử dụng các mô hình tuyến tính do kích thước tàu thường đủ lớn so với độ dài sóng.

Nguyên lí tổng hợp tạo khả năng xác định các phản hồi của tàu lên phổ sóng thông qua phương pháp hàm phổ phản hồi, tương tự như nhiều bài toán động lực học khác. Chúng ta có thể nhắc lại từ cơ sở động lực học rằng các hàm phản hồi là cần thiết để chuyển hoá phổ lực (sóng) về phổ phản hồi (chuyển động) có thể được xác định bằng việc xem chuyển động tàu như tổ hợp các nhiễu động (sóng) tần số khác nhau. Chúng thường được xác định thông qua các thử nghiệm mô hình và thu được theo cách này, ngoại trừ đối với nước sâu.

Khi độ sâu trở nên nhỏ hơn 50% độ mớn nước, phản hồi của tàu đối với mỗi điều kiện sóng cho trước phụ thuộc vào độ thoáng sống đáy tàu. Khi độ thoáng sống đáy tàu trở nên nhỏ, dòng chảy bao quanh tàu sẽ bị nhiễu hơn so với điều kiện nước sâu. Thông thường dẫn đến giá trị hàm phản hồi thấp đối với cả chuyển động ngang và chuyển động thẳng đứng; thuyền chuyển động ít phản ứng đối với lực cho trước.

Hình 3.5c **Hàm phản hồi**

Hình3.5d **Phổ tổng hợp và chuyển động thân tàu**



Tính toán các phản hồi trong hiện trạng nước nông thực tế trở nên rất khó khăn; thử nghiệm mô hình chỉ đưa ra các số liệu phản hồi chưa thật đáp ứng.

Ví dụ sau có thể làm cho nguyên lí này trở nên rõ ràng hơn. Hình 3.5a thể hiện cho ta thấy băng ghi sóng và phổ tương ứng, $A_\eta(\omega)$. Trên hình vẽ này:

$A_\eta(\omega)$ là mật độ năng lượng sóng (tốc độ biến đổi năng lượng sóng trên một đơn vị độ dài đỉnh sóng tương ứng với tần số),

ω là tần số sóng, và

η là mực nước tại bất cứ thời điểm nào.

Thông thường nếu phổ này, $A_\eta(\omega)$, thu được từ kết quả quan trắc tại một điểm cố định, nó có thể được thể hiện lại với trục toạ độ ngang mới trên cơ sở tần số sóng vượt, ω_e, sử dụng phương trình 3.02 và được trình bày trên hình 3.5b.

Hình 3.5c cho ta thấy hàm phản hồi $R(\omega)$ của tàu có thể được xác định theo các thử nghiệm mô hình với hàng loạt sóng đều có chu kỳ khác nhau.

Phổ tổng hợp đặc trưng cho chuyển động tàu trình bày trên hình 3.5d được rút ra bằng cách nhân tung độ của phổ trên hình 3.5b với bình phương tung độ tương ứng trên hình 3.5c. Một trong nhiều khả năng ghi nhận chuyển động của tàu tương ứng để xác định phổ cũng được chỉ ra. Do các giá trị cực trị của phổ sóng gốc thoả mãn phân bố Rayleigh, các cực trị của chuyển động tàu, s, cũng có thể xem thoả mãn phân bố đó.

Các hàm phản hồi sẽ được sử dụng trong hai chương tiếp theo nhằm tính toán chuyển động của tàu cần thiết để xác định độ sâu và bề rộng của lạch.

3.6 MỘT SỐ ĐỊNH NGHĨA VÀ CÁC PHÉP XẤP XỈ

Thông thường người ta mong muốn đánh giá gần đúng kích thước của một số tàu nhằm mục đích thiết kế sơ bộ các cảng. Các định nghĩa và các quan hệ xấp xỉ

sau đây có thể phù hợp với công việc đó; tuy nhiên, thiết kế chi tiết cần dựa trên các số liệu chính xác hơn.

Trọng tải toàn phần (DWT- deadweight tonnage) của tàu là khả năng tải tổng cộng hàng hoá và người . Nó có thể bao gồm đội tàu, hành khách, dữ trữ, nhiên liệu, thiết bị nội thất di động và các thiết bị khác cùng với hàng hoá.

*Lượng choán nước không tải (*lightweight tonnage) của tàu chỉ bao gồm khối lượng tàu trong điều kiện rỗng hoàn toàn – các khoang chứa hàng đều rỗng.

Lượng choán nước(displacement) của tàu là khối lượng nước bị chiếm chỗ bởi con tàu. Do nguyên lí Archimedes được ứng dụng cho các vật nổi, lượng choán nước này sẽ bằng khối lượng tổng của tải tàu: tổng của trọng tải toàn phần và lượng choán nước tàu không tải.

Tiếp theo có thể sử dụng các mối tương quan sau đây :

$$\textit{lượng choán nước} = \rho\, C_B\, L\, B\, D \tag{3.04}$$

trong đó B là độ rộng của tàu,

C_B là hệ số khối,

D là độ mớn nước của tàu (draft),

L là độ dài tàu, và

ρ là mật độ của nước.

Thông thường giá trị hệ số khối đối với các tàu buôn biến đổi từ 0,4 cho các chiến hạm nhanh và 0,9 cho các tàu chở dầu siêu lớn.

Trọng tải đăng kí toàn phần (gross register tonnage) của tàu tính theo thể tích trong – với một số ngoại lệ nhất định, xem ví dụ Baker (1952) – theo đơn vị 100 phít khối (2,83 m^3).

Trọng tải đăng kí tịnh của tàu được tính theo thể tích có khả năng chứa hàng hoá sinh lợi. Đơn vị 100 phít khối cũng được sử dụng ở đây. Chú ý rằng khi trọng tải mô tả qua khối lượng thực, cũng cần được đưa về đơn vị thể tích.

Đối với phần lớn các tàu, DWT thường lớn hơn 1,5 lần trọng tải đăng kí toàn phần và khoảng hai lần trọng tải đăng kí toàn phần đối với các tàu chở hàng rất lớn (VLCC). Các mối tương quan này có thứ nguyên và đúng cho DWT trong đơn vị tấn và trọng tải đăng kí trong đơn vị thông dụng.

Thông thường lượng choán nước của tàu chở đầy hàng vào khoảng 1,3 đến 1,4 lần DWT. Hơn nữa trọng tải đăng kí toàn phần biến đổi từ 1,7 đối với chiến hạm đến 1,3 lần đối với VLCC so với trọng tải đăng kí tịnh.

Đối với phần lớn các chiến hạm, tỷ lệ giữa độ dài và rộng biến đổi từ 5 đến 8. Tỷ lệ lớn hơn tìm được ở các tàu cao tốc. Tỷ số giữa độ rộng và độ mớn nước thường bằng 2. Độ mớn nước các tàu rất lớn bị giới hạn dẫn đến tỷ lệ này khá lớn, đối với chúng tỷ lệ 3 là phổ biến nhất.

3.7 VÍ DỤ

Những thông tin trong phần trước có thể được sử dụng để đánh giá kích thước của tàu. Ví dụ đánh giá mớn nước tàu chở dầu 250.000 tấn.

Lượng choán nước vào khoảng 1,3 lần DWT.

lượng choán nước = 1,3 x 250.000 = 325.000 tấn (3.05)

Hệ số khối được chọn vào khoảng 0,9. Do tàu có độ mớn nước bị giới hạn, chiều rộng vào khoảng 3 lần lớn độ mớn nước:

$$B \approx 3D \quad (3.06)$$

Các tàu chở dầu thường không thuộc loại cao tốc; chiều rộng thường vào khoảng 1/5 chiều dài :

$$L \approx 5B \approx 15D \quad (3.07)$$

Thay tất cả các đại lượng đó với $\rho = 1{,}030$ tấn/m^3 vào (3.04) ta thu được:

$$325.000 \approx (1{,}030)(0{,}9)(15D)(30D)(D) \quad (3.08)$$

$$\approx 41{,}72D^3 \quad (3.09)$$

hay:

$$D \approx 19{,}8 \text{ m} \quad (3.\ 10)$$

có thể nói độ mớn nước vào khoảng 20 mét.

4 ĐỘ SÂU LẠCH TÀU

E.W. Bijker, J.J. van Dijk, W.W. Massie

4.1 MỞ ĐẦU

Sự phát triển của các tàu chở dầu siêu lớn trong những thập niên trước đây dẫn đến sự phát triển của kích thước các loại tàu khác. Sự phát triển về kích thước tàu – bao gồm cả độ mớn nước - đã dẫn đến sự cần thiết có được cửa vào cảng sâu hơn và rộng hơn. Độ sâu bổ sung cũng có nghĩa ràng lạch tàu phải dài hơn, do độ dốc thông thường của biển gần bờ. Khối lượng của vật liệu cần nạo vét đối với một đơn vị độ sâu cần thiết càng tăng khi độ sâu tăng lên. Lượng tiền đầu tư để nạo vét hệ thống giao thông thuỷ và duy tu các lạch cũng tăng lên rất nhanh như một hàm của độ sâu, khi số lượng tàu cần thiết độ sâu lạch lớn, và lãi thu được từ cảng cũng giảm khi độ sâu cần thiết tăng lên. Tất cả các nhân tố như vậy kết hợp với sự đọng vốn đối với quy mô đầu tư lớn đặt ra yêu cầu lựa chọn độ sâu tối ưu đối với lạch tàu.

Những nguyên lý cơ sở chung của công việc tối ưu hoá như vậy đã được nhắc đến trong tập 13 của tập I. Các bước từ *a* đến *d* dẫn ra trong mục 3 của chương đó cũng được áp dụng ở đây: việc tổng quan chúng với các vấn đề riêng có thể giúp đặt ra các công việc tiếp theo trong chương này.

a. Lựa chọn thiết kế

Khi thiết kế một con tàu hay hàng loạt tàu, bên cạnh độ sâu lạch còn yêu cầu nhiều nhân tố khác như bề rộng lạch hay độ dài lạch. Kích thước của lạch thường ảnh hưởng đến giá cả xây dựng, nhưng chúng cũng gây ảnh hưởng đến phản ứng của tàu lên sóng và từ đó dẫn đến chi phí tổng thất.

b. Xác định kinh phí xây dựng

Kinh phí xây dựng phụ thuộc trực tiếp vào kích thước lạch và bao gồm cả chi phí ban đầu và nạo vét duy tu cơ bản cũng như đầu tư và duy tu cần thiết hỗ trợ lưu thông tàu thuyền.

c. Xác định chi phí tổn thất

Tổn thất kinh tế thường khó đánh giá cũng như đối với các tổn thất khác. Các tổn thất có thể do nhiều nguyên nhân, ví dụ :

- Tàu cần phải vào đà và sơn lại sau khi đáy tàu bị tróc sơn do đáy cát.
- Tàu không có khả năng di chuyển hợp lí trong lạch nhỏ có thể bị mắc cạn và yêu cầu cứu trợ.
- Va chạm tàu thuyền dẫn đến thiệt hại do khả năng đắm tàu.
- Tàu va vào đáy có thể bị thủng và đắm.

- Các tổn thất gián tiếp có thể xuất hiện từ các tổn thất môi trường do dầu loang, tại nạn người, mất hàng hay thiệt hại do chậm trễ khi bị kẹt tàu trên lạch.

d. Lặp lại các bước này đối với những thiết kế khác

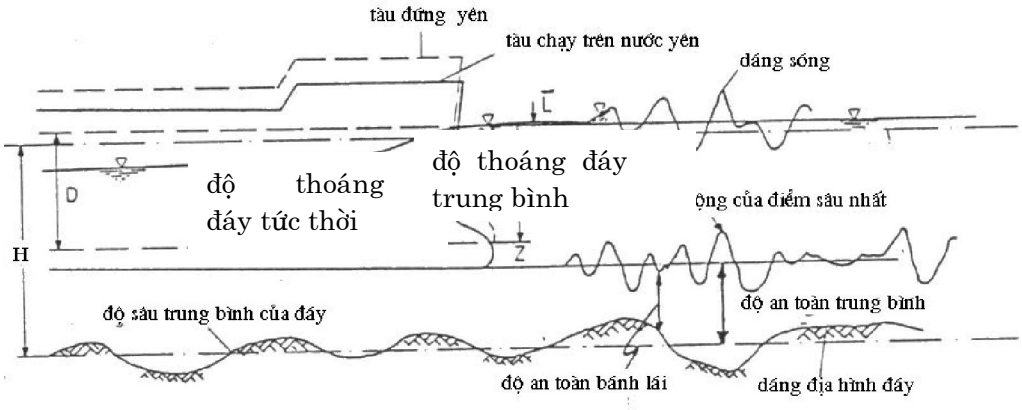
Một số lượng lớn các tham số thiết kế độc lập – xem bước a trên đây- dẫn đến các cố gắng tính toán đáng kể và những vấn đề liên quan.

4.2 TIẾP CẬN VẤN ĐỀ

Quay trở lại vấn đề nêu trên, chúng ta quan tâm trước hết đến đánh giá độ sâu lạch cho trước theo hai chỉ tiêu cơ bản:

1. Liệu độ sâu này đã đủ lớn cho phép tàu hoạt động an toàn trong lạch hay chưa?
2. Liệu còn có khả năng tối thiểu nào đó dẫn đến việc tàu sẽ đụng đáy lạch khi đi qua hay không?

Cả hai chỉ tiêu trên đều phụ thuộc vào độ thoáng của (sống) đáy tàu. Chỉ tiêu đầu tiên phụ thuộc vào giá trị trung bình của độ thoáng cho trước (hay cho trước đối với phần lớn thời gian), trong khi chỉ tiêu thứ hai phụ thuộc vào giá trị tức thời của độ thoáng. Có thể nhận thấy rằng cả giá trị trung bình lẫn các biến đổi thống kê đều quan trọng trong những phân tích được dẫn ra sau đây.



Hình 4.1 **Sơ đồ xác định các tham số độ sâu lạch**

Có thể hình dung rõ ràng qua hình ảnh sau: Một con tàu đi qua lạch cho trước với một tốc độ nhất định. Tốc độ tàu và kích thước lạch gây nên hiện tượng hạ đều và hạ mũi tàu kết hợp với độ mớm tàu và độ sâu lạch dẫn đến độ thoáng trung bình. Hiện tại chúng ta cho phép thợ lặn di chuyển dọc phía dưới tàu – trong không gian độ thoáng đáy tàu. Nếu độ thoáng của đáy tàu vừa đủ, tàu có thể hoạt động đảm bảo (chỉ tiêu thứ nhất được đảm bảo!) và thợ lặn của chúng ta có thể bơi thoải mải dọc phía dưới tàu.

Tuy nhiên, còn có nhiều nhân tố khác cần kể đến. Các biến đổi mực nước gây nên do triều hay sóng nước dâng có thể dẫn đến sự biến đổi chậm của độ thoáng đáy tàu.

Sự hiện diện của sóng thường gây nên chuyển động của tàu xung quanh vị trí độ sâu trung bình. Cả những biến đổi mực nước và phản ứng của tàu đối với sóng gây nên "mái" phía trên thợ lặn của chúng ta khi chuyển động lên hay xuống. Tuy nhiên đáy của lạch lại không được phẳng. Công tác nạo vét không đều hay không đảm bảo như các sóng đáy do trầm tích lắng đọng trên đáy lạch cũng sẽ tạo nên sự bất đồng nhất; "đáy" phía dưới thợ lặn của chúng ta cũng sẽ chuyển động lên và xuống. Các chuyển động riêng biệt này cũng không thật sự quan trọng, nhưng sự an toàn của tàu (và thợ lặn) lại phụ thuộc vào các ảnh hưởng tổng hợp này.

Như vậy nếu "đáy" và "mái" gặp nhau thì thợ lặn sẽ không dễ dàng thoát ra và tàu sẽ chạm đáy!

Hình 4.1 cho ta thấy một số thành phần liên quan kể trên. Các kí hiệu trên hình sẽ được xác định trong các phần tiếp theo của chương này. Cả ba mục tiếp theo sẽ dành cho các trao đổi về từng thành phần của độ thoáng đáy.

Trước khi bắt đầu việc trao đổi trên có lẽ cần bàn thêm về độ tin cậy của số liệu độ sâu lạch. Phần lớn các nguồn số liệu phổ biến được lấy từ các bản đồ thuỷ đạc xuất bản cho thuỷ thủ. Do các bản đồ dành cho thuỷ thủ (hải đồ) nên độ sâu trên bản đồ là độ sâu nhỏ nhất trong khu vực bao quanh; đáy biển thực tế nằm thấp hơn bề mặt được xác định bằng độ sâu bản đồ. Như vậy khối lượng nạo vét - đặc biệt lượng nạo vét ban đầu - được đánh giá từ bản đồ trên thường lớn hơn. Tuy nhiên thông thường, nguồn thông tin tốt nhất cũng có thể thu được từ các cơ sở phục vụ thuỷ đạc thông qua yêu cầu trực tiếp. Các số liệu độ sâu có thể sử dụng để vẽ các bản đồ thường đảm bảo theo yêu cầu đặt ra.

4.3 CÁC CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU

Mỗi khi độ sâu trung bình và hướng của lạch cũng như thiết kế tàu và tốc độ đã được chọn, một số công đoạn thiết kế cần thiết phải được xác định. Ảnh hưởng của hiện tượng hạ mũi và hạ đều bây giờ có thể được xác định theo cách đã trình bày trong mục 3.2. Tổng mức hạ, Z, sẽ dẫn đến sự giảm tương ứng của độ thoáng trung bình đáy tàu.

Độ mớn nước, D, sẽ phụ thuộc vào mức độ tải song cũng phụ thuộc vào mật độ nước trong lạch. Các ảnh hưởng của chênh lệch mật độ như vậy có thể trở nên rất quan trọng đối với tàu có độ mớn nước lớn ; độ mớn nước có thể tăng lên khoảng 1/2 mét khi đi từ vùng nước biển sang vùng nước ngọt, độ mớn nước của từng tàu riêng biệt có thể được sử dụng để xác định độ thoáng trung bình đáy tàu.

Hướng lạch tàu (hướng của đường chính tâm) sẽ xác định hướng tương đối của sóng tới đối với mọi điều kiện bão. (Với mục đích đó và trong các mục tiếp theo chỉ có một điều kiện sóng và tàu duy nhất được kế đến. Điều kiện này sẽ được loại bỏ sau mục 4.8). Hướng sóng tương đối, phổ sóng bão và tốc độ tàu kể trên sẽ cho phép xác định phổ sóng bổ sung thêm do tàu.

Các nhà thiết kế tàu có thể cung cấp các hàm phản ứng cơ sở cần thiết – tương tự đối với thân tàu được sử dụng để minh hoạ trên hình 3.5. Tuy nhiên, điều quan tâm của chúng ta lại không phải là các chuyển động thành phần đó mà là chuyển động của một số điểm trên đáy tàu tương tự các điểm đặc biệt (có khả năng chạm đáy). Mỗi khi điểm đặc biệt đã được lựa chọn, hàm phản hồi đối với

điểm này, thu được chuyển động thẳng đứng cho biên độ sóng đơn vị so với tần số, có thể xác định theo các quy luật động học đơn giản.

Vị trí của điểm đặc biệt này trên tàu nhỏ đối với một số trường hợp khá dễ tìm, song cũng có thể gặp phải khó khăn. Đối với các tàu buồm hiện đại điểm này có thể trùng với điểm thấp nhất của phần ngắn sóng tàu. Khi quay tàu sẽ không gây ảnh hưởng xấu đến điểm đó (thậm chí có thể làm tăng độ mớm nước) và sống tàu cũng nằnm gần giữa tàu, nên sự hạ xuống ít quan trọng hơn so với sự nâng lên của tàu.

Tuy nhiên các bản đồ này thường chỉ ra các điểm đo độ sâu. Đôi khi các số liệu thăm đò thuỷ âm cũng có thể tìm thấy. Tuy các số liệu loại này có mật độ rất lớn – có thể đến hàng mét dọc theo các tuyến đo, nhưng do không được hiệu chỉnh bởi triều ; chúng yêu cầu nhiều công việc phải làm để đáp ứng mục tiêu cuối cùng của chúng ta.

Các số liệu cho những bản đồ này thường so với mực nước thấp nhất có thể có: mực nước triều thiên văn thấp nhất thường được sử dụng. Mực số liệu bản đồ này thường thấp hơn đáng kể so với mực trung bình trong lạch khi tàu đi lại.

Điều khác biệt đối với các tàu chở dầu siêu trọng là đáy tàu tương đối bằng phẳng nên tồn tại nhiều điểm có thể xem là đặc trưng. Xét về phương diện hạ mực nước thì toàn đáy thuyền bầu đều có thể thuộc điểm đặc trưng. Tuy nhiên nếu thuyền quay thì mép ngoài của đáy có thể trở nên nguy hiểm. Nhiều lúc cả hai loại chuyển động trên kết hợp lại thì điểm nhô ra trước sẽ hướng ra ngoài và các tàu thuyền có bề rộng tương đối sẽ trở thành điểm đặc trưng. Trong trường hợp nghi ngờ, điểm độ sâu tới hạn cần được lựa chọn bằng thử nghiệm.

Mỗi khi hàm phản hồi đối với điểm đặc trưng đã được xác định, thì phổ phẩn hồi đối với điểm đó có thể xác định giống như đã trình bày trong mục 3.5. Phổ phản hồi này, được kí hiệu bằng R(ω), cho ta độ lệch của vị trí điểm đặc trưng đối với một đơn vị tần số, đó là một hàm của tần số. Phổ mật độ năng lượng này sẽ có thứ nguyên m^2s so với 1/s. Các tần số trên phổ phản hồi này sẽ chỉ mở rộng về những tần số thể hiện cả phổ sóng tới và các hàm phản hồi ; điều này sẽ không tương thích theo cách mà phổ phản hồi được xác định.

Trong mục tiếp theo chúng ta thử thể hiện các biến đổi mực nước tương đối với mực nước lựa chọn trong dạng phổ.

4.4 MỰC NƯỚC VÀ SỰ BIẾN ĐỔI CỦA NÓ

Mực nước, L, tương đối so với số liệu bản đồ được chọn cho các mục đích thiết kế lạch phụ thuộc vào nhiều nhân tố. Một trong nhân tố quan trọng nhất là mật độ lưu thông của tàu thiết kế. Nếu các tàu thiết kế này thỉnh thoảng đi vào cảng – rất ít ngày - điều này có thể chấp nhận được bằng cách hoãn đến các thời điểm gần triều cao. Tuy nhiên điều này chỉ khả thi nếu các điều kiện khác như dòng chảy cho phép đi lại an toàn trong khoảng thời gian đó.

Các nhà thiết kế thường rất bảo thủ khi chọn mực nước cao nhất trong thiết kế tàu. Ví dụ, nếu như có sự biến đổi đáng kể của mực nước cao trong tháng, người thiết kế mực nước cao mà mỗi ngày thường đều bị vượt qua, đó là mực cao

nhất triều trực thế (HHWN). Nếu việc chờ tàu đòi hỏi quá nhiều chi phí thì mực nước thấp nhất nên chọn bằng mực cao thấp nhất triều trực thế (LHWN).

Các tàu có độ mớn nước lớn nhất đi vào cảng Rotterdam được nhận bản hướng dẫn khuyên họ đi vào lạch lúc nước cao (HW). Lời khuyên này xuất phát từ đường mực nước tính toán cho từng ngày và với các đặc trưng của tàu.

Đối với vấn đề riêng này, giá trị L thường sẽ dương (phụ thuộc vào số liệu mực nước) và có khả năng không biến đổi nhiều khi tàu đi lại.

Mặt khác, nếu tàu thiết kế cần phải đi vào cảng thường xuyên hơn – có thể là các phà đi lại nhiều lần trong ngày theo một thời gian biểu cố định- thì nhà thiết kế cần chọn mực nước sao cho phần lớn thời gian đều đảm bảo. Mực nước này phải nhỏ hơn mực thấp nhất nước ròng triều sóc vọng (LLWS) nhằm cho phép đi lại cả trong trường hợp rất hiếm do rút nước. Hiện tượng rút nước có thể gây nên bởi gió thổi rất mạnh từ bờ. Do mực nước thấp như vậy đã được xác định, sự phân tán có khả năng ít như đối với "vấn đề hiếm thấy của tàu". Việc lựa chọn mực nước thiết kế thấp như vậy, là quan trọng đối với việc đi lại của một loại tàu nhất định nhưng cũng gây khó khăn đối với việc tối ưu hoá lạch; ngoài ra đối với phần lớn thời gian tàu có thể vào cảng khi mực nước tương đối cao.

Việc đánh giá chung đối với lạch tốt nhất nên căn cứ vào mực nước ngang bằng mực nước trung bình và tương ứng sự phân tán (lớn), bao gồm cả ảnh hưởng triều lẫn các ảnh hưởng khác. Các tiếp cận đó sẽ dẫn đến việc đánh giá tốt hơn "vấn đề thường xuyên của tàu" khác với "vấn đề hiếm thấy của tàu" đã được mô tả ở trên.

Đối với những vấn đề khác, độ sâu lạch và tương ứng độ thoáng đáy tàu được xác định mỗi khi mực nước trung bình được chọn. Độ phân tán (phương sai) σ_L^2, xung quanh mực nước trung bình đó phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau.

Trước hết giả sử tàu thỉnh thoảng đi vào gần thời điểm triều cao, mực nước lạch sẽ biến đổi tăng lên một ít do kết quả của triều và dâng nước do gió trong khoảng thời gian tàu ở trong lạch. Mức độ kéo dài của phụ thuộc vào độ dài lạch và vận tốc tàu. Trong mọi trường hợp, sẽ có sự phân tán không lớn của biến đổi mực nước (so với những gì liên quan đến các vấn đề tàu). Nếu lạch quá dài hay tàu đi với tốc độ thấp thì triều có thể gây nên biến động lớn của mực nước và tương ứng mực nước trung bình trong thời gian tàu chạy sẽ thấp hơn; độ phân tán mực nước bây giờ sẽ tăng lên. Trong mức tới hạn, khi tàu cần tới hơn một chu kỳ triều để đi qua lạch tàu- vấn đề này trở nên tương tự như khi tàu những vấn đề thường gặp khác liên quan tới mực nước.

Mực nước trung bình có thể xem là tốt nhất cho việc chọn làm cơ sở đối với những vấn đề thường xuyên của tàu và đánh giá tổng thể lạch. Do các con tàu có thể vào lạch bất cứ thời gian nào, độ phân tán mực nước sẽ bao gồm các tác động của triều và nước dâng do bão.

Độ phân tán (phương sai) σ_L^2 có thể dễ dàng xác định theo sự biến đổi mực nước so với mực trung bình đã chọn. Nếu sự biến đổi mực nước đó được sơ đồ hoá bằng sóng hình sin (khá tốt đối với triều) với biên độ A_L, như vậy:

$$L^2 = \frac{1}{2} A^2_L \qquad (4.01)$$

Bây giờ chúng ta chỉ cần chuyển giá trị này về giá trị phổ nhằm thu được dạng giống như đã được sử dụng đối với phản hồi tàu, $R(\omega)$. điều này có thể thực hiện được thông qua thể hiện các biến đổi mực nước xuất hiện trong các tần số thấp – tương ứng các chu kỳ của thành phần triều; ví dụ tần số của triều bán nhật vào khoảng 1,4 x 10^{-4} rad/s. Nhắc lại rằng σ_L^2 đặc trưng cho diện tích nằm phía dưới đường cong phổ, và nó có thể chuyển về phổ hình chữ nhật với bề rộng $\Delta\omega$ và độ cao:

$$L(\omega) = \frac{\sigma_L^2}{\Delta\omega} \tag{4.02}$$

Giá trị của bề rộng Δω không thực sự trở nên quá quan trọng

$\Delta\omega = 10^{-4}$ rad/s

Giá trị của $L(\omega)$ có thể được thể hiện ngay trên các tần số và cũng như $R(\omega)$ nó có thứ nguyên là m^2s.

4.5 ĐỘ GHỒ GHỀ ĐÁY

Tính bất đồng nhất của đáy lạch có thể đo được bằng các thiết bị hồi âm theo các tuyến dọc lạch. Những đường cong như vậy có giá trị trung bình so với mực nước trung bình đã chọn; giá trị trung bình này xác định độ sâu trung bình của lạch. Độ sâu trung bình có thể có nơi lớn hơn độ sâu hải đồ đã được đề cập trên đây.

Sự biến đổi của độ sâu đo được như là một hàm của khoảng cách dọc theo lạch đã được bổ sung thêm như là một hàm của thời gian. Quy mô thời gian phụ thuộc vào tốc độ tàu. Với sự biến đổi như trên, đáy biển có thể được xử lí tương tự như với băng ghi sóng và phổ mật độ năng lượng, được kí hiệu bằng $r(\omega)$ cần được xác định. Tuy nhiên, tốc độ tàu sẽ biết được qua xác định các tần số trên phổ. Khi tàu chạy nhanh trên đáy phổ $r(\omega)$ sẽ trượt về phía tần số cao. Hoàn toàn tương tự như các phổ trước đó, $r(\omega)$ sẽ có thứ nguyên là m^2 s.

Tất nhiên các đáy khác nhau sẽ cho các phổ khác nhau. Lạch tàu với đáy sóng cát dọc – sóng đáy mega – sẽ có phổ tần rất thấp so với phổ phản hồi của tàu. Ngược lại, đáy gồ ghề – ví dụ với đá tảng- phần lớn mức phân tán nằm tại các tần số cao.

Trước khi kết thúc đề tài độ gồ ghề đáy, chúng ta nêu ra một số vấn đề liên quan tới độ tin cậy đo đạc độ sâu lạch. Các giản đồ máy hồi âm sử dụng để xác định độ gồ ghề có thể dẫn đến kết quả không phù hợp với hiện trạng. Các máy hồi âm đo độ sâu thông qua khoảng cách tương đối so với đầu thu đặt dưới đáy tàu. Chuyển động của tàu gây ra sóng không thể phân biệt được trong các băng ghi với độ gồ ghề. Đo đạc bằng máy hồi âm cũng còn phụ thuộc vào vận tốc truyền âm trong nước, và do đó phụ thuộc vào nhiệt độ và độ muối.

Tất cả những điều đó kéo theo các sai số đo đạc được phản ảnh cùng với độ gồ ghề vào phổ thu được. Thông thường điều này không thực sự đáng lo ngại vì các nhà thiết kế sử dụng các phép tính toán tối ưu có thể không còn đề cập đến các kết quả thực nữa.

4.6 NHỮNG BIẾN ĐỔI CỦA ĐỘ THOÁNG ĐÁY TÀU

Bây giờ sau khi đã xác định xong phổ chuyển động của điểm thấp nhất của tàu, R(ω), phổ của mực nước *L(ω),* và phổ của độ gồ ghề đáy, *r(ω),* chúng ta có thể dễ dàng các định phổ độ thoáng đáy tàu, *e(ω):*

$$e(\omega) = R(\omega) + L(\omega) + r(\omega) \tag{4.03}$$

Việc tính toán tiến hành đối với từng tần số vì phổ độ thoáng đáy tàu là một hàm của tần số. Phổ này chỉ mô tả mức phân tán của độ thoáng đáy tàu xung quanh giá trị trung bình và tần số tương ứng; không thể nói được điều gì về độ thoáng thực đáy tàu. Tuy nhiên độ thoáng trung bình đáy tàu đã được sử dụng để xác định e(ω) nhưng lại không được thể hiện trong phổ thu được.

Nhằm mục đích triển khai các tính toán thống kê sau này, cần phải thể hiện các thông tin chứa đựng trong phổ *e(ω)* về dạng tiện lợi hơn. Tổng quan của chương 11 tập I đã cho thấy rằng, phải cần đến một số bổ sung nào đó, *N*, và một dạng chuyển động đặc trưng (H_{sig} có thể được sử dụng ở đây) tương tự. Chu kỳ trung bình bổ sung, $\overline{T}_m$ có thể thay cho *N*.

Biên độ của các dịch chuyển thể hiện bởi phổ có thể được đặc trưng bằng độ lệch chuẩn:

$$\sigma_e^{\,2} = \int_0^\infty e(\omega) d\omega \tag{4.04}$$

không gì khác là diện tích nằm dưới biểu đồ phổ. Diện tích này thường được kí hiệu bằng m_0 hay moment bậc 0.

Chu kỳ trung bình giữa các cực đại tương đối của hàm được đặc trưng bởi *e(ω),* theo Rice (1944-1945) sẽ là:

$$\overline{T}_m = 2\pi \left[\frac{m_2}{m_4} \right]^j \tag{4.05}$$

trong đó moment bậc j được xác định theo công thức:

$$m_j = \int \omega^j e(\omega) d\omega \tag{4.06}$$

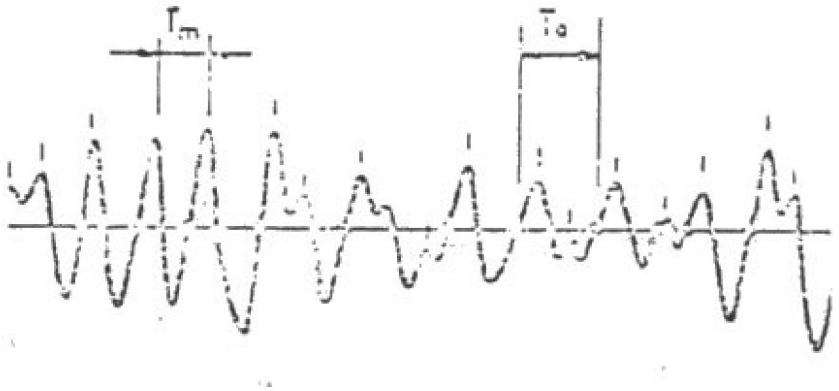
Phương trình 4.04 là trường hợp riêng của 4.06.

Các các đại tương đối nêu trên được xác định qua các giá trị cực đại của biến động độ thoáng đáy không tương ứng với các mực tuyệt đối hoặc cực tiểu âm xuất hiện giữa chúng. Bằng cách đó, các khả năng xuất hiện của các cực trị của độ thoáng đáy đã được kể đến. Hình 4.2 minh hoạ cho ta định nghĩa về T_m căn cứ vào băng ghi biến động độ thoáng đáy tàu cần thiết.

Cho giá trị $\overline{T}_m$ là số lần vượt qua cực trị của độ thoáng đáy, N, có thể được xác định bằng cách chia khoảng thời gian tàu di chuyển trong lạch cho $\overline{T}_m$.

Các moment có thể được sử dụng để xác định một trong những thông tin khó xác định liên quan đến tập tính của độ thoáng đáy. Thông tin này chính là độ rộng phổ, ε:

$$\varepsilon^2 = 1 - \frac{m_0^{\,2}}{m_0 m_4} \tag{4.07}$$



Hình 4.2. **Biến động của độ thoáng đáy tàu với các định nghĩa**

| : cực đại,

+ : điểm cắt không,

T_m: khoảng cách giữa các cực đại,

T_0: khoảng cách giữa các điểm cắt không.

Nếu $\varepsilon = 1$ thì các cực trị của băng ghi độ thoáng đáy đặc trưng bởi phổ $e(\omega)$ có thể được mô tả bằng phân bổ chuẩn. Mặt khác, nếu $\varepsilon = 0$ thì phân bố Rayleigh lại có khả năng mô tả gần đúng các cực trị của độ thoáng đáy tàu.

Đối với vấn đề hiện tại, chúng ta hy vọng giá trị của ε gần 0 vì các thành phần vế phải của 4.03 là những hàm với các cực trị gần với phân bố Rayleigh.

Có lẽ nên chấp nhận ảnh hưởng tương đối của mỗi thành phần 4.03 lên các tham số thu được.

Do σ_e được xác định chỉ bởi diện tích nằm dưới đường cong e(ω) và diện tích này bằng tổng của các diện tích dưới mỗi phổ thành phần, nên phân bố tần suất của các phổ đó (và của cả $e(\omega)$) không đóng vai trò nào trong giá trị σ_e.

Tuy nhiên, không nhất thiết phải sử dụng phổ độ thoáng đáy tàu nếu như chỉ mong muốn giá trị σ_e. Sự cần thiết tương đối của mỗi thành phần được xác định bởi giá trị phổ riêng tương quan đối với các giá trị khác. Đáy lạch với đồ gồ ghề cao thường đóng vai trò quan trọng hơn đối với độ thoáng đáy tàu so với trường hợp đáy trơn.

Còn lại hai tham số, T_m và ε phụ thuộc vào các moment xung quanh đường $\omega = 0$ như đã được thể hiện bằng phương trình 4.06. Các mối quan tâm tiếp theo về tập tính của phương trình này cho thấy rằng đối với $j > 0$ các phần diện tích phổ tại các tần số tương đối cao đóng một vai trò quan trọng hơn trong m_j so với các phần diện tích tương đương tại các tần số thấp. Đồng thời sự vượt trội tần suất cao cũng trở nên rõ nét hơn khi j tăng lên.

Trước hết điều này lí giải vì sao phải quay lại mục 4.4, giá trị $\Delta\omega$ sử dụng trong phương trình 4.02 thường ít quan trọng, diện tích thành phần phổ $L(\omega)\Delta\omega$ có giá trị không đổi và được thể hiện gần với trục $\omega = 0$ đóng vai trò không đáng kể trong việc xác định m_j khi $j > 0$.

Với những kiến thức về các moment và phương trình 4.05 chúng ta thấy rằng các giá trị phổ tần cao sẽ đóng vai trò quyết định khi xác định T_m và trước hết thông qua nhân tố m_4. Với nguyên do đó T_m giảm tương tự như tổng năng lượng của phổ độ thoáng đáy chuyển dịch về phía các tần số cao. Như vậy, các thành phần tần số cao nhất của e(ω) sẽ xác định T_m làm cho giá trị này nhỏ hơn và như vậy số lần đếm N sẽ lớn hơn.

Nếu như đáy biển nhiều đá, các thành phần tần số cao nhất của e(ω) sẽ thu được từ r(ω) và độ gồ ghề của đáy sẽ ảnh hưởng rất lớn đến T_m. Mặt khác, nếu đáy lạch chỉ có các sóng cát dọc lớn, T_m sẽ được xác định bởi chuyển động của tàu.

Giá trị ε trong phương trình 4.07 lại phức tạp hơn khi phân tích. Tuy nhiên, giá trị của ε sẽ tăng lên khi bậc tần số của phổ $e(\omega)$ tăng lên. Do tần số thấp nhất thường gần bằng 0 (do $L(\omega)$) tần số cao nhất trong phổ độ thoáng đáy sẽ xác định giá trị ε. Ngoài trường hợp độ gồ ghề đáy thể hiện ảnh hưởng đến các tần số cao tương đối trong $e(\omega)$, có thể hy vọng rằng ε sẽ hầu như bằng 0 và phân bố Rayleigh sẽ mô tả thoả đáng các đặc trưng thống kê của các cực trị của độ thoáng đáy.

Trước khi xác định cực trị đó, chúng ta sẽ ôn lại các tính chất của phân bố Rayleigh trong mục tiếp theo.

4.7 CÁC TÍNH CHẤT CỦA PHÂN BỐ CHUẨN VÀ PHÂN BỐ RAYLEIGH

Như tổng quan, các tính chất của phân bố Rayleigh và phân bố chuẩn được dẫn ra sau đây. Trong các phương trình và bảng 4.1 x sẽ là tham số không thứ nguyên do chia cho chuẩn sai σ.

Bảng 4.1 **Các tính chất của phân bố chuẩn và phân bố Rayleigh**

	$p(x)$	
x	Chuẩn	Rayleigh
0	0,50000	1,00000
0,2	0,42075	0,98020
0,5	0,30854	0,88250
1,0	0,15866	0,60653
1,5	0,06681	0,32465
2,0	0,02276	0,13534
2,5	0,00621	0,04394
3,0	0,00135	0,01111
4,0	$31,5.10^{-6}$	$333,5.10^{-6}$
5,0	$0,287.10^{-6}$	$3,727.10^{-6}$
6,0	$986,6.10^{-12}$	$0,0152.10^{-6}$
7,0	$1,280.10^{-12}$	$22,90.10^{-12}$
8,0	$622,1.10^{-18}$	12664.10^{-18}
9,0	$0,1128.10^{-18}$	$2,577.10^{-18}$
10,0	$7,62.10^{-24}$	$192,87.10^{-24}$

Đối với phân bố Rayleigh:

$$p(x) = e^{-\frac{1}{2}x^2} \tag{4.08}$$

và phân bố chuẩn với trung bình 0:

$$p(x) = \frac{1}{2\pi}\int_x^\infty e^{-\frac{1}{2}q}\,dq \tag{4.09}$$

trong đó, đối với cả hai phân bố:

$p(x)$ là xác suất rằng giá trị x bằng hay lớn hơn.

Giá trị $p(x)$ như một hàm của x được trình bày trong bảng 4.1.

4.8 KHẢ NĂNG VA CHẠM ĐÁY LẠCH

Bây giờ khi các tính chất thống kê của biến động độ thoáng đáy đã được xác định, thông qua σ_e và N, chúng ta có thể thử xác định thời điểm tàu va chạm đáy lạch hay thợ lặn chúng ta bị kẹt. Điều này sẽ xẩy ra khi độ thoáng đáy trở nên 0 hay nói cách khác sự biến đổi của độ thoáng đáy tức thời, $e(t)$, vượt quá độ thoáng đáy trung bình cho trước. Tất nhiên σ_e và N chỉ mô tả sự biến đổi của độ thoáng đáy.

Biểu thức cho độ thoáng đáy trung bình có thể thu được từ bảng 4.1:

$$\bar{c} = h + \bar{L} - D - Z \tag{4.10}$$

và độ thoáng thực tại mọi thời điểm sẽ là:

$$c(t) = \bar{c} - e(t) \tag{4.11}$$

trong đó:

$\bar{c}$ là độ thoáng đáy tàu cho trước,

h là độ sâu nước so với mực đáy trung bình đo được từ một số số liệu mực nước,

D là độ mớn nước của tàu,

$\bar{L}$ là mực nước tương đối so với số liệu tương tự h, và

Z là độ hạ thấp tổng cộng của điểm đặc trưng đáy tàu.

Bây giờ cần phải đánh giá khả năng $e(t)$ vượt qua $\bar{c}$. Trước khi triển khai bài tập đó, chúng ta khẳng định mối quan tâm đến khả năng tàu chạm đáy tối thiểu một lần khi tàu đi qua lạch. Điều này dẫn đến việc nếu tàu chạm đáy tất sẽ gây ra tổn thất, có nghĩa là không còn quan trọng việc đó có xẩy ra thường xuyên hay không. Cuối cùng, dựa vào tính chất của xác suất :

[*khả năng xẩy ra 1 lần*] = *1* – [*khả năng không bao giờ xẩy ra*] (4.12)

Bắt tay vào bài tập, tiến hành tính độ thoáng đáy tàu phi thứ nguyên bằng cách chỉ cho chuẩn sai độ thoáng :

$$x = \frac{\bar{c}}{\sigma_e} \tag{4.13}$$

trong đó x là độ thoáng đáy phi thứ nguyên giới hạn sử dụng trong 4.08.

Khả năng giá trị tới hạn bất kỳ của sự biến đổi độ thoáng đáy bằng hay lớn hơn $\bar{c}$ là:

$$p(\bar{c}) = e^{-\frac{1}{2}x^2} \tag{4.14}$$

Khả năng rằng $\bar{c}$ không bị vượt qua là:

$$1 - p(\bar{c}) \tag{4.15}$$

Trong thời gian tàu đi qua, có N các giá trị tới hạn của độ thoáng đáy tàu. Khả năng không có một trong số các giá trị tới hạn N nào lớn hơn $\bar{c}$ là:

$$[1 - p(\vec{c})]^N \tag{4.16}$$

Cuối cùng, khả năng tàu của chúng ta không chạm đáy một lần nào khi đi qua lạch sẽ là :

$$E_1 = 1 - [1 - p(\vec{c})]^N \tag{4.17}$$

E_1 là xác suất rằng tàu gặp khó khăn trong lạch do chạm vào đáy khi đi qua lạch và trong điều kiện bão (hướng sóng cũng như độ cao sóng) được sử dụng để xác định $R(\omega)$. Chúng ta đã chọn điều kiện đối với $\vec{c}$ đủ lớn cho phép đáp ứng các chỉ tiêu hoạt động của tàu.

Bài tập này hiện vẫn còn xa mới được xem là đầy đủ. Bất cứ điều kiện bão nào có thể xuất hiện và mật độ lưu thông tàu cũng gây ảnh hưởng lên phép tối ưu hoá. Các nhân tố này sẽ được xem xét đến trong mục tiếp theo.

4.9 MẬT ĐỘ LƯU THÔNG TÀU

Cho rằng thay vào chỗ một tàu bây giờ sẽ có đồng thời 2 tàu. Điều gì sẽ xẩy ra đối với E_1?

Cách trả lời nhanh và không chính xác sẽ là hai tàu sẽ có $2N$ cực trị của độ thoáng tàu và N trong phương trình 4.17 chỉ cần thay bằng $2N$. Nguyên nhân của kết quả sai này nằm ở chỗ E_1 là xác suất rằng cả hai tàu đều gặp khó khăn, song đã bỏ qua khả năng một tàu có thể an toàn đi qua lạch trong khi tàu còn lại phải dừng ở một nơi nào đó.

Cách lập luận đúng nhất đó là khi có hai tàu vào trong lạch thì khả năng tàu gặp khó khăn trung bình sẽ lớn gấp đôi. Nói chung, nếu có m tàu trong lạch thì xác suất gặp nạn sẽ là

$$m\, E_1 \tag{4.18}$$

Biểu thức 4.18 có thể dẫn đến xác suất tổng cộng tàu gặp nạn sẽ lớn hơn 1. Nhìn qua điều này quả là vô lí, nhưng chúng ta cần nhớ lại rằng điều này cần gắn với tổn thất của từng tai nạn tàu riêng rẽ nên nếu biểu thức 4.18 trở nên lớn hơn 1 điều đó phản ảnh khả năng một số tàu có thể ít nhiều bị lâm nạn trong cùng một thời gian.

Tuy nhiên mật độ trong lạch có thể gây ảnh hưởng lớn hơn lên kết quả tính toán. Trên đây chúng ta đã tính xác suất lâm nạn đối với m tàu trên lạch trong điều kiện bão nhất định, nhưng xác suất hiện diện của m tàu là bao nhiêu? Đối với điều kiện lưu thông tàu bình thường, xác suất , p(m), hiện diện m tàu trong lạch cùng một thời gian sẽ giảm khi m tăng. Thấy rằng, đối với vấn đề ít gặp, ví dụ $p(m)$ gần bằng 1 khi $m = 0$ ($m = 0$ hoàn toàn đúng ở đây và cũng đúng cho 4.18!).

Tương quan giữa giá trị $p(m)$ vào m thường có thể được rút ra cho lạch mới xây dựng thông qua lý thuyết về các chỉ tiêu tàu đến và phục vụ tàu. Nói một cách tổng quát, $p(m)$ sẽ trở nên nhỏ không đáng kể khi m lớn hơn một giá trị M nào đó. Từ lí thuyết thống kê, ta có:

$$\sum_{m=0}^{M'} p(m) = 1 \tag{4.19}$$

Thông tin mới này có thể kết hợp với kết quả trước của của trên. Xác suất rằng tàu thiết kế khai thác lạch tàu của chúng ta sẽ gặp khó khăn trong điều kiện bão cho trước với các điều kiện lưu thông tàu sẽ là:

$$E'_1 = E_1 \sum_{m=0}^{M'} mp(m) \tag{4.20}$$

Trong đó E_1 nằm ngoài dấu tổng bởi vì đại lượng này độc lập đối với chỉ số tổng m.

Nếu như điều kiện bão không đổi- hay không gây ảnh hưởng lên tàu và do đó gây ảnh hưởng lên độ thoáng đáy tàu- chúng ta có thể kết thúc bài tập tại đây. Lạch tàu nội thuỷ có thể thoả mãn yêu cầu trên, còn đối với phần lớn các lạch cảng điều này hầu như không chấp nhận được. Ảnh hưởng của điều kiện sóng biến đổi sẽ được đề cập đến trong mục sau.

4.10 BIẾN ĐỘNG ĐIỀU KIỆN BÃO

Điều kiện bão được sử dụng ở đây thường đồng nghĩa với "độ cao sóng" do có nhiều biến tham gia vào phép tối ưu hoá độ sâu lạch. Điều kiện bão cần thiết để xác định các chuyển động tàu bao gồm hướng sóng so với trục lạch và phổ sóng. Đặc trưng phổ – ví dụ phổ Pierson Moskovich – có hai tham số là độ cao sóng (hay biên độ) và chu kì sóng. Số liệu sóng cần thiết để tối ưu hoá tham gia vào xác suất thống kê thông thường được chọn tổng hợp cả độ cao, chu kì sóng lẫn hướng sóng.

Các số liệu sóng dạng rộng như trên thường rất hiếm có, và nhà thiết kế phải cần đến phép tổng hợp các số liệu thống kê độ cao theo chu kỳ và theo hướng sóng. Ví dụ, xem xét các độ dốc sóng có thể thường dẫn đến tương quan giữa độ cao sóng và chu kỳ sóng; vị trí địa lí các vùng đất xung quanh thường dẫn đến tương quan giữa độ cao sóng và hướng sóng hay giữa chu kỳ sóng và hướng sóng – khi khúc xạ sóng trở nên quan trọng.

Kết quả phân tích số liệu sóng này sẽ dẫn đến bảng liệt kê tổ hợp độ cao sóng đặc trưng, H_{sig}, chu kỳ sóng đặc trưng, $\overline{T}_0$, hướng sóng, ϕ, và xác suất tương ứng, $p(H,T,\phi)$ khi các tổ hợp trên xuất hiện. Xác suất này là xác suất mà phổ và hướng sóng cho trước có thể tính được vào bất cứ thời điểm nào. Nếu chúng ta chú ý đến cả trường hợp ngoại lệ, khi $H = 0$ (không có sóng), thì:

$$\sum_{i=1}^{N'} p_i(H,T,\phi) = 1 \tag{4.21}$$

trong đó:

i là chỉ số các giá trị trong bảng số liệu bão, và

N' là số các số liệu trong bảng, N' thường là một số lớn.

Mỗi khi bảng các đặc trưng bão được xác định, có thể dễ dàng kết hợp với những công việc vừa triển khai. Xác suất tàu thiết kế của chúng ta gặp khó khăn trong điều kiện bão đã chọn và cơn bão này xuất hiện:

$$E_2 = E_1\, p(H,T,\phi) \tag{4.22}$$

Tất nhiên, $p(H,T,\phi)$ có thể được mô tả với chỉ số như trên công thức (4.21) và E_2 cũng cần đưa thêm chỉ số i. Nếu như tất cả điều đó là cần thiết, chúng ta có thể đã mừng lắm rồi, song điều đó khó có thể xẩy ra. Mỗi N' chuỗi số liệu điều kiện

sóng khác nhau dẫn đến phổ phản hồi $R_i(\omega)$. Do hàm phản hồi đối với chuyển động thẳng đứng của điểm đặc trưng trên đáy tàu cũng phụ thuộc vào góc tới của sóng, ϕ, chúng ta cũng cần sử dụng một số hàm phản hồi khác nhau để xác định $R_i(\omega)$ từ tập hợp N' phổ sóng. May mắn là số lượng hàm phản hồi cần thiết thường ít hơn N'; bản thân các hàm phản hồi lại phụ thuộc trước hết vào hướng sóng chứ không phải vào độ cao hay chu kỳ sóng.

Cũng có khả năng tồn tại sự kết hợp giữa điều kiện bão và mực nước trung bình $\bar{L}$ và chuẩn sai của chúng, σ_L. Điều này không chỉ có nghĩa rằng phổ $L(\omega)$ cũng kết hợp với diều kiện bão, mà $\bar{c}$ kết hợp với chúng thông qua phương trình 4.10. Điều này có nghĩa rằng các hàm phản hồi còn có thể phụ thuộc vào mực nước và điều kiện bão, do các hàm phản hồi phụ thuộc vào $\bar{c}$ (ít ra khi $\bar{c}$ nhỏ so với bề rộng tàu).

Đối với vấn đề thường gặp của tàu, theo quan điểm công trình cảng thì các biến đổi mực nước do bão sẽ phản ảnh trong σ_L và $\bar{L}$ sẽ là mực nước trung bình. Ngược lại, bây giờ $\bar{c}$ sẽ không biến đổi và việc tính toán sẽ trở nên ít phức tạp hơn.

Trước khi kết thúc vấn đề liên quan đến bão chúng ta có thể triển khai sự kết hợp vấn đề mật độ lưu thông tàu với các điều kiện bão. Bài toán đơn giản nhất sẽ là việc đóng cửa cảng khi các điều kiện bão nguy hiểm. Điều này có thể lý giải qua việc các tai biến kinh tế của tàu trong lạch quá lớn cho nên giá phải trả cho tàu lưu lại còn rẻ hơn so với chi phí phải dành cho nạo vét lạch sâu thêm.

Tương tự kết hợp giữa mật độ lưu thông tàu và các điều kiện bão dẫn đến việc hạn chế cho một số lượng lớn tàu vào cảng khi dự báo có bão nguy hiểm.

Từ đây có thể thấy rằng việc tính toán có thể không cần thiết do tính chất phức tạp của nó, song các nhà thiết kế cần lường trước rất nhiều vấn đề nhằm kết hợp chúng vào trong các nhân tố chung.

Mục 4.11 sẽ trao đổi về một số ý tưởng đảm bảo giữ lại các quy trình giải quyết trong một giới hạn hợp lí.

4.11 CÁC BƯỚC ĐÁNH GIÁ TIẾP THEO

Có hai vấn đề chúng ta cần quan tâm ở mục này: Làm thế nào để giảm bớt những vấn đề vừa nêu và các kết quả sẽ được sử dụng như thế nào?

Bằng việc bắt đầu từ yêu cầu quy trình giải quyết, có thể thấy rằng phần lớn các cố gắng tính toán hiện nay đều tập trung cho việc xác định phản hồi tàu nhiều lần. Trước hết, điều này có thể đơn giản hoá bằng cách cho rằng sóng tới với góc 30° đồng nghĩa sóng đi từ cảng hay từ bờ xuất phát. Điều này làm giảm làm giảm bớt công việc tính toán hàm phản hồi. Số lượng các hàm phản hồi có thể giảm nhiều hơn nếu bỏ qua ảnh hưởng của các biến đổi nhỏ của độ thoáng đáy tàu trung bình đối so với độ thoáng thực tế của hàm phản hồi đó. Cách tiếp cận này có nghĩa rằng sự biến đổi của độ thoáng trung bình nhỏ hơn khoảng 10% có khả năng không làm biến đổi đáng kể phản hồi tàu đối với phổ sóng cho trước. (Ảnh hưởng của 10% biến đổi đối với $\bar{c}$ có thể dẫn đến tăng xác suất tàu bị nạn, song ảnh hưởng của nó đến E_1 lại không đáng kể).

Bước cuối cùng cho phép làm giảm số lượng cần thiết hàm phản hồi là tính toán theo bước hướng sóng lớn hơn. Bước tính nhỏ hơn 30° có thể trở nên lãng phí, song góc 45° lại quá thô. Tất nhiên quy trình giải quyết ở đây phải là đơn giản nhất nếu bước tính góc sóng trong thống kê bão (hay được nhân với một số chẵn lần) sẽ được sử dụng trong tính toán các hàm phản hồi cần thiết.

Chuyển sang một phần tính toán khác với các thủ tục kèm theo khi sóng gây ảnh hưởng đáng kể lên chuyển động tàu chỉ xuất phát từ một số hướng nhất định do các điều kiện địa lí hay khí tượng (ví dụ gió mùa) quy định. Nếu thành phần lưu thông tàu đảm bảo loại trừ các điều kiện bão (trường hợp cá biệt) thì việc đưa m và $p(m)$ vào tính toán trở nên không cần thiết nữa. Số hạng:

$$\sum_{m=0}^{M'} mp(m)$$

trở nên không phụ thuộc vào bão và bị loại ra và chỉ được tính đến sau khi tổng 4.23 đã tính toán xong. Tuy nhiên việc giảm công sức tính toán theo cách này là không đáng kể so với những tính toán phản hồi tàu.

Vậy có thể rút ra điều gì? Kết quả của các công việc vừa bàn trên đây dẫn đến một bảng có N' giá trị của E_2, mỗi giá trị này ứng với điều kiện bão khác nhau cho một loại tàu nhất định. Xác suất tàu có thể gặp khó khăn, E_3, trong một khoảng thời gian ngắn sẽ là:

$$E_3 = \sum_{i=1}^{N'} E_{2i} \qquad (4.23)$$

Do các nhà kinh tế thường sử dụng giá trị E_3 trung bình năm vì vậy khi tính xong E_3 nêu trên cần phải chuyển về cơ sở năm. (Hiện tại chỉ mới tính cho khoảng thời gian tàu ở trong lạch). Về nguyên lý, xác suất đảm bảo có điều gì đấy không ổn sẽ là như nhau cho mọi thời đoạn trong năm. Số lượng các khoảng thời gian, M, sẽ phụ thuộc vào thời gian lưu thông tàu. Đối với thời gian chuyển tiếp 1 ngày thì M sẽ là 1460.

Xác suất tàu bị tổn hại trên cơ sở năm, E_4, bây giờ sẽ là:

$$E_4 = M E_3 \qquad (4.24)$$

Vậy vì sao chúng ta không sử dụng số lượng tàu thiết kế trong năm đang khai thác lạch thay cho M (như đã xác định trên đây) trong phương trtình 4.24? Cách đặt vấn đề như trên có vẻ hợp lý về hình thức song không chính xác; ảnh hưởng của tổng mật độ lưu thông và phân bố của nó như là một hàm của thời gian đã được kể đến qua m và p(m) trong phương trình 4.20. Sử dụng số lượng tàu một lần nữa sẽ dẫn đến việc tính ảnh hưởng của mật độ lưu thông tàu hai lần.

Tương tự như đối với phương trình 4.18, E_4 cũng có thể lớn hơn 1. Các giải thích dẫn ra trong mục 4.9 vẫn giữ nguyên giá trị tại đây.

Bây giờ, khi xác suất năm thiệt hại đối với tàu thiết kế đã được biết, chúng ta cần xác định thiệt hại tương ứng về tiền:

thiệt hại về tiền hàng năm = E_4 x *thiệt hại do các tai nạn riêng lẻ* (4.25)

Giá trị này tương ứng thiệt hại hàng năm đối với tàu thiết kế.

Vậy đối với các tàu khác thì thế nào? Do kích thước, độ thoáng đáy tàu và các phản hồi lên tác động sóng sẽ khác nên chúng ta có thể nói rằng thiệt hại cũng sẽ là tổng các thiệt hại đơn lẻ. Theo lý thuyết, cần phải tiến hành các tính toán như trên đối với tất cả các tàu đi vào cảng, song trong thực tế chỉ cần tính cho một số loại tàu nhất định. Hiển nhiên xác suất các tàu bị cạn trong lạch dành cho các chàu chở dầu siêu lớn sẽ gần như bằng 0 đối với các bài toán kĩ thuật.

Tổng thiệt hại hàng năm của lạch sẽ là tổng của các thiệt hại năm đối với các tàu liên quan và chi phí duy tu, nạo vét lạch.

Nhằm mục đích đánh giá thiết kế tổng thể (bao gồm kinh phí xây dựng) chi phí hàng năm này sẽ được chuyển sang một phần kinh phí tổng đầu tư với lãi f cho phép cung cấp đủ tiền trang trải cho chi phí hàng năm đối với khoảng thời gian tồn tại l của lạch. Trong kinh tế học, chi phí cho thiệt hại hàng năm này có thể chuyển sang vốn đầu tư bằng cách nhân với chỉ số rủi ro (*pwf* : present worth factor):

$$pwf = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \tag{4.26}$$

trong đó:

i là lãi suất tiền vay trong khoảng thời gian chục năm, và

n số chu kỳ trả.

Chi phí chung đối với lạch thiết kế sẽ là tổng của chi phí xây dựng, chi phí mất mát và chi phí duy tu.

Sau khi tổng kinh phí của một lạch thiết kế đã chọn trước được xác định, có thể bắt tay vào chặng đường dài tối ưu hoá thiết kế. Chúng ta có thể lặp lại các công việc nêu trên đối với các thiết kế khác. Có rất nhiều biến thiết kế khác nhau có thể sử dụng cho tối ưu hoá; danh sách tóm tắt các khả năng sau đây chỉ mang tính chất minh hoạ.

Tham số quan trọng nhất trong tối ưu hoá độ sâu lạch chính là bản thân độ sâu của lạch đó.

Biến đổi độ sâu Δh sẽ gây nên những biến đổi nhiều hơn không chỉ đối với $\bar{c}$ theo công thức 4.10. Do sự biến đổi độ sâu dẫn đến sự biến đổi của hiện tượng hạ mực tàu, cũng như của hàm phản hồi, nên cả độ thoáng trung bình đáy tàu lẫn mức phân tán (chuẩn sai) của nó cũng bị biến đổi. Ngoài ra, chi phí cho nạo vét (bao gồm xây dựng và duy tu) cũng tăng lên khi độ sâu lạch tăng.

Một khả năng khác đó là sự biến đổi do kéo dài lạch. Điều này trước hết dẫn đến sự biến đổi của các thành phần sóng và dòng chảy trong lạch. Lại một lần nữa các chuyển động của tàu sẽ bị biến đổi theo sự biến đổi của những đặc trưng thống kê của độ thoáng đáy tàu. Lạch dài hay ngắn sẽ làm biến đổi số lượng các cực trị của độ thoáng đáy tàu N. Chi phí xây dựng và nạo vét, duy tu sẽ phụ thuộc vào hàm của độ dài lạch.

Cách lựa chọn thứ ba đó là xây dựng các công trình chắn sóng. Công trình này sẽ làm cho các thành phần sóng trong lạch biến đổi và làm giảm các chuyển động của tàu cũng như mức phân tán của độ thoáng đáy tàu. Công trình chắn

sóng cũng làm biến đổi các thành phần dòng chảy và có thể làm giảm chi phí nạo vét bảo dưỡng. Mặt khác chi phí đầu tư của công trình chắn sóng sẽ được đưa vào chi phí của lạch nhằm đảm bảo tính thực tế của tối ưu lạch.

Cũng có thể có những thay đổi xẩy ra trong quá trình khai thác lạch. Vậy điều gì xẩy ra nếu các tàu yêu cầu được lưu thông với tốc độ nhỏ hơn? Nó sẽ dẫn đến việc suy giảm mức hạ mực tàu và tăng độ thoáng đáy tàu. Phổ sóng đo được trên tàu cũng có những thay đổi tương tự như tần số trong phổ độ gồ ghề đáy. Thời gian chuyển tiếp tàu tăng lên cùng với số lượng các cực trị của độ thoáng đáy đối với từng con tàu. Một số sự thay đổi sẽ dẫn đến giảm xác suất gặp nạn, một số khác lại làm tăng xác suất đó và hệ quả chung của việc giảm tốc độ tàu rất khó dự báo.

Sự biến đổi cuối cùng cần nhắc đên đó là việc không cho phép một số dạng lưu thông trong lạch theo một số điều kiện nhất định. Để đảm bảo cho lưu thông chung không đổi, những dạng lưu thông bị giới hạn trên cần được cho phép trong một số thời gian nhất định bằng cách thay đổi chế độ lưu thông.

Nếu điều kiện đóng cửa lạch liên quan đến mực nước (điều này thường dễ chấp nhận) thì mực nước trung bình và mức phân tán của nó sẽ làm thay đổi các đặc trưng độ thoáng đáy tàu, trong khi việc chậm trễ tàu sẽ gây ra thiệt hại cho lạch.

4.12 TÓM LƯỢC

Từ các phân tích trên dường như chúng ta tự thấy mình có thể tiến hành thiết kế hoàn hảo các lạch tàu. Rất đáng tiếc là nhiều vấn đề liên quan còn chưa được xem xét đến.

Lạch tàu sử dụng trong các phân tích trên đã được sơ đồ hoá bằng một mặt cắt dọc duy nhất. Trong khi tàu lại phải vượt qua các chướng ngại có kích thước lớn hơn cả thân tàu.

Một giới hạn khác xuất phát từ giả thiết cho rằng chỉ có mỗi một điểm thân tàu có thể chạm đáy. Điều này có thể đúng cho một số loại tàu như các thuyền buồm hiện đại có đáy ngắn và sâu, nhưng không thể đúng đối với các tàu đáy phẳng như các sà lan.

Đối với loại tàu này thì rất nhiều điểm có thể trở nên điểm đặc trưng theo nghĩa độ thoáng đáy tàu. Đồng thời ta đã không chú ý đến ảnh hưởng của chiều dài tàu lên số lượng các cực trị độ thoáng đáy tàu. Tàu có chiều dài L' chuyển động với tốc độ V sẽ nằm trên một độ cao nhất định so với đáy trong khoảng thời gian L'/V giây. Một số cực trị khác có thể xuất hiện trong khoảng thời gian đó và dẫn đến khả năng tàu chạm đáy lạch.

Cũng còn một số vấn đề khác có thể xuất hiện, ví dụ như nếu chuyển động của tàu xuất hiện tại các tần số thấp hơn so với giá trị mà tại đó các đỉnh độ nhám đã được kể đến (và hy vọng vượt qua được). Bằng cách khác, ý tưởng này được xem xét qua việc đáy có độ gồ ghề với độ dài sóng rất ngắn- như dạng răng lược chĩa lên trên. Việc xác định các đặc trưng thống kê độ thoáng đáy tàu đã được trình bày trong mục 4.6 bao gồm khả năng tàu sẽ chạm đáy giữa các điểm cao của gồ ghề đáy. Theo cách này điều đó hoàn toàn đúng. Tuy nhiên vấn đề

thực tế ở chỗ kích thước tàu cho phép tàu không chạm đáy ngoại trừ trên các đỉnh gồ ghề. Ngoài ra khi tàu chạm phải đáy tại đây thì có khả năng một số đỉnh khác cũng đồng thời sẽ va vào tàu. Có một cách cho phép tính toán được các ảnh hưởng đó thông qua khái niệm "đáy hiệu quả". "Đáy hiệu quả" sẽ được bỏ qua các đỉnh nối tiếp nhau của đáy thực tế và điều đó dẫn đến sự biến đổi hoàn toàn của các tính chất thống kê.

Vậy vì sao các ảnh hưởng này lại chưa được kể đến trong các bàn luận trước đây? Một điều đơn giản là không ai có thể chắc chắn mô tả được các ảnh hưởng đó và đưa chúng vào các công thức tính toán; vấn đề này đang là nội dung chủ yếu trong chương trình của nhóm Công trình bờ.

Cho đến bây giờ, chúng ta đã xem xét vấn đề tối ưu hoá theo quan điểm của chủ cảng. Không có lí gì mỗi thuyền trưởng lại phải tiến hành hàng loạt tính toán như trình bày trong mục 4.8 nhằm đánh giá rủi ro đối với tàu khi đi qua lạch.

Vấn đề này của thuyền trưởng chỉ là một vấn đề riêng của tàu, mặc dù yêu cầu tối ưu hoá lạch tàu là một vấn đề chung của tàu.

Vì sao lại cần có sự phân biệt giữa phân tích của thuyền trưởng và phân tích của chủ cảng? Mặc dù các rủi ro đối với cảng do kết quả của việc khai thác lạch vẫn có thể được chấp nhận được, song các rủi ro đó không thể phân bổ lên tất cả tàu khai thác lạch. Thuyền trưởng vào cảng trong điều kiện xấu- bão vào thời kỳ gần nước kiệt với triều sóc vọng phải chịu nhiều rủi ro hơn so với điều kiện ngày yên tĩnh và triều cao. Do thuyền trưởng là người chịu trách nhiệm lớn nhất đối với tàu nên anh ta có thể từ chối đi vào lạch trong các điều kiện nguy hiểm ngay cả khi quản lí cảng không cản trở.

Nếu như nhiều thuyền trưởng từ chối sử dụng lạch như đã trình bày trên thì có thể có điều gì không ổn đối với công việc tối ưu hoá. Tổn thất đối với các tàu đó có thể thấp hơn trên cơ sở chậm tàu, điều đó có nghĩa là chi phí đầu tư thấp hơn đã được sử dụng khi tối ưu hoá. Có khả năng một lượng tiền tiết kiệm được cần phải đầu tư để làm cho lạch tàu sâu hơn.

5 ĐỘ RỘNG LẠCH TÀU

J.J. van Dijk

5.1 MỞ ĐẦU

Về nguyên lí, các kỹ thuật tối ưu hoá tương tự như đã yêu cầu trong chương trước- sử dụng cơ sở tổng chi phí- có thể áp dụng cho việc tối ưu hoá bề rộng của lạch tàu. Một lần nữa tối ưu hoá được tiến hành bằng cách giảm tổng chi phí xây dựng, duy tu và thiệt hại; tất cả các chi phí đó cần được thể hiện một cách rõ ràng. Ví dụ, nếu tàu chở dầu lớn đi vào lạch cạn bị va bánh lái vào đáy lạch và chìm thì tổn thất sẽ bao gồm:

thu dọn tàu,

dọn sạch dầu loang,

các thiệt hại có thể đối với nghề cá,

thiệt hại đối với các tàu khác và cả nền kinh tế,

do hậu quả cản trở các tàu khác vào lạch.

Chi phí cuối cùng này có thể trở nên lớn nhất so với các thiệt hại khác trong bảng liệt kê và cũng là chi phí khó đánh giá nhất.

Tuy nhiên việc xác định giá không phải là khó khăn duy nhất. Các chuyển động ngang của tàu đang vận hành được xác định chủ yếu theo các tác động của lái tàu – rất khó kiểm soát và không thể dự báo được (trong trường hợp đặc biệt). Điều này làm cho việc mô tả toán học chính xác của vấn đề trở nên khó khăn hơn so với độ sâu lạch. Tuy vậy, cũng có nhiều cách tiếp cận giải quyết đã được tiến hành, chúng sẽ được trình bày trong các mục tiếp theo.

5.2 VẤN ĐỀ LÝ TƯỞNG HOÁ

Nhằm mô tả toán học vấn đề đặt ra, cho phép chúng ta xem xét trường hợp tàu đi ngược dòng lạch với độ sâu không đổi và bề rộng vô cùng; đáy biển phẳng ngang và bao phủ bởi lớp nước có độ sâu không đổi. Lệnh của người lái cho tàu đi dọc theo đường thẳng. Dòng chảy sẽ gây tác động lên tàu nhưng không có tác động của sóng. Ngoài ra cũng không có sự hiện diện của tàu thuyền xung quanh. Việc loại trừ giới hạn bờ và các tàu xung quanh nhằm mục đích bỏ qua các điều kiện lạ đối với người lái có khả năng ra các phản ứng hoảng loạn.

Vị trí của tàu so với đường dẫn tàu có thể tuân thủ quy luật phân bố chuẩn, phân bố này cũng được sử dụng để mô tả mực nước trong sóng không đều. Vị trí trung bình của tàu tương ứng hướng mong muốn và mức biến động vị trí so với đường dẫn có thể xác định được thông qua chuẩn sai.

Nếu phân bố chuẩn mô tả đúng vị trí của tàu, tương tự như đối với sóng, chúng ta cũng hy vọng khoảng cách giữa các cực trị của đường đi tàu sẽ được mô tả bằng phân bố Rayleigh. Như vậy, biết được chuẩn sai của đường đi tàu và số lượng các cực trị có thể xẩy ra trong lần đi cho trước, chúng ta có thể tính được xác suất rằng tàu sẽ vượt qua bề rộng cho trước theo phân bố Rayleigh. Các tính toán được tiến hành dựa vào hệ các phương trình từ 4.10 đến 4.13 trong chương trước. Xác suất vượt quá khoảng cách B ra khỏi đường dẫn sẽ là:

$$P(B) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{B}{\sigma_p})^2} \tag{5.01}$$

trong đó: B là khoảng cách lệch khỏi đường dẫn, và

σ_p là chuẩn sai của hướng tàu.

Xác suất rằng B không bị vượt qua trong một thời điểm sẽ là :

$$1 - P(B) \tag{5.02}$$

và xác suất không bị vượt qua đối với chuỗi N các cực trị sẽ là :

$$\left[1 - P(B)\right]^N \tag{5.03}$$

Cuối cùng xác suất rằng tàu sẽ ra khỏi giới hạn B từ đường dẫn sẽ là :

$$E_1 = 1 - \left[1 - P(B)\right]^N \tag{5.04}$$

Oldenkamp (1973) đã tiến hành phân tích giới hạn theo các số liệu hiện có và thấy rằng đối với một tập số liệu hạn chế phân bố Rayleigh không thể mô tả chính xác phân bố các cực trị. Ông nhận thấy rằng các tàu thường có xu thế đi theo hành trình tương tự và song song với đường dẫn hơn là tìm cách đi đúng theo đường dẫn. Theo số liệu này, tham số $\varepsilon = 0{,}92$ đối với phân bố Rayleigh mô tả tốt nhất trong khi đòi hỏi chính xác phải là $\varepsilon = 1$ (xem Allerma, Massie (1973).

Làm thế nào mà độ thoáng đáy tàu có thể ảnh hưởng đến tập tính tàu ? Nhìn chung, khi độ thoáng đáy tàu trở nên nhỏ, tàu thường gặp khó khăn khi quay. Hệ quả của điều này ở chỗ tàu sẽ trở nên ổn định lái hơn khi độ thoáng đáy tàu nhỏ – tàu sẽ có xu thế giữ nguyên hướng theo đường dẫn trong mọi trường hợp. Điều đó dẫn đến số lượng nhỏ hơn các cực trị trong hành trình trên một quảng đường nhất định, trong khi với số lượng ít hơn các cực trị đó lại có biên độ lớn hơn. Từ đó chuẩn sai của đường dẫn cũng lớn hơn.

Các bàn luận này được giới hạn trong vấn đề sơ lược nhất. Các nhân tố ảnh hưởng đối với vấn đề thực tế sẽ được trình bày trong mục sau.

5.3 VẤN ĐỀ THỰC TẾ

Những nhân tố nào gây ảnh hưởng lên đường đi thực của tàu trong các điều kiện thực tế ? Chỉ sau khi các nhân tố đó đã được nhận dạng và mô tả toán học một cách hợp lí thì mới có khả năng tiến hành các tính toán thống kê trên cơ sở lí thuyết.

Một trong giới hạn phi thực tế nhất của vấn đề trình bày trong mục trên chính là bề rộng của lạch. Vậy mép của lạch sẽ gây tác động thế nào lên hành trình của tàu? Trước hết, khi tàu tiến gần mép lạch, các đặc trưng thuỷ động lực sẽ phải thay đổi do phản hồi lại độ dốc bờ; các đặc trưng điều khiển cũng biến đổi

theo. Sự biến đổi bổ sung đối với khả năng điều khiển xuất hiện do biến đổi của độ thoáng đáy tàu trong lạch. Tiếp đến, đó còn có thể là các phản ứng tâm lí – hoảng sợ – khi có cảm giác rằng tàu sẽ chạm đáy khi đi quá sát bờ.

Các tàu khác chuyển động hay neo lại xung quanh cũng sẽ gây tác động lên tập tính tàu theo cả hai hướng vừa được mô tả trên. Vấn đề này rất quen đối với các kỹ sư làm việc trong lĩnh vực giao thông trên kênh rạch.

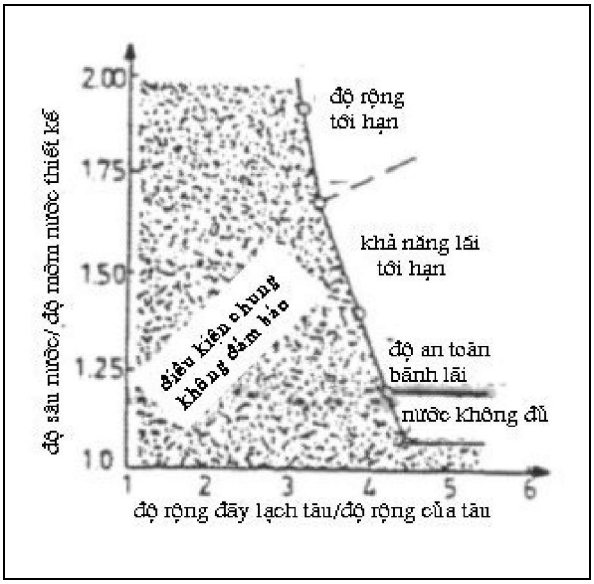
Sóng cũng gây tác động lên chuyển động ngang của tàu. Các ảnh hưởng của sóng lên những tàu lớn hầu như ít nhất, nhưng đối với các tàu nhỏ hơn như phà hay tàu đánh cá thì lại trở nên đáng kể.

Cuối cùng, vấn đề rất quan trọng và khó dự báo nhất đó là kỹ năng và kiến thức có được của lái tàu.

Mặc dầu có các khó khăn như vậy song người ta vẫn đã có được các phương pháp cho phép đạt được điều ghì đó theo yêu cầu thiết kế tàu, chúng sẽ được trình bày trong các mục sau và trong chương 6.

5.4 CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ

Cho dù tồn tại các khó khăn thực tế trong việc mô tả toán học chính xác các quá trình vật lí liên quan đến việc xác định hành trình của tàu, đã có ba phương pháp được phát triển nhằm hỗ trợ cho công việc thiết kế lạch.



Hình 5.1 **Các tham số thiết kế đối với tàu chở dầu 250 000 DWT**

Kỹ thuật cổ nhất và được sử dụng rộng rãi nhất để dự báo sự hoàn thiện của lạch dựa trên cơ sở dự báo theo kinh nghiệm đối với các tàu tương tự nhau trên các lạch cùng loại. Hình 5.1 cho ta thấy độ sâu cho phép bảo đảm và không cho phép bảo đảm cũng như tổ hợp bề rộng tương ứng đối với tàu chở dầu 250 DWT. Hình vẽ này được dưa trên cơ sở tính toán – xem chương 6. Kray (1973) đã đưa ra tổng quan về vấn đề này. Hình vẽ cho ta một số chỉ tiêu kích thước cho phép của lạch trên cơ sở kích thước của tàu thiết kế. Phương pháp này được sử dụng rất tốt trong giai đoạn kích thước tàu không tăng lên một cách nhanh chóng. Việc ngoại suy các kết quả từ hình 5.1 là mạo hiểm. Trước đây sau khi ngoại suy tiến hành cho các tàu mới lớn hơn, bộ số liệu thu được cần điều chỉnh, bổ sung trước khi thiết kế tàu lớn hơn. Sự gia tăng kích thước tàu trong các thập kỷ gần đây đã làm cho phương pháp này trở nên không hiệu quả, các kinh nghiệm thu được đối với các tàu lớn không còn khả năng ứng dụng cho thiết kế lạch cho các tàu lớn hơn. Các phương pháp mới đã được phát triển nhằm giải quyết vấn đề đặt ra đối với các tàu lớn. Tất nhiên các số liệu cũng đủ để có thể sử dụng trong thiết kế lạch cho các tàu nhỏ hơn theo kinh nghiệm thu được. Kỹ thuật sẽ trình bày sau đây chỉ cần thiết đối với các tàu nhỏ kèm theo một số điều kiện nhất định.

Phương pháp thứ hai tiếp cận vấn đề thiết kế đó là là mô hình vật lí. Những mô hình như vậy, nếu đủ lớn (thường với tỷ lệ 1:50), có thể thể hiện các trạng thái thuỷ lực một cách khá chính xác. Tuy nhiên người lái thì khó mà mô hình được với bất kỳ tỷ lệ nào. Cả kích thước thời gian lẫn không gian đều lệch trong mô hình vật lí. Tuy vậy mô hình vật lí đã và đang được sử dụng chủ yếu để xác định các đặc trưng thuỷ động lực của tàu trong lạch. Các đặc trưng này có thể được sử dụng như đầu vào cho các phương pháp phân tích khác.

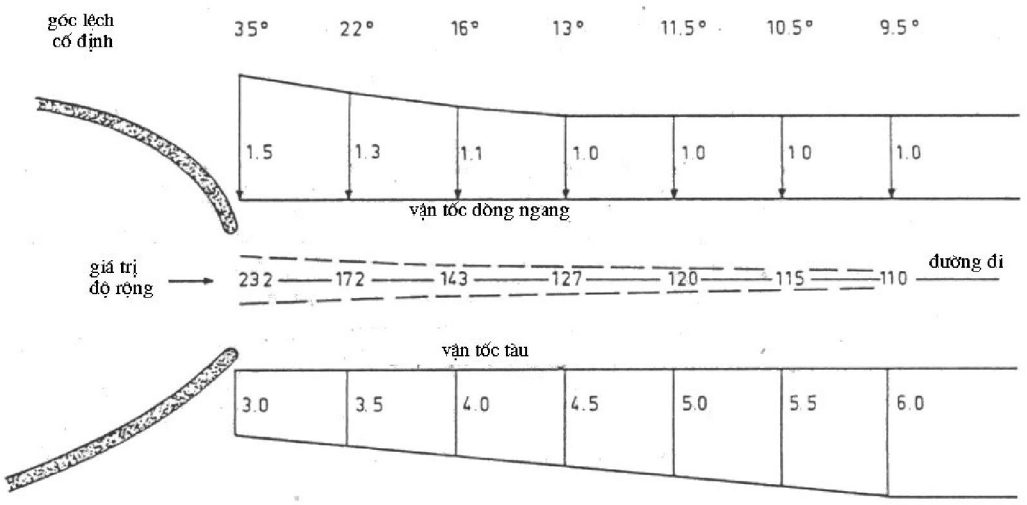
Phương pháp thứ ba hiện có nhằm đánh giá thiết kế lạch thông qua sử dụng các thiết bị mô phỏng tàu, cơ sở chính là các phản ứng của lái tàu lên máy tính theo cùng một cách như đối với môi trường tự nhiên. Các máy mô phỏng tàu sẽ được trình bày chi tiết hơn trong chương sau.

5.5 CÁC NHÂN TỐ BỔ SUNG

Các bàn luận của chúng ta tới đây chỉ giới hạn đối với chuyển động của tàu so với trọng tâm của nó. Thông thường tàu bị lệch khỏi đường đi một khoảng lớn hơn bề ngang thân tàu. Ví dụ, nếu tàu đi vào cảng với một tốc độ và dòng chảy ngang như trong hình vẽ 5.2, thì luồng ngang thực của tàu nằm trong giới hạn – phía ngoài đê ngăn sóng – với bề rộng từ 110 mét đến 232 mét trong khi tàu chỉ rộng 60 mét và dài 300 mét.

Đối với tàu lớn hơn lực tác động ngang tàu do dòng chảy ngang và gió có thể trở nên đáng kể. Bậc giá trị của các đại lượng dẫn ra sau đây được tính toán cho tàu 120 000 DWT.

Dòng chảy ngang vận tốc 1 hải lí / giờ có thể gây nên lực tác động ngang tàu khoảng 14 x 10^5 N. Gió thổi ngang tàu với vận tốc 20 m/s (cấp 8 Baufort) có thể gây nên một lực ngang tàu khoảng 1,2 x 10^5 N lên tàu đang chở hàng và 8 x 10^5 N lên tàu rỗng.



Hình 5.2. **Độ rộng luồng đối với tàu dài 300 mét và rộng 60 mét**

6 CÁC MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN TÀU

E.W. Bijker, L.E. van Loo, W.W. Massie

6.1 CÁC MÔ HÌNH VẬT LÝ

Phương pháp thông dụng nhất để nghiên cứu khả năng điều khiển của tàu trên biển và trong cảng là trên hiện trường với quy mô thực và các điều kiện tự nhiên. Do điều đó nhiều khi không thực tế đối với các điều kiện của tàu và cảng, nên mô hình vật lí thường hay được sử dụng hơn cả. Một số yêu cầu đối với các mô hình như thế và các yêu cầu nẩy sinh sẽ được trình bày sau đây.

Do quy mô thời gian bị lệch trong các mô hình vật lí, (thời gian không được tái tạo theo tỷ lệ 1:1), không thể đưa quy mô này vào mô tả khả năng các lái tàu thực được. Thêm vào đó, do kích thước mô hình lái tàu không thể lúc nào cũng đứng đúng vị trí tương ứng so với tàu thực. Cảm giác hình ảnh nhìn thấy cũng khác với những ghì họ nhìn thấy khi đứng trên bong tàu thực. Nếu lái tàu đứng phía ngoài mô hình tàu (ví dụ trên bờ) anh ta không nhận thấy các biến đổi nhỏ của hướng tàu điều rất dễ dàng nhận ra trong điều kiện tự nhiên. Thậm chí khi đầu lái tàu được bố trí tại điểm tương ứng trên mô hình tàu, ảnh hưởng của khoảng cách cũng tác động lên hình ảnh thu nhận được. Với tầm nhìn ống nhòm, thông thường khoảng cách có thể đánh giá chính xác được cỡ trên 200 mét. Như vậy sẽ có nhiều thông tin hơn về khoảng cách có thể thu được trong khoảng 200 mét đối với mô hình so với nguyên bản. Ưu điểm của tầm nhìn trên mô hình có thể bù đắp bằng cách lái tàu nhắm một mắt lại.

Bảng 6.1 **Các đặc trưng của "*Esso Atlantic*" trên mô hình và trong nguyên bản**

Tỷ lệ	DWT	Chiếm nước	Dài	Rộng	Sâu	Mớn nước	Công suất	Tốc độ
	Tấn	Tấn	m	m	m	m	Kw	Hải lí/h
1	508731	670000	406,6	71,0	31,2	25,0	33570	16
25	32,56	42,88	16,2	2,84	1,25	1,0	0,430	3,2
50	4,07	5,36	8,13	1,42	0,62	0,5	0,038	2,26

Bảng 6.1 minh hoạ cho ta các kích thước đặc trưng của một mô hình tàu chở dầu "*Esso Atlantic*". Có thể thấy rằng những con tàu này rất lớn, ngay đối với mô hình 1:50; chúng có độ chiếm nước cao hơn nhiều tàu khác. Mặt khác các tàu chở dầu này có công suất tương đối nhỏ, một thuyền yacht với kích thước bằng mô hình tàu cần có công suất 100 lần lớn hơn.

Các mô hình tàu với sự liên kết một phần qua máy tính sẽ được trình bày trong các mục tiếp theo.

6.2 TIẾP CẬN MÔ PHỎNG

Các thiết bị mô phỏng tàu là các máy mà trên đó lái tàu có thể thử lái trong các trạng thái khác nhau. Trong khi các mô hình vật lí, như đã trình bày trên đây, thoả mãn các điều kiện vừa nêu, chúng ta bây giờ chỉ giới hạn loại máy mà trên đó yếu tố con người được thể hiện trong quy mô thời gian tự nhiên. Các thiết bị mô phỏng máy bay sử dụng trong đào tạo các phi công dân dụng và quân sự là thí dụ tương tự tốt nhất. Tính chất cơ bản của mọi thiết bị mô phỏng dạng này là ở chỗ người lái nghĩ rằng mình đang lái con tàu trong điều kiện thực. Vậy làm thế nào có thể thực hiện được với điều kiện không phải là tàu thực? Chúng ta sẽ giải thích điều đó trong mục sau đây.

6.3 MÔ TẢ BỘ MÔ PHỎNG TÀU

Các mô tả sau đây cho thấy những đặc trưng cơ bản nhất của các thiết bị mô phỏng tàu hiện đại hiện có. Sẽ có những khác biệt giữa các thiết bị mô phỏng khác nhau, và sẽ không có thiết bị mô phỏng cụ thể nào được trình bày ở đây.

Phần cơ bản nhất của thiết bị mô phỏng tàu thường là buồng lái với kích thước thật cùng tất cả thiết bị cần thiết như bàn bản đồ, la bàn, rada, các thiết bị hàng hải khác, và có thể cả bình pha cà phê, tất cả các thiết bị đều hoạt động. Vào thời điểm này các thuỷ thủ có cảm giác như đang đứng trong buồng lái thực của con tàu đang neo và xung quanh bị sương mù bao phủ nên không thể thấy được gì bên ngoài.

Điều thứ hai có thể không thường xuyên (ít khi thấy), khi bộ phận của thiết bị mô phỏng là một máy tính lớn. Cả máy tính tổng hợp lẫn máy tính số đều đã được sử dụng trước đây; máy tính số được phát triển đạt khả năng tính với tốc độ nhanh và đã chiếm lĩnh vị trí của mình. Máy tính được kết nối với tất cả các thiết bị trên cầu tàu đảm bảo đầu vào từ các thiết bị kiểm tra cầu tàu và điều khiển các đầu ra của thiết bị. Ví dụ, các biện pháp kiểm tra do thuỷ thủ đưa ra được sử dụng như các đầu vào đối với tính toán biến đổi tốc độ và hướng tàu. Những biến đổi đó cũng được thông báo – theo thời gian thực- cho lái tàu thông qua các thiết bị trên cầu tàu. Các toạ độ của vị trí xác định cho hệ thống, la bàn, và chỉ số tốc độ phản ảnh các phản hồi của tàu đối với các lệnh phát ra của người lái. Làm thế nào mà các phản hồi đó xác định cho con tàu trên một lạch tàu nhất định ? Điều này hoàn toàn giống như tương quan hay tập hợp các mối tương quan cần thiết cho phân tích thống kê trực tiếp đã được giới thiệu trong chương 5. Nhìn chung, do các mối tương quan đó không thể dự báo bằng giải tích, chỉ có thể hy vọng vào thực nhiệm thông qua nguyên bản khác hay các nghiên cứu mô hình vật lí. Tuy nhiên hàng loạt các thử nghiệm chuẩn, như thử nghiện dich dắc, diễn ra khi chạy thử các tàu mới có thể sử dụng cung cấp các hệ số hay các tương quan cần thiết. Nhiều hiệu ứng riêng như ảnh hưởng của độ dốc bờ lạch gần có thể được xác định tốt nhất bằng cách tiến hành hàng loạt vận hành chuẩn với mô hình vật lí. Với sự thiết lập tất cả các tương quan đó, máy tính có thể xác định đường đi của tàu và thay đổi chỉ số các thiết bị đọc được tương ứng. Nguồn gốc thực nghiệm của các tương quan cho phép hoàn thiện các phân tích thống kê lí thuyết. Lái tàu bây giờ điều khiển tàu nhưng trong điều kiện sương mù dày đặc không có thể thấy gì từ cầu tàu.

Một số trường hợp chỉ sử dụng một trong hai thành phần mô tả trên đây. Tuy nhiên các thiết bị mô phỏng phức tạp đã đưa thêm hiệu ứng không gian bên ngoài. Các bổ sung tốt nhất đó là việc chiếu các hình ảnh bên ngoài như các phao, bờ, đèn tín hiệu, v.v.. lên màn ảnh xung quanh cầu tàu. Các thiết bị mô phỏng tốt nhất tạo ra các hình ảnh xung quanh bằng cách chiếu hình bóng tàu lên màn hình. Các nguồn sáng dầu nhỏ nhưng đặt đúng vị trí trên mô hình cũng như trên cầu tàu. Các đèn cũng chuyển động tương đối với mô hình (hiện tại các mô hình chuyển động tương đối so với ánh sáng) nhằm mục đích biến đổi hình ảnh chiếu lên màn. Những hình ảnh như vậy đã đưa người lái ra khỏi sương mù và tạo ra tầm nhìn tốt cho họ. Tính hiện thực được tạo ra phức tạp hơn bằng cách chiếu các hình ảnh tàu, thuyền – như được nhìn thấy từ cầu tàu- lên màn hình xung quanh. Về nguyên lí, việc chiếu hình ảnh tàu đủ khả năng cho phép mô phỏng điều kiện lưu thông của các tàu khác.

Tất nhiên máy tính kiểm tra mô hình chiếu đó. Đồng thời, máy tính có thể tính toán các đặc trưng thống kê của toàn bộ hành trình. Mức lệch chuẩn của đường đi thực tế của tàu so với đường mô tả cũng có thể được xác định.

6.4 SỬ DỤNG BỘ MÔ PHỎNG TÀU

Những bộ mô phỏng điều khiển tàu có rất nhiều công dụng. Phổ biến nhất đó là đào tạo các thuỷ thủ cảng mới giống như các phi công sử dụng thiết bị mô phỏng bay. Điều bất lợi do kinh phí cao của các thiết bị đã hạn chế việc sử dụng cho mục đích đó.

Thiết bị mô phỏng có thể sử dụng để đánh giá chuyển động của tàu khi đi vào các cảng. Vì lẽ đó các nhà thiết kế cảng có thể sử dụng các thiết bị mô phỏng một cách có hiệu quả. Một cách lựa chọn khác đó là khả năng mô phỏng các tập tính của một loại tàu mới đi vào trong cảng hiện có. Dữ liệu thu được từ các chuyến thử trên các thiết bị mô phỏng có thể cung cấp nhiều dữ liệu có giá trị cho việc đánh giá toàn cảnh cảng cũng như lạch vào cảng.

Thiết bị mô phỏng được sử dụng trong kỹ thuật biển khơi nhằm phát triển cách thức triển khai tối ưu các tàu kéo và quy trình triển khai lắp đặt các thiết bị trọng lực lớn và đưa chúng từ một vị trí này đến một vị trí khác.

Mặc dù các trạng thái không phổ biến nhưng các sự cố cơ học của máy tàu cũng cần được mô phỏng. Điều gì bắt buộc phải làm như thế? đó yêu cầu của chiến lược cần phát triển dựa trên cơ sở kinh nghiệm thu được.

Các dữ liệu do Oldenkamp (1977) đưa ra và được nhắc đến trong chương trước đã thu được thông qua thiết bị mô phỏng.

6.5 MỘT SỐ ĐIỀU CẦN LƯU Ý

Các thiết bị mô phỏng hoạt động tàu cho phép thu được nhiều dữ liệu bổ ích về tập tính của tàu trong các điều kiện nhất định. Điều này có thể trở nên vô giá đối với việc đánh giá các thiết kế cảng. Tuy nhiên các kết quả mô phỏng vẫn còn một số hạn chế.

Không phải tất cả đầu vào tiềm ẩn đều có thể được để ý tới trong các thiết bị mô phỏng. Ví dụ tác động của sóng, rất quan trọng đối với các tàu nhỏ, rất ít khi

được đưa vào trong mô phỏng. Phần lớn các thiết bị mô phỏng không cho phép lái tàu gọi các tàu kéo hỗ trợ. Cũng có thể nghi ngờ đến các ảnh hưởng của biến đổi độ dốc bờ lạch vào cảng đã được xác định tương đối tốt trong các mô hình vật lí lại được bao quát trong các thử nghiệm này.

Mặc dầu các kết quả đó không thể hiện được mức độ thực tuyệt đối, song các thiết bị mô phỏng vẫn cung cấp các thông tin giá trị cho nhà thiết kế.

Trong một số trường hợp, nhà thiết kế cố gắng chứng minh rằng các đặc trưng tàu có thể sử dụng đối với cảng nhất định có thể xem như một khả năng lựa chọn khi bắt tay vào thiết kế một lạch tàu rộng hơn hay một cửa vào cảng to hơn. Dữ liệu loại này có thể thu được qua trợ giúp tàu kéo được trình bày trong chương 7.

7 TĂNG CƯỜNG KHẢ NĂNG VẬN HÀNH TÀU

L.E. v. Loo

7.1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông thường nhà thiết kế cảng phải đứng trước sự lựa chọn hai thiết kế: Một lạch tàu khiêm tốn trong đó một số tàu sẽ có rủi ro cao liên quan tới vấn đề vận hành tàu, hay một lạch tàu rộng rãi trong đó tàu có thể đi lại an toàn. Cách lựa chọn thứ hai vẫn còn hấp dẫn cho đến khi vốn yêu cầu đầu tư của loại cảng và lạch tàu này được tính và các nhà lập kế hoạch bắt đầu phản đối.

Các phương pháp nhằm làm cho phương án thứ nhất trở nên hấp dẫn là mục đích của mục này. Việc kết hợp hai phương pháp đã được căn cứ vào kết quả nghiên cứu cho thấy: biến đổi độ dài lạch làm cho vận hành dễ hơn, ví dụ thông qua giảm dòng chảy ngang. Cách thứ hai, thường là giải pháp đắt đỏ hơn khi yêu cầu xây dựng các công trình chắn sóng nhằm chặn hay đổi hướng dòng chảy ngang và giảm tác động của nó. Tại một số nơi các màn chắn gió đặc biệt được dựng lên – chỉ ở trong cảng – nhằm giảm các tác động của gió lên tàu vận hành chậm.

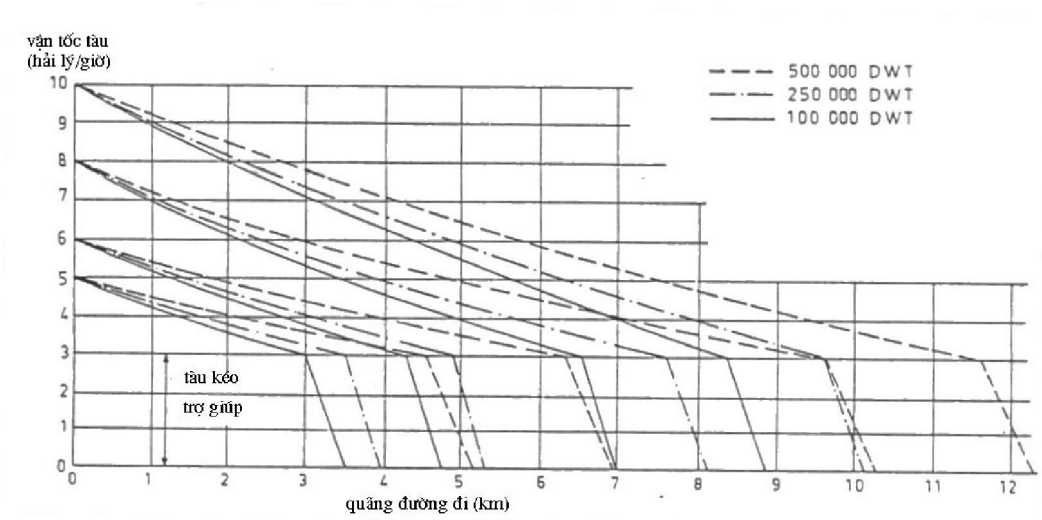
Vì sao tàu lại hay gặp phải các khó khăn vận hành ? Như đã bàn luận trong chương 5, dòng chảy ngang làm cho tàu vượt quá giới hạn luồng có kích thước rộng hơn bình thường. Khi tốc độ tàu giảm, ảnh hưởng này càng trở nên rõ nét. Tốc độ tàu đi về phía trước chậm tại khu vực gần cảng làm cho các bánh lái khó điều khiển hơn. Sự suy giảm này trở nên tồi tệ khi máy tàu tắt nhằm cho tàu giảm tốc độ nhanh hơn. Do bánh lái phần lớn nằm sau máy đẩy nên dòng nước suy giảm làm mất hiệu hiệu quả bánh lái. Nếu như tàu cho máy đẩy theo chiều ngược lại với mục đích giảm tốc độ nhanh hơn, điều này sẽ làm mất khả năng điều khiển. Như vậy, khi tàu chở dầu lớn (200 000 DWT) phải dừng khẩn cấp từ tốc độ 15 hải lí/ giờ, khoảng cách để tàu dừng hẳn sẽ vào khoảng 2,5 hải lí và chắc chắn không thể giữ nguyên hướng. Chỉ có cách lựa chọn tốt nhất trong trường hợp không gian đủ rộng là cho tàu chạy với tốc độ cực đại về phía trước và quay tàu theo hình chữ U. Theo cách đó tàu có thể tránh được chướng ngại vật chỉ cách mũi khoảng 1 kilômét. Thông thường kiểu vận hành như trên ít khi thực hiện được trong lạch.

7.2 HỖ TRỢ TÀU KÉO

Một khả năng lựa chọn khác đối với các thuyền trưởng dẫn tàu đi theo đường thuỷ hạn chế đó là sự trợ giúp của các tàu kéo. Chỉ có các tàu con mới có khả năng sử dụng các tàu kéo như bộ hãm đặc hiệu. Đối với các tàu lớn (định nghĩa các tàu lớn phụ thuộc vào khả năng hiện có của các tàu kéo nhưng nhìn chung với 50 000

DWT đều được xem là tàu lớn) các tàu kéo chủ yếu được sử dụng có hiệu quả chống lại các ảnh hưởng dòng ngang tàu và dẫn các tàu theo hướng đúng. Với nhiệm vụ điều khiển hơn là kéo, trong trường hợp cần thiết, các tàu cần quay ngược máy nhằm giảm gia tốc nhanh hơn. Hình 7.1 cho ta khoảng cách dừng đối với ba loại tàu chở dầu từ quan trắc hiện trường tại Rotterdam.Vậy tàu kéo cần phải có công suất bao nhiêu? Tại Europort, các tàu chở dầu lớn thường được trang bị lực kéo tổng là $7x10^5$ N thường phân bố thành 4 tàu kéo. Điều này có nghĩa rằng lực kéo yêu cầu rất lớn - đối với điều kiện cảng – nhiều khi công suất lớn hơn 2000 kW. Bảng 7.1 cho ta dữ liệu so sánh đối với các loại tàu kéo khác nhau. Dữ liệu đối với các tàu chở dầu lớn cho thấy chúng có công suất tương đối nhỏ!

Cho rằng hướng tàu theo đường thẳng, độ sâu bằng 1,2 lần độ mớm nước, không có lực tác động ngược chiều ngoại trừ khi có hỗ trợ của tàu kéo



Hình 7.1 **Khoảng cách dừng đối với các tàu chở dầu tại khu vực nước nông**

Những vấn đề vận hành nào cần đặt ra đối với tàu kéo? Vấn đề khó giải nhất đối với các tàu kéo đó là đường kéo cần nằm giữa tàu kéo và tàu được kéo. Tốc độ tối đa mà thuyền trưởng tàu kéo có khả năng làm được việc đó là 6 hải lí /giờ (3 m/s) trong điều kiện lí tưởng. Tốc độ cần giảm đến khoảng 3 hải lí/giờ trước khi tàu kéo có thể trợ giúp tàu một cách hiệu quả. Do khả năng vận hành tốt nên các tàu kéo với động cơ Voith-Schneider là đảm được khi tốc độ cao. Như vậy các loại tàu kéo đó có thể chạy với tốc độ cực đại trên mọi hướng; ưu thế này cũng kéo theo tính không hiệu quả sử dụng công suất được dẫn ra trong bảng 7.1.

Cách chuyển đường kéo sang phía tàu kéo đòi hỏi một thời gian mà trong đó có sự chuyển động dọc theo lạch. Sáng chế mới đây của Nhật bản đã cho phép tàu kéo tiếp cận trực tiếp vào mạn tàu thông qua hệ thống kết nối. Điều này còn duy trì cho đến khi vẫn chứng minh được tính hiệu quả và sự độc lập tương đối của nó.

Bảng 7.1 **Dữ liệu hoàn thiện của tàu và tàu kéo**

Loại	Công suất lực kéo	Công suất chiếm dữ
	(N/kw)	(kw/tấn)
Kéo với máy đẩy thường	170	
Kéo với máy đẩy trong tunnel	210	~4
Kéo với máy đẩy Voith-Schneider	135	
Tàu kéo biển lớn	170	~5
Smit-Rotterdam	-	3,76
Tàu chở dầu lớn	-	0,075
Chiến hạm	-	11,5

Vấn đề giảm khoảng cách dừng cần thiết trong cảng có thể mở rộng trợ giúp tàu kéo từ phía ngoài khơi cho phép việc giảm gia tốc được bắt đầu sớm hơn. Điều không may là ở chỗ các tác động của sóng có thể không cho phép triển khai các tàu kéo cảng trên biển. Không chỉ việc chuyển dich đường kéo trở nên nguy hiểm và mất thời gian, chuyển động của tàu kéo trên sóng dẫn đến các chấn động không cần thiết lên cáp kéo và các bộ phận của nó. Knue và Niewenhuyse (1974) đã xem xét vấn đề này một cách tương đối chi tiết.

Tất nhiên các tàu kéo được đóng với mục đích thu về lợi nhuận. Khi thời gian đi lại của tàu trở nên quan trọng và các nhà vận hành cảng thường ít để ý đến thì việc lựa chọn trợ giúp tàu kéo lại trở nên kinh tế hơn.

7.3 THIẾT BỊ HÍCH TÀU

Các tàu nhanh chở các hàng hoá đắt tiền cần gọi tàu kéo tại nhiều cảng có thể dẫn đến việc chậm trễ và không kinh tế cho toàn hành trình. Các tàu container là một ví dụ như thế.

Những tàu này thường có thiết bị hích tàu gắn phổ sung vào máy đẩy kép, cả hai sẽ cho các đặc trưng vận hành tốt hơn so sánh với các tàu đơn. Thiết bị hích tàu là một máy đẩy gắn vào trục đặt vuông góc tàu trên ống nối qua phần đáy tàu về phía trước. Các thiết bị này tạo ra lực đẩy ngang trực tiếp giúp vận hành tàu tốt hơn. Tất nhiên điều này yêu cầu đầu tư bổ sung cho tàu ; chúng chỉ trở nên kinh tế đối với các tàu dạng chuyên chở container.

Trong chương sau chúng ta sẽ xem xét lại toàn bộ vấn đề thiết kế tối ưu lạch tàu trên cơ sở các phần đã được trình bày trong chương này và các chương trước đây.

8 TỐI ƯU HOÁ TỔNG THỂ LẠCH TÀU

W.W. Massie

8.1 MỞ ĐẦU

Bốn chương trước đây đã trình bày các vấn đề thiết kế lạch dẫn tàu vào cảng với chú trọng đến độ sâu trong chương 4 và bề rộng trong 3 chương còn lại. Thực tế cho thấy độ sâu và bề rộng của lạch rất đáng được quan tâm, mục tiêu của chương này nhằm rút ra các tương quan đó và đi sâu phát triển nhằm tối ưu hoá tổng thể.

8.2 ĐỊNH NGHĨA TỐI ƯU HOÁ TỔNG THỂ

Nhìn chung, đối với xã hội cạnh tranh, người ta luôn tìm kiếm những nguồn cung ứng rẻ đặc biệt đối với hàng hoá và dịch vụ trên thị trường. Do đó các nhà đầu tư chú trọng điều này hơn so với vốn ban đầu đặc biệt khi họ là người đầu tư chủ yếu. Như vậy việc thiết kế lạch tối ưu sẽ trở nên rẻ hơn trong một quảng thời gian lâu dài và hấp dẫn hơn so với thiết kế có giá đầu tư ban đầu thấp nhất. Như chúng ta đã chỉ ra rằng thiết kế tối ưu sẽ yêu cầu tính toán, trên cơ sở tổng hợp lệ như giá trị đầu tư, chi phí xây dựng, duy tu, và bảo hiểm đối với các rủi ro chạy tàu. Các nội dung đó sẽ được phân tích riêng dưới đây với việc chú trọng đến các mối tương quan giữa những nhân tố dẫn ra trong các chương từ 4 đến 7.

8.3 CHI PHÍ XÂY DỰNG

Chi phí xây dựng đối với từng lạch tàu cụ thể có thể xác định dễ dàng qua các điều kiện hiện trường như vật liệu đáy, các điều kiện sóng và triều, và phương pháp cũng như vị trí đổ các vật liệu nạo vét. Trong khi các nhân tố đó rất quan trọng đối với dự án, chúng lại rất ít biến đổi như trong các thiết kế chọn lựa đối với cùng dự án và tại cùng một khu vực. Khi thiết kế đập ngăn sóng, điều kiện sóng bình thường sẽ dẫn đến hạ giá nạo vét, nhưng chỉ việc giảm riêng rẽ này không đủ để chứng minh giá đầu tư của đập. Các khoản giảm thiểu khác do nạo vét duy tu hay kích thước lạch nhỏ hơn có thể chứng minh cho vốn đầu tư.

Thậm chí không cần đến đập ngăn sóng, cả độ sâu lẫn bề rộng của lạch đều gây ảnh hưởng lên chi phí ban đầu cũng như duy tu. Có thể thấy rằng lạch tàu tương đối rộng và nông có thể được xây dựng cùng với giá đầu tư cho một lạch sâu hơn nhưng hẹp hơn.

8.4 TỔN THẤT

Mô hình bảo hiểm đối với tổn thất được mô tả một cách tường tận trong chương 4. Tại đây, vấn đề quan trọng ở chỗ thể hiện các chi phí đó gắn liền với bề rộng và độ sâu của lạch bằng một cách đơn giản hơn.

Lạch tàu nông và rộng tương đối như đã nêu ra trong mục trước sẽ yêu cầu phần phụ thêm của bề rộng nhằm dung hoà khả năng điều khiển kém của tàu do có độ thoáng đáy không lớn. Sự gia tăng độ sâu lạch sẽ tăng khả năng điều khiển của tàu có vẻ giống như khả năng giảm bề rộng với tổn thất không đổi.

8.5 CHI PHÍ DUY TU

Bên cạnh chi phí xây dựng và tổn thất – hai trong số các bộ phận đã được nhắc đến trong chơng 13 tập I, đối với lạch tàu cần đưa thêm chi phí nạo vét thường xuyên nhằm duy tu ổn định kích thước lạch. Do chúng ta có thể cảm nhận được rằng lượng nạo vét duy tu sẽ phụ thuộc vào kích thước lạch, việc dự báo nạo vét duy tu sẽ cần thiết nhằm đánh giá các khả năng lựa chọn lạch cụ thể.

Dự báo hiện tượng bồi tụ là một vấn đề hết sức phức tạp. Nếu chúng ta xem xét mặt cắt trầm tích qua lạch, sự đột biến đối với các điều kiện thuỷ lực – sóng, dòng chảy, độ sâu, và cả độ muối gần cửa sông – sẽ gây nên một loạt các biến đổi địa mạo theo thời gian. Sẽ xẩy ra hiện tượng bồi lắng cùng lúc với xói lở cục bộ. Điều dễ hiểu là các công thức cổ điển tính toán vận chuyển trầm tích sử dụng trong kỹ thuật sông ngòi không còn đảm bảo cho việc dự báo biến đổi đáy tại các lạch vào cảng biển. Phần còn lại của cuốn sách này nhằm dẫn đến dự báo các biến đổi địa mạo bờ. Chương 25 sẽ đi sâu hơn lí giải vấn đề trầm tích lạch tàu.

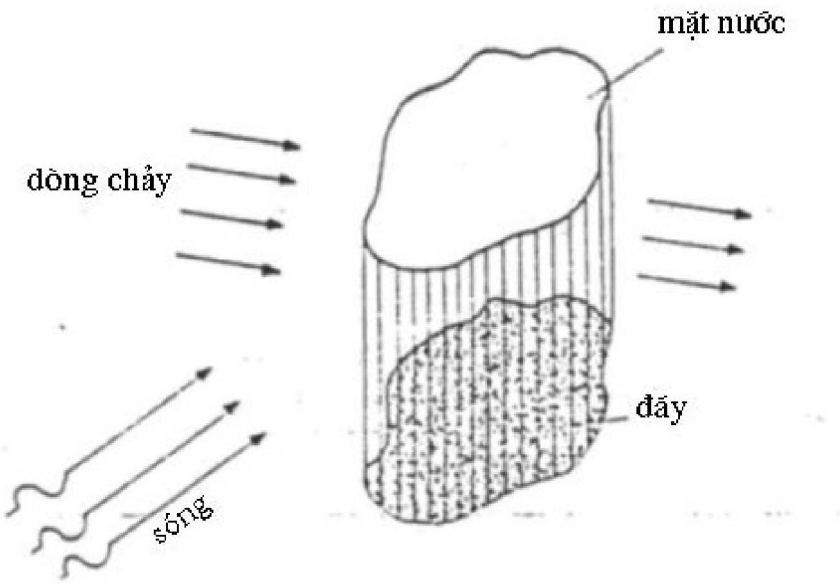
Có thể sai lầm khi cho rằng nạo vét và bồi tụ các cửa vào cảng là các nhân tố địa mạo duy nhất ảnh hưởng đến thiết kế cảng; việc xây dựng một cảng mới tại địa điểm đá gốc sẽ không cần đến sự biến đổi địa mạo dọc theo toàn đoạn bờ. Trong khi không phải thường xuyên chú ý đến các biến đổi đó và chi phí tương ứng trong việc đánh giá thiết kế lạch vào cảng, thì chúng lại cần được đưa vào trong đánh giá dự án tổng thể của cảng.

9 VẬN CHUYỂN CÁT VEN BỜ

J. v. d. Graaff

9.1 MỞ ĐẦU

Vận chuyển trầm tích là vấn đề quan trọng nhất trong kỹ thuật bờ. Trong nhiều vấn đề kỹ thuật bờ chất lượng của các đề án đưa ra phụ thuộc vào các đánh giá định lượng của bồi tụ và xói lở



.

Hình 9.1 **Sơ đồ nguyên lí liên tục**

Sóng và dòng chảy dọc bờ cùng với các tính chất của trầm tích đáy, sẽ xác định tốc độ vận chuyển vật liệu trong đới bờ. Tốc độ vận chuyển này, cùng với sự biến động của nó và các biến đổi tổng hợp của bờ là hết sức quan trọng để dự báo biến đổi tự nhiên của đường bờ và ảnh hưởng của các công trình lên đới bờ. Thậm chí đối với khu vực xa bờ, các vấn đề vận chuyển trầm tích đáy cũng có thể còn quan trọng; việc xói lấp gần móng các công trình ngoài khơi hoặc các ống dẫn dầu có thể đóng vai trò quan trọng đối với sự ổn định của chúng.

Quá trình vận chuyển trầm tích có thể chia thành 3 giai đoạn:

a. Quá trình khuấy và đưa các vật liệu đáy vào thể lơ lửng trong lớp nước sát đáy hoặc tách hẳn các vật liệu đó khỏi đáy.

b. Dịch chuyển ngang các vật liệu đó trong nước.

c. Sự lắng đọng trở lại của các vật liệu đó xuống đáy.

Thông thường chúng ta quan tâm tới ảnh hưởng của vận chuyển trầm tích lên một diện tích đáy nào đó. Điều này có thể xét đến việc sử dụng nguyên lí liên tục cho một thể tích giới hạn bởi mặt đáy đó và mặt biển bao bởi tiết diện thẳng đứng như được chỉ ra trên hình 9.1. Như vậy hiện tượng xói hoặc lắng đọng trên đáy sẽ được xác định nếu như dòng trầm tích tổng cộng vận chuyển qua các mặt thẳng đứng đã biết. Kết hợp điều này với việc phân chia quá trình như trên, chúng ta sẽ thấy quá trình b là hết sức quan trọng; về nguyên lí chúng ta có thể xem các bước khác một cách tách biệt. Điều quan tâm chính của chúng ta là sự dịch chuyển ngang của các phần tử vật liệu đi qua một tiết diện trong một khoảng thời gian nhất định.

Đối với nhiều bài toán, sự phân bố của trầm tích chuyển dịch ngang theo độ sâu không có nghĩa quyết định đối với biến đổi đáy, do đó nếu biết được các tính chất của trầm tích, chẳng hạn độ xốp, lượng trầm tích vận chuyển có thể được tính bằng thể tích của vật liệu trên một đơn vị bề ngang và trong mỗi đơn vị thời gian – $[L^3/LT]$.

Thật tiện lợi, nếu như chúng ta có thể thu được một biểu thức lí thuyết đối với vận chuyển cát chỉ phụ thuộc vào các tham số vật lí như sóng, dòng chảy và vật liệu. Tuy nhiên, cho đến nay chúng ta vẫn chưa thể có biểu thức nào thật tốt cả; dẫu sao người ta vẫn cố gắng đưa ra các mô hình nguyên lí, thông qua đó có thể dẫn ra các công thức tính vận chuyển trầm tích.

9.2 CƠ SỞ CÁC CÔNG THỨC

Hình 9.2 minh hoạ vấn đề cần giải quyết. Chúng ta sẽ xác định tốc độ (thể tích) vận chuyển trầm tích đi qua một bề rộng đơn vị của mặt phẳng y-z kể từ đáy, $z = -h$, đến mặt biển, $z = \eta$. Về nguyên tắc không nhất thiết phải chọn hướng dòng chảy hay sóng trùng với hướng các trục toạ độ.

Lượng trầm tích vận chuyển qua mặt phẳng tô đậm trên hình 9.2 có thể được thể hiện qua công thức:

$$S_x = \frac{1}{t'} \int_{-h}^{\eta} \left[\int_0^{t'} c(z,t).u_p(z,t)dt \right] dz \qquad (9.01)$$

trong đó:

$c(z,t)$ là nộng độ vật liệu lơ lửng tức thời được thể hiện qua đơn vị thể tích vật liệu đáy trên đơn vị thể tích nước dịch chuyển. Các tác động của sóng làm cho c biến đổi nhanh, trong khi độ cao đáy lại biến đổi chậm hơn.

h là độ sâu cục bộ của nước,

S_x là tốc độ trầm tích vận chuyển thể hiện qua đơn vị thể tích trên đơn vị rộng và thời gian.

t là thời gian,

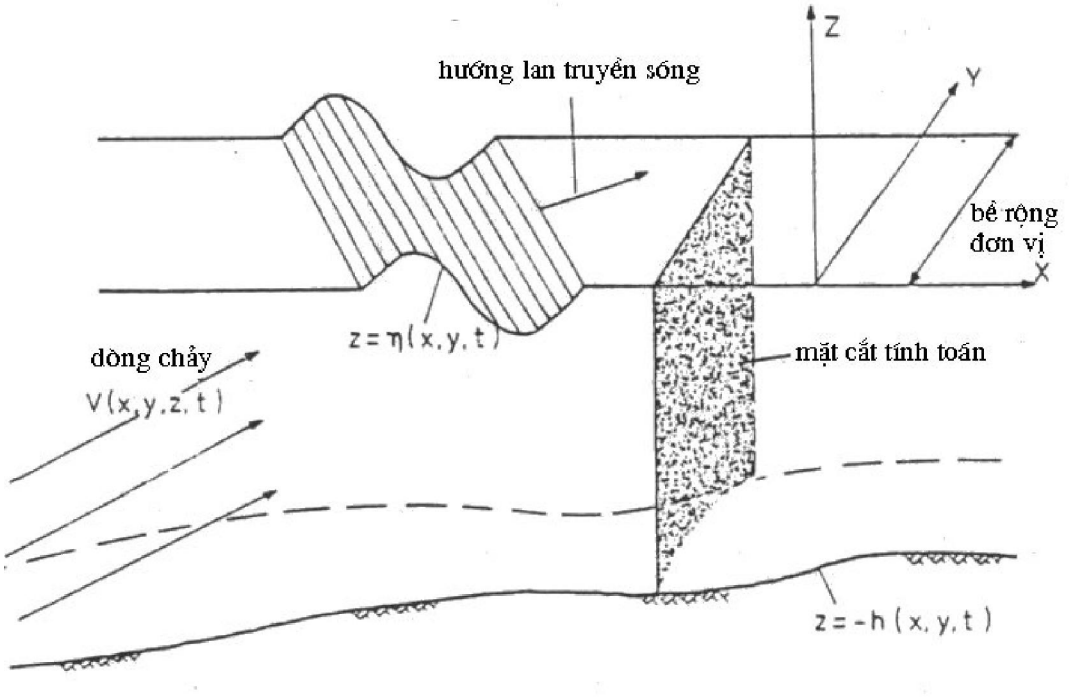
t' là khoảng thời gian tiến hành lấy tích phân,

$u_p(z,t)$ là giá trị tức thời của thành phần vận tốc x của các phần tử vật chất đi qua mặt phẳng nêu trên; đó là kết quả tổng hợp của cả sóng lẫn dòng chảy,

$\eta(x,y,t)$ là độ cao mực nước tức thời.

Theo công thức trên mọi tham số trên một đơn vị bề rộng đã được lấy trung bình. Khoảng thời gian, t', sử dụng trong công thức 9.01 cần phải đủ lớn để loại trừ các tác động bất thường của sóng, nhìn chung cần lấy lớn hơn một chu kỳ sóng.

Nguyên lí nêu trên rất đơn giản, tuy nhiên nhiều khó khăn nẩy sinh khi chúng ta tìm cách đánh giá các hàm $c(z,t)$ và $u_p(z,t)$ để đưa vào công thức 9.01. Do đó trong phần lớn nội dung còn lại của quyển sách này, sẽ tập trung làm rõ việc xác định một cách hợp lí nhất nhằm dự báo hai hàm này, thể hiện qua các biến có thể đo đạc được.

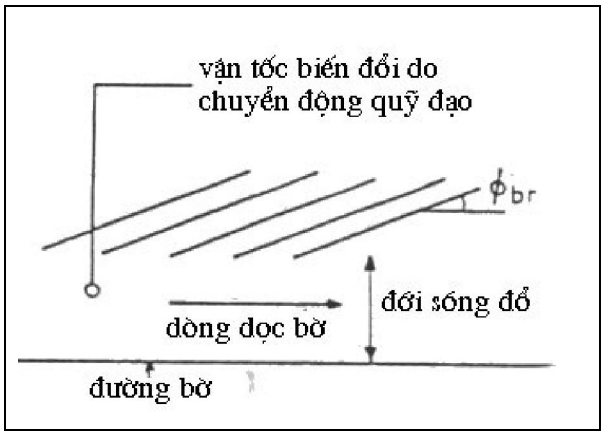


Hình 9.2 Sơ đồ tính dòng vận chuyển trầm tích

9.3 ĐƠN GIẢN HOÁ QUÁ TRÌNH

Phương trình 9.01 chứa hai hàm $c(z,t)$ và $u_p(z,t)$ trong dấu tích phân, vì vậy về nguyên lí cả hai đều là hàm của nhau. Tuy nhiên, trong thực tế có khả năng cho phép đơn giản hoá phương trình 9.01. Một trong điều kiện đơn giản hoá được, khi xét vận chuyển trầm tích dọc bờ trong đới sóng đổ.

Trong giới hạn đới sóng đổ, góc tới của sóng đổ, ϕ_{br}, thường rất nhỏ. Ngay cả đối với sóng ngoài khơi có góc tới, ϕ_0, lớn, thì hiện tượng khúc xạ ngoài đới sóng đổ sẽ làm giảm đáng kể góc tới này. Ví dụ, với sóng nước sâu có độ cao H_0 = 2 m, và góc ϕ_0 = 30° và chu kỳ 7 s, thì góc ϕ_{br} chỉ khoản 13,3°.



Hình 9.3 **Sơ đồ đới sóng đổ**

Những hệ quả đối với các thành phần vận tốc trong đới sóng đổ được thể hiện định tính trên hình 9.3. Nếu chỉ tập trung chú ý đến dòng vận chuyển dọc bờ thì có thể dựa trên cơ sở cho rằng sóng gây nên sự biến động không đáng kể của vận tốc dòng chảy dọc bờ và như vậy thành phần $u_p(z,t)$ trong 9.01 sẽ không phụ thuộc vào thời gian t. Với phép xấp xỉ nêu trên, công thức 9.01 bây giờ có thể viết qua dạng:

$$S_x = \int_{-h}^{\eta} u_p(z)\left[\frac{1}{t'}\int_0^{t'} c(z,t)dt\right]dz \tag{9.02}$$

Nồng độ $c(z,t)$ trong công thức này cũng là một vấn đề cần giải quyết. Chúng ta có rất ít các kiến thức về nồng độ này trong trường sóng biến đổi qua một chu kỳ; nguyên nhân chủ yếu ở đây là do sự thiếu hụt các phương tiện đo đạc nồng độ này. Tuy vậy chúng ta vẫn may mắn có được nồng độ trung bình, $\bar{c}(z)$, trong sóng. Đưa giá trị nồng độ trung bình vào công thức 9.02 ta thu được:

$$S_x = \int_{-h}^{\eta} u_p(z)\bar{c}(z)dz \tag{9.03}$$

cho ta tiện lợi tính toán hơn 9.01. Những nội dung trình bày tiếp theo chủ yếu căn cứ trên dạng công thức đơn giản hoá này.

Một số điểm cần lưu ý

Trong phần tiếp theo chúng ta sẽ xem xét tới ứng suất xạ, một hiện tượng do sóng tạo nên có ý nghĩa quan trọng trong thuỷ động lực học đới bờ. Sau một số trao đổi mang tính đại cương, chúng ta sẽ đi sâu tìm hiểu các thành phần của ứng suất xạ trong chương sau; đó là nguyên nhân tăng mực nước dọc theo bờ biển. Trong trường hợp đặc biệt, tác động thay đổi mực nước này có thể gây ảnh hưởng tới thành phần lực dọc bờ và tác động lên dòng dọc bờ trong đới sóng đổ – dòng chảy dọc bờ. Điều này cũng sẽ được đề cập đến trong chương tiếp theo.

Chương 12 sẽ đề cập đến một thành phần khác của ứng suất xạ mà trong nhiều trường hợp có ảnh hưởng đáng kể đến lực tác động và nguyên nhân của dòng chảy dọc bờ. Mặt khác, đối với một số thành phần ít quan trọng hơn, nhưng lại là cần thiết đối với cân bằng động lực của nước trong đới sóng đổ, chúng sẽ được xem xét sơ lược trong các chương 13 và14.

Trong chương 15 sẽ giới thiệu chi tiết về phương pháp đánh giá lực ma sát đáy do tác động tổng hợp của sóng và dòng chảy. Lực ma sát tổng cộng này sẽ có ý nghĩa quan trọng đặc biệt trong đới sóng đổ.

Chương 16 sẽ trình bày cách giải quyết vấn đề xác định dòng chảy dọc bờ trong đới sóng đổ thông qua việc sử dụng các kết quả thu được từ các chương trước.Vận tốc dòng chảy này là cơ bản đối với u_p cần được sử dụng trong công thức 9.01.

Hai chương 17 và 18 sẽ cung cấp các thông tin lịch sử và cơ sở để xác định vận chuyển cát và được trình bày trong chương 19. Tất nhiên vận tốc xác định được trong các chương trên sẽ xuất hiện trở lại trong chương này, nhằm trả lời câu hỏi đặt ra trước đây.

10 ỨNG SUẤT XẠ VÀ CÁC THÀNH PHẦN CỦA NÓ

E.W. Bijker

10.1 MỞ ĐẦU

Chương này sẽ trình bày nguyên lí của ứng suất xạ và các thành phần của nó, đặc biệt vai trò quan trọng của nó trong các quá trình địa mạo bờ. Các trình bày này sẽ không đi vào chi tiết; những trình bày chi tiết hơn người đọc có thể tìm thấy trong các tài liệu tham khảo của Longuet-Higgins và Stewart (1962, 1964), Dorrestein (1961) và Battjes (1977).

Những kết quả lí thuyết trình bày ở đây sẽ được ứng dụng cho các vấn đề cụ thể trong các chương sau.

10.2 CÁC ỨNG SUẤT XẠ CƠ BẢN

Ứng suất xạ là lực áp suất trội (vượt qúa) so với lực áp suất thuỷ tĩnh được gây nên do sự hiện diện của sóng. Trong thực tế, ứng suất xạ không phải là một dạng ứng suất thực (lực trên một đơn vị diện tích) cũng không phải là một lực thực (vẫn theo nhận thức trên đây) mà là lực trên một đơn vị độ dài. (Điều này rút ra từ tích phân của lực trên một đơn vị diện tích theo toàn bộ độ sâu nước). Tuy nhiên, các phép biến đổi áp dụng cho các ứng suất thực vẫn có thể được áp dụng cho ứng suất xạ; điều này sẽ được trình bày trong phần sau. Không giống như áp suất thuỷ tĩnh, ứng suất xạ không có tính đồng nhất; thay vào đó, cũng như các ứng suất, chúng luôn được gắn kết với một hướng hoặc một mặt phẳng nhất định. Trong phần bàn luận này, những mặt phẳng đó sẽ là các mặt thẳng đứng vuông góc với hai trục toạ độ ngang, X theo hướng lan truyền sóng và Y dọc theo đỉnh sóng. Từ đây cũng sẽ thu được các thành phần cơ bản của ứng suất xạ.

Tuân theo định luật thứ 2 của Niutơn về chuyển động, lực được xác định như là tốc độ thay đổi của ứng suất. Ứng suất sẽ tương đương với dòng (thông lượng) động lượng của sóng trên toàn độ sâu. Khi chúng ta tiến hành lấy tích phân đó - đây là một công việc chiếm khá nhiều thời gian- theo độ sâu trên mặt phẳng vuông góc với trục X, sẽ thu được kết quả:

$$S_{XX} = \left(\frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) E \qquad (10.01)$$

trong đó:

S_{XX} là thành phần cơ bản của ứng suất xạ theo hướng truyền sóng,

h là độ sâu nước,

k là số sóng = $2\pi/\lambda$,

λ là độ dài sóng, và

E là năng lượng sóng (đã được xác định trong tập trước):

$$E = (1/8)\ \rho g H^2 \tag{10.02}$$

trong đó:

g là gia tốc trọng trường,

H là độ cao sóng, và

ρ là mật độ nước.

Sử dụng công thức về vận tốc sóng trong tập trước, phương trình 10.01 có thể chuyển về dạng tương đương:

$$S_{XX} = \left(2n + \frac{1}{2}\right)E \tag{10.03}$$

Trong đó $n = (c_g/c)$ là tỷ số giữa vận tốc nhóm sóng và vận tốc sóng. Dạng này của công thức thường tiện lợi trong các ứng dụng thực tiễn sau này.

Việc tính toán thành phần cơ bản thứ hai của ứng suất ngang tác động lên bề mặt thẳng đứng vuông góc với đỉnh sóng có dạng sau:

$$S_{YY} = \frac{kh}{\sinh 2kh}E \tag{10.04}$$

Hay thể hiện qua n:

$$S_{YY} = (n - 1/2)E \tag{10.05}$$

Áp dụng các kết quả xấp xỉ thông thường đối với sóng biển sâu đã được trình bày trong tập I, chúng ta có:

$$S_{XX} = \left(\frac{1}{2}\right)E \tag{10.03a}$$

và

$$S_{YY} = 0 \tag{10.05a}$$

Trong vùng nước nông các ứng suất này có dạng:

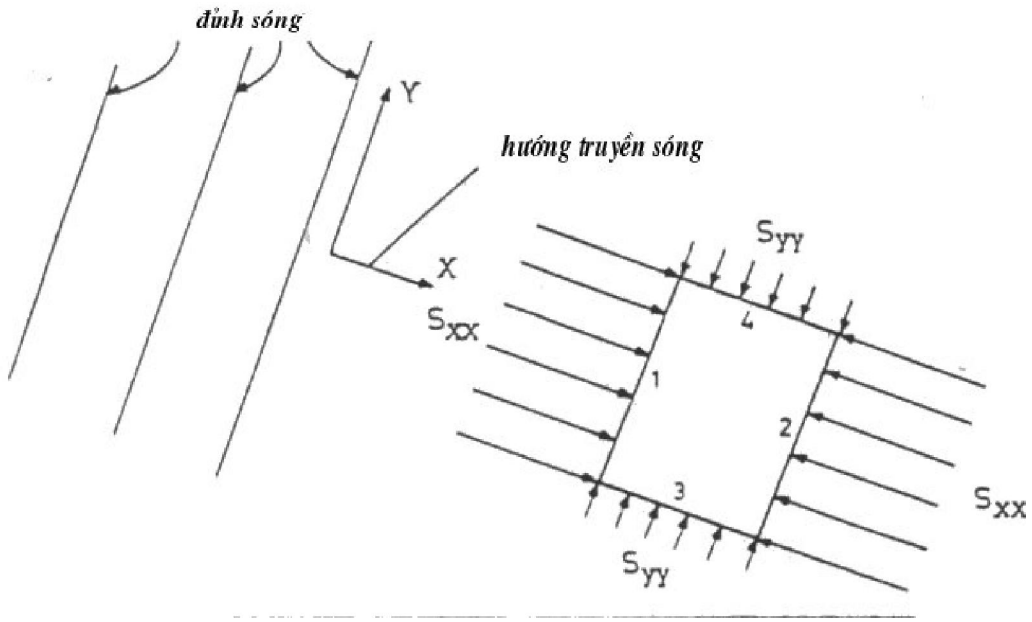
$$S_{XX} = \left(\frac{3}{2}\right)E \tag{10.03a}$$

và

$$S_{YY} = \left(\frac{1}{2}\right)E \tag{10.03a}$$

10.3 BIẾN ĐỔI CỦA ỨNG SUẤT XẠ

Vậy có những nhân tố nào gây ảnh hưởng đến ứng suất xạ? Thông thường, tham số quan trọng nhất đó là độ cao sóng, thông qua năng lượng sóng. Trên vùng nước sâu, đây chỉ là một nhân tố ảnh hưởng. Trên vùng nước chuyển tiếp, độ sâu nước, h, và độ dài sóng, λ (thông qua k) hay đơn giản hơn là n trở thành nhân tố quan trọng. Trong vùng nước nông, có thể cho rằng ứng suất xạ lại phụ thuộc vào năng lượng sóng. Đây không chỉ đơn thuần của sự chuyển đổi mà vì năng lượng sóng ở đây phụ thuộc rất nhiều vào độ sâu nước khi sóng đổ xuất hiện.



Hình 10.1 **Sơ đồ các thành phần cơ bản của ứng suất xạ trên mặt phẳng ngang.**

Nếu như bây giờ chúng ta xem xét một phần tử thể tích nước dạng hình khối được hình thành bởi 4 mặt phẳng thẳng đứng cơ bản được dẫn ra trên hình 10.1, thì nếu như các điều kiện sóng và độ sâu hoàn toàn như nhau đối với cả 4 mặt phẳng 1, 2, 3, 4, thì các thành phần của ứng suất xạ trên các mặt phẳng đối diện nhau thể hiện trên hình vẽ sẽ như nhau và cũng không tồn tại một lực tổng hợp. Chỉ trong trường hợp khi các điều kiện sóng biến đổi giữa các mặt phẳng 1 và 2 hay 3 và 4 thì ta sẽ thấy xuất hiện lực tổng hợp. Như vậy, chúng ta có thể cho rằng ứng suất xạ chỉ gây ảnh hưởng đến các qúa trình vật lí chỉ khi điều kiện khu vực không đồng nhất. Tại những khu vực như thế sẽ có sự xuất hiện của các hiện tượng khúc xạ, nhiễu xạ nước nông và sóng đổ.

Ví dụ sau đây sẽ minh hoạ các sự biến đổi đó lên ứng suất xạ cơ bản gây nên bởi hiện tượng nước nông và sóng đổ khi sóng tiếp cận bờ.

Với một độ dốc không đổi, m, ví dụ 1: 100, sóng có độ cao, H_o, bằng 5 m đi vào bờ với đỉnh sóng song song đường bờ (không tính đến khúc xạ và nhiễu xạ). Chu kì sóng tương đương 12 giây.

cho thấy tham số sóng đổ, p, rất nhỏ và hiện tương sóng đổ dồn sẽ xuất hiện. Với chỉ số sóng đổ, γ, là 0,5 ta có thể thu được các kết quả tính toán đối với các độ sâu khác nhau trong bảng 10.1.

Dễ dàng nhận thấy rằng, tại miền ngoài đới sóng đổ, ứng suất tăng lên khi sóng đi vào gần bờ, và đới sóng đổ là giới hạn sự tăng trưởng đó tiếp đến sự suy giảm cho đến đường bờ.

Độ dài sóng với điều kiện nước sâu sẽ là 225 mét. Tham số phân loại sóng đổ sẽ là:

$H_o/(\lambda_o) = 222$.

Bảng 10.1 **Các giá trị ứng suất pháp tuyến**

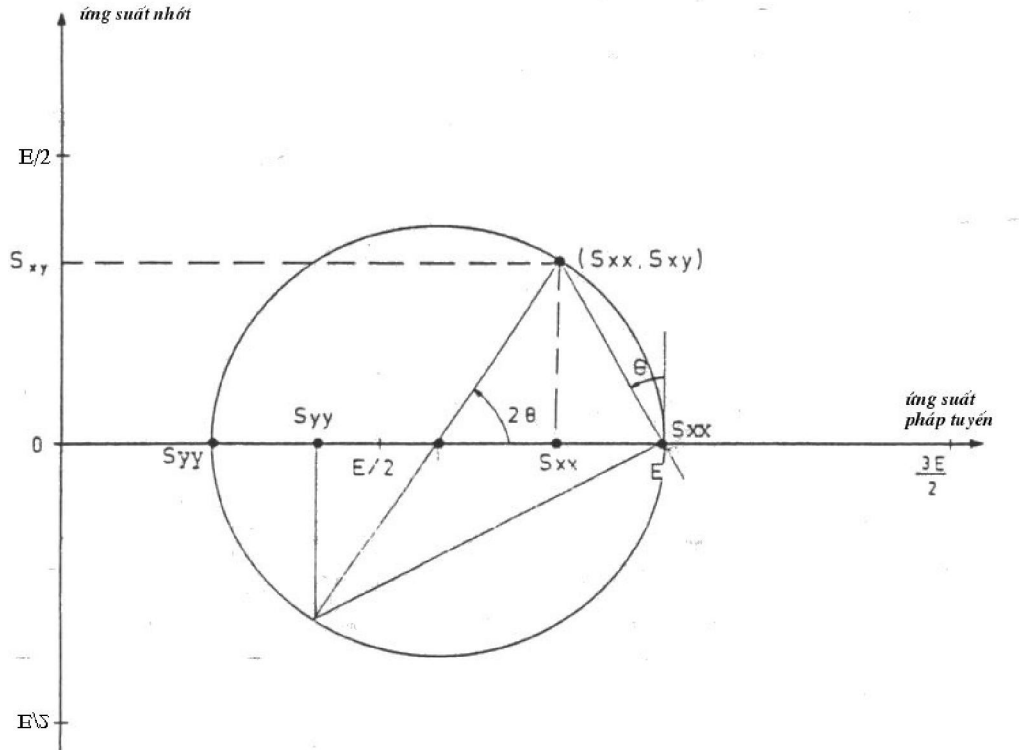
H_0 = 5.00 m, T= 12 s, γ= 0.5

h	h/λ_0	H/H_0	H	E	n	S_{XX}	S_{YY}	Khoảng cỏch từ bờ
m	-	-	m	N/m	-	N/m	N/m	m
150	0,6670	0,9983	4,99	31325	0,5019	15782	60	15000
125	0,5558	0,9945	4,97	31087	0,5064	15941	199	12500
100	0,4447	0,9839	4,92	30428	0,5203	16449	618	10000
80	0,3557	0,9656	4,83	29307	0,5476	17443	1395	8000
60	0,2663	0,9380	4,69	27655	0,6020	19469	2821	6000
40	0,1779	0,9142	4,57	26270	0,6947	23364	5115	4000
30	0,1334	0,9160	4,58	26373	0,7569	26737	6775	3000
25	0,1112	0,9250	4,62	26894	0,7917	29237	7845	2500
20	0,0889	0,9434	4,72	27794	0,8292	32046	9209	2000
15	0,0667	0,9778	4,89	30052	0,8688	37192	11033	1500
12,5	0,0556	1,005	5,02	31747	0,8993	41227	12677	1250
10	0,0445	--	5,00	31432	0,9105	41522	12903	1000
8	0,0356		4,00	20116	0,9278	27270	8606	800
6	0,0267		3,00	11315	0,9454	15738	5040	600
4	0,0178		2,00	5029	0,9633	7176	2330	400
3	0,0133		1,50	2829	0,9724	4087	1336	300
2,5	0,0111		1,25	1964	0,9770	2856	937	250
2	0,0089		1,00	1257	0,9815	1839	605	200
1,5	0,0067		0,75	707	0,9860	1041	344	150
1,0	0,0044		0,5	314	0,9908	466	154	100

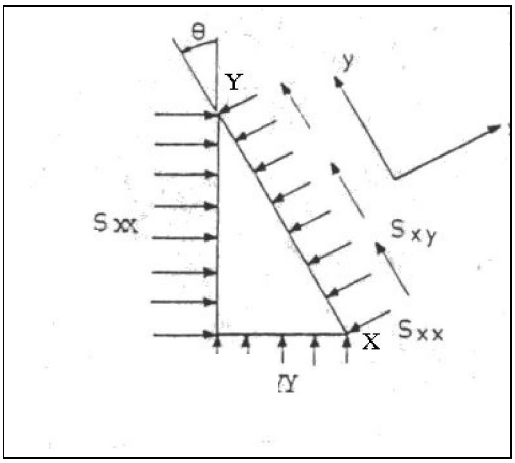
10.4 CÁC THÀNH PHẦN ỨNG SUẤT XẠ

Nếu chúng ta muốn biết các thành phần của ứng suất xạ trên mặt phẳng ngang, các phương pháp phân tích ứng suất phẳng cần được áp dụng.

Trên hình 10.2a cho ta sơ đồ cung tròn Mohr đối với ứng suất trên một điểm có độ sâu chuyển tiếp với các thành phần thể hiện trên hình 10.2b. Như vậy chúng ta sẽ sử dụng các quy tắc cung tròn Mohr, với điểm đầu tại S_{XX} và ứng suất trên mặt ngang với một góc θ có thể tìm được bằng cách kẻ đường thẳng qua điểm đầu với một góc theo hướng θ. Công thức toán học sẽ dễ dàng thu được từ sơ đồ cân bằng trên hình 10.2b hoặc trực tiếp từ sơ đồ theo tính chất hình học của đường tròn. Nói chung ta có các công thức sau:



Hình 10.2a **Sơ đồ phân tích ứng suất phẳng Mohr**

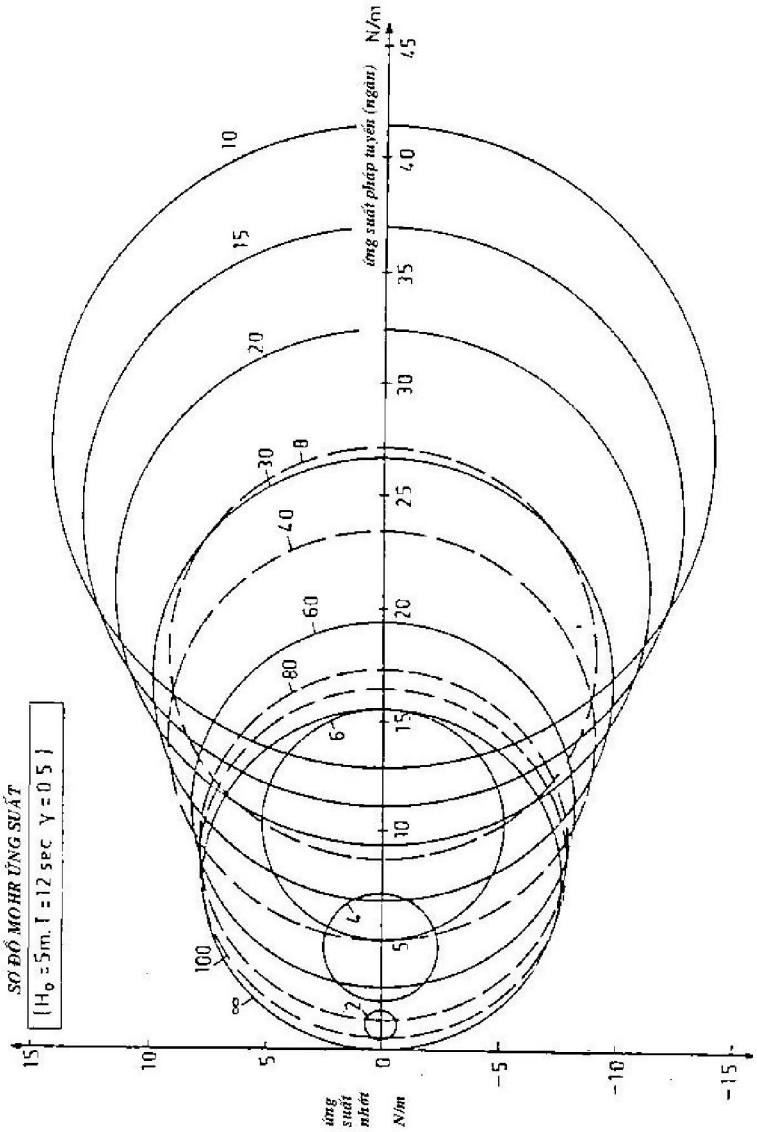


Hình 10.2b. **Các thành phần của ứng suất**

$$S_{xx} = \frac{S_{XX} + S_{YY}}{2} + \frac{S_{XX} - S_{YY}}{2}\cos 2\theta$$

$$S_{yy} = \frac{S_{XX} + S_{YY}}{2} - \frac{S_{XX} - S_{YY}}{2}\cos 2\theta$$

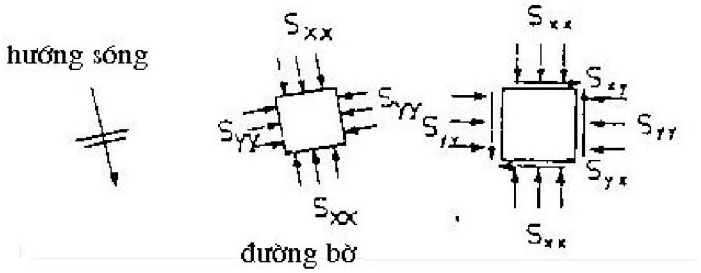
$$S_{xy} = \frac{S_{XX} - S_{YY}}{2}\sin 2\theta$$



Hình 10.3 **Sơ đồ Mohr tính toán ứng suất theo các độ sâu khác nhau**

(H_0=5 m, T = 12 s, γ=0,5)

Các đường tròn Mohr tương ứng các ứng suất xạ tính toán dẫn ra trong bảng 10.1 được thể hiện trên hình 10.3. Các số nằm gần các đường tròn cho ta độ sâu của nước tương ứng với đường tròn đó. Một số đường tròn thể hiện bằng đường ngắt nhằm dễ phân biệt trên hình vẽ.



Hình 10.4 **Sơ đồ bờ và các thành phần ứng suất**

10.5 CÁC ỨNG DỤNG TRONG CÁC BÀI TOÁN KỸ THUẬT BỜ

Do các quá trình đới bờ sẽ nghiên cứu trong các chương tới được chia thành các thành phần song song và vuông góc bờ, do vậy sẽ tiện lợi hơn nếu như chúng ta xem xét các thành phần của ứng suất theo các hướng đó. Hình 10.4 cho ta thấy sơ đồ mặt cắt ngang của vùng bờ với các thành phần ứng suất cơ bản tác động lên một phần tử hướng song song với dỉnh sóng, và các ứng suất pháp tuyến và tiếp tuyến (nhớt) lên một phần tử song song với đường bờ

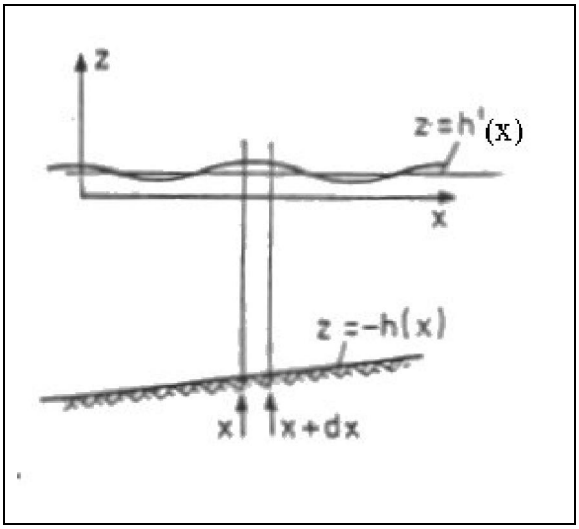
Trong các chương sau một số thành phần riêng của ứng suất xạ sẽ được xem xét chi tiết hơn nhằm giải thích một số hiện tượng riêng của đới bờ.

11 NƯỚC DÂNG DO SÓNG

E.W. Bijker, P.J. Visser

11.1 MÔ TẢ HIỆN TƯỢNG

Khi sóng đi vào bờ sẽ bị biến đổi dưới tác động của khúc xạ, nhiễu xạ, nước nông và đổ. Vì các thành phần ứng suất xạ phụ thuộc trực tiếp vào các tham số sóng, chúng ta có thể biểu thị sự biến đổi của ứng suất xạ và ảnh hưởng tổng cộng của các biến đổi đó. Một trong những ảnh hưởng đơn giản của biến đổi ứng suất xạ là sự biến đổi của mực nước trung bình dọc theo hướng vuông góc bờ .



Hình 11.1 **Phần tử nước ven bờ**

Hình 11.1 cho ta thấy đường phân bố với việc sóng đi vào từ phía trái và đỉnh sóng song song với bờ. (Xét trường hợp đặc biệt này cho phép ta thu được công thức toán học đơn giản và mô tả dễ dàng hiện tượng). Trong điều kiện đó thì thành phần S_{XX} có giá trị lớn nhất. Sự biến đổi của thành phần này sẽ gây nên một lực tổng lên phần tử nước thẳng đứng thể hiện trên hình 11.1. Ứng suất xạ tổng này được cân bằng bởi gradient áp suất xạ tạo bởi độ nghiêng mặt nước tương tự lực Coriolis gây nên sự cân bằng đã được nêu trong phần trước. Sự cân bằng giữa biến đổi ứng suất xạ và độ nghiêng mặt biển dẫn đến phương trình vi phân bậc nhất sau:

$$\frac{dS_{XX}}{dX} + \rho g(h+h')\frac{dh'}{dX} = 0 \qquad (10.01)$$

trong đó:

g là gia tốc trọng trường,

h là độ sâu nước tương ứng điều kiện yên tĩnh tại điểm X,

h' là biến đổi mực nước trung bình tại điểm X do sóng gây nên,

S_{XX} là thành phần chính của ứng suất ngang,

X là toạ độ ngang theo hướng lan truyền sóng, trong trường hợp này, vuông góc bờ,

ρ là mật độ nước.

11.2 CÁC LỜI GIẢI PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN

Vậy thành phần cơ bản của ứng suất xạ S_{XX} thay đổi thế nào khi sóng đi từ vùng sâu vào? Vì sự biến đổi này có ý nghĩa đáng kể nên chúng ta lấy đạo hàm S_{XX} theo X. Lấy đạo hàm trực tiếp phương trình 10.01 thường gặp khó khăn do cả 3 biến k, h và E đều có thể phụ thuộc vào toạ độ ngang X. Battjes (1977) đã sử dụng cách tiếp cận đại số và tìm được lời giải cho 11.01 như sau khi sóng chưa đổ.

$$h' = -\frac{kE}{\upsilon g \sinh 2kh} = -\frac{1}{8}\frac{kH^2}{\sin 2kh} \tag{10.02}$$

với k là số sóng.

Phương trình 10.02 sẽ đúng đối với khu vực ngoài đới sóng đổ. Mực nước tổng hợp sẽ biến đổi tại phía ngoài của đới sóng đổ thu được khi thay các xấp xỉ nước nông và điều kiện sóng đổ vào 10.02

$$h'_{br} = -\frac{1}{16}\frac{H^2{}_{br}}{h_{br}} \tag{11.03}$$

trong đó chỉ số dưới cho ta các điều kiện trên biên ngoài của đới sóng đổ. Độ cao sóng và độ sâu trung bình thường tỷ lệ với nhau trong đới sóng đổ

$$H_{br} = \gamma h_{br} \tag{11.04}$$

trong đó ảnh hưởng biến đổi h'_{br} không đáng kể vì $h'_{br} << h_{br}$. Với 11.04, công thức 11.03 bây giờ có dạng

$$h'_{br} = -\frac{1}{16}\gamma H_{br} \tag{10.05}$$

Như vậy, tại mép ngoài của đới sóng đổ có sự hạ thấp mực nước trung bình tỷ lệ với γ và H_{br}. Có thể nhận thấy điều này trên các hình 11.2 và 11.3. Đối với độ cao sóng nước sâu cho trước, H_0, giá trị thực tế của hạ mực nước sẽ phụ thuộc vào một số tham số như độ dốc bãi và chu kì sóng được thể hiện thông qua chỉ số sóng đổ, γ.

11.3 LỜI GIẢI CHO TRƯỜNG HỢP SÓNG TRƯỜN

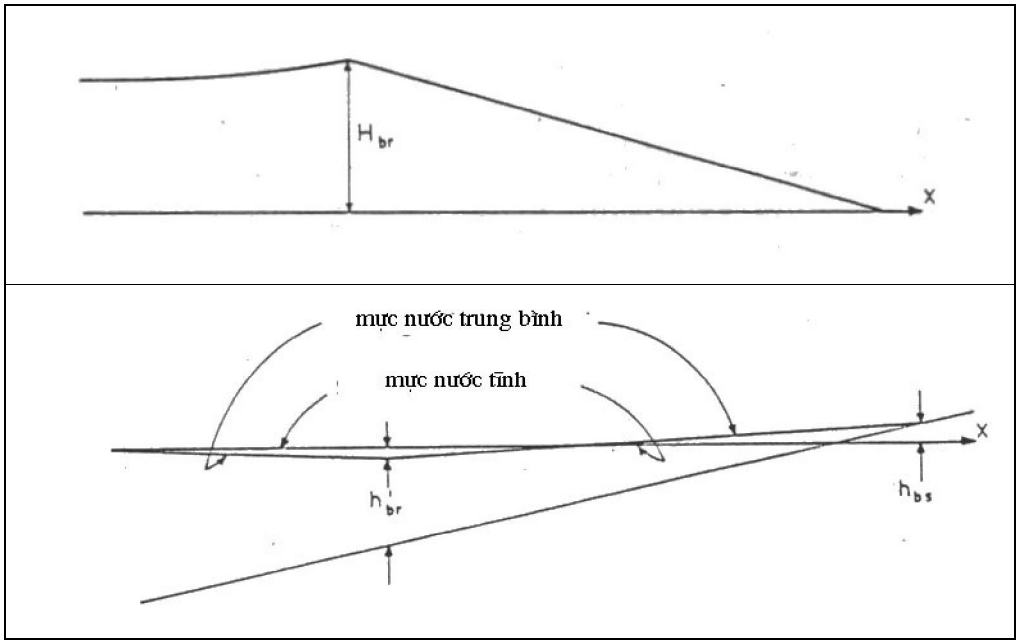
Khi sóng đổ dồn xuất hiện, mối tương quan trực tiếp giữa độ cao sóng và độ sâu nước vẫn giữ nguyên qua toàn đới sóng đổ. Tuy nhiên, sự giảm năng lượng sóng cần thiết phải được kể đến. Sử dụng xấp xỉ nước nông đối với S_{XX} (phương trình 10.03b) và định nghĩa E:

$$E = \frac{1}{8}\rho g \gamma^2 (h + h')^2 \tag{11.06}$$

Đạo hàm của thành phần chính ứng suất xạ sẽ có dạng

$$\frac{dS_{XX}}{dX} = \frac{3}{8}\rho g \gamma^2 (h+h')^2 \frac{d(h+h')}{dX} \tag{11.07}$$

trong đó $\frac{d(h+h')}{dX}$ là độ nghiêng của mặt biển so với bãi.



Hình 11.2. **Nước dâng do sóng trong trường hợp sóng trườn**

Thay 11.07 vào 11.01 và tích phân theo bề rộng của đới sóng đổ ta có

$$\Delta h' = \frac{3}{8}\gamma H_{br} \tag{11.08}$$

trong đó $\Delta h'$ tương ứng biến đổi của mực trung bình qua đới sóng đổ.

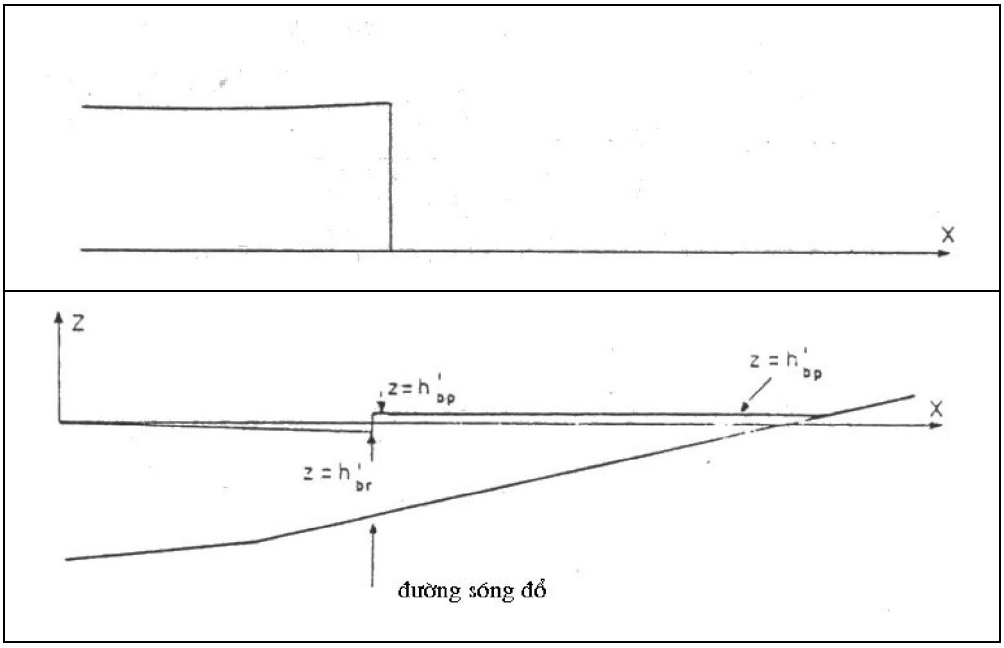
Do $\Delta h'$ có giá trị dương, nên mực biển tăng lên khi đi vào bờ. Nhắc lại rằng mực trung bình trên mép ngoài đới sóng đổ luôn nhỏ (phương trình 11.05), mực nước tuyệt đối trên đường bờ so với điều kiện lặng sóng sẽ là

$$h'_{bs} = \frac{5}{16}\gamma H_{br} \tag{11.09}$$

đối với sóng đổ dồn, trong đó h'_{br} là nước dâng sóng lên bãi do sóng đổ. Điều này được thể hiện trên hình 11.2.

11.4 LỜI GIẢI CHO TRƯỜNG HỢP SÓNG LAO

Swart (1974) đã nghiên cứu dạng của sóng đổ gần bờ. Ông ta đã phát hiện thấy rằng hiện tượng sóng lao thường ít gặp, nên đã đưa ra tham số p nhằm mô phỏng hiện tượng sóng đổ với một phần trườn và một phần lao.



Hình 11.3. **Nước dâng do sóng trong trường hợp sóng lao**

Nếu xem xét trường hợp hạn chế với sự tồn tại sóng lao, toàn bộ năng lượng của sóng tới bị biến đổi ngay khi sóng nhào trên mép ngoài đới sóng đổ. Cũng như trong trường hợp sóng trườn, sự biến đổi của thành phần chính ứng suất xạ dẫn đến biến đổi mực nước. Tuy nhiên, trong lần này, biến đổi mực nước xuất hiện đột ngột tại điểm nhào (trong trường hợp lí tưởng). Một sự cân bằng đơn giản sẽ là:

$$\Delta h' = \frac{3}{16}\gamma H_{br} \tag{11.10}$$

Ngược lại với việc hạ mực nước ngoài đới sóng đổ, ta nhận thấy sự gia tăng mực nước trên mép bãi.

$$h'_{bp} = \frac{1}{8}\gamma H_{br} \tag{11.11}$$

trong đó h'_{bp} là độ cao dâng nước do sóng lao. Ta nhận thấy rằng, giá trị này nhỏ hơn giá trị tương ứng trong trường hợp sóng trườn theo phương trình 11.08. Hình 11.3 chỉ ta thấy đường phân bố của mực nước trung bình.

Như đã trình bày trên đây, sóng lao thuần khiết thường không tồn tại trong tự nhiên. Thông thường sóng ít đổ theo kiểu lao hơn và vẫn tiếp tục lan truyền vào bờ sau điểm đổ. Trong trường hợp đó sẽ thu được giá trị dâng mực nước gần giống trường hợp sóng đổ dồn như đã trình bày trên hình 11.02.

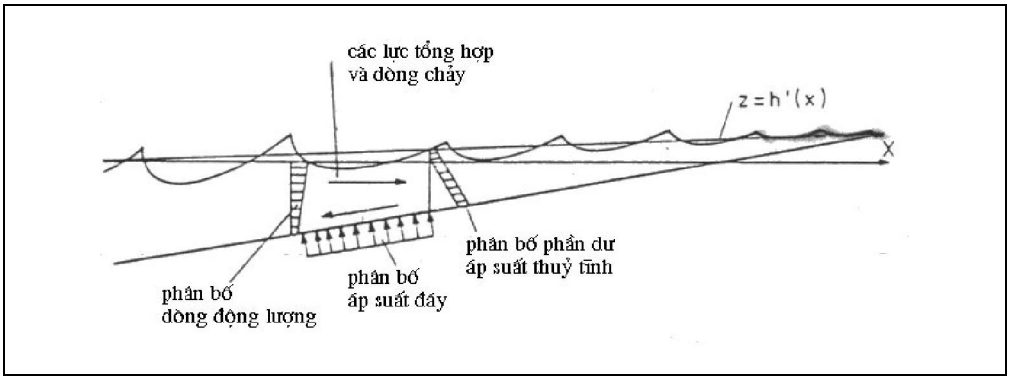
11.5 LƯU Ý

Nước dâng do sóng vừa được trình bày ở đây khác với nước dâng do gió đã được phân tích trong chương 3 phần I. Hai hiện tượng này hoàn toàn khác nhau và có thể xuất hiện vào các thời điểm khác nhau đồng thời hay không đồng thời. Như tên gọi, nước dâng do gió phụ thuộc vào sự hiện diện của trường gió (có hay không có sóng), trong khi sóng độc lập (ví dụ sóng lừng) lại gây nên nước dâng do

sóng. Hơn nữa nước dâng do gió xuất hiện trên toàn đà gió, trong khi nước dâng do sóng là hiện tượng thuần túy ven bờ.

Nếu như các điều kiện sóng biến đổi dọc theo bờ thì nước dâng do sóng cũng biến đổi theo. Biến đổi của điều kiện sóng dọc bờ có thể do khúc xạ, nhiễu xạ hay các dạng sóng đổ khác nhau gây nên bởi biến đổi của độ dốc bãi. Sự khác nhau của mực nước giữa các điểm trên bờ dẫn đến gradient áp suất dọc theo bờ. Gradient này có thể tạo ra ảnh hưởng đáng kể lên lực gây ra dòng chảy dọc bờ trên các địa điểm các điều kiện sóng biến đổi rất nhanh dọc bãi. Có thể tham khảo thêm tài liệu của Bakker (1973) về vấn đề này.

Cùng với nước dâng sóng, sóng đổ tạo ra hoàn lưu trong đới sóng đổ. Hiện tượng này được làm rõ thông qua xem xét phân bố của dòng động lượng tạo ra ứng suất xạ trên phân bố thẳng đứng. Do vận tốc quỹ đạo đạt cực đại trên mặt biển, chúng ta có thể cho rằng dòng động lượng ở đây lớn hơn ở đáy. Áp suất thuỷ tĩnh lại lại có phân bố theo phương thẳng đứng hơi khác. Cùng với phân bố áp suất, hoàn lưu tổng cộng cũng được dẫn ra trên sơ đồ hình 11.4.



Hình 11.4. **Dòng chảy thuận nghịch trong đới sóng đổ**

Nhiều đo đạc thực nghiệm về nước dâng do sóng không thống nhất với tính toán lí thuyết, do đó xuất hiện một số cách lí giải khác nhau. Battjes (1974) đã quy sự phân tán này cho ảnh hưởng của khí chứa trong nước do sóng đổ tạo nên. Hỗn hợp nước và không khí luôn có nồng độ thấp hơn nước thông thường.

Một ảnh hưởng khác có khả năng xuất hiện đó là lực ma sát xuất hiện giữa nước chuyển động và đáy. Tuy hoàn lưu vừa đề cập trên đây thường không mạnh, các lực ma sát tức thoèi thu được từ chuyển động quỹ đạo có thể có giá trị trung bình khác 0 và do đó tạo nên thành phần lực bổ sung theo phương ngang.

Cách tiếp cận giải vấn đề nước dâng do sóng khi sóng tới dưới một góc nhất định so với đường bờ, về nguyên lí, cũng tương tự như trường hợp không có ảnh hưởng của phản xạ. Thay cho đại lượng thành cơ bản của ứng suất ngang, S_{XX}, thành phần pháp tuyến trên mặt song song bờ, Sxx lại cần cho phương trình 10.01. Trong lời giải của phương trình này, cần chú í đến việc bản thân góc tới ϕ lại là hàm của khoảng cách đến bờ, điều này làm cho việc tính toán trở nên phức tạp hơn.

11.6 VÍ DỤ

Tính toán nước dâng do sóng theo các đặc trưng sóng trong bảng 10.01 và hình 10.3. Sóng đều có độ cao sóng nước sâu H_0 = 5 m, chu kì T = 12 giây và đi vào song song bờ. Chỉ số sóng đổ vào khoảng 0,5.

Tiến hành một số các tính toán nhằm xác định vị trí của đường sóng đổ, kết quả cho thấy:

$$h_{\mathrm{br}} = 10{,}4 \text{ m} \tag{11.12}$$

và

$$H_{\mathrm{br}} = 5{,}2 \text{ m} \tag{11.13}$$

Biết được các giá trị trên nước dâng do sóng trên mép ngoài của đới sóng đổ có thể tính theo công thức 11.05:

$$h'_{br} = -(\frac{1}{16})(0{,}5)(5{,}2) = -0{,}163 \tag{11.14}$$

Biến đổi mực biển tổng cộng qua đới sóng đổ theo công thức 11.08 đối với sóng đổ dồn:

$$\Delta h' = (\frac{3}{8})(0{,}5)(5{,}2) = 0{,}975 \tag{11.15}$$

Mực nước biển tuyệt đối trên đường bờ so với điều kiện không có sóng sẽ vào khoảng 81 cm.

Battjes (1974) đã đưa ra phương pháp tính nước dâng do sóng đối với sóng không đều.

Như vậy chúng ta kết thúc phần trao đổi về hiện tượng xuất hiện dọc theo trắc ngang bờ.

Trong chương tiếp theo chúng ta sẽ tập trung chú ý đến các lực tác động dọc bờ và dòng chảy dọc bờ cũng như vận chuyển cát do chúng gây nên.

12 GRADIENT ỨNG SUẤT RỐI NGANG

E.W. Bijker

12.1 MỞ ĐẦU

Trong mục này và 3 mục tiếp theo chúng ta sẽ xem xét các thành phần lực tác động song song với bờ và xác định cân bằng động lực của khối nước chuyển động dọc bờ – dòng chảy dọc bờ. Một trong 3 thành phần lực đó được gây nên do sự biến đổi của thành phần ứng suất nhớt của ứng suất xạ. Như đã phân tích trong chương 10, chúng ta sẽ quan tâm đến những thay đổi của ứng suất nhớt khi sóng đi vào bờ dưới một góc ϕ. Biểu thị qua dạng công thức ta có

$$\frac{dS_{xy}}{dx} = f(x, H_0, T, \phi_0) \tag{12.01}$$

trong đó: H_0 độ cao sóng nước sâu,

T là chu kì,

x là toạ độ ngang vuông góc bờ,

ϕ_0 là góc tới trên vùng nước sâu,

$f(\ )$ là kí hiệu hàm.

Thực chất của biến đổi S_{xy} sẽ được trình bày tiếp sau đây.

12.2 BIẾN ĐỔI NGOÀI ĐỚI SÓNG ĐỔ

Khi sóng đi vào bờ, các biến động bắt đầu tại vùng có độ sâu chuyển tiếp, chúng ta sẽ xem xét sự biến đổi của thành phần ứng suất từ ngoài đới sóng đổ. Bowen (1969) đã làm việc đó và tiến hành nhiều biến đổi khác nhau với các bước cơ bản sau đây nhằm mục đích giải quyết vấn đề này.

Sử dụng các kết quả từ chương 10 ta có:

$$S_{xy} = \frac{S_{XX} - S_{YY}}{2} \sin 2\phi \tag{12.02}$$

Sử dụng biến đổi lượng giác và thay S_{XX} và S_{YY} từ công thức 10.03 và 10.05 ta thu được:

$$S_{xy} = En \sin\phi \cos\phi \tag{12.03}$$

Từ lí thuyết khúc xạ:

$$Encb = const \tag{12.04}$$

hay cụ thể hơn

$$Encb = E_0 n_0 c_0 b_0 \tag{12.05}$$

trong đó c là vận tốc pha, b là khoảng cách giữa các tia sóng, và chỉ số cho ta điều kiện nước sâu xác định hàng số đó. Phương trình 12.04 và 12.05 sẽ đúng trong miền ngoài đới sóng đổ. Từ các kết quả của chương 9, trực tiếp từ các công thức 9.05 và 9.06:

$$cb = \frac{c_0 b_0}{\sin\phi_0 \cos\phi_0} \sin\phi\cos\phi \tag{12.06}$$

Thay 12.06 vào 12.05 và so sánh với 12.03 ta thu được:

$$S_{xy} = E_0 n_0 \sin\phi_0 \cos\phi_0 = const \tag{12.07}$$

và như vậy thành phần lực tác động tỷ lệ với gradient ứng suất sẽ bằng 0: $\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} = 0$, mặc dầu các đặc trưng sóng có thay đổi tại miền ngoài đới sóng đổ. Do các biểu thức 12.04 và 12.05 chỉ đúng cho miền ngoài đới sóng đổ, chúng ta cần xem xét sự biến đổi đối với đới sóng đổ trong phần tiếp theo.

12.3 BIẾN ĐỔI TRONG ĐỚI SÓNG ĐỔ

Trong đới sóng đổ, chúng ta lại bắt đầu từ biểu thức chung thể hiện qua công thức 12.03:

$$S_{xy} = En\sin\phi\cos\phi$$

Sử dụng công thức 9.05 từ tập I, ta có

$$S_{xy} = Enc\cos\phi_0 \frac{\sin\phi_0}{c_0} \tag{12.08}$$

Nhắc lại định nghĩa của E, từ phương trình 5.09 tập I, và biết rằng phương trình 11.04 bây giờ sẽ điều khiển sự biến đổi của độ cao sóng đổ, công thức 12.08 trở thành

$$S_{xy} = \frac{1}{8}\frac{\sin\phi_0}{c_0}\rho g\gamma^2 [h^2 nc\cos\phi] \tag{12.09}$$

Với việc các thành phần trong dấu móc vuông chỉ phụ thuộc vào x, ta có thể tiến hành phép tính đạo hàm

$$\begin{aligned}\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} = \frac{1}{8}\frac{\sin\phi_0}{c_0}\rho g\gamma^2 [&h^2 nc\cos\phi\frac{dh}{dx} \\ &+ h^2 c\cos\phi\frac{dn}{dx} + h^2 n\cos\phi\frac{dc}{dx} - h^2 nc\sin\phi\frac{d\phi}{dx}]\end{aligned} \tag{12.10}$$

Kết quả này chỉ đúng trong đới sóng đổ. Bây giờ có thể đơn giản hoá bằng cách thay thế các tham số sóng nước nông đã được dẫn ra trong chương 5, tập I. Có thể tóm tắt như sau:

$$\begin{aligned} &n=1 \;;\; \frac{dn}{dx} = 0, \\ &\cos\phi = 1;\; \frac{d\phi}{dx} = 0, \\ &c = \sqrt{gh} \end{aligned} \tag{12.11}$$

Từ công thức cuối cùng ta có

$$\frac{dc}{dx}=\frac{1}{2}\sqrt{g}h^{-1/2}\frac{dh}{dx} \tag{12.12}$$

Với 12.11 thành phần thứ 2 và thứ 4 trong dấu ngoặc 12.10 sẽ bằng zero. Thay 12.11 và 12.12 vào ta thu được:

$$\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}=\frac{1}{8}\frac{\sin\phi_0}{c_0}\rho g\gamma^2[2h\sqrt{gh}\frac{dh}{dx}+\frac{1}{2}h^2\frac{g}{\sqrt{gh}}\frac{dh}{dx}] \tag{12.13}$$

hay, sau khi biến đổi

$$\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}=\frac{1}{8}\frac{\sin\phi_0}{c_0}\rho g\gamma^2[2,5h\sqrt{gh}\frac{dh}{dx}] \tag{12.14}$$

$$\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}=\frac{5}{16}\rho\gamma^2(gh)^{3/2}\frac{\sin\phi_0}{c_0}m \tag{12.15}$$

trong đó m là độ dốc bãi $\frac{dh}{dx}$.

Phương trình này cho ta phần đóng góp của ứng suất ngang vào lực tác động song song với bờ trên một phần tử nước với độ dày dx và độ cao h.

Trong các chương sau chúng ta sẽ sử dụng các hệ toạ độ khác nhau nhằm thu được sự thống nhất hơn với các tài liệu về địa mạo bờ biển. Tuy nhiên điều đó không gây ảnh hưởng cơ bản nào lên vế phải của phương trình 12.15.

13 LỰC TRIỀU DỌC BỜ

E.W. Bijker

13.1 HỆ TOẠ ĐỘ SỬ DỤNG

Trong các chương tiếp theo các quá trình xuất hiện dọc theo đường bờ sẽ được chú ý đặc biệt. Cho đến bây giờ chúng ta vẫn chú trọng đến các hiện tượng xuất hiện dọc theo trắc ngang vuông góc bờ hay theo hướng lan truyền sóng. Một hệ toạ độ mới sẽ được chọn nhằm mục đích thống nhất các thuật ngữ với tài liệu địa mạo. Hệ toạ độ này có thể mô tả như sau.

Trục x được chọn song song bờ theo hướng ngang. Hướng dương được lấy theo hướng tay phải của người quan trắc đứng trên bãi biển và nhìn ra phia biển.

Trục y cũng nằm trên mặt phẳng ngang nhưng vuông góc với bờ và có giá trị dương theo hướng ra biển. Sóng đi vào bờ với đường đỉnh sóng song song đường bờ sẽ đi theo trục y với hướng âm. Mặt phẳng x-y được đặt trên mặt biển lặng sóng.

Trục z đi lên phía trên bắt đầu từ mặt biển lặng sóng.

Các phương trình thiết lập theo các hệ tạo độ khác nhau trước đây sẽ được chuyển về hệ toạ độ mới.

13.2 THÀNH PHẦN LỰC TRIỀU MỘT CHIỀU

Phương trình chuyển động của sóng triều lan truyền dọc đường bờ theo lí thuyết sóng dài sẽ có dạng

$$-\frac{dV}{dt} - V\frac{\partial V}{\partial x} - g\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{gV|V|}{C^2 h} \qquad (13.01)$$

trong đó : C là hệ số ma sát Chezy,

g là gia tốc trọng trường,

h là độ sâu nước

V là vận tốc trung bình theo độ sâu,

x là toạ độ dọc theo bờ

Z là mực nước, và

t là thời gian.

Trong phương trình này, ba thành phần đầu thể hiện các lực tác động, trong khi thành phần thứ 4 cho ta lực cản ma sát.

Các thành phần lực tác động cần đưa vào trong các công thức xác định dòng chảy dọc bờ bằng cách tích phân ba thành phần đầu của 13.01 theo độ sâu h, và nhân với mật độ ρ :

$$F_{tr} = -\rho(h\frac{dV}{dt} + hV\frac{\partial V}{\partial x} + gh\frac{\partial Z}{\partial x}) \quad (13.02)$$

Theo cách tiếp cận một chiều này, mực nước triều có thể viết trong dạng sau:

$$Z = \overline{Z}\cos(\Omega t - kx) \quad (13.03)$$

trong đó :

$\overline{Z}$ là biên độ triều,

$k = \frac{2\pi}{\lambda_{tr}}$ số sóng,

λ_{tr} bước sóng triều,

Ω tần số triều $\Omega = \frac{2\pi}{T'}$, và

T' chu kì triều.

Tương tự, vận tốc triều có thể viết như sau :

$$V = \overline{V}\sin(\Omega t - kx - \phi) \quad (13.04)$$

trong đó

$\overline{V}$ là biên độ của dòng triều,

là góc pha giữa triều thẳng đứng và triều ngang, như đã trình bày trong chương 20 của tập I.

Những yêu cầu tiến hành phép tính đạo hàm riêng phương trình 13.03 và 13.04 thường dễ tiến hành. Thay các kết quả đó vào 13.02 ta thu được:

$$F_{tr} = -\rho h\overline{V}(\Omega - k\overline{V}\sin(\Omega - kx - \phi)]\cos(\Omega - kx - \phi) - \rho gkh\overline{Z}\sin(\Omega - kx) \quad (13.05)$$

Do công thức khá phức tạp, chúng ta có thể tiến hành các phép xấp xỉ bằng cách giữ lại thành phần đầu và thành phần cuối vì chúng thường có bậc đại lượng lớn hơn so với các thành phần khác. Theo đó ảnh hưởng của độ nghiêng mặt nước dọc bờ và quán tính được xem có vai trò lớn nhất trong các thành phần của lực triều và 13.05 bây giờ có dạng:

$$F_{tr} \sim -\rho h[gk\overline{Z}\sin(\Omega - kx) + \overline{V}\Omega\cos(\Omega - kx - \phi)] - \rho gkh\overline{Z}\sin(\Omega - kx) \quad (13.06)$$

Các tham số tham gia trong công thức 13.06 không thể đánh giá được nếu chỉ sử dụng số liệu mực triều tại một điểm duy nhất. Việc quan trắc đồng thời mực triều và dòng triều sẽ cung cấp các tham số cần thiết. Tất nhiên vấn đề đo đạc dòng triều trong đới bờ hết sức phức tạp, chúng ta sẽ trình bày kĩ hơn trong chương 15, sự hiện diện của sóng sẽ gây ảnh hưởng đến lực ma sát tác động lên dòng ổn định. Những nhiễu động này bị ảnh hưởng không chỉ bởi lực triều mà phụ thuộc vào sự hiện diện của sóng khi quan trắc, vì vậy chúng cần được hiệu chỉnh.

Lực triều rút ra từ phân tích số liệu mực triều và dòng triều là một trong những lực cơ bản gây nên dòng chảy dọc bờ. Sau khi xem xét các thành phần khác trong những chương sau, một phần trong đó sẽ được tổng hợp lại trong chương 16 nhằm xác định vận tốc dòng chảy dọc bờ.

14 CÁC LỰC RỐI

E.W. Bijker

14.1 MỞ ĐẦU

Trong hai chương vừa qua, chúng ta đã phân tích các thành phần cơ bản gây nên dòng chảy dọc bờ, trong chương này tập trung phân tích các thành phần cản trở lại dòng đó. Ta sẽ xem xét tác động của lực rối cả từ khía cạnh tạo nên cũng như cản trở chuyển động, nhìn chung chúng có xu thế làm trơn các đường phân bố vận tốc. Chúng ta sẽ quan tâm tới mặt phẳng ngang kèm theo hiện tượng khuyếch tán động lượng đi qua mặt thẳng đứng song song song với bờ (trục x) được gây nên bởi gradient của vận tốc theo hướng vuông góc bờ. Quá trình trao đổi ứng suất đó có thể được thể hiện thông qua ứng suất tác động lên mặt phẳng đó.

14.2 MÔ TẢ TOÁN HỌC

Sử dụng lí thuyết khuyếch tán động lượng rối chúng ta có thể biểu thị ứng suất nhớt rối như sau:

$$\tau_{xy} = -\rho \overline{u'v'} = \rho \varepsilon_y \frac{\partial u}{\partial y} \tag{14.01}$$

trong đó:

u là thành phần vận tốc dọc theo trục x song song đường bờ,

u' nhiễu động vận tốc u

v' nhiễu động vận tốc theo hướng y,

y toạ độ vuông góc bờ,

ε_y hệ số khuyếch tán rối, hay gọi là nhớt rối,

ρ mật độ nước.

Hệ số nhớt rối thường được xác định thông qua quãng đường xáo trộn :

$$\varepsilon_y = v' l_y \tag{14.02}$$

trong đó l_y là quãng đường xáo trộn ngang.

Thornton (1970) đã giải thích điều này một cách khá chi tiết. Ông đã gắn kết cả hai đại lượng v' và ε_y với chuyển động sóng – vận tốc quỹ đạo của sóng và dịch chuyển các phần tử nước tương ứng. (Trong đới sóng đổ cả hai thành phần này đều nằm dọc theo trục y). Battjes (1975, 1976) cũng đã gắn ε_y với nhớt bình thường của dòng chảy có vận tốc v.

Các đo đạc mô hình do Swart (1974) tiến hành đã cho thấy, trong mọi trường hợp, ε_y có giá trị vào khoảng 10^{-2} m^2/s đối với các điều kiện mô hình. Sử dụng các

quy luật về tỷ lệ mô hình chúng ta hoàn toàn có thể chuyển đổi sang giá trị nguyên bản.

15 CÁC LỰC MA SÁT ĐÁY

E.W. Bijker, J. v.d. Graaff

15.1 MỞ ĐẦU

Thành phần thứ tư của các lực tác động lên nước trong vận chuyển dọc bờ là ma sát đáy lên lớp nước nằm phía trên; lực ma sát này gắn liền với vận tốc chuyển động của nước. Tuy nhiên trong đới sóng đổ, vận tốc tức thời phụ thuộc vào dòng chảy ổn định tương đối dọc bờ và thành phần vận tốc biến đổi nhanh trong sóng đổ.

Việc mô tả đầy đủ các thành phần dòng chảy sóng là rất khó thực hiện; mỗi cách mô tả chỉ có thể là một xấp xỉ toán học. Chúng ta sẽ nói đến việc các thành phần vận tốc quỹ đạo có thể mô tả bằng các hàm hình sin. Ngay trong cách mô tả đó (rất đơn giản), cũng rất khó thể hiện được hiện tượng ma sát đáy một cách đảm bảo. Trước hết chúng ta xem xét sự hình thành của ma sát do dòng chảy ổn định và không có sóng. Tiếp đến sẽ xem xét ma sát do sóng gây nên, và cuối cùng là ma sát tổng hợp do sóng và dòng chảy.

15.2 MA SÁT KHI DÒNG CHẢY ỔN ĐỊNH

Từ cơ sở cơ học động lực học chất lỏng, biểu thức ma sát trong dòng chảy ổn định sẽ là :

$$\tau_c = \rho g \frac{V^2}{C^2} \qquad (15.01)$$

trong đó:

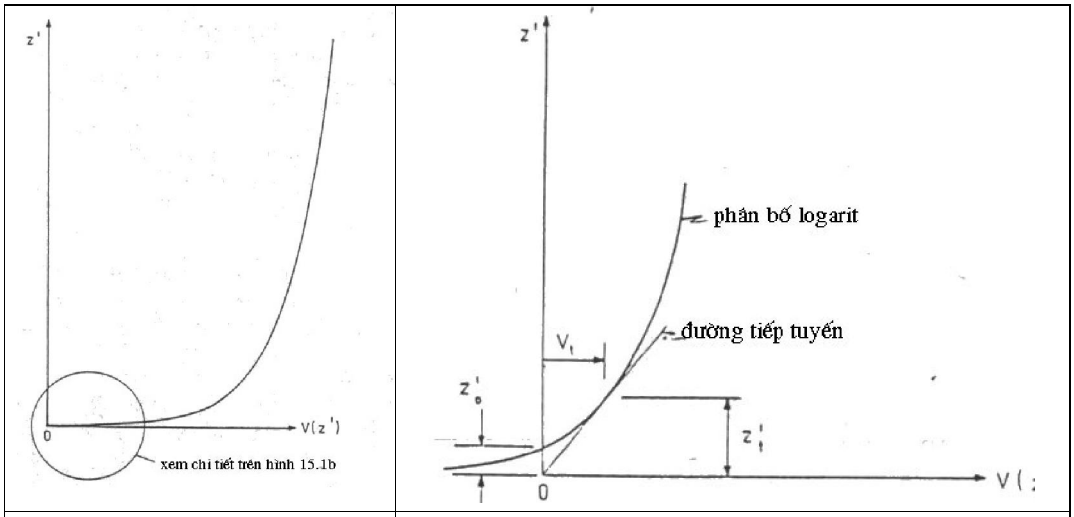
C là tham số Chezy

g là gia tốc trọng trường,

V vận tốc dòng chảy lấy trung bình theo mặt cắt,

ρ mật độ chất lỏng,

τ_c ứng suất nhớt đáy tác động ngược chiều với dòng.



a. Phân bố vận tốc theo logarit | **b. Phân bố vận tốc sát đáy**

Hình 15.1. **Phân bố vận tốc theo quy luật logarit**

Một cách tổng quát, ứng suất nhớt tác động qua mặt phẳng ngang trong chất lỏng được viết trong dạng

$$\tau = \rho l^2{}_z [\frac{dV(z')}{dz'}]^2 \qquad (15.02)$$

trong đó: l_z là độ dài xáo trộn,

z' là toạ độ thẳng đứng với gốc toạ độ nằm trên đáy, và

V(z') là vận tốc dòng chảy trên mực z'.

Bằng cách cho rằng

$$l_z = \kappa z' \sqrt{\frac{h-z'}{h}} \qquad (15.03)$$

Prandtl và Karman đã có thể giải phương trình 15.02 và thu được phân bố logarit nổi tiếng Prandtl-Karman:

$$V(z') = \frac{1}{\kappa} V_* \ln\left(\frac{z'}{z'_0}\right) \qquad (15.04)$$

trong đó: V_* là vận tốc động lực tại một khoảng cách nào đó tính từ đáy,

z'_0 là khoảng cách mà trên đó vận tốc bị triệt tiêu, và

κ là hằng số Karman được lấy gần bằng 0,4 dựa theo các kết quả thực nghiệm.

Trong nhiều trường hợp khó có thể lí giải ý nghĩa của vận tốc V^*.

Vận tốc này tồn tại trên khoảng cách

$$z' = z'_0 e^{\kappa} \qquad (15.05)$$

với giá trị

$$V_* = \sqrt{\frac{g}{C}}V \tag{15.06}$$

nói chung không cho ta một ý nghĩa riêng nào. Một biểu thức khác đối với vận tốc động lực

$$V_* = \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \tag{15.07}$$

thường hay bắt gặp nhất. Chúng ta sẽ tìm cách ít sử dụng V_* sau này.

Độ cao z'_0 thường liên quan tới độ gồ ghề đáy, r, có thể viết trong dạng :

$$z'_0 \approx \frac{r}{33} \tag{15.08}$$

Phía dưới lớp đó, phương trình 15.04 có giá trị âm - điều mà không thể có trong thực tế. Vì vậy vận tốc gần đáy phải được mô tả bằng định luật tuyến tính từ gốc (z'= 0, $V(0)$ = 0) và tiếp tuyến với đường phân bố mô tả bằng 15.04; kết quả đó được trình bày trên hình 15.1. Độ cao của điểm tiếp tuyến, z'_t, có thể viết

$$z'_t = ez'_0 = \frac{er}{33} \tag{15.09}$$

trong đó e là cơ sở logarit tự nhiên. Để tiện sử dụng, chúng ta lấy kí hiệu V_t đối với vận tốc tại khoảng cách đó. Từ hình vẽ này, gradient vận tốc tại khoảng cách z'_t tính từ đáy sẽ là :

$$\left.\frac{dV}{dz'}\right|_{z'=z'_t} = \frac{V_t}{z'_t} \tag{15.10}$$

Cũng trên khoảng cách này, quãng đường xáo trộn sẽ là:

$$l_{z_t} = \kappa z'_t\sqrt{\frac{h - z'_t}{h}} \tag{15.11}$$

rút ra từ công thức 15.03.

Do z'_t << h, phương trình 15.11 có dạng gần đúng:

$$l_{z_t} \approx \kappa z'_t \tag{15.12}$$

Thay 15.12 và 15.10 vào công thức 15.02 ta thu được một công thức khác đối với ứng suất đáy:

$$\tau_c = \rho\kappa^2 V^2{}_t \tag{15.13}$$

Người đọc có thể có cảm giác rằng việc xác định ứng suất đáy theo các công thức trên là dễ dàng. Tuy nhiên điều đó không hẳn như vậy, bởi vì một trong những tham số vật lí xuất hiện trong đó, độ nhám đáy, r , rất khó xác định trong thực tế.

Một mặt, có thể lấy độ nhám tương đương với độ cao sóng đáy. Mặt khác, có nhiều trường hợp kích thước độ nhám lớn hơn nhiều so với giá trị tính theo các sóng đáy riêng lẻ.

Đối với các sóng đáy hình sin, Hinze (1962) đã thu được kết quả cho rằng độ nhám bằng một nửa độ cao sóng đáy. Mối tương quan này khác với tương quan trong điều kiện đáy dạng lưỡi cưa.

Biểu thức này cho thấy ứng suất đáy gắn liền với vận tốc sát đáy. Nó sẽ có lợi cho việc xác định dòng chảy cho cả hai trường hợp có sóng và không có sóng cũng như dòng vận chuyển trầm tích (chương 19).

Tuy nhiên, chúng ta có thể thay V_t bằng V trong trường hợp có yêu cầu. Sử dụng phương trình 15.04 ta có

$$V_t = \frac{\sqrt{g}}{\kappa C} V \tag{15.14}$$

15.3 MA SÁT KHI CÓ SÓNG

Jonsson (1966) đã tiến hành thí nghiệm nhằm xác định ứng suất đáy trong điều kiện có sóng. Ông ta đã chứng minh rằng ứng suất đáy τ_w có thể biểu thị như sau

$$\tau_w = \frac{1}{2} f_w \rho u^2{}_b \tag{15.15}$$

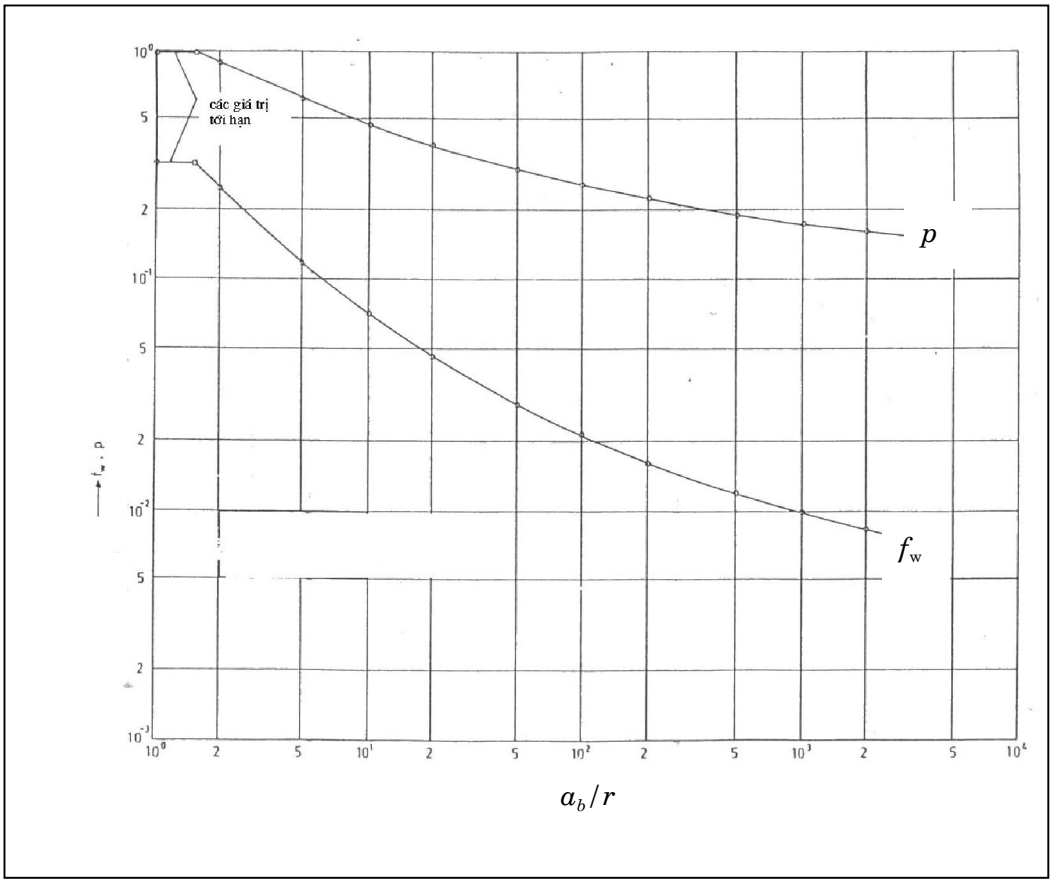
trong đó : f_w là hệ số phi thứ nguyên, và

u_b là vận tốc tức thời gần đáy.

Jonsson cũng đã dẫn ra công thức thực nghiệm đối với f_w phụ thuộc vào các biến có thể đo được: độ nhám đáy, r, biên độ nước dịch chuyển gần đáy, a_b. Biểu thức này đã được Swart (1974) viết lại trong dạng

$$f_w = \exp[-5{,}977 + 5{,}213(\frac{a_b}{r})^{-0{,}194}] \tag{15.16}$$

Tương quan này cũng đã được thể hiện qua toán đồ trên hình 15.2 và chỉ đúng trong giới hạn $1{,}47 < (a_b/r) < 3000$. Đối với các giá trị $a_b/r < 1{,}47$, f_w có giá trị không đổi bằng 0,32.



Hình 15.2. **Các tham số ma sát sóng**

Cả hai đại lượng a_b và $\boldsymbol{u_b}$ đều dễ dàng đánh giá theo lí thuyết sóng ngắn. Vận tốc trên đáy u_b có thể thu được bằng cách thay $z = -h$ vào phương trình 5.01 tập I :

$$u_b = \frac{\omega H}{2}\frac{1}{\sinh kh}\sin \omega t \tag{15.17}$$

Tương tự, $\boldsymbol{a_b}$ được kí hiệu bằng $\hat{\xi}$ trong tập I theo phương trình 5.03

$$a_b = \frac{H}{2}\frac{1}{\sinh kh} \tag{15.18}$$

Đôi khi chúng ta cũng có thể chấp nhận các xấp xỉ nước nông đối với hai phương trình trên. Các ảnh hưởng của việc sử dụng các xấp xỉ nước nông này sẽ được trình bày trong thí dụ trong chương này và chương 20.

Các tính toán a_b và u_b được triển khai với việc bỏ qua các ảnh hưởng của lớp biên. Theo lí thuyết lớp biên chúng ta cần cho vận tốc triệt tiêu trên đáy. Một lớp biên hình thành tại khu vực này. Tạm thời chúng ta chưa quan tâm đến việc thời gian chưa đủ để hình thành nên phân bố vận tốc trong lớp biên đó. Jonsson đã căn cứ vào kết quả đo đạc của mình đã thay thế vận tốc trung bình bằng vận tốc phân bố tuyến tính trong lớp biên này. Tiếp theo cách tiếp cận đã trình bày trong

phần trên, chúng ta có thể cho rằng vận tốc tức thời trong nước tại độ cao z'_t sẽ phụ thuộc trực tiếp vào vận tốc đáy tính theo công thức 15.17:

$$u_t = pu_b \tag{15.19}$$

trong đó p là một tham số phi thứ nguyên sẽ được đề cập đến trong các phần sau.

Bijker (1967) đã thay 15.19 vào công thức dạng 15.13 và thu được

$$\tau_w = \rho\kappa^2(pu_b)^2 \tag{15.20}$$

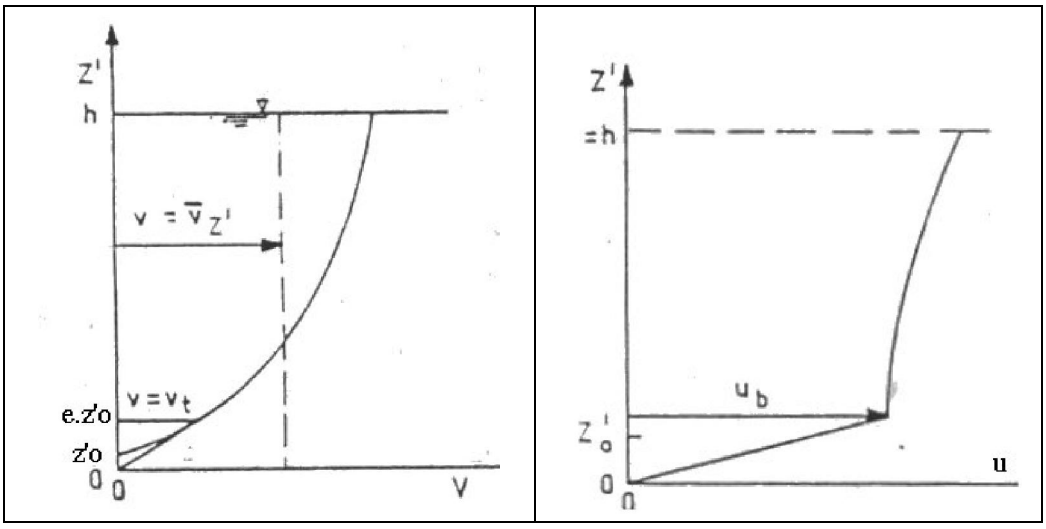
trong τ_w đó là ứng suất đáy do sóng có biên độ $\hat{\tau}_w$.

Bijker cũng cho rằng p có giá trị không đổi và từ chuỗi các kết quả thử nghiệm của mình đã tìm được hằng số khoảng 0,45 đối với p. Sau này khi so sánh các kết quả của Bijker với Jonsson người ta thấy rằng p có giá trị biến đổi. Điều đó có thể đánh giá được bằng so sánh 15.15 với 15.20:

$$p = \frac{1}{\kappa}\sqrt{\frac{f_w}{2}} \tag{15.21}$$

Có thể bổ sung thêm rằng giá trị cực đại của p là 1,00. Các giá trị của p như một hàm của a_b/r được thể hiện trên toán đồ 15.2.

Trước khi tìm cách tổng hợp các tác động của sóng và dòng chảy, có thể tóm tắt một số kết quả thu được.



Hình 15.A **Phân bố vận tốc trong dòng chảy (trái) và trong sóng (phải)**

Trên hình 15.A cho ta thấy phân bố vận tốc theo phương ngang dưới tác động của sóng và dòng chảy. Các biểu thức "chuẩn" đối với ứng suất đáy – phương trình 15.01 đối với dòng chảy và 15.15 đối với sóng đã được chuyển về phương trình trong đó vận tốc trên độ cao, $z' = ez'_0$, được sử dụng. Các kết quả thu đượcc là các công thức 15.13 cho dòng chảy và 15.20 cho sóng.

Việc tổng hợp tác động của cả sóng lẫn dòng chảy sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo.

15.4 MA SÁT TỔNG HỢP SÓNG VÀ DÒNG CHẢY

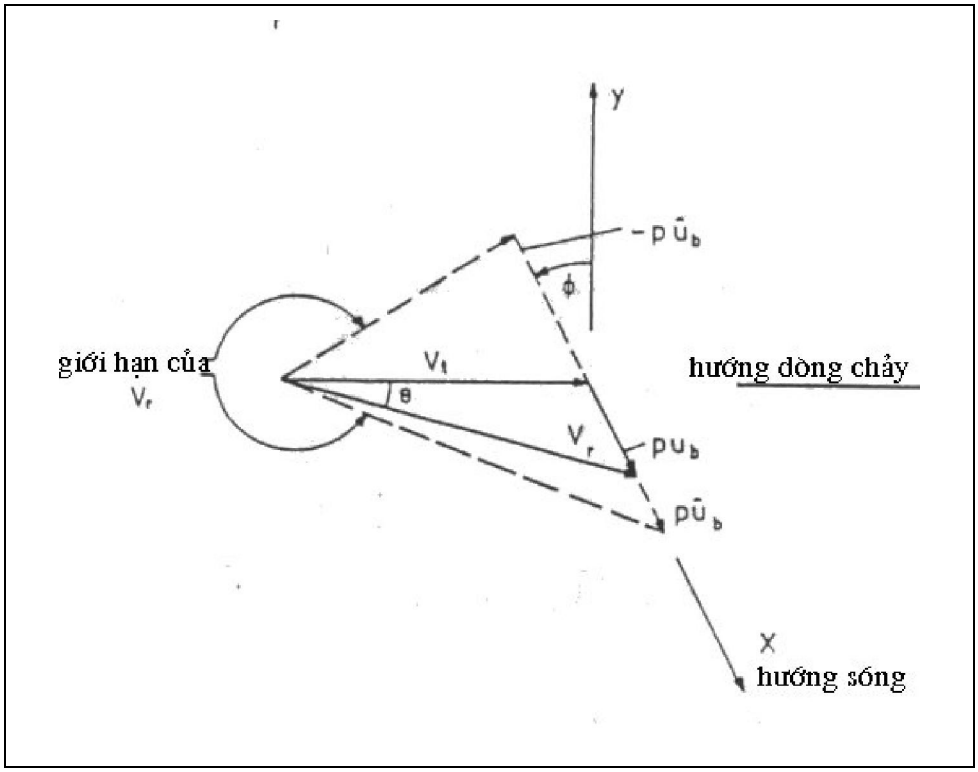
Trong hai phần trên đây chúng ta đã phát triển các công thức cho ứng suất đáy dưới tác động của sóng và dòng chảy như là các hàm của vận tốc trên độ cao z'_t tính từ đáy được thể hiện qua các phương trình 15.13 và 15.20 tương ứng.

Bijker đã mở rộng các công thức này nhằm tổng hợp cả sóng lẫn dòng chảy. Ông đã giả thiết rằng đỉnh sóng tiếp cận dòng chảy ổn định đưới một góc ϕ. Hình 15.3 cho ta thấy dòng chảy ổn định có vận tốc V_t và vận tốc quỹ đạo sóng pu_b trên mặt phẳng ngang $z' = z'_t$. Bijker đã tiến hành cộng hai véc tơ vận tốc nhằm đưa ra vận tốc tổng hợp, V_r, cũng được thể hiện trên hình vẽ. Theo hình vẽ trên ta có

$$V_r = \sqrt{v^2_t + (pu_b)^2 + 2pu_b V_t \sin\phi} \tag{15.22}$$

và

$$\cos\theta = \frac{V_t + pu_b \sin\phi}{V_r} \tag{15.23}$$



Hình 15.3 **Sơ đồ các thành phần vận tốc tại khoảng cách z'_t tính từ đáy**

Tiến hành các biến đổi tương tự như ở các mục trên ta có thể xác định ứng suất đáy dưới tác động tổng hợp của sóng và dòng chảy:

$$\tau_{cw} = \rho\kappa^2 V^2_r \tag{15.24}$$

Bây giờ ứng suất này có hướng biến đổi theo thời gian. Dòng chảy hướng theo trục x sẽ tác động trước hết đến thành phần x của ứng suất đó, τ_{cwx} .

Trong chương 19 sẽ cho thấy rằng ứng suất tổng cộng có nghĩa quan trọng đến vận chuyển trầm tích, tuy nhiên ở đây chúng ta chỉ tập trung chú ý đến

thành phần theo hướng *x*, có ý nghĩa quan trọng đối với dòng chảy. Thành phần này có thể viết như sau

$$\tau_{cw_x} = \tau_{cw} \cos\theta \tag{15.25}$$

hay, nếu sử dụng 15.22, 15.23 và 15.24:

$$\tau_{cw} = \rho\kappa^2 \sqrt{V_t^2 + (pu_b)^2 + 2pu_b V_t \sin\phi}\,[V_t + pu_b \sin\phi] \tag{15.26}$$

trong đó u_b là một hàm phụ thuộc vào thời gian. Đối với mục đích của chúng ta, yêu cầu đặt ra chỉ giới hạn việc xác định giá trị trung bình theo thời gian của ứng suất. Do đó chúng ta sẽ tiến hành như sau, trước hết đối với u_b:

$$u_b = \hat{u}_b \sin\omega t \tag{15.27}$$

Để tiện biến đổi thay phương trình 15.14 đối với V_t. Sau khi tiến hành một số biến đổi chúng ta thu được biểu thức sau đây đối với thành phần x trung bình theo thời gian của ứng suất đáy:

$$\bar{\tau}_{cwx} = \frac{2\tau_c}{T}\int_{-T/4}^{T/4}\left[(1+\xi\frac{\hat{u}_b}{V}\sin\omega t\sin\phi)\sqrt{1+(\xi\frac{\hat{u}_b}{V}\sin\omega t)^2+2\xi\frac{\hat{u}_b}{V}\sin\omega t\sin\phi}\right]dt \tag{15.28}$$

trong đó ξ là tổ hợp các tham số:

$$\xi = \frac{\rho\kappa C}{g} = \frac{C\sqrt{f_w}}{2g} \tag{15.29}$$

Phương trình 15.28 là một tích phân eliptic nên không thể dẫn đến dạng nghiệm giải tích được. Bijker đã sử dụng một số kĩ thuật số nhằm đánh giá tích phân này đối với những giá trị thực của các tham biến, V, $\hat{u}_b$, ξ và ϕ. Bằng cách tìm một biểu thức phù hợp với các kết quả thu được, Bijker đã xác định giá trị đối với $\phi < 20^o$:

$$\bar{\tau}_{cwx} = \tau_c[0{,}75 + 0{,}45(\xi\frac{\hat{u}_b}{V})^{1{,}13}] \tag{15.30}$$

hay, trên cơ sở định nghĩa của τ_c từ phương trình 15.01:

$$\bar{\tau}_{cwx} = \frac{\rho g}{C^2}V^2[0{,}75 + 0{,}45(\xi\frac{\hat{u}_b}{V})^{1{,}13}] \tag{15.31}$$

Phương trình 15.31 cho ta tương quan giữa ứng suất đáy và vận tốc dòng có thể sử dụng trong cân bằng động lực của dòng chảy ven bờ do sóng. Tuy vậy công thức 15.31 lại không tiện dụng vì V vẫn còn chưa biết.

Nhằm mục đích dẫn ra một công thức tiện dụng, chúng ta giả định rằng góc giữa đỉnh sóng và dòng chảy không lớn. Điều này quả không tồi đối với phạm vi đới sóng đổ. Phép xấp xỉ này sẽ dẫn đến:

$$\sin\phi = 0 \tag{15.32}$$

hay thông thường

$$\sin\phi = \phi \tag{15.33}$$

Thay phương trình 15.32 vào 15.28 ta có:

$$\bar{\tau}_{cwx} = \frac{2\tau_c}{T}\int_{-T/4}^{T/4}\left[\sqrt{1+(\xi\frac{\dot{u}_b}{V}\sin\omega t)^2}\right]dt \tag{15.34}$$

Biểu thức này có thể tiếp tục được đơn giản hoá bằng cách chấp nhận điều kiện sau đây thoả mãn tương đối tốt cho đới sóng đổ:

$$\xi\dot{u}_b >> V \tag{15.35}$$

Với xấp xỉ này cho phép tiến hành tích phân trực tiếp và dẫn đến:

$$\bar{\tau}_{cwx} = \frac{2\tau_c}{\pi}\xi\frac{\dot{u}_b}{V} \tag{15.36}$$

Phương trình 15.36 có thể được thể hiện trong dạng khác khi ta thay phương trình 15.01 và 15.29 vào 15.36:

$$\bar{\tau}_{cwx} = \frac{\rho}{\pi C}\sqrt{2gf_w}V\bar{u}_b \tag{15.37}$$

Việc đơn giản hoá tiếp theo được tiến hành thông qua các xấp xỉ nước nông đối với $\dot{u}_b$ - như đã trình bày trong chương 5 tập I. Phép xấp xỉ này cho ta

$$\bar{u}_b = \frac{\omega H}{2kh} \tag{15.38}$$

Sử dụng tương quan giữa độ cao sóng đổ và độ sâu nước:

$$H = \gamma h \tag{15.39}$$

và

$$\frac{2\pi}{k} = \lambda = \sqrt{ghT} = \sqrt{gh}\frac{2\pi}{\omega} \tag{15.40}$$

Phương trình 15.38 biến đổi về dạng sau:

$$\bar{u}_b = \frac{\gamma}{2}\sqrt{gh} \tag{15.41}$$

Thay biểu thức này vào phương trình 15.37, ta có:

$$\bar{\tau}_{cwx} = \frac{\rho g}{2\pi C}\gamma^2 h\sqrt{f_w}V \tag{15.42}$$

Phương trình 15.42 có thể sử dụng trong cân bằng động lực nhằm dẫn đến một phương trình đơn giản đối với dòng chảy dọc bờ trong đới sóng đổ. Như đã trình bày trước đây, phương trình 15.31 có thể cho ta các kết quả tin cậy hơn nếu phương trình 15.17 được sử dụng để đánh giá $\dot{u}_b$. Các kết quả so sánh được trình bày trong mục 16.5.

Cả hai phương trình 15.42 và 15.31 đều có mối phụ thuộc gián tiếp vào độ gồ ghề đáy và nhìn chung việc đánh giá không có sự đảm bảo tốt như đã trình bày ở các mục trên. Swart (1976) đã nghiên cứu vấn đề này nhằm tổng hợp các tác động sóng và dòng chảy đã thu được một số lượng lớn các dữ liệu. Đã thu được hai biểu thức sau:

$$\frac{r}{\Delta r} = 25\frac{\Delta r}{\lambda_r} \tag{15.43}$$

trong đó

Δr là độ cao sóng đáy (m),

λ_r là độ dài sóng đáy (m),

r độ gồ ghề sóng đáy (m).

Các phương trình này cần phải được lưu ý khi sử dụng, nhưng chúng cũng chỉ ra xu thế chung. Mặt khác, việc đo đạc các tham số Δr và λ_r trong đới sóng đổ không dễ dàng ghì để đánh giá giá trị thực của độ gồ ghề.

15.5 MỘT SỐ LƯU Ý BỔ SUNG

Các phương trình và luận cứ trình bày trên đây được sử dụng để phục vụ tổng quan về dòng chảy dọc bờ trong đới sóng đổ. Ngoại trừ một số giới hạn đặt ra nhằm mục đích đơn giản hoá bài toán- $\phi << 1$, $\xi \overset{1}{u}_b >> V$ – các cách thức tiến hành đều mang tính phổ biến. Các ứng dụng quan trọng có thể tìm thấy đối với những khu vực có ảnh hưởng của sóng lên vận tốc dòng chảy cục bộ trên đáy. Ví dụ, ảnh hưởng của sóng lên dòng chảy tại các cửa sông rộng có thể được nghiên cứu theo cách tiếp cận này. Tác động của sóng lên dòng triều trong các biển nông hay vũng, vịnh cũng có thể đánh giá được, tuy nhiên mức độ tin cậy cần được rút ra qua kiểm tra đối với từng trường hợp cụ thể.

Trong các mục vừa qua chúng ta chỉ xem xét đến thành phần ứng suất đáy theo hướng x - được thể hiện trên hình 15.3. Có thể gây ngạc nhiên về việc giá trị trung bình của ứng suất đáy theo hướng y cũng có thể khác zero. Chỉ có các trường hợp khi góc tới bằng số nguyên lần π/2 thì vấn đề trên mới không được đặt ra.

Nguyên nhân của của sự xuất hiện thành phần ứng suất theo y xuất phát từ việc lấy trung bình theo V^2_r. Do các thành phần vận tốc thể hiện trên hình 15.3 không đối xứng quanh trục x (ngoại trừ trường hợp góc ϕ bằng số nguyên lần π/2), thành phần V_r và ứng suất τ_{cw} tương ứng cũng bất đối xứng, thành phần ứng suất song song với trục y có giá trị trung bình khác zero. Kết quả của hiện tượng này là hướng dòng chảy sẽ bị thay đổi so với hướng dòng khi không có sóng. Trong đới sóng đổ khi góc ϕ thường nhỏ, ảnh hưởng nêu trên không đáng kể. Ngoài đới sóng đổ, ví dụ, dòng chảy sông đổ ra vùng có sóng, ϕ sẽ có giá trị khác và ảnh hưởng sóng lên hướng dòng chảy có thể xuất hiện.

Trong chương tiếp theo các lực tác động sẽ được tổng hợp nhằm mục đích tính toán dòng chảy dọc bờ trong đới sóng đổ.

16 TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY DỌC BỜ

E.W. Bijker, J. v.d. Graaff

16.1 MỞ ĐẦU

Trong bốn chương trước đây đã tiến hành phân tích các thành phần lực tác động lên một phần tử nước trong đới sóng đổ. Trong khi các điều kiện sóng và hình dạng bờ vẫn giữ nguyên chỉ có các lực trên tác động lên phần tử nước; các lực bổ sung có thể xuất hiện khi giới hạn trên không được áp dụng, như sẽ được trình bày trong các mục sau.

Thay vì thử tìm một công thức dòng tổng quát căn cứ vào cân bằng của bốn lực trên, chúng ta bắt đầu từ trường hợp đơn giản chỉ có sự cân bằng giữa hai thành phần tồn tại thường xuyên trong đới sóng đổ. Cách giải quyết này sẽ được giới thiệu kĩ trong các mục tiếp theo.

16.2 CÂN BẰNG LỰC CƠ SỞ

Do ứng suất đáy và gradient ứng suất ngang luôn tồn tại trong đới sóng đổ, vì vậy có lẽ tốt nhất nên bắt đầu từ việc tính toán vận tốc dòng chảy tổng cộng dọc bờ trên cơ sở cân bằng hai lực đó.

Từ kết quả chương 12, lực tác động có dạng:

$$\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} = \frac{5}{16}\rho\gamma^2 (gh)^{3/2} \frac{\sin\phi_0}{c_0} m \qquad (16.01)$$

trong đó: c_0 là vận tốc sóng trên vùng nước sâu,
g là gia tốc trọng trường,
h là độ sâu nước,
m là độ dốc bãi,
γ chỉ số sóng đổ,
ρ là mật độ nước, và
ϕ_0 là góc tới của sóng trên vùng nước sâu.

Thành phần ứng suất do lực ma sát dựa trên cơ sở công thức 15.31:

$$\overline{\tau}_{cwx} = \frac{\rho g}{C^2} V^2 [0{,}75 + 0{,}45(\xi \frac{\overline{u}_b}{V})^{1{,}13}] \qquad (16.02)$$

trong đó: C là hệ số Chezy,
$\overline{u}_b$ là biên độ vận tốc do sóng gần đáy,
V là vận tốc trung bình theo độ sâu (chưa biết), và
ξ là hệ số xác định theo công thức 15.29.

Cân bằng 16.01 với 16.02 và tìm lời giải cho trường V ta thu được biểu thức cần thiết đối với vận tốc tại mỗi điểm trong đới sóng đổ. Tuy nhiên, do bản chất của phương trình 16.02 ta không thể thu được nghiệm trong dạng hiện, biểu thức tốt nhất có thể viết như sau:

$$0{,}75V^2 + 0{,}45(\xi_b)^{1{,}13} V^{0{,}87} = \frac{5\sqrt{g}}{16} \frac{\gamma^2 C^2 \sin\phi_0 m}{c_0} h^{3/2} \tag{16.03}$$

chỉ cho phép giải theo phương pháp lặp đối với V. (Có thể sử dụng phương pháp Runge-Kutta).

Với mục đích thu được kết quả rõ ràng hơn về phân bố vận tốc trong đới sóng đổ, chúng ta lại bắt đầu từ đầu, tuy nhiên lần này chỉ sử dụng biểu thức đơn giản hơn về xấp xỉ ứng suất nhớt (15.42):

$$\tau_{cwx} = \frac{\rho g}{2\pi C} \gamma H f_w V \tag{16.04}$$

trong đó f_w là tham số ma sát được đánh giá theo phương trình 15.16 hay toán đồ 15.2.

Xấp xỉ phân bố vận tốc như một hàm của khoảng cách từ bờ, y, có thể được xác định bằng cách cân bằng 16.01 với 16.04:

$$\frac{\rho g}{2\pi C} \gamma H f_w V = \frac{5}{16} \frac{\gamma^2 \sin\phi_0 m}{c_0} (gh)^{3/2} \tag{16.05}$$

Giải phương trình này đối với V ta thu được:

$$V = \frac{5\pi\sqrt{g}}{8\sqrt{2}} \frac{C}{\sqrt{f_w}} \gamma \frac{\sin\phi_0}{c_0} hm \tag{16.06}$$

Trong phương trình này:

$\frac{5\pi\sqrt{g}}{8\sqrt{2}} = 4{,}349$ là một hằng số,

$\frac{\sin\phi_0}{c_0}$ chỉ phụ thuộc vào độ sâu nước,

γ phụ thuộc vào các đặc trưng sóng và độ dốc bãi,

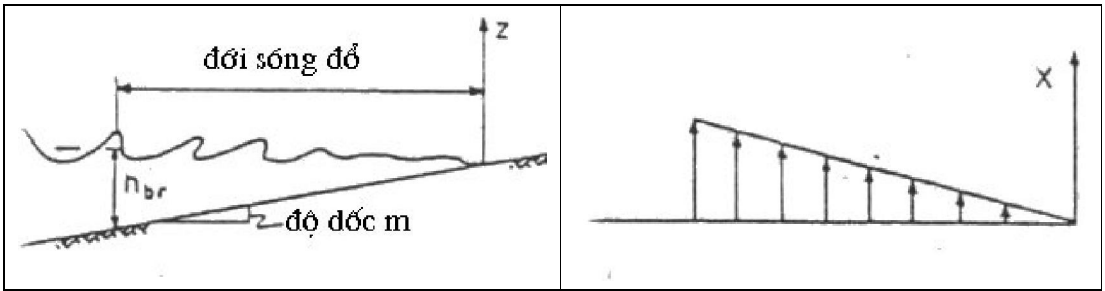
$\frac{C}{\sqrt{f_w}}$ là lực ma sát phụ thuộc vào độ gồ ghề của đáy, độ sâu nước, h, và điều kiện sóng cục bộ.

H và m là các hàm phụ thuộc vào khoảng cách từ bờ.

Mối phụ thuộc vào của thành phần ma sát nhớt vào độ sâu nước, ngay trong điều kiện độ gồ ghề không đổi, làm phức tạp hoá bài toán rất nhiều; do đó rất nhiều nhà nghiên cứu đã cho rằng thành phần ma sát này không đổi trong toàn đới sóng đổ.

Nếu chúng ta chấp nhận phép xấp xỉ đó và trong tương lai chỉ chú trọng đến bãi với độ dốc không đổi, thì dòng chảy dọc bờ trở thành một hàm tuyến tính phụ thuộc vào độ sâu nước, h, trong đới sóng đổ; vận tốc cực đại thuộc đường phân bố, được dẫn ra trên hình 16.1b, sẽ thu được trên mép ngoài của đới sóng đổ, cũng

được dẫn ra trên hình 16.1a. Thực tế cho thấy vận tốc ở mép ngoài này phải bị triệt tiêu, có thể thu được từ công thức $\frac{\partial S_{yx}}{\partial y} = 0$ đã được thể hiện trên hình 12.2.



a. mặt cắt ngang	b. phân bố vận tốc

Hình 16.1 **Phân bố vận tốc trong đới sóng đổ**

16.3 TÁC ĐỘNG CỦA RỐI

Trong chương 14 đã chứng minh rằng các lực rối phụ thuộc vào gradient vận tốc theo hướng vuông góc bờ. Theo đó gradient vận tốc sẽ bằng vô cùng trên biên ngoài của đới sóng đổ, thể hiện trên hình 16.1, chúng ta có thể cho rằng đường phân bố vận tốc sẽ bị ảnh hưởng mạnh nhất tại đây. Quá trình trao đổi động lượng theo phương ngang sẽ làm giảm vận tốc trong phần ngoài của đới sóng đổ và tạo nên lực tác động đối với dòng chảy trên cùng một hướng như phía ngoài đới sóng đổ. Longuet-Higgins (1971) và Battjes (1974) đã tính toán phân bố vận tốc bằng lí thuyết thông qua việc đưa các lực rối vào cân bằng động lực cùng với gradient ứng suất ngang và ma sát.

16.4 TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG KHÔNG ĐỀU

Tất cả các tranh luận được tiến hành xuất phát ban đầu bằng việc xấp xỉ sóng đều. Trong thực tế điều này ít khi xẩy ra, độ cao sóng luôn biến đổi dẫn đến việc xác định biên ngoài đới sóng đổ không phải dễ dàng như đã thể hiện trên hình 16.1. Các sóng lớn sẽ bị đổ xa bờ hơn so với các sóng bé hơn. Battjes (1974) đã tìm cách tính toán phân bố dòng chảy dọc bờ bằng cách mô tả trường sóng không đều trong đới sóng đổ. Ông đã tính gradient ứng suất ngang tổng hợp theo phân bố độ cao sóng (đã biết) tại các điểm khác nhau của đới sóng đổ. Theo đó đã xác định đường phân bố vận tốc theo phân bố thành phần gradient ứng suất ngang. Ảnh hưởng của tính dị thường sóng có nét tương tự rối ngang; đường phân bố vận tốc trở nên ít có đột biến hơn tại các đỉnh so với những gì dẫn ra trên hình 16.01. Trong phần tiếp theo chúng ta sẽ dẫn ra một phép so sánh cụ thể hơn về vấn đề này.

Phân bố vận tốc dòng chảy dọc bờ trong điều kiện thực có sự biến đổi lớn – có thể thấy rõ trên hình 16.2. Các ảnh hưởng của triều, độ rộng của phổ sóng, biến đổi của độ gồ ghề đáy, dị thường của độ dốc bãi và các biến đổi của hướng và độ cao sóng đều có tác dụng làm biến đổi đường phân bố vận tốc.

16.5 VÍ DỤ

Xác định phân bố của vận tốc dòng chảy trung bình (theo độ sâu) trong đới sóng đổ như là một hàm của khoảng cách từ bờ. Các sóng đều với chu kỳ 7 giây đi vào bờ từ vùng biển sâu với độ cao, H_0=2 mét và góc tới ϕ_0 =30°. Chỉ số sóng đổ γ=0,8 và độ dốc bờ m = 1:100. Độ gồ ghề đáy được xem là không đổi khoảng 0,06 m trên toàn bộ bãi. Vấn đề đầu tiên đặt ra là xác định biên ngoài của đới sóng đổ. Do đặc điểm phi tuyến của bài toán không cho phép đưa ra lời giải giải tích mà được triển khai theo sơ đồ sau đây.

1. Đoán độ sâu sóng đổ, $h_{\rm br}$, và tính $h_{\rm br}/\lambda_0$.

2. Sử dụng bảng các hàm sóng (hoặc tính toán) xác định hệ số nước nông, $K_{\rm sh}$, và tỷ số giữa các vận tốc nhóm sóng nước nông và nước sâu.

3. Xác định góc tới trên biên ngoài sóng đổ theo công thức sau

$$\sin\phi_{br} = \frac{c}{c_0}\sin\phi_0 \tag{16.07}$$

4. Tính độ cao sóng đổ, từ công thức:

$$H_{br} = H_0 K_{sh}\sqrt{\frac{\cos\phi_0}{\cos\phi_{br}}} \tag{16.08}$$

5. Tính giá trị mới của $h_{\rm br}$ từ giá trị đã biết của γ và giá trị vừa tính của $H_{\rm br}$. Quay trở lại bước 1.

Ứng dụng thủ tục vừa nêu nhằm giải bài toán bằng tay và sử dụng bảng các hàm sóng từ bước thứ hai sẽ cho kết quả:

$$\begin{aligned} &H_{\rm br} = 2{,}07 \text{ m},\\ &h_{\rm br} = 2{,}59 \text{ m, và}\\ &\phi_{\rm br} = 13{,}3\ ^\circ \end{aligned} \tag{16.09}$$

Bảng 16.1 cho ta kết quả tính đối với chuỗi các điểm trong đới sóng đổ. Phép tính toán minh hoạ sau đây tiến hành đối với điểm cách bờ 259 mét- điểm biên ngoài của đới sóng đổ.

Bước sóng thu được theo công thức

$$\lambda = cT \approx \sqrt{ghT} = \sqrt{9{,}81.2{,}59}.7 = 35{,}3 \quad m \tag{16.10}$$

Biên độ chuyển dịch trên đáy, $a_{\rm b}$, theo công thức 5.03b từ tập I, với kết quả vừa thu được từ 16.10 ta có:

$$a_b = \frac{\gamma}{4\pi}\lambda = \frac{0{,}8}{4.\pi}.35{,}3 = 2{,}25 \quad m \tag{16.11}$$

***Bảng 16.1* Xác định dòng chảy dọc bờ**

H_0=2,0 m T =7 s,ϕ_0=30

khoảng cách y	độ sâu h	độ cao sóng H	bước sóng λ	biên độ sóng trên đáy a_b	f_w	C	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
m	m	m	m	m	-	m1/2/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
0	0	0	0	0	-	-	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,25	0,20	11,0	0,70	0,065	30,6	0,048	0,04	0,11	0,12		0,04
50	0,50	0,40	15,5	0,99	0,052	36,0	0,126	0,11	0,21	0,24		0.11
75	0,75	0,60	19,0	1,21	0,047	39,2	0,216	0,20	0,31	0,36		0,19
100	1,00	0,80	21,9	1,40	0,043	41,4	0,318	0,28	0,42	0,45		0,26
125	1,25	1,00	24,5	1,56	0,040	43,2	0,430	0,37	0,53	0,53		0,33
150	1,50	1,20	26,9	1,71	0,039	44,6	0,539	0,46	0,61	0,58		0,38
175	1,75	1,40	31,0	1,85	0,037	45,8	0,663	0,55	0,73	0,59	0,55	0,42
200	2,00	1,60	32,9	1,97	0,036	46,8	0,785	0,65	0,82	0,57		0,43
225	2,25	1,80	32,9	2,09	0,035	47,8	0,915	0,74	0,84	0,51		0,43
250	2,50	2,00	34,7	2,21	0,034	48,6	1,05	0,83	0,65	0,40		0,42
259	2,59	2,07	35,3	2,25	0,034	48,9	1,09	0,86	0,50	0,35		0,41
275							0,00	0,00	0,21	0,27		0,39
300									0,06	0,18		0,35
350									0,01	0,09		0,24
415										0,04	0,00	0,12
450										0,03		0,07
500												0,03

Thành phần ma sát có thể tính từ phương trình 15.16 hay từ hình 15.2, cho biết độ gồ ghề của đáy, r, bằng 0,06 m.

$$f_w = \exp\left[-5{,}977 + 5{,}213\left(\frac{2{,}25}{0{,}06}\right)^{-0{,}194}\right] = 0{,}034 \tag{16.12}$$

Hệ số Chezy tính theo cách thông dụng:

$$C = 18\log\left(\frac{12h}{r}\right) \tag{16.13}$$

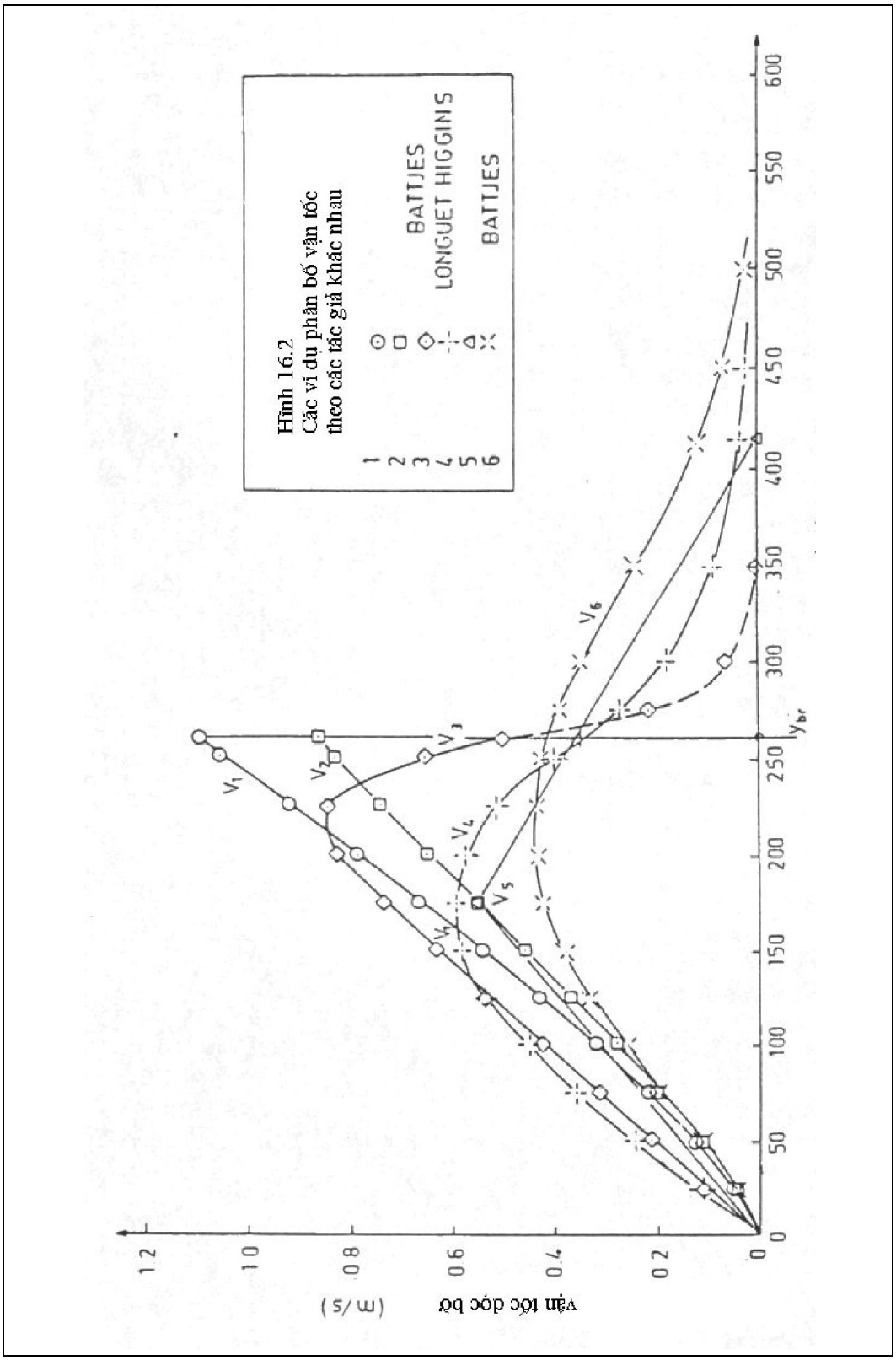
$$C = 48{,}9 \qquad \text{m}^{1/2}/\text{s} \tag{16.14}$$

Như vậy, V có thể tính bằng công thức 16.06:

$$V = \frac{5\pi}{8\sqrt{2}}\frac{\sin 30^0}{1{,}56.7}(0{,}8)\sqrt{\frac{48{,}9}{0{,}034}}(2{,}59)\frac{1}{100} \tag{16.15}$$

$$V = 1{,}09 \text{ m/s} \tag{16.16}$$

Giá trị này có thể thấy trên bẳng 16.1 trong cột V_l của bảng 16.1.



Trong bảng dẫn ra một số đường phân bố vận tốc tổng cộng, sau đây chúng ta sẽ được mô tả cụ thể chúng. V_1 tìm được từ bảng số trên cơ sở các giá trị vận tốc

ứng với thành phần ma sát tính toán cục bộ. Thành phần ma sát xấp xỉ 15.42 và xấp xỉ sóng nước nông đã được sử dụng. V_2 không chấp nhận các xấp xỉ nước nông nêu trên . Do đó phương trình 12.10 đã được sử dụng thay vào 12.15 trong khi xác định các lực tác động, và lực ma sát được tính theo công thức chính xác hơn 15.31. Đồng thời lí thuyết sóng trong dải độ sâu chuyển tiếp cũng được sử dụng trong các tính toán. Trên bảng chỉ dẫn ra kết quả tính tổng hợp; chúng có giá trị nhỏ hơn khoảng 20%. Giá trị V_3 trên bảng, thu được từ kết quả đưa lực nhớt rối vào phương trình vận tốc. Sử dụng cách tiếp cận của Battjes (1974) đối với sóng đều dẫn đến các kết quả trong đới sóng đổ.

Kĩ thuật này khó có khả năng sử dụng chính thức cho phía ngoài đới sóng đổ, nhưng đã được ứng dụng với mục đích so sánh trên thí dụ này.

Longuet-Higgins (1971) sử dụng các tiếp cận khác so với Battjes. Ông ta đề xuất sử dụng giới hạn mạnh của các lực ma sát ngang. Sử dụng phương pháp trên với ma sát rối ngang dẫn đến kết quả V_4 được dẫn ra trong bảng 16.1.

Có các ý đồ khác được thể hiện trên các sơ đồ phân bố vận tốc thực bằng cách mở rộng bề rộng lên 1,6 y_{br}. Cực đại vận tốc đạt được trên khoảng cách $y = (2/3)y_{br}$ tính từ bờ, và giá trị cực đại có thể thu được khi cho rằng:

$$\int_0^{1,6\,y_{br}} \tau_{cwx}\, dy = S_{yx}\Big|_{y=y_{br}} \tag{16.17}$$

Triển khai tích phân thu được giá trị cực đại 0,55 m/s được kí hiệu bằng V_5 trong bảng. Loại phân bố vận tốc như trên có thể đã bao gồm một số ảnh hưởng của nhớt rối ngang. Cuối cùng, nếu sóng không đều có năng lượng tổng cộng như sóng đều (H_{rms0}=2,0 m trong trường hợp này) thì phương pháp được Battjes (1974) đề xuất bỏ qua nhớt rối ngang sẽ cho kết quả V_6 dẫn ra trong bảng. Tất cả các đường phân bố nếu trên đều được dẫn ra trên hình 16.2.

16.6 CÁC LỰC TÁC ĐỘNG BỔ SUNG

Trong các phân tích trong chương này, biến động của điều kiện sóng trên bãi dọc theo bờ đã không được kể đến ; tất cả các đặc trưng sóng được xem không phụ thuộc vào vị trí, x, dọc theo bờ. Điều này ít khi xẩy ra trong thực tế.

Do các đường đẳng độ sâu dọc bờ ít khi song song, biến đổi trong khúc xạ dẫn đến độ cao sóng biến đổi dọc theo đường đẳng độ sâu. Các công trình như mỏ hàn, doi cát, hay đê phá sóng sẽ làm độ cao sóng được bổ sung và hướng cũng thay đổi dọc theo đường đẳng sâu dọc bờ.

Yêu cầu đưa thêm $\frac{\partial H}{\partial x}$ và $\frac{\partial \phi}{\partial x}$ vào tính toán dòng chảy dọc bờ trở nên cần thiết. Đòi hỏi giải thích thêm về lực tác động bổ sung, do cả hai đều rút ra từ gradient của độ cao sóng và góc tới theo hướng dọc bờ.

Trong chương 11 chúng ta đã xem xét độ cao nước dâng sóng, h', do kết quả sóng đi vào bờ. Chúng ta đã thu được mối phụ thuộc vào độ cao sóng H. Nếu độ cao sóng và góc tới bây giờ lại biến đổi dọc bờ và nước dâng sóng cũng biến đổi theo dẫn đến biến đổi của độ dốc mực nước trung bình, $\frac{\partial h'}{\partial x}$. Độ dốc của mực nước

này sẽ gây ra một lực tác động bổ sung đối với cân bằng động lực của phần tử nước.

Lực bổ sung thứ hai thu đượoc từ gradient của ứng suất pháp tuyến tác động lên mặt vuông góc với đường bờ. Có thể lấy kí hiệu S_{xx} trong chương này; trong chương 10 đó là S_{yy} thể hiện trên hình 10.2. Phần tử nước chịu lực tác động tỷ lệ với $\frac{\partial S_{XX}}{\partial x}$ (trở lại với kí hiệu thông dụng), đại lượng này phụ thuộc vào cả $\frac{\partial \phi}{\partial x}$lẫn $\frac{\partial H}{\partial x}$.

Khi cả hai lực đó đều được gọi là lực kéo (tác động), không có nghĩa là chúng luôn tác động theo một hướng $\frac{\partial S_{YY}}{\partial x}$. Thông thường hướng riêng của chúng có thể rút ra được từ cân bằng lực và các hướng đó cũng có thể xác định riêng cho từng trường hợp cụ thể.

Triều, như đã xét đến trong chương 13, cũng có thể ảnh hưởng lên dòng chảy dọc bờ. Do sự xuất hiện có tính phổ quát của nó, ảnh hưởng triều có thể xác định cho các khu vực rộng lớn so với các ảnh hưởng vừa kể. Do có sự chênh lệch về pha và biên độ xuất hiện dọc bờ, ví dụ bờ Hà Lan, ảnh hưởng triều đóng một vai trò quan trọng lên quá trình vận chuyển trầm tích, đặc biệt những vùng nằm sát phía ngoài đới sóng đổ.

Chúng ta sẽ kết thúc phần này bằng kết luận trên. Trong ba chương tiếp theo sẽ tập trung đi vào vấn đề dự báo vận chuyển trầm tích dọc bờ.

17 CÁC CÔNG THỨC CŨ VẬN CHUYỂN VEN BỜ

J. v.d. Graaff

17.1 MỞ ĐẦU

Chương này sẽ mở đầu cho một bước mới trong nghiên cứu về các biến đổi bờ. Năm chương vừa qua đã dẫn đến việc xác định vận tốc gần bờ, một trong những tham số đầu vào quan trọng đối với công thức tính toán vận chuyển trầm tích chúng theo các yêu cầu đã được đề cập đến trong chương 9.

Tại đây chúng ta bắt đầu xem xét chuyển động của trầm tích thay bằng chuyển động của nước. Trước khi đi vào vấn đề vận chuyển trầm tích thông qua dự báo nồng độ trầm tích và tốc độ trầm tích- như yêu cầu của chương 9- chúng ta đi sâu tìm hiểu một trong những công thức đầu tiên tính toán vận chuyển trầm tích.

Do phần lớn trầm tích là cát, đại bộ phận các công thức được phát triển và ứng dụng cho các bãi cát. Rất may mắn, chính cát là một trong những vật liệu hay được dự báo nhất; người ta dễ dàng bỏ qua sự dính kết và cho rằng ứng suất căng (góc của nội ma sát) hầu như không đổi. Các vật liệu mịn, bùn và sét, ngược lại, không có được các tính chất như thế. Do tín đơn giản và sự hiện diện phổ biến đó mà các công thức vận chuyển trầm tích được xây dựng cho cát; và thường được gọi là công thức vận chuyển cát.

Các công thức dẫn ra trong chương này được xây dựng trên cơ sở đo đạc thực địa và mô hình trước khi lí thuyết về dòng chảy dọc bờ được thừa nhận. Trong số đó, công thức CERC đã được phát triển ngay sau khi chiến tranh thế giới lần thứ II kết thúc do Phòng xói lở bãi, tiền thân của Trung tâm nghiên cứu kĩ thuật bờ, Hải quân Hoa Kì.

17.2 CÔNG THỨC CERC

Các quan trắc ngoài thực địa và trong phòng thí nghiệm được tiến hành trong thập niên sau chiến tranh thế giới II cho thấy có sự tương quan giữa tốc độ vận chuyển thể tích cát dọc theo bờ [L^3/T] và thành phần năng lượng sóng vào bờ. Vận chuyển cát này được nhận thấy ít nhiều tập trung trong đới sóng đổ. Bằng công thức, tốc độ vận chuyển cát, S, sẽ là:

$$S = A\,U' \tag{17.01}$$

Trong đó A là hệ số và là tham số chuyển đổi thứ nguyên, và U' là thành phần của dòng năng lượng hay công suất đi vào trên một đơn vị độ dài của đới sóng đổ.

Dòng năng lượng hay công suất trên một đơn vị độ dài đỉnh sóng đi vào bờ theo các công thức trong tập I sẽ là:

$$U = E\, c_g \tag{17.02}$$

trong đó: E là năng lượng sóng, và

c_g là vận tốc nhóm sóng.

U là một tham số vật lí vô hướng.

Tuy nhiên các thành phần của nó không phải là tham số: trên biên ngoài của đới sóng đổ theo hướng dọc bờ (hướng x):

$$U_x = U \sin\phi_{br} \tag{17.03}$$

trong đó ϕ_{br} là góc giữa đỉnh sóng và bờ trên biên ngoài đới sóng đổ. Tương tự, thành phần năng lượng theo hướng vuông góc bờ:

$$U_y = U \cos\phi_{br} \tag{17.04}$$

Từ đó ta thu được một tham số khác cũng khó lí giải tương tự:

$$U' = \frac{U_x U_y}{U} = U \sin\phi_{br} \cos\phi_{br} \tag{17.05}$$

hay trong dạng tương đương

$$U' = E c_g \sin\phi_{br} \cos\phi_{br} \tag{17.06}$$

Sử dụng lí thuyết khúc xạ (tập I, chương 9) vá các xấp xỉ tương ứng:

$$U' = \frac{1}{16} \rho g H_0{}^2 c_0 K_{rbr}{}^2 \sin\phi_{br} \cos\phi_{br} \tag{17.07}$$

trong đó: c_0 là vận tốc sóng nước sâu,

g là gia tốc trọng trường,

H_0 độ cao sóng nước sâu,

K_{rbr} là hệ số khúc xạ trên mép ngoài của đới sóng đổ, và

ρ là mật độ nước.

Việc đánh giá tất cả các biến đổi trên mép ngoài của đới sóng đổ thường rất khó khăn; do đó chúng ta phải tìm cách tránh được công việc này là tốt nhất. Nhắc lại lí thuyết khúc xạ, thấy rằng công suất vận chuyển giữa các tia sóng được bảo tồn ngoài đới sóng đổ, từ hình 17.07ta thấy:

$$\frac{1}{16} \rho g H^2{}_0 c_0 K 2_{rbr} \cos\phi_{br}$$

giữ giá trị không đổi ngoài đới sóng đổ và chỉ số br sẽ không cần thiết trong trường hợp này.

Thành phần còn lại trong 17.07

$$\sin\phi_{br}$$

không thể giải thích được bằng lí thuyết khúc xạ. Điều này có nghĩa rằng U' như một tổng thể biến đổi tại phía ngoài đới sóng đổ và $\sin\phi_{br}$ có thể đánh giá được trên mép ngoài cùng của đới này.

Thay 17.07 vào 17.01 và thay giá trị (không thứ nguyên) của A theo số liệu đo đạc ta thu được:

$$S = 0{,}014 H_0{}^2 c_0 K_{rbr}{}^2 \sin\phi_{br} \cos\phi_{br} \tag{17.08}$$

hoàn toàn tương tự như phương trình 26.04 trong tập I. Nếu sử dụng thứ nguyên, thì hệ số 0,014 là không thứ nguyên. Tuy nhiên, thông thường S được thể hiện qua thể tích trong một năm trong khi c0 vẫn giữ như cũ: độ dài trên một giây. Trong trường hợp đó, hệ số cúng không có thứ nguyên nhưng với giá trị khác:

$$S = 0{,}44\times10^{6} H_0{}^2 c_0 K_{rbr}{}^2 \sin\phi_{br}\cos\phi_{br} \tag{17.09}$$

Công thức này đã xuất hiện trong tập I, công thức 26.05.

Vẫn tồn tại những sự khác nhau nhất định trong độ cao sóng đặc trưng cho cả đợt sóng không đều và giá trị của hệ số sử dụng trong cả hai công thức trên. Điều này sẽ được xem xét chi tiết trong phần 17.5 sau khi đã lí giải ý nghĩa vật lí của công thức CERC trong mục sau đây.

17.3 CÁC XÁC MINH MỚI ĐỐI VỚI CÔNG THỨC CERC

Các phát triển mới đây như khái niệm ứng suất ngang cho phép chúng ta lí giải một cách hợp lí hơn công thức CERC trên khía cạnh vật lí hiện tượng.

Ứng suất (phân lớp) trượt ngang đối với tất cả các điểm nằm ngoài đới sóng đổ đều không đổi – chương 12. ứng suất trượt này, có khi được gọi là lực kéo sóng ngang, sẽ là:

$$S_{xy} = En\sin\phi\cos\phi \tag{17.10}$$

trong đó n là tỷ số $\frac{c_0}{c}$.

Do S_{xy} có giá trị không đổi ngoài đới sóng đổ, chúng ta có thể sử dụng các điều kiện sóng trên mép ngoài đới sóng đổ để đánh giá nó

$$S_{xy} = E_{br} n_{br}\sin\phi_{br}\cos\phi_{br} \tag{17.11}$$

Trong chương trước, ứng suất trượt ngang này tạo ra động lực đối với dòng chảy dọc bờ trong đới sóng đổ.

Bắt đầu từ nhiệm vụ mới, chúng ta chấp nhận giả thiết cho rằng sóng là nguyên nhân đầu tiên tách và đưa cát vào dạng lơ lửng để dòng chảy vận chuyển đi. Tham số đặc trưng cho hiện tượng này có thể lấy biên độ vận tốc quỹ đạo sóng gần đáy, $\tilde{u}_b$. Nếu như chấp nhận phép xấp xỉ nước nông, $\tilde{u}_b$ có thể biểu thị qua thành phần vận tốc sóng trong đới sóng đổ:

$$\tilde{u}_b = \frac{\gamma}{2} c_{br} \tag{17.12}$$

Trong dạng chung hơn, $\tilde{u}_b$ thường tỷ lệ với c_{br} trong đới sóng đổ, do đó, c_{br} được sử dụng như tham số tách và nồng độ cát trong đới sóng đổ.

Bây giờ, với việc sử dụng giả thiết trình bày trong chương 9, chúng ta có thể phát triển công thức vận chuyển cát bằng cách nhân S_{xy} (thể hiện qua tốc độ) với c_{br} (thể hiện qua nồng độ cát):

$$S_{xy} c_{br} = E_{br} n_{br} c_{br}\sin\phi_{br}\cos\phi_{br} \tag{17.13}$$

Công thức này tương đương với 17.06.

17.4 BIẾN ĐỔI DÒNG TRẦM TÍCH THEO GÓC SÓNG TIẾN VÀO BỜ

Làm thế nào mà sự biến đổi của góc sóng tới ảnh hưởng đến vận chuyển trầm tích dọc bờ? Điều này có thể nghiên cứu thông qua phương trình 17.08, song cũng có thể tiện lợi hơn nếu biểu thị mối tương quan giữa S và góc sóng tới, ϕ, thông qua góc tới biển sâu, ϕ_0.

Theo lí thuyết khúc xạ, từ chương 9, tập I:

$$K^2{}_{rbr}\cos\phi_{br} = \cos\phi_0 \tag{17.14}$$

và

$$\sin\phi_{br} = \frac{c_{br}}{c_0}\sin\phi_0 \tag{17.15}$$

Phương trình 17.08 bây giờ có dạng:

$$S = 0{,}014H^2{}_0 c_{br}\sin\phi_0\cos\phi_0 \tag{17.16}$$

Nhằm mục đích nghiên cứu ảnh hưởng của sự biến đổi góc ϕ_0 lên S, chúng ta cần xác định các biến phụ thuộc của ϕ_0. Thông thường $\sin\phi_0$ và $\cos\phi_0$ biến đổi cũng như c_{br} vì độ cao sóng trên biên ngoài của đới sóng đổ phụ thuộc vào hệ số khúc xạ. Độ cao sóng biến đổi này cũng tương đương như ϕ_0 trong đới sóng đổ. Sự tồn tại mối phụ thuộc c_{br} vào h_{br} cung cấp cho ta đầy đủ các biến.

Như vậy cần chú ý đến mối quan hệ

$$f(\phi_0) = c_{br}\sin\phi_0\cos\phi_0 \tag{17.17}$$

Tuy nhiên hàm $f(\phi_0)$ này lại không dễ thể hiện qua biểu thức giản đơn được.

Do tồn tại nhiều thủ tục phức tạp nhằm đánh giá $f(\phi_0)$, chúng ta chỉ giới hạn phân tích những công trình đánh giá hàm số theo chuỗi đầy đủ các số liệu của ϕ_0 cùng với chu kì sóng. Thành phần $\sin\phi_0\cos\phi_0$ thường có vai trò quan trọng nhất trong biểu thức hàm $f(\phi_0)$. Do đó toán đồ của $f(\phi_0)$ cũng có dạng tương tự $\sin\phi_0\cos\phi_0$. Cũng như $\sin\phi_0\cos\phi_0$, $f(\phi_0)$ = 0 khi ϕ_0=0° và ϕ_0=90°. Khác với $\sin\phi_0\cos\phi_0$ đối xứng xung quanh đường ϕ_0=45°, $f(\phi_0)$ lại bất đối xứng; giá trị của $f(\phi_0)$ đối với $0° < \phi_0 < 40°$ thông thường có giá trị cao hơn so với $f(90^o - \phi_0)$. Điều này càng thể hiện rõ hơn khi các giá trị ϕ_0 nhỏ. Cuối cùng, giá trị lớn nhất của $f(\phi_0)$ xuất hiện khi $\phi_0 < 45°$ thông thường giữa 40° và 45°.

17.5 CÁC HỆ SỐ TRONG CÔNG THỨC CERC

Như đã trình bày trong phần 17.2, có một số khác biệt về giá trị hệ số sử dụng trong phương trình 17.08 hay 17.09. Việc lựa chọn độ cao sóng (H_{sig} hay H_{rms}) cũng làm cho vấn đề trở nên phức tạp hơn.

Các thử nghiệm mô hình trước đây nhằm xác định phương trình 17.09 đã tiến hành đối với sóng đều, theo đó U' dễ dàng xác định được. Độ cao sóng đặc trưng, H_{sig}, thường hay được sử dụng nhằm đặc trưng cho sóng mẫu mà theo đó phương trình đã được rút ra, mặc dầu độ cao sóng đặc trưng thực là độ cao sóng trung bình căn bình phương, H_{rms}. Hai số này dẫn đến sai số của số mũ 2 trong U' và hệ số tương ứng – xem chương 10, tập I.

***Bảng 17.1* Các hệ số trong công thức CERC**

Tác giả	Hệ số trong công thức 17.08	Loại độ cao sóng đặc trưng	Hệ số trong công thức 17.09
Công thức gốc	0,014	H_{sig}	$0,44 \times 10^6$
	0,028	H_{rms}	$0,88 \times 10^6$
Shore Protection Manual (1973)	0,25	H_{sig}	$0,79 \times 10^6$
Komar (1976)	0,049	H_{rms}	$1,55 \times 10^6$
Svasek (1969)	0,039	H_{rms}	$1,23 \times 10^6$
Hình 17.1:			
đường 1	0,008	H_{rms}	$0,25 \times 10^6$
đường 2	0,036	H_{rms}	$1,13 \times 10^6$
ĐHKT DELFT, Trung tâm tính toán	0,039	H_{rms}	$1,23 \times 10^6$

Cần nói thêm rằng, sẽ có các biện luận về giá trị của hệ số được rút ra từ cơ sở số liệu khác nhau của mô hình và thí nghiệm mẫu. Xem xét các tài liệu công bố về vấn đề này cũng cho ta thấy có sự phân tán đáng kể vì các số liệu thu được thường được mô tả khác nhau bởi những nhà nghiên cứu khác nhau.

Hình 17.1 cho ta thấy các số liệu thực tế về tương quan S và U', trong đó U' tính theo H_{rms}. Nếu mối phụ thuộc tuyến tính giữa hai tham số đó được chấp nhận như trong công thức CERC, kết quả xử lí các kết quả số liệu theo phương pháp bình phương tối thiểu được thể hiện bằng đường 1 trên hình vẽ. Mặt khác, nếu một điểm thu được do Moore và Cole bị loại bỏ, đường thứ hai thu được cho ta thấy dòng cát vận chuyển, S, có thể lớn hơn tới bốn lần đối với sóng có điều kiện tương tự.

Sự khác nhau đó được thể hiện trên bảng 17.1 trong đó có sự so sánh giữa các hệ số của công thức CERC thu được bởi các nhà nghiên cứu khác nhau. Khi tất cả các hệ số được gắn kết với cùng một sóng đặc trưng, quyển Shore Protection Manual cho ta một hệ số dẫn đến dòng cát vận chuyển 6 lần lớn hơn so với đường 1 trên hình 17.1!

Cuộc tranh luận này còn chưa thể có hồi kết ….

17.6 VÍ DỤ TRIỂN KHAI CÔNG THỨC CERC

Vì việc tính toán vận chuyển cát theo công thức CERC còn được triển khai sau này, vì vậy khôn nhất thiết phải trình bày chúng ở đây. Tuy nhiên việc tính toán này sẽ được trình bày trong phần 11 chương 19 trong đó có tiến hành so sánh với các phương pháp xác định khác.

17.7 CÁC HẠN CHẾ CỦA CÔNG THỨC CERC

Công thức CERC với các hệ số của mình thường thể hiện được khả năng ứng dụng đáng kinh ngạc. Tuy nhiên vẫn có những hạn chế dẫn đến việc khó đáp ứng của công thức này trong một số trường hợp.

Chỉ có dòng vận chuyển cát tổng cộng được tính theo công thức này. Không thu được các thông tin về phân bố của dòng trầm tích này trong đới sóng đổ. Điều này có thể dẫn đến những hạn chế đáng kể khi bờ có một số dải cát ngầm phía ngoài hay các mỏ hàn nhỏ.

Các công thức này không tính đến tính chất của các vật liệu đáy. Chúng được rút ra và áp dụng cho các bãi cát đồng nhất với đường kính trung bình từ 175 μm đến 1000 μm (1 mm). Sự hiện diện của bãi cát như trên chính là điều kiện để áp dụng công thức CERC.

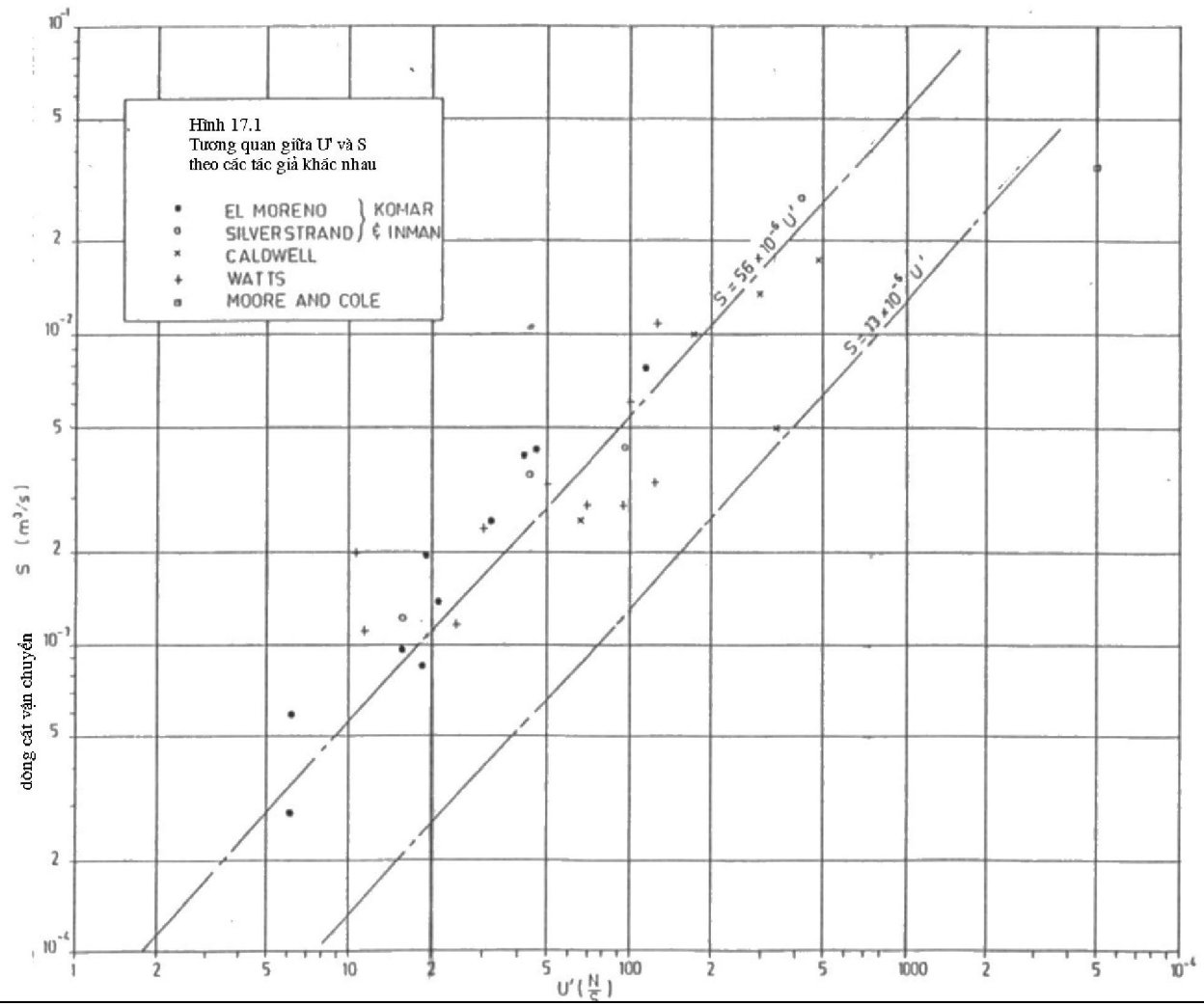
Độ dốc bãi và đới sóng đổ cũng không được tính đến trong các công thức CERC.

Do chỉ có các lực tác động do sóng với cùng tính chất trên các điểm dọc bờ được chú ý đến, nên công thức này sẽ không cho kết quả tốt khi các lực tác động khác có một vai trò quyết định, có thể xem chương 16 để phân tích thêm trong các phần đó.

Công thức CERC không thể áp dụng cho các vùng nước nông, địa hình không rõ ràng hay gần khu vực các lạch tàu.

Svasek (1969) đã tìm cách loại trừ hạn chế đầu bằng cách thay đổi công thức CERC nhằm thu được phân bố trầm tích trong đới sóng đổ. Các tiếp cận của ông ta cho rằng vận chuyển cát xuất hiện qua một phần tử với bề rộng đới sóng đổ, sẽ tỷ lệ với suy yếu năng lượng do sóng đi qua đới này. Tuy nhiên cách tiếp cận này không cho các kết quả khả quan.

Theo hướng tiếp cận khác nhằm loại trừ các hạn chế nêu trên, Bijker (1967) đã thay đổi công thức đối với dòng chảy không đổi kết hợp với các ảnh hưởng của sóng. Chi tiết về cách tiếp cận này sẽ được trình bày trong chương 19, tuy nhiên chúng ta cần đưa ra tổng quan cơ chế vật lí của hiện tượng vận chuyển cát trong chương tiếp theo.



Hình 17.1
Tương quan giữa U' và S
theo các tác giả khác nhau

18 CƠ CHẾ VẬN CHUYỂN CÁT

J.D. Schepers

18.1 MỞ ĐẦU

Một sự hiểu biết sâu hơn về các quá trình vật lí của hiện tượng tách trầm tích khỏi đáy, chuyển dịch chúng và lắng đọng trở lại do sóng và dòng chảy sẽ giúp chúng ta hiểu được cơ sở phương pháp luận của các công thức hiện đại tính vận chuyển trầm tích ven bờ. Trong chương này, chúng ta xem xét các quá trình vật lí đó xuất hiện gần đáy dưới tác động của lan truyền sóng.

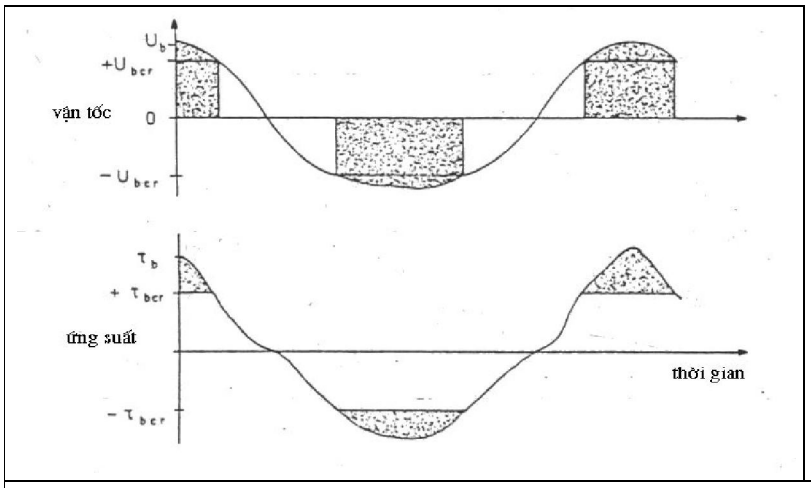
18.2 CÁC LUẬN ĐIỂM CƠ SỞ

Khi sóng chuyển động, ngoại trừ trên vùng nước sâu, sẽ có các dao động chuyển dịch ngang gần đáy. Nước ở đây chuyển động với một vận tốc u_b phụ thuộc vào thời gian.

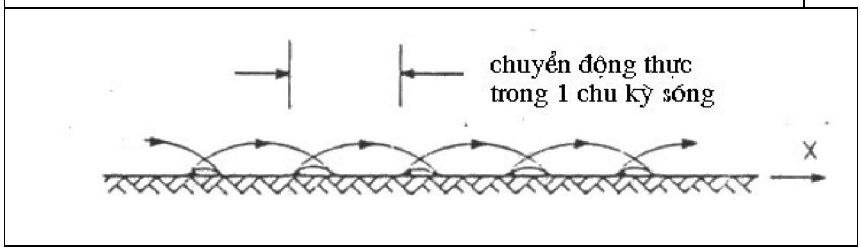
Như đã trình bày trong chương 15, ứng suất trượt gần đáy tăng lên khi vận tốc tăng. Điều này vẫn đúng đối với mọi chuyển động do sóng, do dòng chảy hay hỗn hợp cả hai. Khi ứng suất trượt vượt qua một giá trị tới hạn nào đó (tương ứng vận tốc tới hạn u_{bcr} trên đáy) các hạt cát trên mặt phẳng ngang sẽ bị chuyển dịch cùng với nước. Do các hạt cát riêng rẽ thường có khối lượng rất nhỏ nên chúng nhanh chóng đạt được vận tốc tương đương vận tốc nước. Như vậy hạt cát sẽ đứng yên khi $u_b < u_{bcr}$ và chuyển động với vận tốc u_b khi $u_b > u_{bcr}$. Tuy nhiên cách giải thích đó sẽ không còn đáp ứng nữa trong trường hợp đặc biệt $u_b \approx u_{bcr}$ trong một khoảng thời gian dài.

Nếu như đường cong biến trình vận tốc đáy theo thời gian không đối xứng so với đường zero, dòng vận chuyển của vật liệu đáy có thể xẩy ra. Cách vận chuyển này được thể hiện trên hình 18.1.

Sơ đồ vận tốc dẫn ra trên đồ thị sẽ dẫn đến chuyển dịch thực của trầm tích đáy theo hướng dương của u_b. Các hạt cát sẽ chuyển dịch tiến và lùi như được thể hiện trên hình 18.2, với dòng tổng đi về phía trước. Tính bất đối xứng của vận tốc thể hiện trên sơ đồ 18.1 luôn hiện diện đối với các vùng nước nông. Lí thuyết sóng tuyến tính đơn giản không thể mô tả được một cách chính xác sự chuyển động phức tạp này tuy vẫn được sử dụng do tính đơn giản của nó.



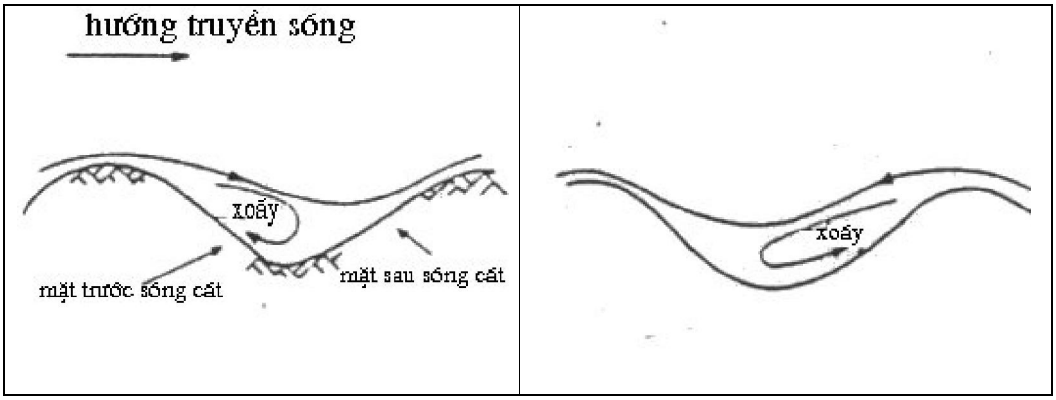
Hình 18.1 **Vận tốc đáy và biến đổi ứng suất phân lớp: chuyển động trầm tích xuất hiện trên các vùng đánh dấu**



Hình 18.2 **Sơ đồ chuyển động của trầm tích**

18.3 ĐỘ GỒ GHỀ ĐÁY

Tính chất không đều của bề mặt đáy cát sẽ tạo điều kiện hình thành nên mặt đáy dạng sóng. Sóng đáy này gây nên biến dạng chuyển động gầy đáy; các miền tách dòng sẽ xuất hiện tại các điểm khác nhau của bề mặt và vào các thời điểm khác nhau. Ví dụ khi vận tốc đáy dương- xác định theo hướng lan truyền sóng trong chương này- hiện tượng tách dòng và xoáy xuất hiện phía trước sóng cát như dẫn ra trên hình 18.3a. Thành phần ngược lại – hình 18.3b- hình thành trong nửa chu kì sau của sóng. Cách xem xét này gián tiếp cũng xác định cho ta phía trước và sau sóng đáy như trên hình 18.3.



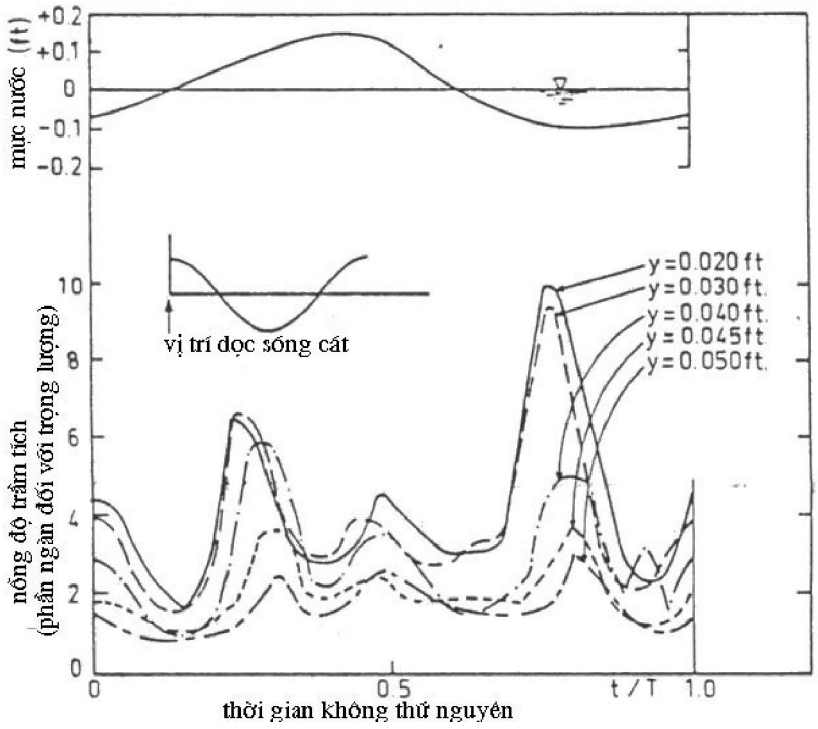
Hình 18.3 **Hình thành xoáy trong lớp sát đáy: trường hợp u_b dương- trái, u_b âm-phải**

Có thể cho rằng vận chuyển cát sẽ bị ảnh hưởng mạnh do tồn tại các sóng đáy này và các xoáy kèm theo chúng. Có thể phân biệt hai cơ chế vận chuyển cát chủ yếu, một trong số đó xuất hiện do sự hiện diện của các xoáy.

Như đã trình bày trên đây, các xoáy sơ cấp sẽ hình thành phía trước các sóng đáy khi vận tốc u_b dương như trên hình 18.3a. Vận tốc cục bộ có giá trị lớn do các xoáy đó dẫn đến hiện tượng xói mòn mạnh, các hạt cát được giữ trong trạng thái lơ lửng chứa bên trong các xoáy đó, sau một thời gian ngắn, dòng chảy kết thúc và các xoáy sẽ tan và dẫn đến việc khuyếch tán cát về phía trước.

Lượng cát này sẽ rơi trở lại đáy tại vị trí tĩnh tiến về phía trước của mặt sóng cát vừa bị xói. Quá trình này phụ thuộc rất lớn vào các chi tiết của nước chuyển động, độ dốc của sóng đáy và tính chất vật lí của vật liệu đáy.

Có thể hình dung bước tranh tương phản với các xoáy thứ cấp xuất hiện ở phần nửa sau của chu kì sóng. Tại đây, chính sự bất đối xứng của dạng sóng đáy cũng như chuyển động của nước sẽ đảm bảo kết quả vận chuyển cát thực tế về phía trước. Nhắc lại rằng các vật liệu bị xói do các xoáy sơ cấp trong thời kì vận tốc dương sẽ được chuyển theo hướng âm và ngược lại.



Hình 18.4 **Nồng độ trầm tích trên đỉnh sóng đáy phụ thuộc vào thời gian**

Tính chất không đều của sóng thường dẫn tới việc vận tốc cực đại theo hướng dương – có khả năng gây nên xoáy sơ cấp- thường lớn hơn cực đại của dòng theo hướng âm – có khả năng gây nên xoáy thứ cấp. Điều này dẫn đến kết luận về khả năng xoáy sơ cấp tương đối mạnh dẫn đến nồng độ cát xói lớn hơn so với xoáy thứ cấp. Từ các phân tích ở phần trên, có thể kết luận rằng sẽ tồn tại dòng cát tổng cộng vận chuyển theo hướng âm – xem Bijker et al (1976). Trong một số trường hợp thậm chí dòng chảy tổng cộng không lớn theo hướng dương kết hợp với sóng lại có khả năng tăng cường dòng cát vận chuyển tổng cộng âm. Vậy câu hỏi đặt ra là làm sao điều này có thể xẩy ra được? Thành phần dòng chảy ổn định sẽ làm tăng cường khả năng tạo ra các xoáy sơ cấp và làm cho hiện tượng xói được tăng cường trong giai đoạn dòng sóng dương. Dòng cát đi theo hướng âm phụ thuộc vào

thời gian tồn tại vận tốc âm. Dòng chảy thường kì dương tạo nên các xoáy sơ cấp và làm giảm dòng cát đi theo hướng dương; từ đó sẽ dẫn đến sự tăng cường của dòng vận chuyển cát theo hướng âm.

Những biện luận vừa rồi cho phép ta lí giải những khác biệt đáng kể trong các thí nghiệm nghiên cứu vận chuyển cát giống như trường hợp vừa nêu: dòng cát vận chuyển tổng cộng (thường có giá trị lớn) thu được bằng hiệu của hai lượng vận chuyển thường lớn hơn nhiều so với giá trị ta cần tìm. Điều này cũng giống trường hợp phân tích mô hình số, khi sai số nhỏ của các đại lượng lớn có thể làm thay đổi gía trị của hiệu giữa chúng.

Như vậy, nhằm mục đích đưa ra được những tiến triển đáng kể trong nghiên cứu vận chuyển trầm tích, yêu cầu cơ bản tập trung ở việc xác định chính xác các thành phần xoáy và nồng độ trầm tích, cả hai yếu tố này đều phụ thuộc vào biến thời gian. Trong khi yêu cầu này thường rất dễ đặt ra, việc xác định các thành phần đó lại là một việc hết sức phức tạp ngay cả trong các phòng thí nghiệm. Kennedy và Locher (1972) là những người đầu tiên tiến hành thành công việc đo nồng độ trầm tích trong mô hình, một trong các kết quả đó được dẫn ra trên hình 18.4. Sự hiện diện không đều của các đỉnh cực đại nồng độ trầm tích có thể được giải thích dễ dàng từ tính chất bất đối xứng của sóng và các sóng đáy.

Tác động thứ hai do sự hiện diện các sóng đáy đó là hiện tượng tập trung cục bộ của các đường dòng trên các đỉnh sóng đáy. Hiện tượng cực đại vận tốc trên các đỉnh sóng đáy có thể dẫn đến xói cục bộ vật liệu đáy và chúng được lắng trở lại tại khu vực đường dòng thưa hơn trên các vùng trũng tiếp sau.

Hai quá trình này không thể tách rời nhau. Đương nhiên có một phần vật liệu đáy bị xói từ đỉnh các sóng đáy sẽ được giữ lại bởi các xoáy phía xuôi dòng. Phần vật liệu này sẽ được vận chuyển theo hướng ngược lại tuân theo quy luật vừa được mô tả trên. Một cách chung nhất, có thể nói rằng khi có sóng, sự hình thành các xoáy và vai trò chính của chúng trong quá trình vận chuyển trầm tích; hiện tượng xói mòn các đỉnh sóng đáy chỉ đóng một vai trò thứ cấp mà thôi.

18.4 CÁC NHẬN XÉT CHUNG

Có thể có cảm giác rằng quan điểm về vận chuyển trầm tích dựa trên yêu cầu ứng suất đáy phải vượt qua một giá trị tới hạn nhất định sẽ dẫn đến một khó khăn mới. Cách tiếp cận lí thuyết và thực nghiệm mới tìm cách tính toán các xoáy và sự hình thành các sóng đáy cũng như nồng độ trầm tích cục bộ dựa trên các tham số dễ đo hoặc dễ tính như vận tốc dòng chảy trên sóng đáy và các tính chất của trầm tích. Điều này có thể khi cho rằng ứng suất vẫn được xem như một tham số chủ yếu trong mô tả tác động thực sự của các hiện tượng xuất hiện trong lớp sát mặt sóng đáy. Các nghiên cứu chi tiết hiện chỉ mới bắt đầu. Các tài liệu tham khảo liên quan đã cho ta thấy một số kết quả ban đầu theo hướng này. Các nghiên cứu hiện đang được tăng cường và nhóm Kỹ thuật bờ thuộc ĐH CN Delft có một sự tham gia rất tích cực.

Chương này đã tập trung xem xét kĩ vận chuyển trầm tích cho một miền rất hẹp nằm sát mặt sóng đáy. Mục đích thực tế của chúng ta lại là các dự báo vận chuyển cát trên quy mô lớn hơn, ví dụ trên một phần của đới sóng đổ. Trong các

chương còn lại chúng ta quay trở lại vấn đề quy mô lớn hơn, ví dụ trong chương tiếp theo các xoáy cục bộ sẽ không còn được chú ý đến nữa, và cách mô tả hiện tại về vận chuyển cát quy mô lớn thường gắn dòng vận chuyển với ứng suất đáy.

19 CÁC CÔNG THỨC HIỆN ĐẠI VẬN CHUYỂN CÁT VEN BỜ

J. v.d. Graaff

19.1 MỞ ĐẦU

Bây giờ sau khi các chi tiết về cơ chế vận chuyển cát đã được xem xét, chúng ta tìm cách đưa ra các công thức hiện đại vận chuyển trầm tích do tác động của sóng và dòng chảy. Như đã trình bày trong phần mở đầu của chương 9, các công thức hiện đại nói chung xác định nồng độ của vật liệu, c(z,t), nhân với vận tốc chuyển động phần tử, u_p(z,t), tích phân theo độ sâu và lấy trung bình theo thời gian nhằm xác định vận chuyển trầm tích (cát), S_x. Phương trình 9.01 cho ta biểu thức toán học về vấn đề này. Như đã trình bày trong chương trước, ta cho rằng các phần tử trầm tích chuyển động chủ yếu cùng một vận tốc ngang như đối với nước xung quanh. (Tất nhiên điều này không áp dụng cho vận tốc theo phương thẳng đứng do có lực trọng trường).

Do vận tốc nước chuyển động trong đới sóng đổ đã được xác định, vấn đề còn lại ở đây là xác định đồng thời một cách chung nhất nồng độ trầm tích $c(z,t)$.

Rất nhiều các công thức vận chuyển trầm tích phân biệt giữa vận chuyển dọc theo đáy- dòng di đáy, S_b, và dòng vận chuyển lơ lửng trên đáy, S_s. Dòng trầm tích tổng cộng sẽ là tổng của hai dòng nêu trên.

Trước khi xem xét các công thức vận chuyển trầm tích, chúng ta sẽ đưa ra tổng quan một số công thức đã được phát triển áp dụng cho dòng dừng như trường hợp thường gặp trong sông.

19.2 CÔNG THỨC VẬN CHUYỂN TRONG TRƯỜNG HỢP CHỈ CÓ DÒNG CHẢY

Phần lớn các công thức tính dòng trầm trích được tổng quan ở đây đã được trình bày kĩ trong các tài liệu về vận chuyển trầm tích (sông). Chúng ta sẽ không lặp lại các trình bày đó nữa mà chỉ qua đó dẫn dắt đến các ứng dụng cho đới bờ.

Một trong những công thức hiện đại được đưa ra sớm nhất là công thức Kalinske-Frijlik do Frijlink (1952) đưa ra trên cơ sở số liệu quan trắc và các luận điểm của Kalinske (1947). Trong dạng tiện dụng nhất, công thức của Kalinske-Frijlik đối với kênh có bề rộng đơn vị có dạng:

$$S_b = BD\frac{V}{C}\sqrt{g}\exp\left[-0{,}27\frac{\Delta C^2 D}{\mu V^2}\right] \qquad (19.01)$$

trong đó:

B là một hệ số không thứ nguyên, phụ thuộc vào thứ nguyên của dòng trầm tích;

C là hệ số Chezy;

D kích thước trung bình của hạt trầm tích;

V vận tốc trung bình dòng ổn định;

μ hệ số 'sóng đáy';

mật độ tương đối của trầm tích, được xác định theo công thức sau:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \tag{19.02}$$

trong đó ρ_s là mật độ của các trầm tích và ρ là mật độ nước.

Trong công thức này giá trị của hệ số B thường có thể lấy bằng 5. Bijker (1967) khác với Frijlink không đưa tham số sóng đáy, μ, vào phần đầu của phương trình. Tham số thực nghiệm này cho ta ảnh hưởng của dạng gồ ghề đáy lên dòng trầm tích đáy; độ nhám thực tế, r, vẫn có mặt trong dạng ẩn ở số Chezy.

Mối tương quan giữa phương trình 19.01 và chuyển động của vật liệu đáy có thể được thể hiện một cách thông thường hơn bằng cách thay thế một số tham số. Hệ số Chezy được viết trong dạng phụ thuộc vào ứng suất đáy như sau:

$$\frac{C^2}{V^2} = \frac{\rho g}{\tau_c} \tag{19.03}$$

trong đó τ_c là ứng suất đáy. Số hạng chứa hàm mũ e trong công thức (19.01) chuyển về dạng sau:

$$\exp\left[-0{,}27\frac{\Delta D \rho g}{\mu \tau_c}\right] \tag{19.04}$$

số hạng này thường được gọi là "tham số cơ bản" trong công thức của Kalinske- Frijlink. Cần nói thêm rằng đại lượng này không có thứ nguyên.

Phần còn lại trong công thức (19.01):

$$BD\frac{V}{C}\sqrt{g} \tag{19.05}$$

được gọi là "tham số vận tải" vì có thứ nguyên thể tích trên một đơn vị độ rộng và một đơn vị thời gian.

Một cách giải thích ý nghĩa vật lí của sự hiện diện tham số không thứ nguyên $\frac{\sqrt{g}}{C}$ trong tham số vận tải căn cứ trên cơ sở cho rằng dòng trầm tích đáy phụ thuộc vào vận tốc gần đáy, và

$$v_* = V\frac{\sqrt{g}}{C} \tag{19.06}$$

là giá trị vận tốc tại độ cao z':

$$z' = z'_0 e^{\kappa} \tag{19.07}$$

như trong mục 15.2. Như vậy, V_* có thể đặc trưng cho vận tốc gần đáy trong lớp mà vận chuyển trầm tích đáy có vai trò chính. Độ nhám đáy, r, gây ảnh hưởng tới vận tốc này thông qua ảnh hưởng của C:

$$C = 18\lg\frac{12h}{r} \tag{19.08}$$

trong đó h là độ sâu nước.

Công thức Kalinske - Frijlink được phát triển và ứng dụng cho tính toán dòng di đáy cho lòng sông khi phần lớn vận chuyển trầm tích tập trung trong một đới hẹp gần đáy- vận chuyển đáy. Trong công thức này đã không chú ý tới ảnh hưởng của vận chuyển các chất lơ lửng. Tuy nhiên dọc theo bãi chúng ta có thể thấy rối phát triển mạnh trong đới sóng đổ nên đã dẫn đến một lượng cát đáng kể ở trong dạng lơ lửng, như vậy chúng ta không thể bỏ qua dòng vận chuyển lơ lửng trong đới sát bờ này.

Einstein (1950) đã đưa ra một hướng giải quyết cho các sông có cả dòng vật chất lơ lửng S_s lẫn dòng di đáy S_b. Cách tiếp cận của Einstein cũng dựa trên cách cơ bản đã được trình bày trong chương 9 thông qua dòng vận chuyển tổng cộng:

$$S = \int_0^h c(z')V(z')dz' \tag{19.09}$$

trong đó: $c(z')$ là nồng độ trầm tích trên độ cao z', và

$V(z')$ là vận tốc ngang trên cùng độ cao.

Enstein đã chia dòng tổng cộng ra hai phần: dòng vận chuyển đáy tồn tại trong lớp có độ dày a, gần đáy:

$$S_b = \int_0^a c(z')V(z')dz' \tag{19.10}$$

và dòng lơ lửng:

$$S_s = \int_a^h c(z')V(z')dz' \tag{19.11}$$

Einstein (1950) đã sử dụng lý thuyết phân bố vận tốc logarit Prandtl-Von Karman- xem mục 15.2- để tính $V(z')$. Nồng độ vật chất được tính theo phương trình khuyếch tán đã được biến đổi có chú ý tới ảnh hưởng của trọng lực lên các phần tử vật chất:

$$Wc(z') + \varepsilon_z \frac{dc(z')}{dz'} = 0 \tag{19.12}$$

trong đó W là vận tốc thăng giáng của các phần tử vật chất trong nước, ε_z là hệ số khuyếch tán (nhớt rối).

Vận tốc thăng giáng (lắng đọng) W là một đại lượng rất khó xác định. Sau đây là các mối tương quan thực nghiệm theo kết quả quan trắc đối với cát trong nước sạch theo nhiệt độ cố định. Các công thức này áp dụng chủ yếu cho đường kính trầm tích trung bình, D_{50}, biến đổi từ 50 đến 300 μm.

Khi nhiệt độ nằm trong khoảng 18°C ta có

$$\lg \frac{1}{W} = 0.4949(\lg D_{50})2 + 2{,}4113 \lg D_{50} + 3{,}7394$$

và đối với 10°C

$$\lg \frac{1}{W} = 0.47584(\lg D_{50})^2 + 2{,}1795 \lg D_{50} + 3{,}1915$$

Hệ số khuyếch tán có thể sử dụng các biến tương tự như đối với lớp biên logarit. Kết quả cho thấy ε_z là một hàm của z' :

$$\varepsilon_z = \kappa v_* z' \left(\frac{h - z'}{h} \right) \tag{19.13}$$

trong đó κ là hệ số Karman = 0,4. Thay (19.13) vào (19.12) và giải phương trình tìm $c(z')$, ta thu được công thức biến đổi nồng độ vật chất

$$c(z') = c(b) \left(\frac{h - z'}{z'} \frac{a}{h - a} \right)^{z_*} \tag{19.14}$$

trong đó $c(b)$ nồng độ tại một độ cao lựa chọn $z'=b$ so với đáy, và

z_* là tham số phi thứ nguyên.

$$z_* = \frac{W}{\kappa V_*} \tag{19.15}$$

Bằng việc lấy b là độ cao của lớp sát đáy, tại mặt phân cách giữa lớp vận chuyển đáy và lớp lơ lửng, ($z=a$), kết hợp các phương trình (19.14) và 15.04 trong (19.11) ta có

$$S_S = \int_a^h c(a) \left(\frac{h - z'}{z'} \frac{a}{h - a} \right)^{z_*} \frac{v_*}{\kappa} \ln \frac{z'}{z_0} dz' \tag{19.16}$$

Einstein đã xác định nồng độ $c(a)$ từ công thức tính dòng di đáy do tác giả tự đề xuất. Như sẽ được trình bày muộn hơn, Bijker (1968) đã áp dụng cùng nguyên lí này, nhưng với công thức tính vận chuyển đáy của Frijlink-Kalinske.

Tiếp đến Einstein đã giải tích phân (19.16) thông qua hai thành phần bằng hai tích phân khác nhau. Điều này dẫn đến công thức tính dòng vận chuyển lơ lửng có dạng sau đây:

$$S_S = 11{,}6 \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} a c(a) \left[I_1 \ln \frac{33h}{r} + I_2 \right] \tag{19.17}$$

trong đó:

$$I_1 = 0{,}216 \frac{A^{(z_*-1)}}{(1-A)^{z_*}} \int_A^1 \left(\frac{1-\xi}{\xi} \right)^{z_*} d\xi \tag{19.18}$$

$$I_2 = 0{,}216 \frac{A^{(z_*-1)}}{(1-A)^{z_*}} \int_A^1 \left(\frac{1-\xi}{\xi} \right)^{z_*} \ln(\xi) d\xi \tag{19.19}$$

với A là một đại lượng phi thứ nguyên của độ gồ ghề, $A = r/h$, và

ξ là đại lượng phi thứ nguyên của mực nước, $\xi = z'/h$.

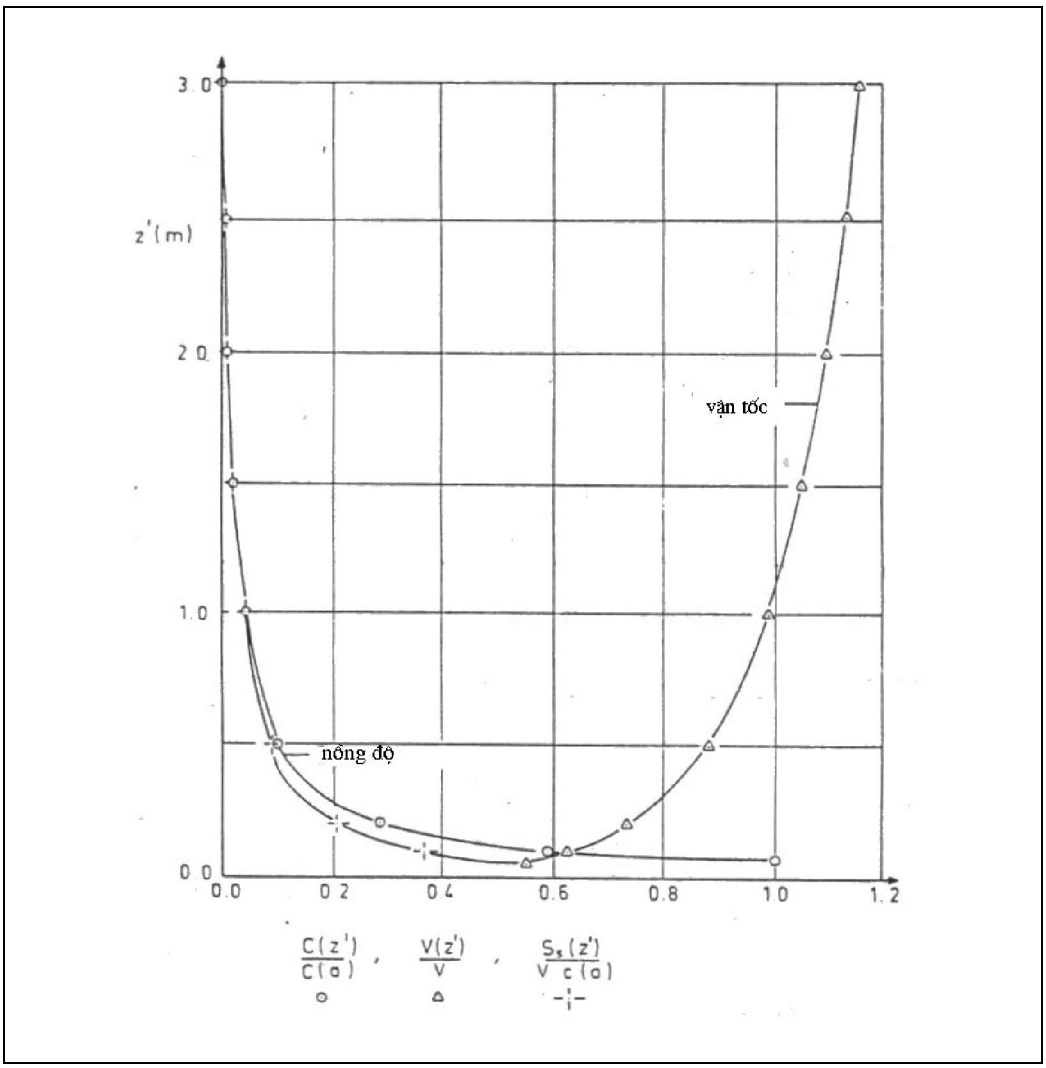
Einstein (1950) đã đưa ra các toán đồ và bảng số của hai tích phân I_1 và I_2 đối với các giá trị khác nhau của z^* và A. Sau này các nhà nghiên cứu – Bakker và Bogaard (1977)- đã đưa ra đánh giá toàn bộ số hạng trong dấu ngoặc vuông của phương trình 19.17, khác với việc đánh giá riêng rẽ các thành phần I_1 và I_2 trước đây. Giá trị của thành phần này:

$$Q = \left[I_1 \ln \frac{33h}{r} + I_2 \right] \tag{19.20}$$

được thể hiện trong bảng 19.1 như là một hàm của A và z^*

(ý nghĩa của các tham số khác vừa dẫn ra sẽ được giải thích kĩ hơn sau này).

Hình 19.1 cho ta ví dụ về một đường phân bố nồng độ, c(z') đối với z^*=1, $r = a$ = 0,06 m và h=3m. Đồng thời cũng dẫn ra đường phân bố vận tốc theo logarit và dòng trầm tích tổng cộng. Tất cả ba đường phân bố này đã được đưa về dạng phi thứ nguyên bằng cách chia cho các tham số tương ứng được dẫn ra trên các trục của đồ thị.



Hình 19.1 **Ví dụ về phân bố nồng độ, vận tốc và vận chuyển trầm tích**

Nhiều nhà nghiên cứu khác đã đưa ra công thức tính dòng trầm tích. Englund và Hansen (1967) đã đưa ra công thức sau trên cơ sở quan trắc trên sông:

$$S = 0{,}05V\frac{\tau_c^2 C}{\rho^2 g^{5/2}\Delta^2 D_{50}} \tag{19.21}$$

trong đó: D_{50} là kích thước hạt vượt qua 50% (theo trọng lượng) của mẫu vật liệu đáy, và S là vận chuyển trầm tích tổng cộng- tổng của vận chuyển đáy và vận chuyển lơ lửng.

Bảng 19.1 **Các giá trị của tích phân Einstein**

r/h	z* = 0			z* = 0,20			z* = 0,40			z* = 0,60			z* = 0,80		
	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	S_s/S_b	St/S_b
1.10^{-5}	$3,03.10^5$	$5,54.10^5$	$5,54.10^5$	$3,28.10^4$	$6,00.10^4$	$6,00.10^5$	$3,88.10^3$	$7,10.10^3$	$7,10.10^3$	527,	964,	965,	88,0	161,	162,
2.10^{-5}	$1,44.10^4$	$2,63.10^5$	$2,63.10^5$	$1,79.10^4$	$3,27.10^4$	$3,27.10^4$	$2,43.10^3$	$4,44.10^3$	$4,44.10^3$	377	689,	690,	71,6	131,	132,
5.10^{-5}	$5,36.10^4$	$9,80.10^4$	$9,80.10^4$	$7,98.10^3$	$1,46.10^4$	$1,46.10^4$	$1,3.10^3$	$2,37.10^3$	$2,37.10^3$	239	438,	439,	53,6	98,0	99,0
1.10^{-4}	$2,53.10^4$	$4,63.10^4$	$4,63.10^4$	$4,32.10^3$	$7,90.10^3$	$7,90.10^3$	803	$1,47.10^3$	$1,47.10^3$	169	310	311	42,7	78,2	79,2
2.10^{-4}	$1,19.10^4$	$2,18.10^4$	$2,18.10^4$	$2,33.10^3$	$4,26.10^3$	$4,26.10^3$	496	907	908	119	218	219	33,9	62,0	63,0
5.10^{-4}	$4,36.10^3$	$7,93.10^3$	$7,98.10^3$	$1,02.10^3$	$1,87.10^3$	$1,87.10^3$	260	475	476	74,3	136	137	24,6	45,0	46,0
1.10^{-3}	$2,03.10^3$	$3,72.10^3$	$3,72.10^3$	545	998	999	158	290	291	51,2	93,7	94,7	19,1	34,9	35,9
2.10^{-3}	940	$1,72.10^3$	$1,72.10^3$	289	529	530	95,6	175	176	35,1	64,2	65,2	14,6	26,7	27,7
5.10^{-3}	336	615	616	123	226	227	48,5	88,7	89,7	20,8	38,1	39,1	10,0	18,3	19,3
0,01	153	280	281	63,9	117	118	28,6	52,3	53,3	13,8	25,2	26,2	7,32	13,4	14,4
0,02	68,9	126	127	32,8	60	61	16,5	30,2	31,2	8,91	16,3	17,3	5,21	9,54	10,5
0,05	23,2	42,4	43,4	13,1	24	25	7,70	14,1	15,1	4,78	8,74	9,74	3,13	5,73	6,73
0,10	9,84	18,0	19,0	6,28	11,5	12,5	4,12	7,54	8,54	2,81	5,14	6,14	1,99	3,64	4,64
0,20	3,90	7,13	8,13	2,80	5,13	6,13	2,04	3,73	4,73	1,51	2,77	3,77	1,15	2,10	3,10
0,50	0,836	1,53	2,53	0,716	1,31	2,31	0601	1,10	2,10	0,49	0,90	1,90	0,39	0,72	1,72
1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00

Bảng 19.1 **Các giá trị của tích phân Einstein (tiếp)**

r/h	z* = 1,00			z* = 1,50			z* = 2,00			z* = 3,00			z* = 4,00			z* = 5,00		
	Q	S_s/S_b	S_t/S_b	Q	Ss/Sb	St/Sb	Q	Ss/Sb	St/Sb	Q	Ss/Sb	St/Sb	Q	Ss/Sb	St/Sb	Q	Ss/Sb	St/Sb
1.10^{-5}	20,0	36,6	37,6	2,33	4,26	5,26	0,973	1,78	2,78	0,432	0,790	1,79	0,276	0,505	1,50	0,202	0,370	1,37
$.2.10^{-5}$	17,9	32,8	33,8	2,31	4,23	5,23	0,973	1,78	2,78									
$.5.10^{-5}$	15,4	28,2	29,2	2,28	4,17	5,17	0,967	1,77	2,77									
$.1.10^{-4}$	13,6	24,9	25,9	2,25	4,11	5,11				0,432	0,790		0,276	0,505				
$.2.10^{-4}$	11,9	21,8	22,8	2,21	4,04	5,04	0,967	1,77	2,77	0,431	0,789		0,275	0,504				
5.10^{-4}	9,78	17,9	18,9	2,13	3,90	4,90	0,962	1,76	2,76	0,431	0,788		0,275	0,504				
1.10^{-3}	8,36	15,3	16,3	2,05	3,76	4,76	0,951	1,74	2,74	0,430	0,787	1,79	0,275	0,503			0,370	
2.10^{-3}	6,99	12,8	13,8	1,96	3,58	4,58	0,940	1,72	2,72	0,428	0,784	1,78	0,274	0,502		0,202	0,369	
5.10^{-3}	5,38	9,84	10,8	1,78	3,26	4,26	0,907	1,66	2,66	0,424	0,776	1,78	0,273	0,499	1,50	0,201	0,367	1,37
0,01	4,28	7,84	8,84	1,62	2,96	3,96	0,869	1,59	2,59	0,417	0,763	1,76	0,270	0,494	1,49	0,199	0,364	1,36
0,02	3,30	6,04	7,04	1,42	2,59	3,59	0,809	1,48	2,48	0,404	0,740	1,74	0,264	0,483	1,48	0,195	0,357	1,36
0,05	2,18	3,99	4,99	1,10	2,02	3,02	0,694	1,27	2,27	0,374	0,684	1,68	0,249	0,456	1,46	0,186	0,341	1,34
0,10	1,48	2,70	3,70	0,836	1,53	2,53	0,568	1,04	2,04	0,339	0,620	1,62	0,236	0,432	1,43	0,181	0,332	1,33
0,20	0,89	1,64	2,64	0,552	1,01	2,01	0,414	0,758	1,76	0,317	0,580	1,58	--	--	--	--	--	--
0,50	0,31	0,57	1,57	0,174	0,319	1,32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Một công thức vận chuyển trầm tích khác cũng đã được White và Ackers (1973) đưa ra. Chi tiết về công thức này có thể tìm thấy trong tài liệu tham khảo hoặc trong các giáo trình về vận chuyển trầm tích.

19.3 ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG LÊN VẬN CHUYỂN TRẦM TÍCH ĐÁY

Hoàn toàn logic khi đưa ảnh hưởng của sóng vào vận chuyển trầm tích trong chừng mực dù ít hay nhiều tương tự như cách đưa ảnh hưởng của sóng vào việc xác định lực ma sát của dòng chảy dọc bờ (xem chương 15). Thực vậy, Bijker (1967) đã làm theo cách này và đã chứng minh một cách rõ ràng bản chất hiện tượng có liên quan. Phương pháp của Bijker đã đưa ảnh hưởng của sóng vào thông qua sự biến đổi ứng suất đáy biển (shear stress) đã từng được sử dụng trong công thức vận chuyển trầm tích do cho dòng chảy gây nên. Ông đã chọn công thức - phương trình 19.01 của Kalinske-Frijlink cho việc vận chuyển sát đáy (dòng di đáy) và đã kết hợp công thức này với công thức Einstein cho vận chuyển trầm tích lơ lửng - phương trình 19.17

Thành phần vận tốc tức thời gây ra do sóng có thể có ý nghĩa đáng kể trong vùng sóng đổ kể cả trong trường hợp giá trị trung bình theo thời gian của thành phần này tương đối bé so với vận tốc dòng ven bờ. Quan điểm này dẫn tới một giả thiết cho rằng sóng đóng vai trò chủ yếu trong sự khuấy động lên của vật liệu đáy hơn là sự vận chuyển. Vạch ra tư tưởng này, Bijker đã biến đổi hạng thức ứng suất đáy biển theo tham số khuấy động (stirring) của công thức Kalinske-Frijlink. Các chi tiết biến đổi của τ_c trong số hạng này sẽ được trình bày trong phần sau.

19.4 BIẾN ĐỔI CỦA ỨNG SUẤT ĐÁY

Ứng suất đáy biển có vai quan trọng cho sự chuyển động trầm tích trên bờ hoặc trên lạch tàu. Ảnh hưởng của sóng vào ứng suất đáy của dòng ven bờ đã được giải thích rõ ở chương 15; tại đó thành phần ứng suất đáy theo hướng dòng đã được lấy trung bình để xác định ứng suất tương đương trạng thái dừng cuối cùng.

Không cần nghĩ ngợi gì, chúng ta có thể thay thế ứng suất này vào công thức vận chuyển trầm tích của chúng ta. Sai số cho một phương pháp như vậy có thể thu được qua việc trả lời câu hỏi: thành phần ứng suất nào được xác định khi một phần tử vật chất đáy bắt đầu chuyển động? Một cách đặt vấn đề khác : cần tác động theo hướng nào để các phần tử vật liệu đáy được khuấy lên và chuyển dịch tiếp ? Câu trả lời cho các vấn đề này chỉ quan trọng mỗi khi hướng của lực tác động lên số hạng khuấy động của công thức Kalenske-Frijlink.

Ứng suất cần sử dụng trong thành phần lực kéo này đã được đưa ra ở chương 15; đó là:

$$\tau_{cw} = \rho\kappa^2 V_r^2 \tag{19.22}$$

trong đó V_r là vận tốc xảy ra tức thời.

Cơ sở của thành phần này có thể được tìm thấy trong mục 15.4. Mặt khác, công việc tiếp theo trong chương này, chúng ta sẽ phải tiếp tục làm việc với τ_{cw}

thay cho thành phần τ_{cwx} của nó. Không cần thiết phải lấy giá trị tuyệt đối trong phương trình 19.22 vì tất cả các thành phần đều không có giá trị âm.

Giống như ở chương 15, chúng ta cần phải tính giá trị trung bình τ_{cw} của ứng suất tức thời này, hướng của nó cũng không đóng vai trò gì nữa; chúng ta chỉ xét đến độ lớn véc tơ. Do chỉ có một biến thời gian duy nhất trong phương trình 19.22 là V_r nên cần tính độ lớn trung bình của bình phương vận tốc $\overline{V}_r^2$ là đủ.

Nhắc lại định nghĩa V_r từ chương 15 :

$$V_r^2 = V_t^2 + (pu_b)^2 + 2pu_bV_t \sin\phi \tag{19.23}$$

trong đó: pu_b là vận tốc dòng sóng trên khoảng cách z'_t so với đáy.

V_t là vận tốc dòng không đổi tại cùng độ cao trên và

ϕ là góc giữa đường đỉnh sóng và dòng (không đổi).

Những trình bày đầy đủ hơn về vấn đề này có thể tìm thấy ở chương 15.

Giá trị của ϕ sẽ không bị hạn chế do mong muốn nhận được công thức có khả năng ứng dụng chung cho bất cứ tổ hợp nào của sóng và dòng.

Trong phương trình 19.23 chỉ có u_b là hàm thời gian. Lựa chọn

$$u_b = \hat{u}_b \cos\omega t \tag{19.24}$$

lưu ý rằng

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\cos x dx \tag{19.25}$$

và

$$\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\cos^2 x dx = \frac{1}{2} \tag{19.26}$$

(19.23) trở nên đơn giản hơn:

$$\hat{V}_r^2 = V_t^2 + \frac{1}{2}(p\hat{u}_b)^2 \tag{19.27}$$

$$\hat{V}_r^2 = V_t^2\left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{p\hat{u}_b}{V_t}\right)^2\right) \tag{19.28}$$

Thế kết quả cuối cùng này vào (19.22) ta thu được

$$\hat{\tau}_{cw} = \rho\kappa^2 V_t^2\left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{p\hat{u}_b}{V_t}\right)^2\right) \tag{19.29}$$

Trong đó chúng ta có thể nhận thấy

$$\rho\kappa^2 V_t^2 = \tau_c \tag{19.30}$$

như ứng suất chỉ đối với dòng chảy. Thế (19.30) và (15.30) vào phương trình (19.29) ta thu được một dạng rất đơn giản :

$$\hat{\tau}_{cw} = \tau_c + \frac{1}{2}\hat{\tau}_w \tag{19.31}$$

Một dạng thuận tiện khác là biểu diễn tỷ số giữa $\hat{\tau}_{cw}$ và τ_c theo các tham số chung. Sử dụng các phương trình 15.14 và 15.29 đồng thời với (19.30) trong phương trình (19.29) ta thu được kết quả mong muốn.

$$\overline{\tau}_{cw} = \tau_c \left(1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{\overline{u}_b}{V} \right)^2 \right) \tag{19.32}$$

Phương trình này có một số khác biệt so với với phương trình (15.30)

19.5 DÒNG DI ĐÁY DO SÓNG VÀ DÒNG CHẢY

Kết quả của phần trước có thể được thay thế trực tiếp vào số hạng khuấy động của công thức Kalinske-Frijlink đã thể hiện trong (19.04). Sử dụng (19.32) để biến đổi τ_c trong (19.04) và nhân nó với (19.05) ta thu được

$$S_b = \frac{BDV\sqrt{g}}{C} \exp\left(\frac{-0{,}27\Delta D\rho g}{\mu\tau_c \left[1 + \frac{1}{2}\left(\xi \frac{\overline{u}_b}{V} \right)^2 \right]} \right) \tag{19.33}$$

hoặc sử dụng phương trình tương đương 19.03

$$S_b = \frac{BDV\sqrt{g}}{C} \exp\left(\frac{-0{,}27\Delta DC^2}{\mu V^2 \left[1 + \frac{1}{2}\left(\xi \frac{\overline{u}_b}{V} \right)^2 \right]} \right) \tag{19.34}$$

Rõ ràng từ những mối quan hệ này sự có mặt của sóng $\overline{u}_b$ sẽ tăng lượng vận chuyển trầm tích. Hơn nữa, vì ϕ không xuất hiện trong phương trình, sự gia tăng vận chuyển trầm tích không còn phụ thuộc vào hướng của sóng đã được đảm bảo thông qua vận tốc dòng chảy. Điều này dường như hợp logic với những nhận xét ở phần trước đã được làm sáng tỏ quan niệm về hướng ứng suất liên quan tới sự khuấy động vật liệu đáy.

Bijker (1967) đã cho rằng sự vận chuyển đáy xẩy ra trong lớp gần đáy có độ dày bằng độ gồ ghề của đáy r. Nồng độ vật liệu ở trong lớp này, c_b, (giả thiết là hằng số theo độ cao) là:

$$c_b = \frac{S_b}{\int_0^r V(z')dz'} \tag{19.35}$$

Tích phân này được tính theo phân bố vận tốc của dòng chảy -xem chương 15, đặc biệt hình 15.1b:

$$\int_0^r V(z')dz' = \frac{1}{2} z'_t V_t + \frac{1}{\kappa}\sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \int_{z'_t}^{r} \ln\frac{z'}{z'_0} dz' \tag{19.36}$$

Sử dụng định nghĩa của z_t' và các tham số khác trong các hạng thức r và tiến hành lấy tích phân dẫn đến

$$\int_0^r V(z')dz' = 6{,}34\sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} r = 6{,}34 V_* r \tag{19.37}$$

Với kết quả này, phương trình (19.35) trở thành

$$c_b = \frac{S_b}{6{,}34\sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}\,r} \tag{19.38}$$

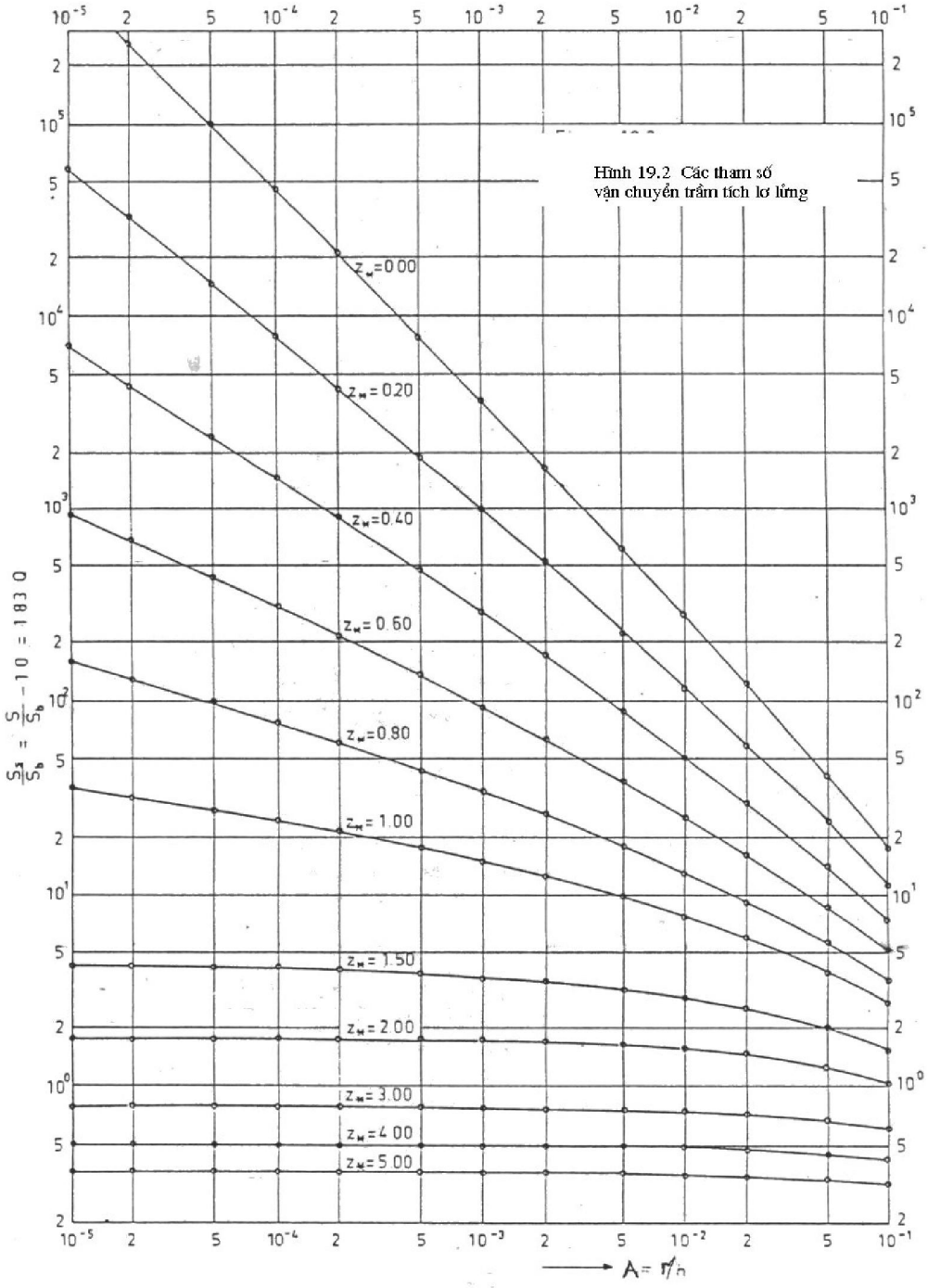
Nồng độ được giả thiết là không đổi trên toàn lớp có độ dày r của lớp vận chuyển dưới đáy. Cũng như đã chỉ ra trước đây, nồng độ này được biểu diễn theo đơn vị thể tích trầm tích lắng đọng đối với thể tích đơn vị nước và như vậy bao hàm cả độ xốp trong trầm tích lắng đọng.

19.6 ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG LÊN DÒNG VẬN CHUYỂN LƠ LỬNG

Vì sự phân bố nồng độ trầm tích lơ lửng phụ thuộc vào ứng suất đáy thông qua z_* (phương trình 19.15) trong phương trình 19.14, Bijker, 1968 đã đơn giản hoá ảnh hưởng của sóng thông qua biến đổi hạng thức ứng suất. Lập luận rằng ứng suất trong 19.14 tác động theo cùng một tiến trình vật lý giống như trong hạng thức khuấy trộn của công thức vận chuyển di đáy; ông đã biến đổi ứng suất qua phương trình 19.32.

Cũng như vậy, lựa chọn $a = r$ và $c(a)$, cho rằng nồng độ này bằng c_b ta thu được

$$c(z') = c_b\left[\frac{r}{h-r}\,\frac{h-z'}{z'}\right]^{\frac{\sqrt{W}}{\kappa\sqrt{\tau_c}}\sqrt{1+\frac{\xi^2}{2}\left(\frac{u_b}{V}\right)^2}} \tag{19.39}$$



Dòng vận chuyển lơ lửng tuân theo công thức

$$S_s = \int_0^r c(z')V(z')dz' \qquad (19.40)$$

trong đó: c(z') được xác định trong phương trình 19.39 và

V(z') được xác định trong phương trình 15.04.

Kết quả thu được, sau khi thế 19.38, 19.39 và 19.04 vào phương trình 19.40, tiến hành một số phép toán đại số và sử dụng 19.20 là:

$$S_s = 1{,}83 Q S_b \tag{19.41}$$

nó chỉ ra rằng dòng vận chuyển lơ lửng phụ thuộc tuyến tính trực tiếp với dòng di đáy. Điều này cũng hợp logic khi xem xét mối quan hệ trực tiếp giữa c_b và cả hai S_b và S_c. Các giá trị của

$$\frac{S_s}{S_b} = 1{,}83 Q \tag{19.42}$$

đã được đưa vào bảng 19.1 và được vẽ ra trên hình 19.2 như là hàm số của hai tham số độc lập A và z_x. Tất nhiên ứng suất dùng để tính z_x cần phải biến đổi; phương trình 19.15 trở thành

$$z_* = \frac{W \sqrt{\rho}}{\kappa \sqrt{\tau_c \left[1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{u_b}{V} \right)^2 \right]}} \tag{19.43}$$

19.7 VẬN CHUYỂN TRẦM TÍCH TỔNG CỘNG

Giờ đây khi cả hai loại dòng di đáy S_b và dòng lơ lửng S_s đã được biết, dòng tổng cộng sẽ thu được như một tổng của các thành phần đó. Thêm vào đó, do S_s liên quan trực tiếp với S_b, một biểu thức đặc biệt đơn giản được tạo nên:

$$S = S_b + S_s = S_b (1 + 1{,}83 Q) \tag{19.44}$$

Trong phương trình này, S_b được đánh giá bằng cách sử dụng phương trình 19.33 hoặc phương trình 19.34 và Q cần được đánh giá bằng cách sử dụng giá trị đã biến đổi của z_* cho trước trong phương trình 19.43. Các giá trị của hạng thức trong ngoặc cuả phương trình (19.44) $\frac{S}{S_b}$ cũng đã được đưa vào trong bảng 19.1 và có thể tính được bằng cách cộng thêm 1.0 vào các giá trị trên hình 19.2.

Thủ tục vừa dẫn ra thường được nói đến như công thức của Bijker vì ông là người lần đầu tiên biến đổi ứng suất đáy theo cách vừa trình bày trên.

Công việc lý thuyết giờ đây đã hoàn thành. Còn lại một số vấn đề là đánh giá tất cả lại tham số liên quan đến các đại lượng tham gia vào các hạng thức đã đo được hay đã biết.

Biết rằng chỉ có một tham số sóng đáy μ là cần phải được xác định thêm. Nó thường được xác định thông qua mối quan hệ thực nghiệm:

$$\mu = \left(\frac{C}{C'} \right)^{3/2} \tag{19.45}$$

trong đó C là hệ số Chezy được tính theo phương trình 19.08 và

C' là một hệ số Chezy khác phụ thuộc vào các tính chất vật liệu đáy:

$$C' = 18 \log \frac{12h}{D_{90}} \tag{19.46}$$

trong đó D_{90} là đường hạt kính trầm tích cho phép 90% (trọng lượng) của trầm tích đi qua.

Bảng 19.2: **Các bước tính toán vận chuyển bùn cát ven bờ**

Bước	Xác định/đánh giá	Phương trình	Tham số
1	Xác định điều kiện sóng nước sâu H_o, T, ϕ_o		
2	Tính tốc độ sóng nước sâu C_0, và tần suất sóng ω		T
3	Xác định số liệu về hải dương học và thuỷ văn: độ sâu, mẫu đất, tỷ trọng (denssity) nước, ρ		
4	Phân tích trong phòng thí nghiệm đất ρ_s, D, W, D_{90}		Mẫu đất
5	Tính tỷ trọng tương đối, Δ	19.02	ρ_S, ρ
6	Xác định chỉ số sóng đổ, γ	Tập 1	H_0, T, bath
7	Chọn độ sâu nước, h	Tập 1	H_0, ω
8	Tính các điều kiện sóng địa phương H, λ, K, $\bar{u}_b$, a_b (tính cả khúc xạ, nhiễu xạ)	(15.18)	H, ϕ_0, địa hình
9	Đánh giá độ ghồ ghề		h, r
10	Tính $A=\frac{\Gamma}{h}$	(19.08)	h, r
		(19.46)	h, D_{90}
	C		
	C'		
11	Tính f_w	(15.16) hoặc hình 15.2	a_b, r
12	Tính p'	(15.21) hoặc hình 15.2	f_w
13	Tính V (chỉ đối với sóng gây nên dòng dọc bờ, đối với các trường hợp khác phải sử dụng phương pháp tính toán hoặc dùng số đo hiện trường)	(15.03) hoặc (16.06)	ϕ_0, c_0, γ địa hình, C, f_w
14	Tính μ	(19.45)	C, C'
15	Tính ξ	(19.29)	p, C
	τ_c	(19.03)	ρ, V, C
16	Tính z'	(19.43)	ρ, W, $\bar{u}_b$, V, τ_c
17	Tính vận chuyển đáy S_b	19.33 hoặc 19.34	Δ, D, C, V, μ, ξ, $\bar{u}_b$
18	Xác định Q	Bảng 19.1 hoặc hình 19.2	A, z'
19	Tính S	(19.44)	S_b, Q

Bảng 19.2 chỉ ra các bước cần thiết để tính toán vận chuyển trầm tích xảy ra dọc theo một độ rộng đơn vị của bờ với độ sâu nước h. Sự phân bố vận chuyển cát qua vùng sóng đổ có thể được xác định nhờ tiến hành các bước từ 7 đến 19 trong bảng đó đối với những giá trị của h tính đến độ sâu biên ngoài của đới sóng đổ h_{br}.

Những tính toán như vậy đòi hỏi nhiều thời gian; các chương trình tính toán đã được thiết lập và có thể khai thác được. Trong trường hợp cần thiết các tính toán có thể tiến hành sử dụng bộ các chương trình viết cho máy tính cầm tay. Một ví dụ tính toán mẫu sẽ được thể hiện trong phần 19.9.

19.8 MỘT SỐ NHẬN XÉT VỀ CÔNG THỨC BIJKER

Toàn bộ phương pháp điều chỉnh ứng suất đáy có tính đến sự hiện diện của sóng đều dựa trên mối quan hệ đối với dòng chảy ổn định (thường kỳ). Trong đó sự phân bố của độ dài xáo trộn (15.03) được lựa chọn dẫn tới phân bố vận tốc theo luật logarit (15.04) của Prandtl - Von Karman. Phân bố vận tốc này được giả thiết là có hiệu lực cho dòng chảy cũng như cho tổ hợp dòng chảy và sóng.

Như đã được trình bày trên đây, Bijker giả thiết rằng lớp vận chuyển đáy có độ dày bằng độ gồ ghề đáy biển r và nồng độ trầm tích ở lớp đó không đổi. Đối với những vấn đề thực tế, nơi mà độ gồ ghề thực sự chưa biết, Bijker đề nghị dùng độ gồ ghề bằng một nửa độ cao sóng đáy. Những sóng đáy này thường được đo trực tiếp, đặc biệt trên các mô hình.

Nhiều nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng độ gồ ghề ở đáy thường lớn hơn rất nhiều độ gồ ghề mà Bijker đã đề nghị, các giá trị gồ ghề bằng từ 2 đến 4 lần độ cao sóng đáy và hiện nay được nhiều người chấp nhận.

Khi độ gồ ghề đáy càng tăng mạnh thì độ dày của lớp di đáy cũng tăng lên. Điều này dẫn đến khả năng giả thiết về nồng độ không đổi trong toàn bộ độ dày của lớp này ít được chấp nhận. Những đo đạc gần đây trong phòng thí nghiệm đã chỉ ra rằng có những thay đổi về nồng độ trong lớp này. Tất nhiên điều này cũng kéo theo hậu quả đối với nồng độ quy chiếu trong các phương trình tính toán trầm tích lơ lửng.

Hơn nữa, thậm chí có một sự nghi ngờ nào đó về tính hiệu lực của quá trình khuyếch tán - được thể hiện qua mối tương quan nồng độ được Einstein áp dụng cho sóng. Thực vậy, trong công thức này đã bỏ qua bất kỳ một sự xáo trộn nào có thể xuất hiện do kết quả của vận tốc thẳng đứng của sóng gây nên. Các số liệu đo được của Kennedy và Loecher (1972) và trong một báo cáo vô danh từ phòng thí nghiệm Delft Hydraulies (1976) đã cho rằng một số mô hình phân bố liên tục của nồng độ ít nhiều phù hợp với số hiệu quan trắc.

Mặc dù còn có những hạn chế, trong số đó một số thuộc về bản chất của cơ chế vật lí, song công thức Bijker thường cho kết quả khá tốt. Chẳng hạn như khi sử dụng cho các bờ biển có cát khá đồng đều và dòng chảy ven bờ do sóng là chủ yếu, các kết quả tổng cộng thu được thường phù hợp khá tốt với các kết quả của công thức CERC trong chương 17. Điều này không nhất thiết đúng đối với các công thức khác.

Nguyên lý biến đổi ứng suất trong công thức vận chuyển trầm tích có thể được áp dụng, về mặt nguyên tắc cho bất kỳ công thức biến đổi trầm tích nào. Tuy nhiên thông thường việc đi sâu tìm hiểu quá trình vật lý liên quan là khó khăn nhằm giải quyết những vấn đề phức tạp liên quan đến biến đổi chính xác ứng suất.

Công thức Bijker –Kalinske - Frijlink không tính đến ứng suất tới hạn như đã xác định trong chương 18. Trong công thức đã nêu trên, mọi sự tồn tại của dòng chảy bất kỳ và ứng suất đáy đều dẫn tới vận chuyển trầm tích, trong khi ở chương 18 đã chỉ ra rằng dòng trầm tích chỉ tồn tại trong một khoảng thời gian khi ứng suất tới hạn bị vượt quá.

Đối với điều kiện thực tế, thông thường dòng trầm tích lơ lửng còn lâu mới vượt quá dòng di đáy, tỷ lệ giữa chúng thường vào khoảng 1 trên 50.

Phải có thêm nhiều cuộc thảo luận nữa về giá trị chính xác của hệ số B được sử dụng trong công thức dòng di đáy. Các giá trị nằm trong miền từ 1 và 5 đã được mọi người đề nghị. Sự phân tán này phản ánh mức độ thiếu chính xác có thể có của tính toán vận chuyển cát. Thậm chí có nhiều tham số xuất hiện trong công thức cuối cùng có sai số phổ biến trong thực tế lớn hơn 10%; nói một cách khác. tính toán vận chuyển trầm tích thường không chính xác thậm chí chúng ta vẫn còn ở trong bước sơ đẳng đầu tiên. Điều không may là chẳng có gì cải tiến lớn hiện trạng này cho đến lúc có được một khối lượng quan trắc hiện trường tin cậy. Ví dụ sau đây cũng minh hoạ tốt cho điều này.

19.9 VÍ DỤ ĐỐI VỚI CÔNG THỨC BIJKER

Ví dụ sau đây nhằm chứng minh một số nguyên lý:

Trước hết, các tính toán như trình bày ở bảng 19.2 được sử dụng để minh hoạ. Thứ hai, sự ảnh hưởng của phân bố vận tốc dòng ven bờ được chứng minh thông qua phân bố vận chuyển cát đối với phân bố dòng ven khác nhau và đã được minh hoạ ở chương 16. Thứ ba, ảnh hưởng của các tham số khác, chẳng hạn như độ dốc bờ và kích thước hạt (particle grain), được khảo sát đối với mô hình phân bố dòng chảy và sóng. Cuối cùng, các tính toán so sánh theo công thức CERC cũng được trình bày.

Một loại điều kiện địa hình và sóng biển sâu đã được sử dụng trong mục 5 của chương 16 sẽ được giữ nguyên ở đây. Những điều kiện này bao gồm:

Chu kỳ sóng T: 7.0 s

Độ cao sóng H_0: 2.0 m

Góc tới ϕ_0: 30^0

Chỉ số sóng đổ, γ: 0.8

Độ dốc bờ, m: 1;100

Độ gồ ghề đáy: 0.06 m

Thêm vào đó, đáy cát có đường kính trung bình của hạt D = 200 μm. Đường kính cho qua 90% của mẫu là D_{90} = 270 μm. Phân tích trong phòng thí nghiệm cho rằng tỷ trọng nước là 1000 kg/m^3 và tỷ trọng cát là 2650 kg/m^3. Vận tốc lắng đọng của hạt w = 0.0252 m/s.

Các tính toán dù ít hay nhiều cũng liên quan tới các thủ tục trình bày ở bảng 19.2, mặc dù có một số phép tính toán đã được giản lược bớt. Bảng 19.3 cho ta các giá trị tính toán vừa thu được. Sáu cột các giá trị y, h, a_b, c, f_w và V_1 lấy trực tiếp từ bảng 16.1. Các tính toán cho hàng y = 159 m một lần nữa được minh họa chi

tiết giống như đã được trình bày ở phần 15.5. Những kết quả ở phần đó cũng sẽ được sử dụng ở đây.

Biên độ vận tốc quỹ đạo tại đáy có thể được tính theo phương trình 5.01b trong tập I tuy nhiên cũng có thể thu được nhanh hơn từ

$$u_b = \omega a_b \tag{19.47}$$

$$u_b = \frac{2\pi}{7} 2{,}25 = 2{,}02 \text{ m} \tag{19.48}$$

Tham số A đơn giản là

$$A = \frac{r}{h} = \frac{0{,}06}{2{,}59} = 0{,}0232 \tag{19.49}$$

Giá trị của C' tính trực tiếp từ phương trình 19.48

$$C' = 18 \log \frac{(12)(2{,}59)}{270 \times 10^{-6}} = 91{,}1 \quad m^{1/2}/s \tag{19.50}$$

Do f_w và V_1 được lấy từ bảng 16.1, tham số tiếp theo được tính là hệ số sóng đáy. Sử dụng định nghĩa thực nghiệm (19.45) ta thu được:

$$\mu = \left(\frac{48{,}9}{91{,}1}\right)^{3/2} = 0{,}39 \tag{19.50}$$

Tham số ξ có thể được tính theo phương trình 15.29

$$\xi = \frac{48{,}9\sqrt{0{,}034}}{\sqrt{(2)(9{,}81)}} = 2{,}04 \tag{19.52}$$

Tham số z_* được tính theo phương trình 19.43, tuy nhiên τ_c cần tính trước theo (19.03)

$$\tau_c = \frac{(1000)(9{,}81)(1{,}09)^2}{(48{,}9)^2} = 4{,}88 \quad \text{N/m}^2 \tag{19.53}$$

tiếp theo τ_{cw} từ (19.32)

$$\tau_{cw} = \tau_c \left(1 + \frac{1}{2}\left(\xi \frac{u_b}{V}\right)^2\right) \tag{19.32}$$

$$\tau_{cw} = 4{,}88 \left(1 + \frac{1}{2}\left((2{,}04)\frac{(2{,}02)}{1{,}09}\right)^2\right) = 39{,}75 \text{ N/m}^2 \tag{19.54}$$

Tham số z_* thu được một cách đơn giản hơn

$$z_* = \frac{W\sqrt{\rho}}{\kappa\sqrt{\tau_{cw}}} \tag{19.55}$$

$$z_* = \frac{(0{,}0252)(\sqrt{1000})}{(0{,}40)\sqrt{39{,}75}} = 0{,}316 \tag{19.56}$$

Biết τ_{cw}, S_b có thể tính được một cách thuận tiện hơn theo phương trình 19.33 thay cho 19.34

$$S_b = \frac{BDV\sqrt{g}}{C}\exp\left(\frac{-0,27\Delta D\rho g}{\mu\tau_c\left[1+\frac{1}{2}\left(\xi\frac{u_b}{V}\right)^2\right]}\right) \tag{19.33}$$

Dùng giá trị phổ biến hiện nay (1977) cho B là 5.0

$$S_b = \frac{(5)(200\times10^{-6})\sqrt{9,81}(1,09)}{48,9}\exp\left(\frac{-0,27(1,65)(200\times10^{-6})(1000)(9,81)}{(0,39)(39,75)}\right) \tag{19.57}$$

$=6,600\text{x}10^{-5}\text{m}^3/\text{s.m}$ (19.58)

Giá trị của Q có thể tính được một cách gần đúng bằng toán đồ 19.2 theo giá trị của A và nội suy giữa các đường cong tương ứng các giá trị z_*. Mặt khác, phép nội suy có thể được tiến hành theo bảng 19.1. Với mỗi phương pháp đều có thể thu được Q = 19,26.

Biết Q, dòng vận chuyển tổng cộng có thể tìm được theo phương trình 19.44:

$$S = 6,60\times10^{-5}\left[1+1,83(19,26)\right] \tag{19.59}$$

$$= 2,39\times10^{-3}\ \text{m}^3/\text{s.m} \tag{19.60}$$

Vận chuyển trầm tích tổng cộng có thể tính được bằng cách tích phân các giá trị của S trên toàn bộ bề rộng của đới sóng đổ. Lấy tích phân các giá trị của S_1 theo quy tắc hình thang với lưu ý rằng kích thước đoạn cuối cùng Δy chỉ là 9 m, ta có

$$S_1 = 0,179\ \ m^3/s \tag{19.60}$$

$$S_1 = 5,64\times10^6\ \ m^3/n \tag{19.61}$$

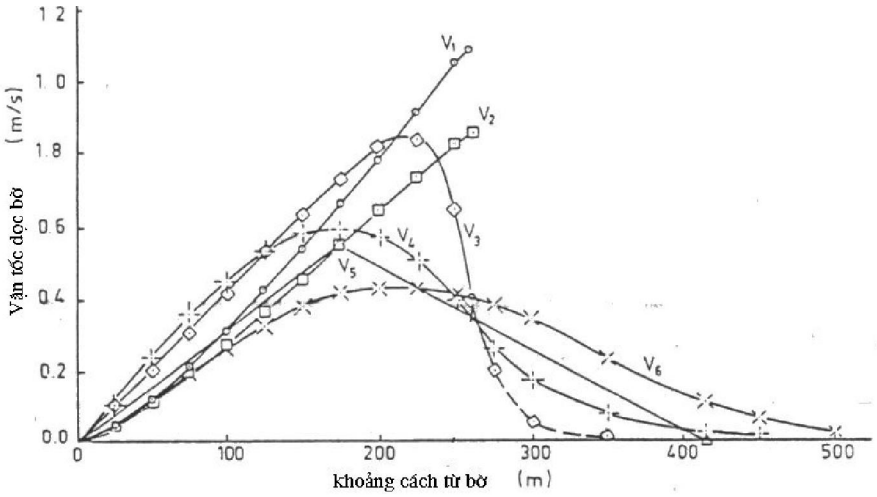
Giá trị thu được dường như cao so với cơ sở trước đây, nhưng mặt khác, độ cao sóng nước sâu 2 m lại cao hơn khoảng gấp hai lần giá trị trung bình năm đối với biển Bắc. Thêm nữa người ta có xu hướng mắc sai lầm khi so sánh phương trình (19.61) với lượng vận chuyển cát ròng dọc theo bờ biển Hà Lan thường có giá trị bé hơn nhiều.

Các giá trị tốc độ vận chuyển trầm tích đã tính đối với các phân bố dòng chảy khác dẫn ra trong bảng 16.1 cũng được đưa ra trong bảng 19.3.

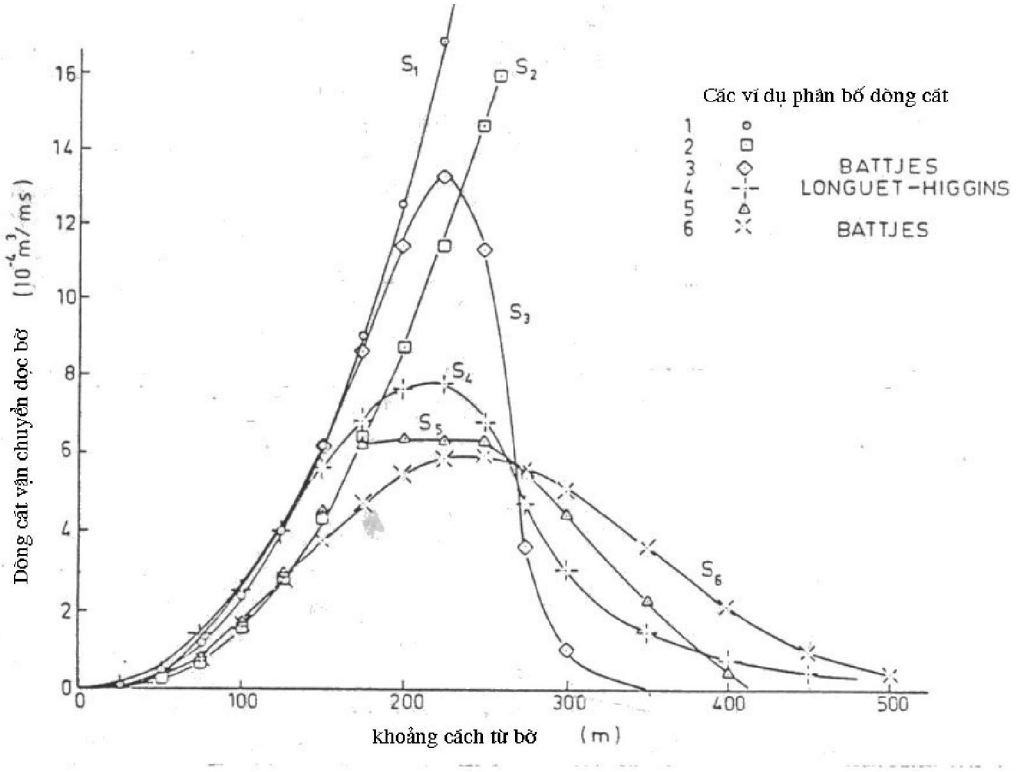
Các giá trị của S_2 thu được thông qua áp dụng kỹ thuật như vừa trình bày đối với S_1, ngoại trừ lý thuyết sóng vùng nước chuyển tiếp được sử dụng để tính toán sự vận chuyển cát. (Nó đã được sử dụng với cân bằng lực một cách chính xác hơn khi xác định vận tốc dòng ven bờ V_2 trong chương 16).

Bảng 19.3 **Kết quả và các bước tính dòng vận chuyển trầm tích**

y	h	a_b	u_b	A	C	C'	f_w	V_1	□	□	z*	S_{b1}	Q	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
m	m	m	m/s	-	$m^{1/2}/s$	$m^{1/2}/s$	-	m/s	-	-	-	x 10^6 m^2/s	-	x 10^6 m^2/s	x 10^6 m^2/s	x 10^6 m^2/s	x 10^6 m^2/s	x 10^6 m^2/s	x 10^6 m^2/s
0	0	0	0,00	--	-	--	-	0,00	--	--	--	0,00	--	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	0,25	0,70	0,63	0,240	30,6	72,8	0,065	0,048	0,272	1,76	0,763	2,99	0,945	8,16	1,29	2,54	25,6	2,18	--
50	0,50	0,99	0,89	0,120	36,0	78,2	0,052	0,126	0,312	1,85	0,618	8,37	2,32	43,9	21,4	41,4	50,3	30,8	32
75	0,75	1,21	1,09	0,0800	39,2	81,4	0,047	0,216	0,334	1,92	0,527	14,4	3,88	117	72,7	123	141	86,4	91
100	1,00	1,40	1,26	0,0600	41,4	83,7	0,043	0,318	0,348	1,94	0,474	20,9	5,53	232	157	241	261	174	180
125	1,25	1,56	1,40	0,0480	43,2	85,4	0,040	0,430	0,360	1,95	0,439	27,7	7,25	395	278	409	409	293	269
150	1,50	1,71	1,53	0,0400	44,6	86,8	0,039	0,539	0,368	1,99	0,404	34,3	9,18	611	437	612	558	444	375
175	1,75	1,85	1,66	0,0343	45,8	88,0	0,037	0,663	0,375	1,99	0,379	41,7	11,21	897	635	859	678	618	468
200	2,00	1,97	1,77	0,0300	46,8	89,1	0,036	0,785	0,381	2,00	0,359	48,8	13,37	1240	871	1140	760	633	539
225	2,25	2,09	1,88	0,0267	47,8	90,0	0,035	0,915	0,387	2,02	0,339	56,2	15,76	1680	1140	1330	772	630	580
250	2,50	2,21	1,98	0,0240	48,6	90,8	0,034	1,05	0,391	2,02	0,324	63,8	18,19	2190	1330	1130	676	624	588
259	2,59	2,25	2,02	0,0232	48,9	91,1	0,034	1,09	0,393	2,04	0,316	66,0	19,26	2390	1590	--	--	--	--
275	2,75							0,00								363	469	539	561
300	3,00															102	307	445	502
350	3,50																147	229	359
415	4,15																77	46,2	211
450	4,50																42,9		96
500	5,00																		40



Hình 19.3a **Ví dụ về phân bố vận tốc**



Hình 19. 3b **Ví dụ về phân bố dòng vận chuyển trầm tích**

Các dòng vận chuyển cát còn lại từ S_3 đến S_6, đều là kết quả sử dụng công thức Bijker đối với các phân bố vận tốc được đánh số tương ứng từ bảng 16.1.

Tất cả các kết quả này cũng như các phân bố vận tốc tương ứng từ chương 16 được so sánh trên hình 19.3. Có thể nhận thấy rằng khi một đỉnh chuyển tiếp

(trung gian) trên phân bố vận tốc xuất hiện như từ V_3 đến V_6, các đỉnh tương ứng trong iển so với đỉnh vận tốc.

Tương tự, các tính toán được trình bày trong bảng 19.3, chúng ta có thể kết luận rằng vận chuyển lơ lửng trở nên tương đối quan trọng khi độ sâu nước tăng lên. Điều này xuất phát từ các giá trị cao của Q tương ứng độ sâu lớn trong bảng.

Sự biến thiên cục bộ của dòng vận chuyển cát giữa các phân bố có vẻ khá lớn. Tuy nhiên, dòng vận chuyển tổng cộng thu được bằng tích phân các đường cong thể hiện ở hình 19.36, cho thấy các kết quả có sự nhất quán đặc biệt. Các kết quả này được chỉ ra trong bảng 19.4

Bảng 19.4: **Vận chuyển cát tổng cộng**

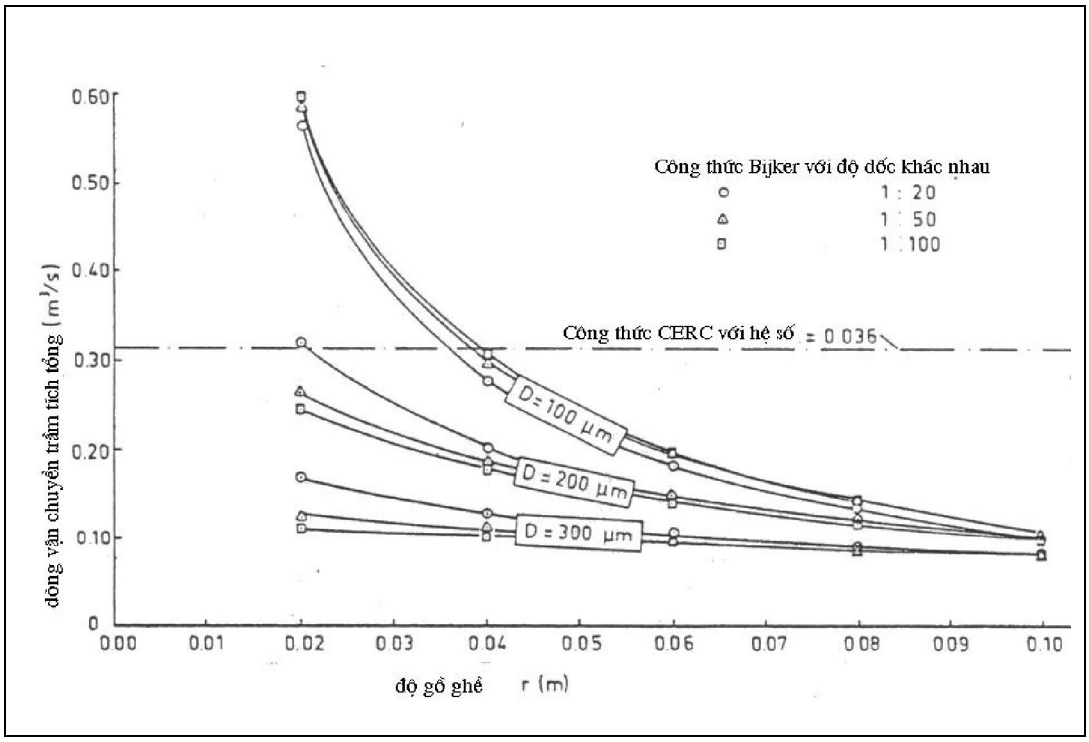
Đường phân bố số:	Tốc độ vận chuyển tổng cộng (m^3/s)
1	0.179
2	0.123
3	0.132
4	0.159
5	0.143
6	0.146
Hệ số CERC = 0.036	0.314

Tính toán theo công thức CERC được dẫn ra trong mục 19.11 phục vụ mục đích so sánh. Trong mục tiếp theo chúng ta sẽ xem xét độ nhạy của công thức Bijker.

19.10 ĐỘ NHẠY CỦA CÔNG THỨC BIJKER

Trong ví dụ trước, các giá trị riêng của các tham số như là độ ghồ ghề của đáy r, kích thước hạt D, độ dốc bờ m, và chỉ số sóng đổ γ đã được sử dụng. Hình 19.4 chỉ ra dòng vận chuyển cát tổng cộng thu được khi sử dụng công thức Bijker với phân bố vận tốc V_6 là một hàm của độ ghồ ghề đáy r với các kích thước hạt và độ dốc bờ khác nhau. Các điều kiện sóng xa bờ được duy trì không đổi và cũng giống như trong phần trước. Một lần nữa các kết quả từ công thức CERC được thể hiện để so sánh. Chú ý rằng công thức CERC hoàn toàn không có phản ứng đối với các tham số đang được thảo luận ở đây.

Độ ghồ ghề của đáy biển ảnh hưởng lên dòng vận chuyển cát tổng cộng theo hai cách: thứ nhất, khi độ ghồ ghề đáy biển tăng thì vận tốc dòng ven bờ giảm - xem chương 16; thứ hai, đối với vận tốc dòng cho trước, công thức Bijker thường đưa ra vận chuyển trầm tích thấp hơn khi độ ghồ ghề tăng. Hai ảnh hưởng này củng cố lẫn nhau dẫn đến sự suy giảm của dòng vận chuyển trầm tích tổng cộng khi độ ghồ ghề tăng.



Hình 19.4 **Độ nhạy của công thức Bijker**

Sự ảnh hưởng do kích thước hạt trung bình tăng cũng thấy rõ ràng từ hình 19.4. Khi tăng kích thước vật liệu đáy làm giảm vận chuyển trầm tích tổng cộng. Điều này dường như gây ngạc nhiên khi xem xét mối quan hệ trực tiếp giữa D và S_b trong hạng thức vận chuyển của phương trình 19.34. Sai số trong việc xem xét đơn giản quá mức này là kích thước hạt D cũng gây ảnh hưởng đến vận tốc lắng đọng w (đối với vận chuyển lơ lửng) và thậm chí ảnh hưởng đến cả tham số sóng đáy μ một cách gián tiếp. Như vậy, sự ảnh hưởng của kích thước hạt vật liệu đáy lên vận chuyển trầm tích qủa thực rất phức tạp.

Sự gia tăng độ dốc bờ dẫn tới tăng tốc độ dòng chảy dọc bờ (điều này được chứng minh trong trường hợp rất đơn giản theo phương trình 16.06). Việc tăng vận tốc sẽ tạo nên vận chuyển trầm tích mạnh hơn trên một đơn vị bề rộng. Độ dốc bờ tăng lên sẽ làm hẹp vùng sóng đổ, tuy nhiên, dòng vận chuyển trầm tích tổng cộng như vậy trên bờ hẹp dựng đứng chỉ khác chút ít với sự vận chuyển trên bờ rộng, thoai thoải.

19.11 SO SÁNH VỚI CÔNG THỨC CERC

Ứng dụng của công thức CERC được minh hoạ ở đây để so sánh các kết quả của nó với các kết quả thu được khi sử dụng công thức Bijker. Các điều kiện và các giá trị tham số trong các phần 16.5 và 19.9 cũng sẽ được sử dụng ở đây.

Công thức CERC từ chương 17 là

$$S = 0{,}014 H^2{}_0 c_0 K_{rbr}{}^2 \sin\phi_{br} \cos\phi_{br} \qquad (19.62)$$

Thay cho việc sử dụng hệ số gốc trong phương trình (19.62), chúng ta sẽ dùng hệ số gắn kết với đường cong 2 trong phương hình 17.1 đã được dẫn ra tương ứng trong bảng 17.1. Giá trị của hệ số này là 0.036.

Các dữ liệu cần thiết là:

$H_0 = 2{,}0$ m
$\phi_0 = 30^o$
$\phi_{br} = 13{,}3^o$
$T = 7{,}0$ s

Từ tập I chương 5 ta có:

$$c_0 = \frac{g}{2\pi} T \tag{19.63}$$

$$c_0 = (1{,}56)(7) = 10{,}93 \text{ m/s} \tag{19.64}$$

và từ tập I chương 9

$$K^2{}_r = \frac{\cos\phi_0}{\cos\phi_{br}} \tag{19.65}$$

$$K^2{}_r = \frac{\cos 30^o}{\cos 13{,}3^o} = 0{,}890 \tag{19.66}$$

Thế các giá trị này vào 19.62 ta được

$$S = 90{,}036)(2)^2(10{,}93)(0{,}890)(\sin 13{,}3°)(\cos 13{,}3°) \tag{19.67}$$

$$= 0{,}314 \text{ m}^3/\text{s} \tag{19.68}$$

Các kết quả từ công thức CERC đã được so sánh với các kết quả của công thức Bijker trong bảng 19.5 và hình 19.4. Chú ý rằng các kết quả theo các nhóm khác nhau là khá tốt. Như vậy người ta có thể kết luận chính xác rằng công thức Bijker sẽ giải quyết bất cứ bài toán nào mà công thức CERC có thể giải được. Vậy tại sao lại phải sử dụng cả 2 công thức trên? Công thức CERC cho phép sử dụng đơn giản hơn nhiều như chúng ta vừa minh hoạ.

Thực vậy, sức mạnh của công thức Bijker nằm trong khả năng thích ứng với bất kỳ điều kiện dòng nào. Quan điểm của công thức Bijker là điều chỉnh ứng suất đáy có tính đến sóng do đó có tính phổ dụng hơn nhiều. Như một sự lựa chọn, dòng V trong công thức Bijker có thể được điều khiển bởi tổ hợp lực bất kỳ các lực tác động và chịu tất cả các ảnh hưởng cục bộ. Ví dụ công thức Bijker có thể sử dụng để dự báo trầm tích trong các lạch tàu mà ở đó không có hiện tượng sóng đổ; công thức CERC sẽ không cho ta kết quả trong trường hợp như vậy. Bài toán về trầm tích kênh lạch sẽ được đưa ra một lần nữa ở chương 25.

Giờ đây chúng ta có thể tính được tốc độ vận chuyển trầm tích dọc bờ dựa trên một tập hợp các điều kiện cho trước, từ đây đã có thể giải quyết vấn đề dự báo biến đổi bờ. Ứng dụng đầu tiên của tính toán vận chuyển trầm tích để dự báo biến đổi bờ là đề tài của chương 20.

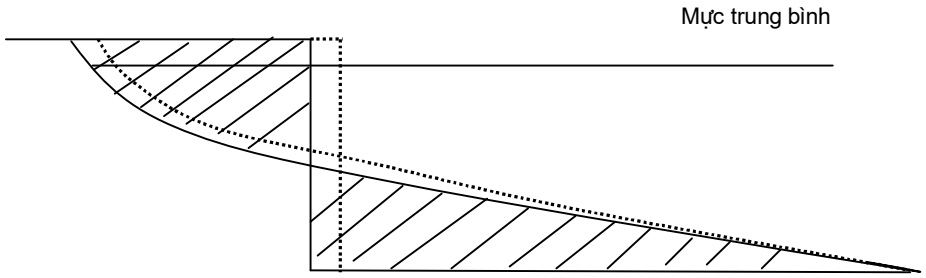
20 BIẾN ĐỔI BỜ THEO LÝ THUYẾT ĐƯỜNG ĐƠN

E.W. Bijker

20.1 MỞ ĐẦU

Các chương trước đây đã lấy trọng tâm xác định dòng vận chuyển trầm tích tại một vị trí nhất định trên bờ biển. Trong chương này chúng ta sẽ sử dụng các kiến thức về tốc độ vận chuyển trầm tích để dự báo những biến đổi của bờ. Như đã chỉ ra trong tập I, chương 28, chỉ có một sự biến đổi trong vận chuyển trầm tích dọc bờ mới gây ra xói lở và bồi tụ bờ.

Phương pháp được trình bày ở đây về mặt nguyên lý đã được phát triển theo Pelnard - Considere (1954). Mặc dù phương pháp này đã cũ và ít phù hợp đối với nhiều bài toán - do có liên quan đến một số giả thiết rất hạn chế - song đó lại là một trong một số ít phương pháp thích hợp cho tính toán thủ công. Vì vậy phương pháp này vẫn còn bảo tồn được giá trị của mình.



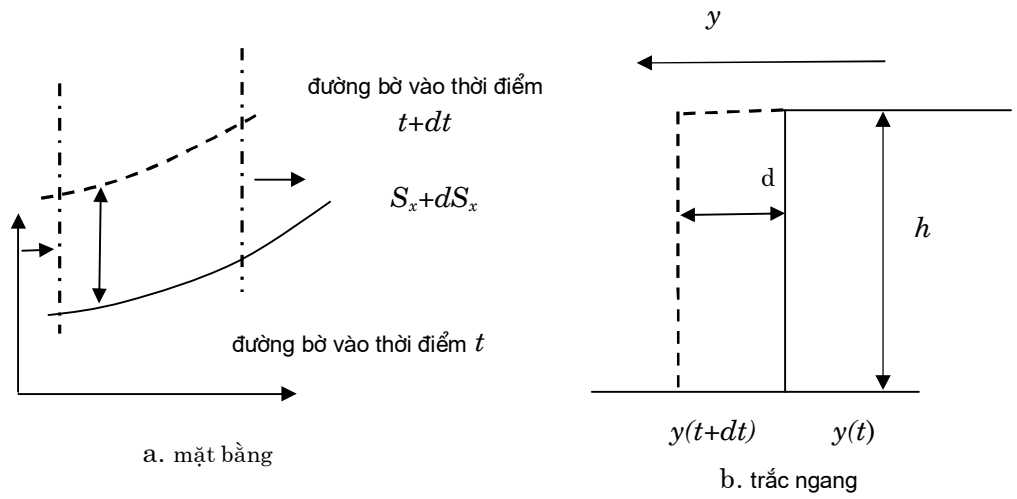
Hình 20.1: **Mặt cắt dọc bờ và mặt cắt biểu trưng của nó, các vùng kê vạch bằng nhau**

Trắc ngang đặc trưng cho bờ được giả thiết là chuyển dịch ngang toàn bộ độ cao và độ sâu của nó do kết quả của sự xói lở hay bồi lắng. Do đó độ dốc bờ sẽ không thay đổi. Sơ đồ của bãi và bờ được thể hiện trên hình 26.1 và minh hoạ trong tập 1. Hình đó được tái tạo lại ở đây cho đầy đủ. Vùng nằm giữa độ dịch ngang của các đường liền và đường gạch có diện tích như nhau đối với mặt cắt biểu trưng và mặt cắt thực. Trong thực tế, mặt cắt này thường mở rộng thêm một lượng nào đó ra ngoài khơi hơn so với vùng sóng đổ và bao trùm cả toàn bộ dải ven bờ. Thông thường, đáy của mặt cắt có thể xác định theo vị trí của điểm mà trên đó độ dốc bờ gần bằng 0.

Có hai phương trình cần thiết để dự báo các thay đổi của bờ; một phương trình chuyển động và một phương trình liên tục; Những phương trình này sẽ được thảo luận trong các phần sau.

20.2 PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC

Xét một đoạn bờ đang thay đổi hoặc đang bị xói mòn hay bồi đắp. Nếu chúng ta xét một đoạn độ dài dx trong khoảng thời gian *dt*, chúng ta nhận thấy rằng đường bờ đã chuyển đi một khoảng *dy*.



Hình 20.2 **Tương quan phương trình liên tục**

Từ hình 20.2, chúng ta thấy nếu như xẩy ra biến đổi bờ tại độ sâu h thì:

$$S_x dt - (S_x + dS_x)\, dt = dx\, dy\, h \qquad (20.01)$$

trong đó:

h là độ sâu nơi sự thay đổi diễn ra,

S_x là lượng vận chuyển cát dọc bờ tại vị trí *x*, và

$S_x + dS_x$ là cùng lượng vận chuyển cát dọc bờ tại vị trí *x*+ *dx*.

Phát biểu bằng lời: hiệu giữa lượng mang đến và mang đi là thể tích của vật liệu lắng đọng.

Cũng như thế

$$dS_x = \frac{\partial S_x}{\partial x} dx \qquad (20.02)$$

và

$$dy = \frac{\partial y}{\partial t} dt \qquad (20.03)$$

Thay thế hai biểu thức tương quan cuối cùng vào 20.01 sau khi giản lược ta thu được:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} + h\frac{\partial y}{\partial t} = 0 \qquad (20.04)$$

đó là phương trình liên tục.

Mối quan tâm thực tế chủ yếu của chúng ta trong sự thay đổi của đường bờ là một hàm thời gian, vì thế phụ thuộc gián tiếp vào $\frac{\partial y}{\partial t}$. Nếu chúng ta đánh giá được $\frac{\partial S_x}{\partial x}$ trong phương trình 20.04 thì có thể xác định được sự thay đổi bờ bằng tính tích phân. Hạng thức cần thiết đầu tiên của 20.04 này được xem xét ở phần sau.

20.3 PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG

Trong phần trước, chúng ta còn để lại vấn đề đánh giá $\frac{\partial S_x}{\partial x}$. Vậy điều gì biến đổi dọc bờ sẽ gây ra thay đổi S_x? Các biến quan trọng nhất có thể thay đổi dọc bờ đó là độ cao sóng và góc tới của sóng so với đường bờ. Trong số những biến này, chúng ta sẽ tự giới hạn ở đây vào sự thay đổi góc tới của sóng; điều này ngụ ý rằng không có sự nhiễu xạ và điều kiện sóng nước sâu không thay đổi dọc theo bờ.

Trong phần 17.4 chúng ta đã tiến hành khảo sát mối quan hệ giữa các thay đổi của góc tới của sóng so vời bờ và dòng vận chuyển cát tổng cộng S_x. Ở đây, chúng ta đã xem xét S_x đối với nhiều giá trị khác nhau của góc tới của sóng đối với bờ cố định. Chúng ta cũng đã xem xét S_x đối với một lượng sóng cố định và hướng đường bờ thay đổi so với sóng. Như vậy bằng việc thay đổi ϕ chút ít trong phương trình vận chuyển cát chúng ta có thể xác định $\frac{\partial S_x}{\partial \phi}$ một cách thực nghiệm. (Điều này có thể đạt được với bất kỳ công thức vận chuyển bùn cát ven bờ nào). Cũng như vậy, nếu chúng ta giới hạn các thay đổi góc tới của sóng so với đường bờ với những lượng nhỏ, có thể giả thiết $\frac{\partial S_x}{\partial \phi}$ là hằng số.

$$\frac{\partial S_x}{\partial \phi} = s_x \qquad (20.05)$$

Đây là phương trình chuyển động mà chúng ta mong muốn.

Chúng ta có thể biến đổi hàm đã biết này $\frac{\partial S_x}{\partial \phi}$ theo hàm chưa biết $\frac{\partial S_x}{\partial x}$ dựa theo quy tắc giây chuyền:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_x}{\partial \phi}\frac{\partial \phi}{\partial x} \qquad (20.06)$$

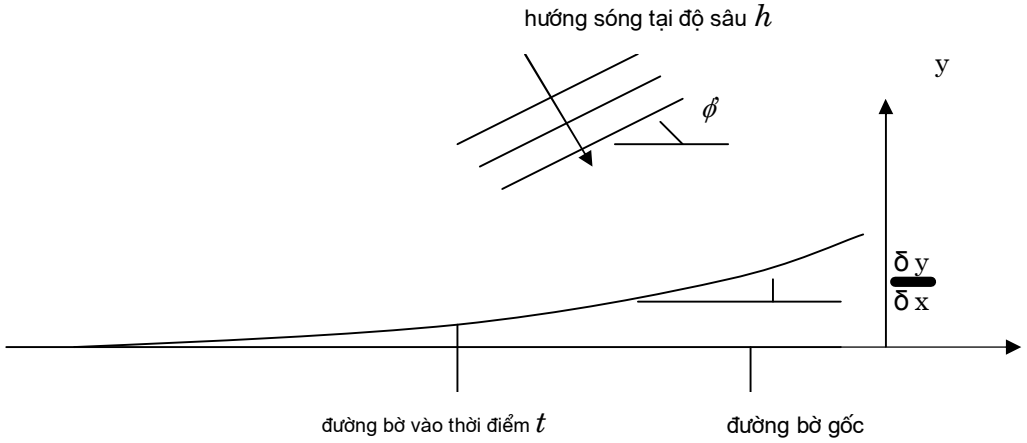
Như chúng ta đã giả thiết $\partial\phi$ nhỏ thì $\partial\phi$ tương đương với $-\frac{\partial y}{\partial x}$ và:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \qquad (20.07)$$

Dấu âm ở đây nói lên việc $\frac{\partial y}{\partial x}$ tăng dẫn đến ϕ giảm.

Góc ϕ được dùng ở đây không được xác định một cách riêng biệt, nó là góc tới của sóng ở một độ sâu nước nào đó phía trước bờ. Độ sâu này tương ứng độ sâu tại chân phần bờ nơi xẩy ra những biến đổi do sự vận chuyển cát ven bờ. Theo đó độ sâu này sẽ tương ứng với độ sâu h trong hình 20.2. Chúng ta đưa ra góc ϕ' như đã chỉ ra ở hình 20.3, khi nó được xác định so với đường bờ gốc (trục x). Tuy nhiên góc mà chúng ta cần trong phương trình chuyển động là góc giữa đỉnh sóng tại độ sâu h và đường bờ tức thời tại một thời gian nào đó. Như vậy cũng từ hình 20.3 chúng ta có thể xác định được ϕ:

$$\phi = \phi' - \frac{\partial y}{\partial x} \qquad (20.08)$$



Hình 20.3 **Sơ đồ phẳng hướng sóng và đường bờ**

Chú ý rằng ở đây ϕ cần phải đo tại độ sâu h, trái với điều đã được trình bày ở chương 17 khi ϕ_0 được dùng trong công thức CERC. Điều đó đúng vì chúng ta ngầm giả thiết rằng độ dốc bờ tiếp tục về phía nước sâu, vậy $\phi' = \phi_0$. Theo định nghĩa hiện tại, có thể dùng ϕ' tổng quát hơn; điều đó cũng sẽ thoả mãn khi chân của độ dốc nằm trên nền cát phẳng.

Vậy độ cao sóng mà chúng ta sẽ sử dụng để xác định sự vận chuyển cát sẽ bằng bao nhiêu? (Độ cao sóng được đưa vào các công thức vận chuyển cát theo một cách nhất định). Tương tự như đối với góc tới của sóng, việc đánh giá an toàn nhất là đánh giá độ cao sóng trong vùng có những biến đổi bờ. Sử dụng số liệu sóng nước sâu sẽ tạo ra kết quả không chính xác nếu như hiện tượng sóng đổ xẩy ra trên bãi ngầm ngoài khơi.

20.4 CÁCH GIẢI, CÁC ĐIỀU KIỆN BIÊN VÀ ĐIỀU KIỆN BAN ĐẦU

Phương trình 20.05 là phương trình chuyển động và phương trình 20.04 là phương trình liên tục, có thể được kết hợp lại bằng cách thế 20.05 và 20.07 vào 20.06:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} = -s_x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \tag{20.09}$$

tiếp theo, thế biểu thức này vào 20.04 tạo ra

$$-s_x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + h\frac{\partial y}{\partial t} = 0 \tag{20.10}$$

biểu thức này nó có thể được quy về dạng chuẩn bằng cách thay:

$$a = \frac{s_x}{h} = \frac{S}{\varphi' h} \tag{20.11}$$

ta thu được kết quả cuối cùng là

$$a\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \tag{20.12}$$

Phương trình 20.11 được dẫn trực tiếp từ phương trình 20.05

Cả hai điều kiện ban đầu và điều kiện biên đều cần thiết để giải phương trình 20.12 cho trường hợp cụ thể. Một trong các điều kiện ban đầu là dạng đường bờ tại thời điểm $t = 0$, hai điều kiện biên đó là dòng vận chuyển cát là hàm thời gian tại hai địa điểm khác nhau thường được chọn trước. Các điều kiện ban đầu và điều kiện biên đối với một bài toán riêng, như bài toán bồi đắp trước đê chắn sóng không thấm thấu (đối với cát) được dẫn ra trong phần sau cùng với lời giải đối với đường bờ thu được.

20.5 ỨNG DỤNG CHO HIỆN TƯỢNG LẮNG ĐỌNG DO CÔNG TRÌNH CHẮN SÓNG

Xây dựng đê chắn sóng bảo vệ kênh vào cảng tránh bị tác động của sóng dẫn đến đảo lộn sự cân bằng vận chuyển trầm tích bờ. Hình 20.4 trình bày sơ đồ phác thảo của đê chắn sóng. Các đường bờ tại những thời điểm t khác nhau được chỉ ra trên hình vẽ.

Điều kiện ban đầu là hình của đường bờ tại thời điểm $t = 0$. Điều kiện này được biểu diễn như sau:

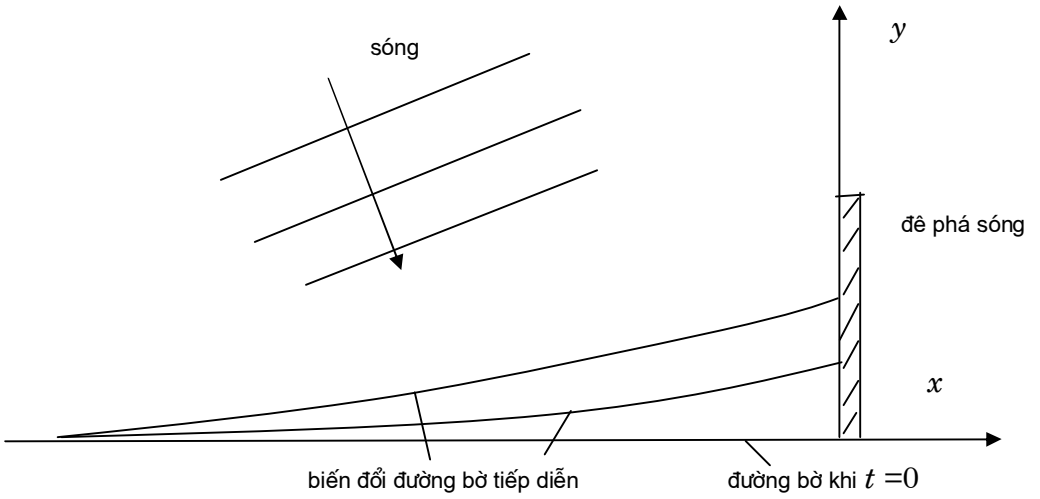
tại t = 0: y = 0 đối với tất cả x (20.13)

Một điều kiện biên khác đó là khi ở cách đê chắn sóng một khoảng cách lớn $x = -\infty$, vận chuyển cát giữ nguyên một giá trị và bằng giá trị ban đầu của nó trên bờ gốc.

tại x = -∞: Sx= S đối với tất cả t (20.14)

Điều kiện biên thứ 2 được áp đặt bởi đê chắn sóng : không cho thẩm thấu cát qua đê. Như vậy

tại x = 0: Sx= 0 đối với tất cả t > 0 (20.15)



Hình 20.4: **Sự bồi đắp của đê chắn sóng gần bờ**

Đây là điều kiện biên cuối cùng, sử dụng 20.08 và cho rằng S_x phụ thuộc vào ϕ ta có :

$$\text{tại } x = 0: \frac{\partial y}{\partial x} = \phi' \quad \text{đối với tất cả } t > 0 \tag{20.16}$$

Nói một cách khác, sự bồi đắp bờ do quá trình tiến triển ra biển luôn luôn tạo ra một góc ϕ' đối với trục x tại đê chắn sóng

Lời giải cho phương trình 20.12 là

$$y = \varphi' \sqrt{\frac{4at}{\pi}} \left[e^{-u^2} - u\sqrt{\pi}\theta \right] \tag{20.17}$$

trong đó: $$u = -\frac{x}{\sqrt{4at}} \tag{20.18}$$

x là khoảng cách dọc bờ - hình 20.4 và

$$\theta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} e^{-u^2} du \tag{20.19}$$

θ có dạng tích phân xác suất.

$$\theta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left[\int_0^{\infty} e^{-u^2} du - \int_0^{u} e^{-u^2} du \right] \tag{20.20}$$

$$\theta = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{u} e^{-u^2} du \tag{20.21}$$

Tham số cuối cùng này có thể được đánh giá theo bảng phân bố xác suất chuẩn. Một số giá trị của θ và $e^{-u^2} - u\sqrt{\pi}\theta$ được dẫn ra trong bảng 20.1.

Vì $\theta \approx 0$ đối với $u > 2.5$, sử dụng phương trình 20.18 chúng ta có thể kết luận rằng: đập chắn sóng ít gây ảnh hưởng khi khoảng cách lớn hơn $5\sqrt{at}$ về phía "thượng nguồn". ($x = -5\sqrt{at}$).

Sự phát triển ra phía ngoài của đường bờ tại đê chắn sóng $L(t)$ ở $x = 0$ là:

$$L(t) = \varphi' \sqrt{\frac{4at}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{\varphi' S}{\pi h}}\sqrt{t} \qquad (20.22)$$

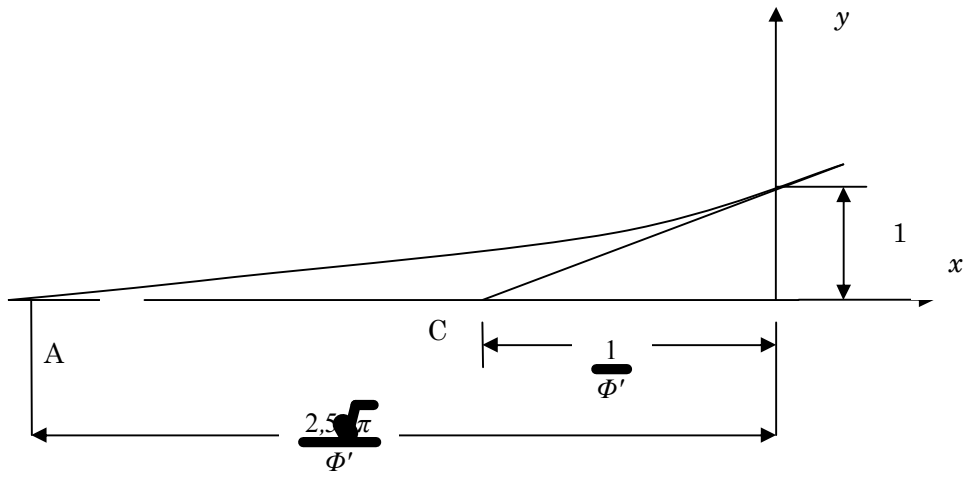
thu được từ 20.17 khi sử dụng 20.11. Sự phát triển của bờ tỷ lệ với căn bậc hai của thời gian t. Tất cả những tham số khác trong công thức 20.22 sẽ không biến đổi trong bài toán này.

Bảng 20.1 **Các tham số bồi đắp đường bờ**

u	θ	$e^{-u^2} - u\sqrt{\pi}\theta$
0	1,000	1,000
0,1	0,8875	0,8327
0,2	0,7773	0,6852
0,3	0,6714	0,5569
0,4	0,5716	0,4469
0,5	0,4796	0,4338
0,6	0,3962	0,2764
0,7	0,3222	0,2128
0,8	0,2579	0,1616
0,9	0,2031	0,1209
1,0	0,1573	0,0890
1,25	0,0771	0,0388
1,50	$3{,}389 \times 10^{-2}$	$1{,}529 \times 10^{-2}$
1,75	$1{,}333 \times 10^{-2}$	$5{,}418 \times 10^{-3}$
2,00	$4{,}680 \times 10^{-3}$	$1{,}726 \times 10^{-3}$
2,50	$4{,}084 \times 10^{-4}$	$1{,}208 \times 10^{-4}$
3,00	$2{,}216 \times 10^{-5}$	$5{,}581 \times 10^{-6}$
3,50	$7{,}430 \times 10^{-7}$	$1{,}759 \times 10^{-7}$
∞	0	0

Chúng ta có thể rút ra một số quan hệ hình học hữu ích sau đây dựa trên yêu cầu thoả mãn điều kiện ϕ như đã được chỉ ra trong hình 20.5 (theo khoảng cách):

$$\frac{OB}{OC} = \phi' \qquad (20.23)$$



Hình 20.5 **Sơ đồ bồi lắng**

$$\frac{OA}{OC} \approx 2{,}5\sqrt{\pi} = 4{,}43 \tag{20.24}$$

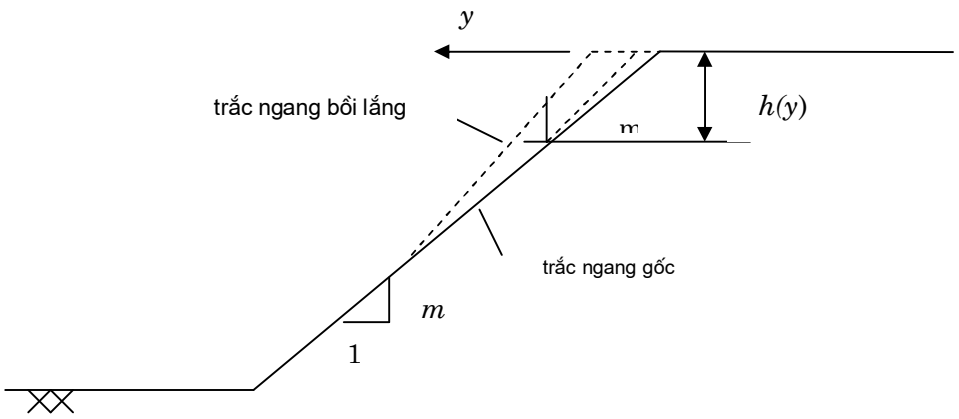
Căn cứ theo tính chất liên tục, diện tích bề mặt tổng cộng OAB là

$$\frac{St}{h} = a\varphi\varphi' \tag{20.25}$$

20.6 LẮNG ĐỌNG KHÔNG SONG SONG

Trong phân tích trước đây, giả thiết rằng toàn bộ trắc ngang bờ tại bất kỳ điểm nào cho trước, x đều chuyển động đều về phía trước. Trong khi giả thiết này cho phép đơn giản hoá về mặt toán học, nó lại thường rất khó chứng minh trong thực tế. Do đó điều tốt nhất là tìm ra một lời giải sử dụng cho tình thế mà ở đó độ dốc mặt cắt được bồi lắng khác với độ dốc mặt cắt gốc (original).

Van Hijum (1972) đã giải bài toán bồi lắng với tốc độ tiến triển tại chân dốc chậm hơn so với tại đỉnh. Trong sơ đồ trắc ngang trên hình 20.6, bờ gốc có độ dốc m trong khi vùng bồi lắng chuyển về phía trước tại độ độ dốc m'. Ở đây m và m' là các giá trị tang của góc nghiêng (dốc).



Hình 20.6: **Mặt cắt dọc bồi đắp không song song**

Từ hình 20.6

$$h(y) = \frac{mm'}{m' - m} y \tag{20.26}$$

Phương trình liên tục (20.04) giờ đây có dạng:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{mm'}{m' - m} y \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \tag{20.27}$$

từ đó dẫn đến phương trình cho đường bờ (tương ứng với phương trình 20.10)

$$-s_x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{mm'}{m' - m} y \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \tag{20.28}$$

Sau rất nhiều cố gắng Van Hijum chỉ có khả năng tìm ra một lời giải gần đúng cho phương trình trên:

$$y \approx 1{,}59 M^3 \varphi' \frac{(0{,}72M - x)^2}{(M - x)^4} \tag{20.29}$$

$$\text{trong đó } M = \left[\frac{6(m'\text{-}m)St}{mm'(\varphi m^2} \right]^{1/3} \tag{20.30}$$

Tại đê chắn sóng ($x = 0$)

$$L = \left[\frac{1{,}5(m'\text{-}m)St\varphi m}{mm'} \right]^{1/3} \tag{20.31}$$

So sánh 20.31 với 20.22 thấy rằng quá trình bồi lắng tại đê chắn sóng tiến triển nhanh hơn trong các giai đoạn đầu theo kiểu bồi lắng không song song. Điều này là hợp lí khi xem xét hình 20.6; vì chỉ cần một lượng cát nhỏ để tạo lập giai đoạn đầu của quá trình bồi đắp.

Phương pháp giải vừa trình bày trên đây tất nhiên chỉ đúng cho đến lúc chân của độ dốc bồi lắng tiếp tục tiến triển dọc theo độ dốc gốc. Khi đáy bồi lắng này

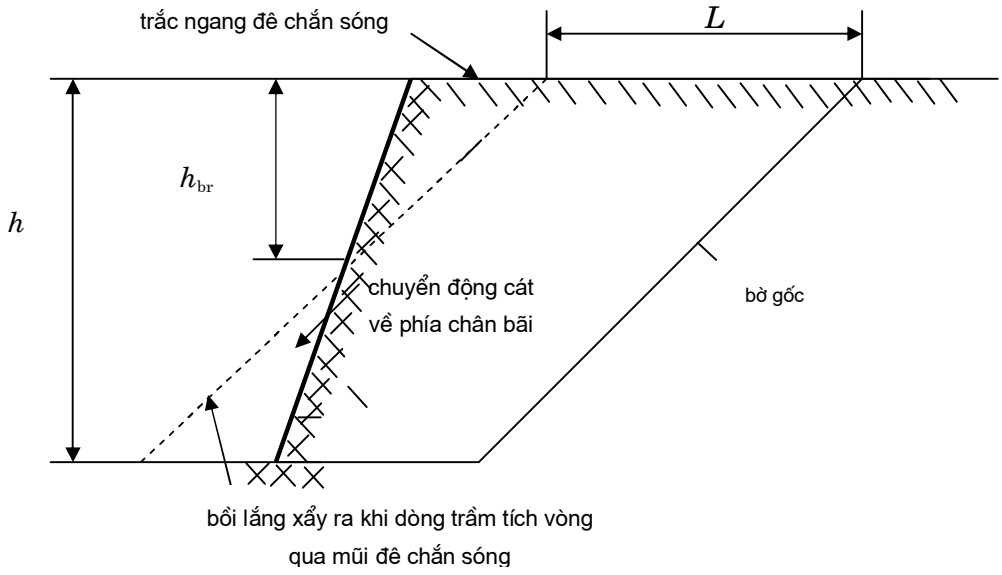
đạt tới chân của độ dốc, tình hình trở về hình thế bồi lắng song song đã được trình bày trong phần trước.

20.7 VẬN CHUYỂN QUA CÔNG TRÌNH CHẮN SÓNG

Các phương trình đường bờ trong các phần trước phụ thuộc vào điều kiện biên không thấm nước tại đê chắn sóng. Một lần nữa giả thiết rằng có một sự bồi lắng bờ song song, sự bồi lắng tại đê chắn sóng được cho bởi phương trình 20.22 trong đó y sẽ tăng không hạn định mỗi khi t tăng. Vì việc xây dựng một đê chắn sóng dài vô hạn là không kinh tế và tắc trách, mà một đê chắn sóng có độ dài hữu hạn cho trước chỉ có thể ngăn dòng vận chuyển cát dọc bờ trong khoảng thời gian nhất định. Từ đó có hai câu hỏi quan trọng được đặt ra; "đê chắn sóng trên hoàn toàn có khả năng chắn được dòng vận chuyển trầm tích dọc bờ trong bao lâu?" và "điều gì sẽ xẩy ra sau thời gian đó ?".

Hình 20.7 dẫn ra một trắc ngang bờ nằm sát ngay phía bồi lắng của đê chắn sóng. Do phần lớn vận chuyển cát xẩy ra ở đới sóng đổ nên không có sự vận chuyển đáng kể nào diễn ra quanh phần cuối của đê chắn sóng miễn là dê chắn sóng vượt qua đới sóng đổ. Điều này ngụ ý rằng, như trên hình vẽ, vận chuyển quanh phía mũi đê chắn sóng có khả năng bắt đầu khi độ sâu trên bờ bồi lắng ở cuối đê chắn sóng đã bị giảm và đạt tới h_{br} là độ sâu biên ngoài của đới sóng đổ.

Sự bồi lắng chỉ ra trên hình 20.7 tại độ sâu lớn hơn $h_{br,}$ do vận chuyển dọc bờ trong đới sóng đổ sau đó chuyển dịch xuống theo độ dốc tới chân đập. Hiện tượng vận chuyển ngang này dọc theo trắc ngang bờ sẽ được trình bày chi tiết ở chương 21.



Hình 20.7: **Mặt cắt tại đầu mũi đường vận chuyển bùn cát**

Khoảng cách bồi lắng L trên hình vẽ có thể được tính khi biết độ sâu sóng đổ và các độ dốc của bãi và đập chắn sóng. Biết độ dài L này, thời gian t_1 trước khi cát vượt qua mũi đập chắn sóng có thể tính được theo phương trình 20.22.

$$t_1 = \frac{\pi L^2 h}{4S\Phi'} = 0{,}785\frac{L^2 h}{S\Phi'} \tag{20.32}$$

Đối với sự bồi lắng không song song - phương trình 20.31

$$t'_1 = \frac{mm'L^3}{1{,}5(m'-m)\Phi' S} \tag{20.33}$$

Trong thực tế L có khả năng kéo dài đến mức mà lời giải theo phương trình 20.33 sẽ không còn hiệu lực nữa, nước sẽ không đủ sâu đảm bảo cho hiện tượng bồi lắng không song song này tiếp tục vươn xa.

Các phương trình ở trên trả lời cho câu hỏi đầu tiên trong hai câu hỏi đã đặt ra trên đây. Chú ý rằng tại thời điểm t_1, chân của bờ dốc bồi lắng vượt quá mũi (tip) đập chắn sóng. Do có rất ít lượng vận chuyển cát dọc bờ tại độ sâu như vậy trên trắc ngang, nên đã không dẫn tới một sự vận chuyển đáng chú ý nào quanh đầu mũi (tip) đập chắn sóng.

Để trả lời cho câu hỏi thứ 2 về vận chuyển cát xung quanh mũi đập chắn sóng sau thời gian t_1, chúng ta cần thiết lập một tập mới các điều kiện ban đầu và điều kiện biên và tìm lời giải mới cho phương trình vi phân trên.

Khi vật liệu đi qua quanh mũi đê chắn sóng, điều kiện biên của chúng ta là:

tại $x = 0$; $Sx = 0$ đối với mọi giá trị $t > 0$ (20.15)

sẽ không còn đúng nữa. Thay vào đó, điều kiện biên giờ đây trở thành

tại $x = 0$; $y = L$ đối với mọi giá trị $t > t_1$ (20.34)

Điều kiện biên khác sẽ là:

tại $x = -\infty$; $Sx = S$ đối với mọi giá trị t (20.14)

tất nhiên vẫn còn hoàn toàn đúng.

Điều kiện ban đầu thuận tiện nhất sẽ là:

tại $t = t_1$, y được cho theo phương trình 20.17 và được đánh giá như hàm của x với $t = t_1$. Đây là đường bờ hiện tại được xác định theo lời giải trước đây.

Điều không may là lời giải giải tích khả thi cho phương trình vi phân với các điều kiện biên và điều kiện ban đầu đã trình bày ở trên vẫn còn chưa tìm được; vấn đề này chưa thể giải được theo cách thông thường. Điều đó càng thôi thúc chúng ta biến đổi các điều kiện để có được lời giải giải tích.

Điều kiện ban đầu cho phép có lời giải tích cho phương trình 20.12 là

tại $t = 0$; $y = 0$ đối với $x < 0$ (20.35)

với

tại $t = 0$; $y = L$ đối với $x = 0$ (20.36)

Đây là điều kiện ban đầu tuân theo AOB trong hình 20.5 thay cho AO như trong mục 20.5 và đường cong AB đã được đưa ra trên đây. Điều kiện ban đầu hiện nay (20.35) và (20.36) nói lên rằng bãi bị uốn nhọn tại $x = 0$ và tiếp tục hướng vuông góc với bờ dọc theo đập chắn sóng. Hơn nữa góc giữa sóng và bãi của

đập chắn sóng tại điểm cuối đập có giá trị ban đầu âm và chúng ta hy vọng cát vận chuyển vào phía trái quanh mũi đê chắn sóng trong các giai đoạn ban đầu phát triển đường bờ. Do không có nguồn cung cấp cát, cách tiếp cận giải quyết bài toán này dường như không hiện thực. Tuy nhiên có thể cứu vớt tình thế bằng cách thoả thuận rằng chỉ sử dụng lời giải này trong trường hợp có dòng vận chuyển dương về phía phải xung quanh mũi đê chắn sóng.

Với (20.04) và (20.34) đến (20.36) lời giải cho phương trình 20.12 là

$$y = L\theta \tag{20.37}$$

Trong đó θ được xác định giống như trong phương trình 20.19.

Để tính lượng vận chuyển cát S_x tại các điểm dọc bờ bồi lắng, chúng ta cần đánh giá $\frac{\partial y}{\partial x}$ để thế nó vào phương trình 20.08 phục vụ việc xác định ϕ và từ đó S_x. Sử dụng (20.19) và (20.18) trong 20.37 và lấy vi phân:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{L}{\sqrt{\pi a t}} \exp\left[-\frac{x^2}{4at}\right] \tag{20.38}$$

Trong trường hợp riêng, tại đập chắn sóng, $x = 0$

$$\left.\frac{\partial y}{\partial x}\right|_{t=0} = \frac{L}{\sqrt{\pi a t}} = \beta \tag{20.39}$$

trong đó ký hiệu β mang tính thuận tiện hình thức.

Giờ đây, vận chuyển cát tại mũi đập chắn sóng là:

$$S_{tip} = S\left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right) = S\left(1 - \frac{L}{\phi'\sqrt{\pi a t}}\right) \tag{20.40}$$

Như vậy, chừng nào β còn lớn hơn ϕ', vẫn tồn tại dòng vận chuyển cát theo hướng âm tại $x = 0$ (vào phía trái quạnh đầu cuối đê chắn sóng). Điều này tái xác nhận quan điểm trước đây của chúng ta căn cứ vào các điều kiện ban đầu.

Vậy chúng ta có thể tính toán sự phát triển toàn bờ theo cách nào? Chúng ta phân lời giải thích thành hai giai đoạn. Giai đoạn đầu xuất phát từ khi đê chắn sóng mới xây dựng, đã được mô tả ở phần 20.5, và còn được thoả mãn cho đến thời điểm $t = t_1$ theo phương trình 20.32. Thể tích bồi lắng cát tại thời điểm đó sẽ là

$$v_1 = St_1 = \frac{\pi L 2h}{4\phi'} \tag{20.41}$$

theo các phương trình 20.25 và 20.32 theo quá trình bồi lắng song song.

Phương trình cho giai đoạn hai sẽ được phát triển trong phần này. Thể tích cát tích luỹ được bây giờ sẽ là:

$$v_2 = \int_0^{t_2} (S - S_{tip})\,dt \tag{20.42}$$

với (20.40) ta thu được

$$v_2 = \frac{S}{\phi'} \int_0^{t_2} \beta\,dt \tag{20.43}$$

$$v_2 = 2Lh\sqrt{\frac{at_2}{\pi}} \tag{20.44}$$

sau khi đã tiến hành khá nhiều biến đổi đại số. Chỉ số 2 đã được thêm vào đối với v và t để nhấn mạnh rằng các kết quả thu được từ lời giải thứ 2 của đường bờ.

Thời gian chính xác t_2 bắt đầu sử dụng lời giải đường bờ thứ 2 có thể tìm được căn cứ theo yêu cầu các thể tích vật liệu bồi đắp sẽ bằng nhau khi có sự chuyển dịch cơ chế. Điều này không có nghĩa rằng t_2 sẽ bằng t_1; thực vậy $t_2 < t_1$ vì mô hình thứ hai cho phép cung ứng cát (giả tưởng) từ mũi của đê chắn sóng.

Cho v_1 và v_2 bằng nhau ta có:

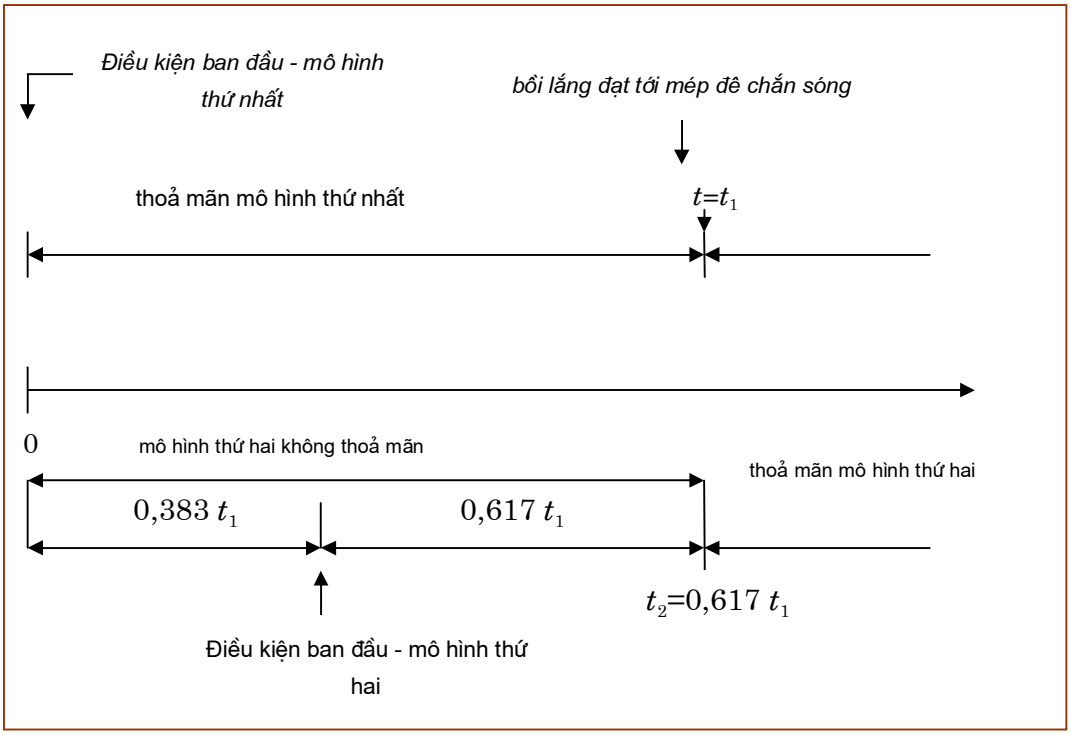
$$\frac{\pi L^2 h}{4\phi'} = 2Lh\sqrt{\frac{at_2}{\pi}} \tag{20.45}$$

Kết quả là :

$$t_2 = \frac{\pi^3 L^2 h}{64 S\phi'} \tag{20.46}$$

Sử dụng t_1 từ (20.32) ta thu được :

$$t_2 = \frac{\pi^2}{16} t_1 = 0{,}617 t_1 \tag{20.47}$$



Hình 20.8 **Miền thích ứng của các mô hình**

Điều này xác nhận quan điểm của chúng ta về các giá trị tương đối của t_1 và t_2. Nghĩa là, trong thực tế, chúng ta cần phải "bắt đầu" lời giải thứ hai tại một thời điểm nào đó muộn hơn thời điểm t = 0 khi pha thứ nhất bắt đầu. Điều này được thể hiện bằng biểu đồ trên hình 20.8. Trên hình đó dữ liệu mô hình đầu tiên được chỉ ra tại trục thời gian nằm trên trên, dữ liệu cho phép mô hình thứ hai trên dưới trục. Chúng ta có thể thấy từ hình vẽ, trục thời gian đối với mô hình lời

giải thứ hai được dịch về bên phải đối với gốc của trục thời gian xuất phát. Do sự dịch chuyển gốc thời gian này có thể gây ra bất tiện, chúng ta có thể hiệu chỉnh đối với các phương trình giai đoạn 2 nhằm cho phép thay thế thời gian theo thang thời gian xuất phát. Thang thời gian cho pha 2 tìm được nhờ dịch chuyển thời gian từ thang gốc một khoảng 0.383 t_1 như chỉ ra trong hình. Khi dịch chuyển gốc thời gian này trong phương trình (20.40) sẽ thu được

$$S_{tip} = S\left[1 - \frac{L}{\phi'(\pi a(t - 0{,}383t_1)^{1/2}}\right] \tag{20.48}$$

hoặc dùng (20.32)

$$S_{tip} = S\left[1 - \frac{2}{\pi\sqrt{\frac{t}{t_1} - 0{,}383}}\right] \tag{20.49}$$

mô tả vận chuyển cát qua mũi đê chắn sóng đối tất cả thời gian lớn hơn t_1 theo thang thời gian gốc.

Nhằm kiểm tra lại, chúng ta có thể xác định dòng vận chuyển trầm tích qua đê chắn sóng tại thời điểm $t = t_1$; yêu cầu bằng 0 tại đây là cần thiết. Với $t = t_1$ (20.49) ta có:

$$S_{tip} = S\left[1 - \frac{2}{\pi\sqrt{1 - 0{,}383}}\right] \tag{20.50}$$

$$S_{tip} = 0{,}189S \tag{20.51}$$

Bảng 20.2: **Các giá trị hiệu chỉnh cho các tính toán vận chuyển ở mũi đê chắn sóng.** $\frac{S_{tip}}{S}$

t/t_1	Phương trình 20.51	Giá trị hiệu chỉnh
1,00	0,189	0,000
1,25	0,316	0,298
1,50	0,398	0,394
2,00	0,499	0,499
3,0	0,606	0,606
5,0	0,665	0,665
5,0	0,704	0,704

Các sai số này rút ra từ thực tế cho thấy rằng các chi tiết đường bờ hoàn toàn khác nhau đối với mỗi mô hình thậm chí đối với khi thể tích trầm tích lắng đọng tổng cộng như nhau. Những khác biệt này có thể thấy được nếu vẽ hai đường bờ theo các phương trình 20.17 và 20.37

Bakker đã xác định lượng hiệu chỉnh áp dụng cho các giá trị tính toán vận chuyển tại mũi đê chắn sóng. Các giá trị hiệu chỉnh này được dẫn ra trong bảng 20.2

Về giá trị của tất cả công việc này sẽ được thảo luận trong phần sau; một ví dụ ứng dụng của nó cũng được đưa ra ở phần 20.9

20.8 ĐÁNH GIÁ

Phương pháp Pelnard - Considere có một đặc trưng mạnh- nó tạo khả năng tính toán thủ công các thay đổi bờ. Nó có thể được sử dụng cho bồi lắng bờ như đã được khảo sát ở đây và cũng sử dụng được cho xói mòn tại phía khuất gió của các cản trầm tích bờ. Ứng dụng trong trường hợp như vậy sẽ tạo ra mặt cắt bờ là bức tranh đối xứng với gốc vùng bồi đắp.

Từ những phát triển vừa được trình bày trên, chúng ta đã cho phép bãi thay đổi (bồi đắp trong trường hợp này) thậm chí ở cả phía ngoài đới sóng đổ. Các lí giải cho vấn đề này đã không được đưa ra; nó sẽ trở nên rõ ràng trong chương sau, khi trầm tích chuyển dọc theo trắc ngang bãi được thảo luận.

Sự phát triển của quá trình chuyển các giai đoạn giữa hai mô hình đường bờ còn tuỳ tiện. Giả thiết rằng độ dài bồi đắp tại đê chắn sóng L trong hình 20.7 vẫn còn không đổi sau thời điểm $t = t_l$, điều này không còn chính xác trong thực tế, trong một số trường hợp vẫn còn có sự phát triển tiếp tục trong giai đoạn hai.

Các giả thiết được đưa ra để dẫn đến phương trình chuyển động ở đây làm cho cách tiếp cận trở nên quá sơ khai. Biến đổi của độ cao sóng, và hướng dọc bờ, các ảnh hưởng của thuỷ triều và nhiều điểm phức tạp của công thức Bijker đã bị bỏ qua. Giả thiết về góc tới của sóng ϕ là rất bé có thể còn quá thô, đặc biệt bắt đầu từ chân của đới chịu ảnh hưởng vận chuyển dọc bờ- ở đó ϕ' được xác định- có thể nằm xa ngoài vùng sóng đổ.

Việc sử dụng đường cong bờ cong bất kỳ làm điều kiện ban đầu thay cho đường thẳng được dùng ở đây là một điều rất khó, nếu chưa nói là không thể được. Điều này dẫn đến việc mô hình hoá rất nhiều bờ "thực" hơn là với một đường bờ bất kỳ. Thật vậy, chúng ta đã giả thiết đường bờ thẳng đối với đoạn bằng $\frac{4.43}{\phi'}$ lần độ dài đập chắn sóng - phương trình 20.24. Giả sử $\phi = 10^0 = 0.175$ rad và đập chắn sóng dài 1000 m thì chúng ta giả thiết bờ thẳng kéo dài trên 25 km!

20.9 VÍ DỤ

Cửa vào cảng trên một bờ cát thẳng phải chịu sóng có chu kỳ 13 giây và độ cao sóng nước sâu $H_{sigo} = 1.8$ m. Góc tới của sóng ở nước sâu $\phi_0 = 25^0$ (tình thế như vậy thường tìm thấy trong các biển nhiệt đới; ví dụ này không quá khác biệt với tình hình trên bờ biển Ghana - sóng có chu kỳ không đổi, độ cao và hướng sóng cũng không đổi suốt cả năm).

Để cho đơn giản, chúng ta sẽ giả thiết rằng, chỉ số sóng đổ $\gamma = 0.8$ và các đường đồng mức bãi biển là song song.

Cửa vào cảng gắn liền với một đập chắn sóng hình cong - là một vòng tròn với bán kính 1650 m và tâm nằm tại đường bờ thẳng đang tồn tại. Độ dốc đê chắn sóng là 1:3 và độ dốc bãi biển tự nhiên là 1:100 tới độ sâu 7 m phía ngoài đó đáy biển được xem như bằng phẳng trên một khoảng cách đáng kể. Xem hình 20.9.

Trước khi bắt đầu tính toán lượng vận chuyển cát thực sự, chúng ta cần xác định góc sóng tại chân bãi dốc. Đây là một tính toán khúc xạ đơn giản theo sơ đồ tiến.

$$\lambda_0 = (1{,}56)(13)^2 = 2{,}64m \tag{20.52}$$

$$\frac{h}{\lambda_0} = \frac{7}{264} = 0{,}02652 \tag{20.53}$$

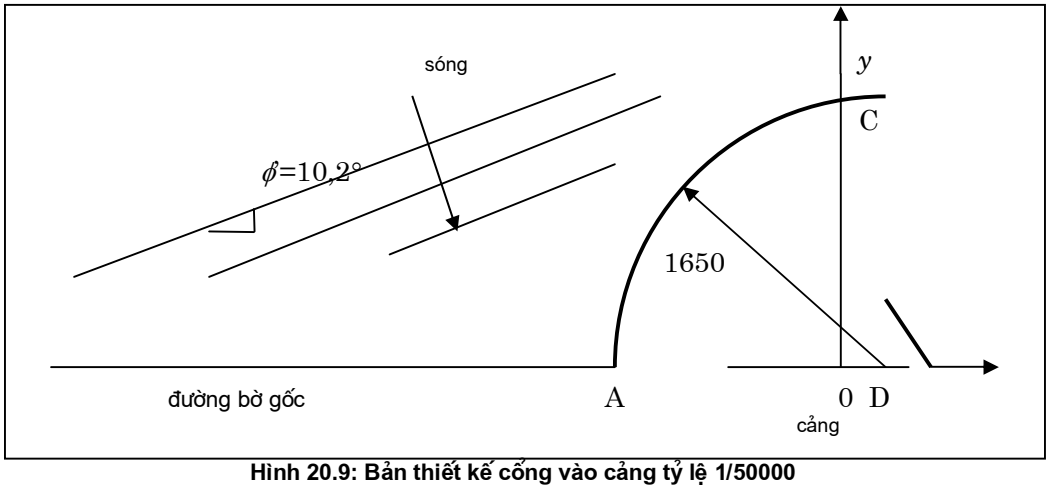
Dùng các bảng trong tập 3 trong tài liệu *Cẩm nang bảo vệ bờ* (*Shore protection manual*):

$$\frac{h}{\lambda} = 0{,}06683 \tag{20.54}$$

$$\frac{c}{c_0} = 0{,}4199 \tag{20.55}$$

và $\sin\phi' = 0{,}4199\sin 25^o$ (20.56)

dẫn đến $\phi = 10.2^0$ (xem hình 20.9).



Hình 20.9: Bản thiết kế cống vào cảng tỷ lệ 1/50000

Để sử dụng công thức CERC phục vụ xác định lượng vận chuyển cát dọc bờ ổn định, chúng ta cũng cần xác định góc tới của sóng tại đường sóng đổ. Đường sóng đổ được định vị tại độ sâu mà ở đó sóng trung bình căn bình phương bị đổ.

Từ phương trình 10.03 tập 1

$$H_{rms} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)(1{,}8) = 1{,}27m \tag{20.58}$$

Bây giờ chúng ta có thể xác định góc sóng sóng ϕ_b sử dụng các thủ tục lặp lại như ở phần 5 của chương 16. Kết quả này là

$$\left.\begin{array}{l} H_{rmsbr} = 1{,}80m \\ h_{br} = 1{,}26m \\ \phi_{br} = 5{,}6^o \end{array}\right\} \tag{20.59}$$

Công thưc CERC (19.07) (với hệ số đã được kiểm chứng) dẫn tới

$$S = 1{,}23\times 10^6 (1{,}27)^2 (1{,}56\times 13)\left(\frac{\cos 25^o}{\cos 5{,}6^o}\right)(\sin 5{,}6^o)(\cos 5{,}6^o)$$
$$= 3{,}24\times 10^6 \quad m^3/n \tag{20.60}$$

Trước khi vấn đề trên có thể có được câu trả lời trực tiếp, chúng ta cần xác định độ dài hiệu dụng của đê chắn sóng chỉ ra trong hình 20.9. Theo cách tiếp cận sơ đẳng nên bắt đầu với giả thiết rằng đê chắn sóng kéo dài tới 1650 m (khoảng cách CD) so với bờ. Tuy nhiên theo cách tiếp cận chính xác thì cát đi qua điểm B trên đê chắn sóng sẽ được sóng vận chuyển tiếp. Như vậy đê chắn sóng cần phải được thế hiện bởi một độ dài OB, trong đó B là điểm mà sóng tới tiếp tuyến với đường tròn. Khoảng cách OB là

$$\text{OB} = 1650 \cos 10{,}2^\circ = 1624 \text{ m} \tag{20.61}$$

Cấu trúc các đường vẽ như đã thể hiện trong hình 20.7 với độ dài tương ứng, độ sâu sóng đổ và các giá trị độ dốc, ta thu được:

$$L = 1624 - (100-3)(2{,}26) = 1405 \text{ m} \tag{20.62}$$

Biết được L, khoảng thời gian cần cho cát lắng đọng đến điểm mà tại đó không còn bị đập chắn sóng ngăn lại có thể tính được theo phương trình 20.32:

$$t_1 = 0{,}785\frac{(1405)^2(7)}{(3{,}24\times10^6)(0{,}178)} = 18{,}8 \text{ năm} \tag{20.63}$$

Chú ý rằng góc ϕ' được biểu diễn bằng radian trong biểu thức trên.

Người ta có thể tranh luận rằng kết quả này cần phải được hiệu chỉnh do một phần không gian bên trái trục x trong hình 20.9 đã bị choán giữ bởi cảng thay cho quá trình lắng đọng cát.

Thể tích bị choán do cảng ở bên trái trục vào khoảng 10^7 m^3 có nghĩa rằng thời gian t_1 sẽ thực sự là:

$$t'_1 = 18{,}8 - \frac{(10)^7}{(3{,}24\times10^6)} = 15{,}7 \text{ năm} \tag{20.64}$$

Chú ý rằng, trong các tính toán tiếp theo, thời gian t_1 = 18.8 năm cần phải được sử dụng. Thời gian này tương ứng với thời gian tính toán; lời giải của phương trình vi phân thu được khi không kể đến vùng chiếm giữ của cảng.

Hình dạng đường bờ sau 10 năm, tại thời điểm cát bắt đầu đi qua và sau 30 năm và 100 năm có thể được vẽ theo phương trình 20.17 cho hai trường hợp đầu và theo phương trình 20.37 cho hai trường hợp cuối. Vì thời gian đã biết, chúng ta vẽ y là hàm của x, tất cả các tham số còn lại cũng đã biết. Các tính toán được dẫn trong bảng 20.3. Kết quả tính toán cho t = 18,8 năm được minh hoạ sau đây.

Ba hệ số không đổi (hằng số) cần phải đánh giá trước. Từ phương trình 20.11

$$a = \frac{S}{\phi' h} = \frac{3{,}24\times10^6}{(0{,}178)(7)} = 2{,}60\times10^6 \tag{20.65}$$

Từ phương trình 20.18

$$\sqrt{4at} = \sqrt{(4)(2{,}60\times10^6)(18{,}8)} = 13980 \tag{20.66}$$

Những giá trị này cũng được dẫn ra ở phần dưới của bảng 20.3

Tiếp theo sẽ chỉ ra các kết quả tính toán cho một dòng của bảng 20.3 với x = -2 km. Theo công thức 20.18, ta có:

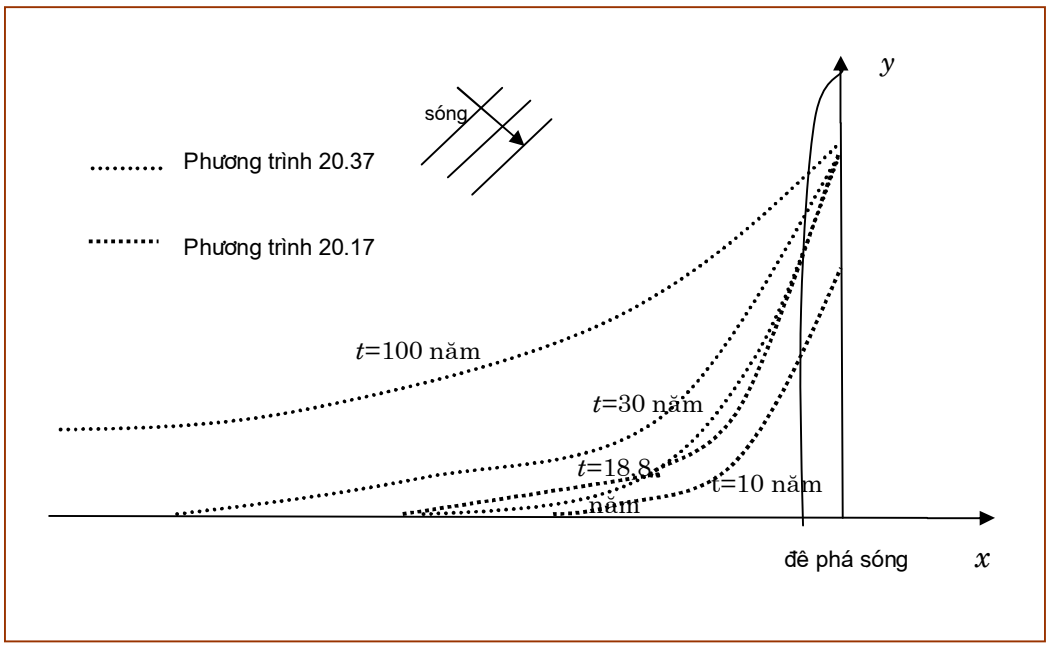
$$u = \frac{2000}{13980} = 0{,}143 \tag{20.67}$$

θ có thể được tính sử dụng bảng 20.1; giá trị của nó tìm thấy là

$$\theta = 0{,}841 \tag{20.68}$$

điều này dẫn đến giá trị của y = 1077 m khi thế vào phương trình 20.17.

Đối với các thời điểm muộn hơn t = 18.8 năm, chúng ta cần chuyển tới lời giải phương trình 20.37 nhưng lưu ý rằng u được tính theo thang thời gian đã dịch chuyển trên hình 20.8. Nhằm mục đích so sánh, đường bờ được tính đối với t_2 = 0.617 t_1 là thời điểm tại đó chúng ta thay đổi vào lời giải mới trên hình 20.8 cũng như hai thời điểm yêu cầu khác: 30 năm và 100 năm. Chú ý rằng những thời điểm này cũng cần được điều chỉnh để sử dụng trong các tính toán. Các giá trị thời gian của phương trình vi phân cũng được dẫn ra trong bảng 20.3.



Hình 20.10 **Các đường bồi lắng bờ**

So sánh hai đường bờ đối với một thời điểm mà tại đó sự bồi lắng bắt đầu vượt qua mũi đê chắn sóng cho thấy có sự thay đổi không đáng kể.

Các hiệu chỉnh thời gian, dựa trên cơ sở thể tích cát dịch chuyển ở bến cảng trong sơ đồ của chúng ta dẫn đến kết quả thời gian cần thiết tạo ra một lượng bồi lắng nhất định ngắn hơn so với thời gian tính toán từ phương trình vi phân. Các thời gian thực tương ứng các thời điểm t sử dụng trong bảng 20.3 cũng được dẫn ra ở đó.

Việc xem xét các giá trị của y tương ứng với x trong bảng 20.3 xác nhận mệnh đề (phương trình 20.24) cho rằng lượng bồi lắng thực tế bằng 0 ở một khoảng cách $2.5l\pi/\phi$ trước đập chắn sóng.

Bức tranh bồi lắng theo một tỷ lệ như nhau sẽ rất tiện lợi khi thể hiện những thay đổi về góc tới của sóng, nhưng lại không thực tế khi xem xét các kích thước

được sử dụng. Hình 20.10 chỉ ra hiện tượng bồi lắng trong đó trục y bị biến đổi với hệ số 10.

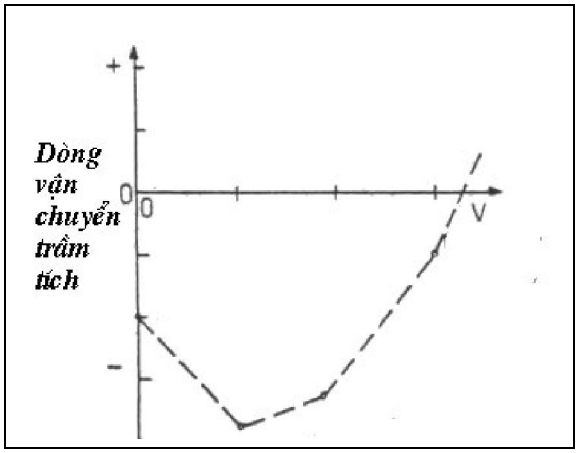
Việc xem xét hình 20.10 đã chỉ ra một cách ấn tượng về hiện tượng bồi lắng lùi về phía sau dọc theo đường bờ cũng như vượt ra phía ngoài đê chắn sóng. Một câu hỏi thú vị nhưng mang tính kinh điển đó là: trạng thái tới hạn nào xẩy ra tại $t = \infty$? Tất nhiên, về mặt lí thuyết, cuối cùng bờ sẽ song song với bờ gốc cách 1405 m về phía biển so với vị trí gốc của nó. Trên thực tế, bờ sẽ tiến ra biển nhiều hơn do chỉ một phần vùng sóng đổ bị chặn một cách hiệu quả nhờ đê chắn sóng.

21 VẬN CHUYỂN CÁT DỌC THEO TRẮC NGANG BÃI BIỂN

J. v.d. Graaff

21.1 MỞ ĐẦU

Sóng có thể góp phần vào vận chuyển trầm tích dọc bờ, chúng cũng có thể đóng góp vào sự vận chuyển trầm tích dọc theo mặt nghiêng của bãi vuông góc với bờ. Như đã được giới thiệu trong chương 18, sóng có thể gây ra một lượng vận chuyển cát thực (net) thậm chí cả khi không có mặt các dòng khác và vận chuyển khối lượng thực của sóng bằng zêro. Lượng vận chuyển thực này dẫn ra từ tích của nồng độ trầm tích phụ thuộc thời gian và tốc độ phụ thuộc thời gian. Thực vậy trong một số điều kiện, ví dụ kích thước thực, dòng vận chuyển trầm tích có thể âm hướng ngược chiều so với vận tốc trung bình và hướng truyền sóng. Tất nhiên dòng tổng cộng theo hướng truyền sóng đủ lớn sẽ kéo theo vận chuyển cát theo hướng này. Hình 22.1 chỉ ra một ví dụ kết quả thử nghiệm trên máng thuỷ lực trong đó dòng chảy được kết hợp với tác động của sóng. Trong ví dụ này bước đầu dòng chảy tăng gây nên dòng cát vận chuyển theo hướng âm sau đó trở nên dương và tăng lên một cách rõ rệt.



Hình 21.1 **Ảnh hưởng của dòng chảy lên vận chuyển cát**

Sự hiện diện của dòng chảy song song với hướng truyền sóng gây ảnh hưởng trực tiếp lên sự hình thành xoáy gần các sóng đáy cũng như ảnh hưởng gián tiếp thông qua độ dài sóng. Trong một lĩnh vực khác, ảnh hưởng cuối cùng này là cơ sở cho việc thiết kế các đập chắn sóng chắn bằng bọt khí.

Sự có mặt dòng ven bờ dọc theo bãi biển cũng như ảnh hưởng của nó lên vận chuyển cát vuông góc với bãi làm cho vấn đề trở nên phức tạp hơn. Do sự phát triển các công thức vận chuyển cát dọc bờ phản ánh quá trình tương tác của sóng và dòng- các chương 16 và 19. Sẽ là hợp lý khi hy vọng sự có sự hiện diện của dòng chảy dọc bờ gây ảnh hưởng lên vận chuyển trầm tích đi vào gần bờ và ra xa bờ do sóng gây nên. Thực vậy, hiện tượng bứt tách vật liệu đáy biển phụ thuộc

vào ứng suất đáy tổng cộng như đã trình bày trong chương 19, ảnh hưởng của dòng chảy dọc bờ này lên vận chuyển trầm tích vào bờ và ra xa bờ là rất rõ ràng.

Hãy còn một biến khác đối với vận chuyển vật liệu dọc theo mặt nghiêng của bãi đó là độ dốc bãi biển. Thành phần của lực hấp dẫn giờ đây sẽ đóng góp vào vận chuyển trầm tích theo chiều ngang. Điều quan trọng hơn nữa đó là các điều kiện sóng biến đổi từ nơi này qua nơi khác khi chúng ta vượt qua trắc ngang. Điều này sẽ dẫn tới nhiều điều rắc rối hơn.

Đáng tiếc, đây là một lĩnh vực nghiên cứu chưa phát triển cho đến những năm gần đây. Có rất ít các thử nghiệm mô hình và thậm chí còn có một số lượng ít hơn các đo đạc nguyên mẫu đã được tiến hành. Do đó các mô phỏng toán học nhận được ở đây cực kỳ sơ khai ngay cả khi so sánh với những công thức có được đối với vận chuyển dọc bờ. Một số mô tả nguyên sơ này được trình bày trong các mục tiếp sau đây.

21.2 VẬN CHUYỂN HAI CHIỀU

Bakker(1968) đã xem xét sự vận chuyển cát dọc theo bờ có các mỏ hàn kéo dài qua một phần đới sóng đổ. Theo các quan sát thấy rằng các vùng bờ bằng đã được hình thành bởi vật liệu cung cấp từ ngoài khơi và các trắc ngang dốc bị san bằng khi vật liệu chuyển ra xa bờ, Bakker đã đề xuất một công thức tính vận chuyển ngang đơn giản dựa vào độ dốc bãi. BAKKER đã lập luận rằng đối với một số độ dốc bãi cân bằng trung bình m_e, sẽ không có sự vận chuyển ngang của cát, đối với những độ dốc khác sẽ có một lượng cát vận chuyển phụ thuộc trực tiếp vào hiệu số giữa độ dốc thực và độ dốc cân bằng. Công thức được trình bày như sau:

$$S_y \alpha - (m - m_e) \tag{21.01}$$

trong đó m là độ dốc bãi biển trung bình $\frac{dz}{dy}$

m_e là độ dốc cân bằng

S_y là suất (tốc độ) vận chuyển cát trên độ rộng đơn vị dọc theo mặt nghiêng bãi biển

α là hệ số tỷ lệ

Dấu âm trong (21.01) xuất phát từ định nghĩa các trục dương được rút ra từ việc cả hai giá trị m và m_e sẽ âm khi dòng vận chuyển xa bờ được xem là dương phù hợp với hướng dương của trục y.

Do Bakker đã quan tâm đến vận chuyển cát dọc trắc ngang bãi biển tại khu vực bị chắn từng phần do mỏ hàn mà Bakker thể hiện trên hình 21.2. Trong hình đó, điểm mà tại đó tốc dộ vận chuyển ngang mong muốn được ký hiệu bằng A và được chọn trên bề mặt giữa 2 "bước". Do các vùng đánh dấu gạch chéo có diện tích như nhau, điều này nói lên rằng :

$$L_1 = \frac{1}{h_1} \int_{-h_1}^{0} y(z)dz \tag{21.02}$$

và

$$L_2 = \frac{1}{h_2}\int_{-h_2}^{-h_1} y(z)dz \tag{21.03}$$

trong đó $y(z)$ mô tả trắc ngang thực tế.

Độ dốc của bãi này gần điểm A bây giờ được đặc trưng bởi

$$\frac{1}{m} = -2\left(\frac{L_2 - L_1}{h}\right) \tag{21.04}$$

Khoảng cách L_2 - L_1 tương ứng với độ dốc cân bằng thường được thể hiện qua ký hiệu W, như vậy sẽ có

$$\frac{1}{m_e} = -2\left(\frac{W}{h}\right) \tag{21.05}$$

Thay (21.04) và (21.05) vào (21.01) và bổ sung thêm một hằng số tỷ lệ q_y ta có:

$$S_y = q_y(W - (L_2 - L_1)) \tag{21.06}$$

Điều này dẫn đến phương trình chuyển động rất giống với phương trình được Pelnard-Considesre sử dụng (20.05).

Các tham số q_y và W trong phương trình (21.06) đều cùng phụ thuộc vào nhiều biến bao gồm các tham số sóng, các tham số cát và không may là còn phụ thuộc cả vào vị trí của điểm A (hình 21.2) dọc theo trắc ngang bãi. Mối phụ thuộc của tham số W vào vị trí điểm A là hiển nhiên do có quan hệ giữa vị trí này và độ dốc sơ đồ hoá. Trong thực tế độ dốc của bãi không phải hằng số mà biến đổi dọc theo trắc ngang. Sự phụ thuộc của q_y vào vị trí A ít rõ ràng hơn nhưng có liên hệ một cách rõ ràng tới (trong số nhiều yếu tố khác) sự biến đổi của các thành phần sóng xuất hiện trong dạng sóng xuyên qua bãi.

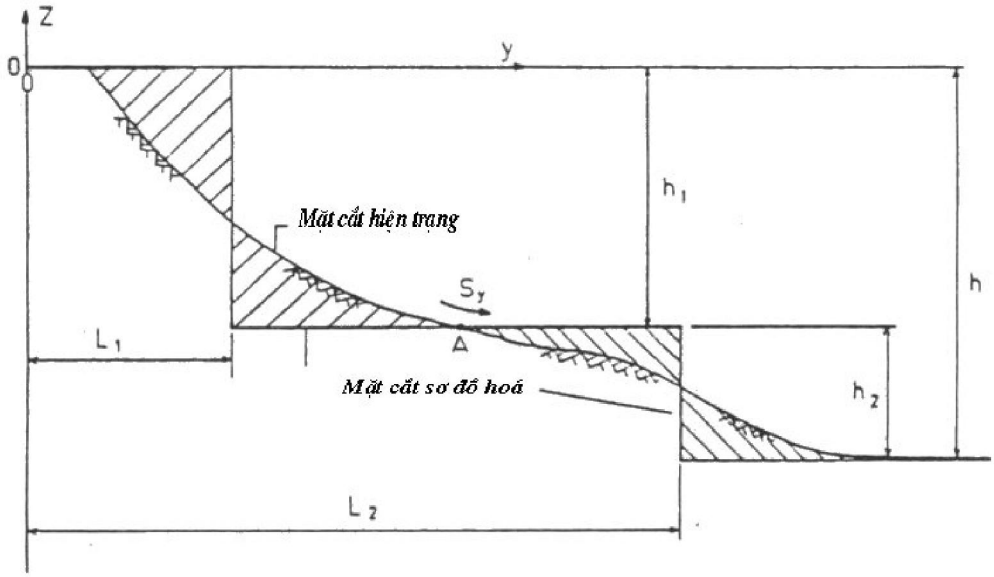
Dẫu sao, Bakker cũng đã đi đến kết luận rằng các tham số cần thiết q_y và W có thể tương đối dễ dàng được xác định: W xác định từ số liệu quan trắc theo trắc ngang cân bằng hiện hữu và q_y từ các đo đạc hiện trường.

Swart (1974) đã thử khái quát hoá quan niệm của Bakker (1968) đối với tất cả các vị trí dọc theo trắc ngang bãi và xác định các giá trị cho q_y và W thông qua các tham số vật lý dễ đo được. Swart đã tiến hành một số lượng lớn các nghiên cứu mô hình quy mô nhỏ và thí nghiệm trong phòng trên các quy mô gần với nguyên bản. Những thử nghiệm được tiến hành với sóng đều và hiện tượng xói mòn diễn ra trên tất cả các trắc ngang bãi; những thử nghiệm này bị hạn chế trầm trọng khi áp dụng các kết quả cho các bài toán nguyên mẫu. Các kết quả của Swart bao gồm một số lớn những tương quan thực nghiệm sử dụng các tham số phi thứ nguyên.

Dù đúng như thế, đến bay giờ cũng chưa có gì tốt hơn, do đó với những hạn chế đã nêu, các mối tương quan thực nghiệm của Swart tạo nên khả năng đánh giá vận chuyển trầm tích đi qua bất cứ điểm nào cho trước trên trắc ngang, như sẽ được dẫn ra trong mục tiếp theo.

Cho đến nay, số lượng dữ liệu vận chuyển trầm tích ngang gây ra do sóng không đều đã được thu thập được nhằm tìm ra mối tương quan với công trình Swart vẫn còn chưa đủ. Câu hỏi về đặc trưng nào thể hiện tốt nhất cho biển có

sóng không đều phục vụ tính toán dòng vận chuyển ngang vẫn còn chưa có câu trả lời.



Hình 21.2 **Sơ đồ trắc ngang bãi đối với vận chuyển ngang qua điểm A (**các phần đánh dấu có diện tích như nhau)

21.3 VÍ DỤ

Ví dụ này minh hoạ một thủ tục tính toán đã được Swart đề xuất năm 1974 nhằm xác định vận chuyển cát dọc trắc ngang bãi tại một vị trí cho trước. Trắc ngang bãi thể hiện trong hình 21.3 chịu tác động của sóng đều với đường đỉnh sóng song song với bờ. Độ cao sóng nước sâu là 2.0 m và chu kỳ sóng là 6.0 giây. Bãi có kích thước hạt trung bình 225 μm và mực nước khi biển lặng là 1.0 m so với mực biển trung bình (MSL) như đã chỉ ra trên hình. Lượng vận chuyển cát dọc theo trắc ngang bãi tại điểm 0 (mực nước biển trung bình) là yêu cầu đặt ra cho tính toán.

Chúng ta giải bài toán này sử dụng sơ đồ 2 đường bờ với sự tách biệt giữa 2 đới tại mực nước biển trung bình- đó là mực nước đã được chọn để xác định vận chuyển ngang. Như vậy chúng ta tìm giá trị S_y theo phương trình dạng (21.06).

Để xác định giá trị L_2 - L_1 , trước hết chúng ta phải xác định các giới hạn trên và giới hạn dưới của trắc ngang D theo Swart. Dựa vào sơ đồ hình 21.4 và lấy

$$\frac{H_0^{0,488} T^{0,93}}{D_{50}^{0,786}} = \frac{2^{0,488} 6^{0,93}}{(225\times10^{-6})^{0,786}} = 5467 \qquad (21.07)$$

ta thu được (một cách gián tiếp)

h_0 = 0,93 m và (21.08)

δ_1 = 1,93 m (21.09)

Giới hạn dưới của mặt nghiêng D tìm được từ hình 21.5 với

$$\frac{H_0^{0,473}}{T^{0,894} D_{50}^{0,093}} = \frac{2^{0,473}}{6^{0,894}\left(225\times10^{-6}\right)^{0,093}} = 0,61 \quad (21.10)$$

dẫn đến

$$\frac{h_m}{\lambda_0} = 0,090 \quad (21.11)$$

và từ đó

$$\lambda_0 = 1,56T^2 = 56,2m \quad (21.12)$$

$$h_m = 5,04m \quad (21.13)$$

$$\delta_2 = 4,04m \quad (21.14)$$

Như vậy những giới hạn này tạo nên độ cao của trắc ngang D là δ

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = h_0 + h_m = 5,97m \quad (21.15)$$

Những giới hạn này được phác thảo qua hình 21.3.

Biết những giới hạn này, các khoảng cách L_1 - L_2 đối với các bước có thể được tính toán sử dụng các công thức (21.02) và (21.03). Điều này đẫn tới các giá trị đối với các tham số này là 19.27 m và 194.4 m tương ứng. Như vậy L_2 - L_1 bằng

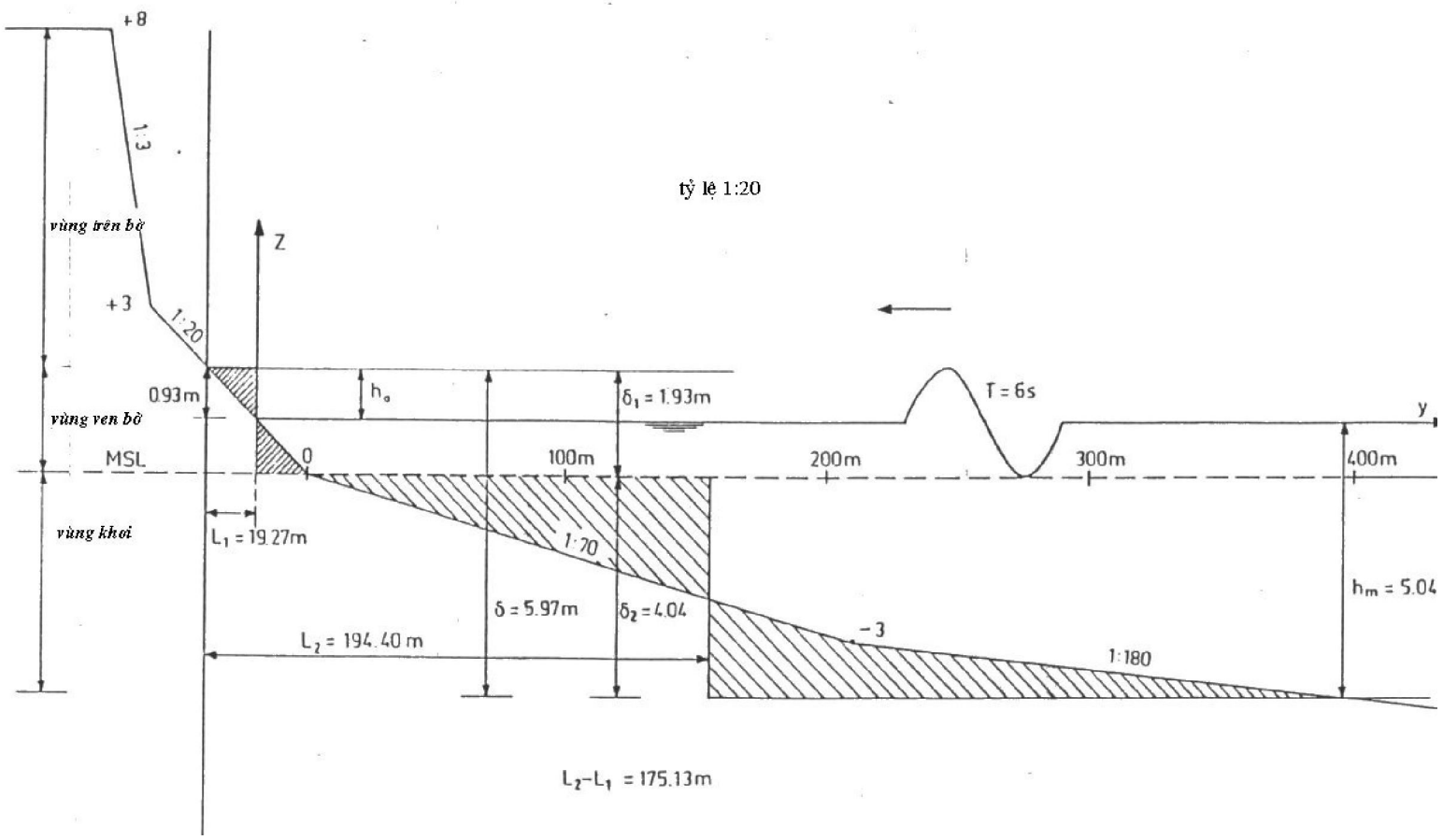
$$L_2 - L_1 = 194,40 - 19,27 = 175,13m \quad (21.16)$$

Bước tiếp theo là để đánh giá khoảng cách cân bằng tương ứng W đối với một điểm cho trước. Việc này không thể tiến hành trực tiếp được bằng phương pháp Swart; thay vào đó trước hết chúng ta cần xác định giá trị W đối với mực nước tĩnh W_r sử dụng hình 21.6 với

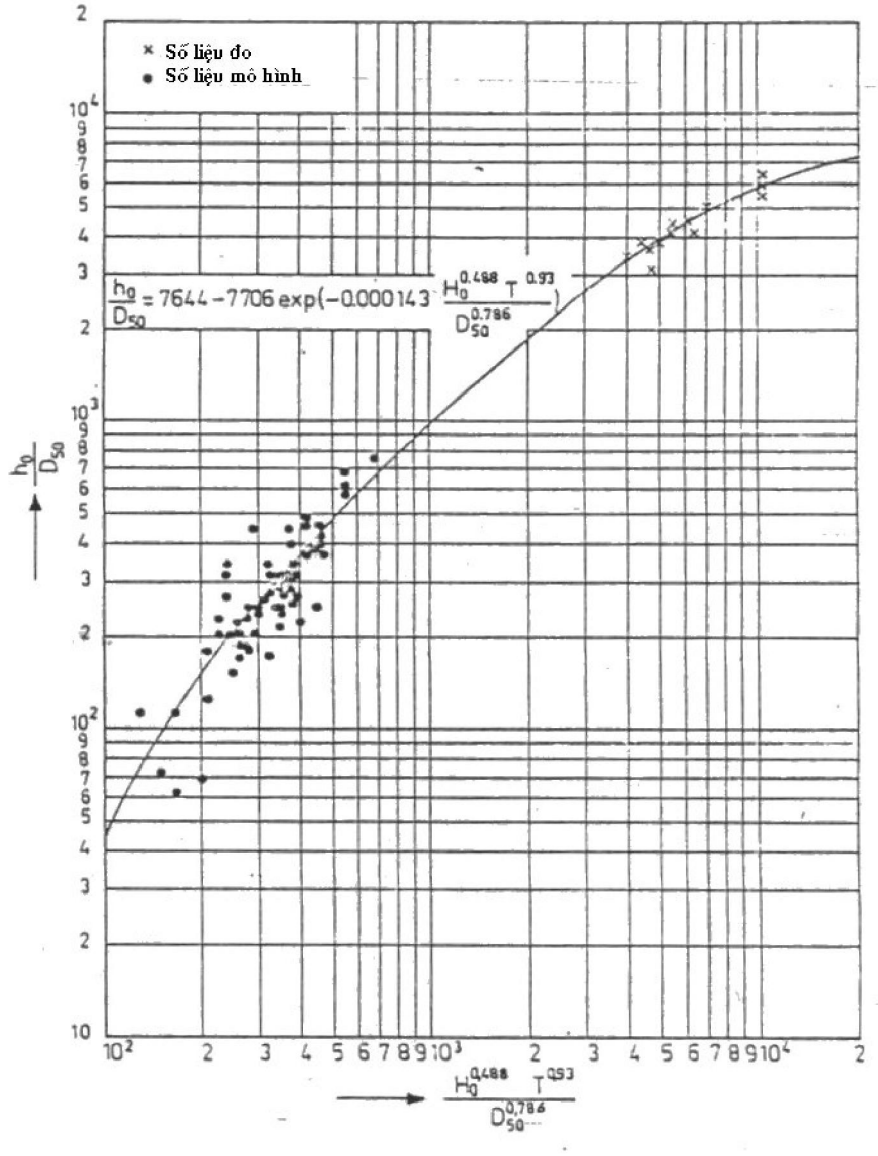
$$\frac{H_0^{0,132}}{D_{50}^{0,447}}\left(\frac{\lambda_0}{H_0}\right)^{0,717} = \frac{2^{0,132}}{(225\times10^{-6})^{0,447}}\left(\frac{56,2}{2}\right)^{0,717} = 512 \quad (21.17)$$

ta thu được

$$m_r\frac{H_0}{\lambda_0} = 6,49\times10^{-4} \quad (21.18)$$



Hình 21.3 **Mặt cắt bãi**



Hình 21.4 **Giới hạn trên của trắc ngang *D*, các thứ nguyên độ dài m và chu kỳ s**

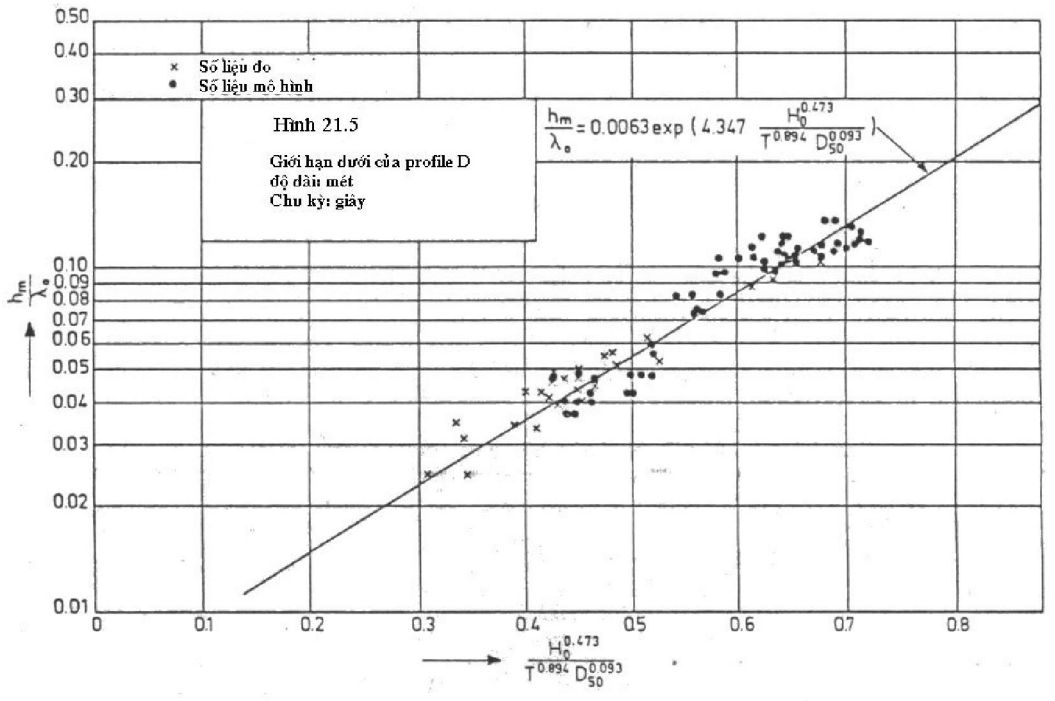
và từ đó:

$$W_r = \frac{\delta H_0}{2\lambda_0 6{,}49\times10^{-4}} = \frac{(5{,}97)(2)}{(2)(56{,}2)(6{,}49\times10^{-4})} = 163{,}71 \qquad (21.19)$$

là khoảng cách cân bằng đối với ngấn nước.

Tỷ số $\frac{W}{W_r}$ có thể được xác định thông qua hình 21.7. Ở đây:

$$\Delta r = \frac{h_m - \delta_2}{\delta} = \frac{5{,}04 - 4{,}04}{5{,}57} = 0{,}168 \tag{21.20}$$



Hình 21.5 **Giới hạn dưới của trắc ngang *D*, độ dài tính theo m và chu kỳ s**

Cũng theo hình đó với

$$D_{50}\Delta r^{0{,}68\times10^4 D_{50}} = 225\times10^{-6}(0{,}168)^{(0{,}68\times10^4)(225\times10-6)} = 1{,}47\times10^{-7} \tag{21.21}$$

(Đó là zero (0) thực sự)

ta thu được:

$$\frac{W}{W_r} - 0{,}7\Delta r = 1{,}0 \tag{21.22}$$

và đến lượt quay trở lại, ta có:

$$W = [1+(0{,}7)(0{,}168)]167{,}71 = 184{,}35 \text{ m} \tag{21.23}$$

May mắn là giá trị này của W lớn hơn L_2 - L_1 chỉ ra rằng vận chuyển cát xa bờ có thể kỳ vọng- chỉ với một điều kiện mà phương pháp Swart đã được kiểm tra.

Bây giờ chúng ta đã biết các giá trị của L_2 - L_1 và W cho phép thế vào phương trình (21.06), chỉ còn lại một vấn đề đó là xác định giá trị của s_y tại một vị trí mong

muốn trên trắc ngang. Đáng tiếc là gía trị này cũng cần được xác định theo một cách lòng vòng nào đó.

Sử dụng hình 21.6 với

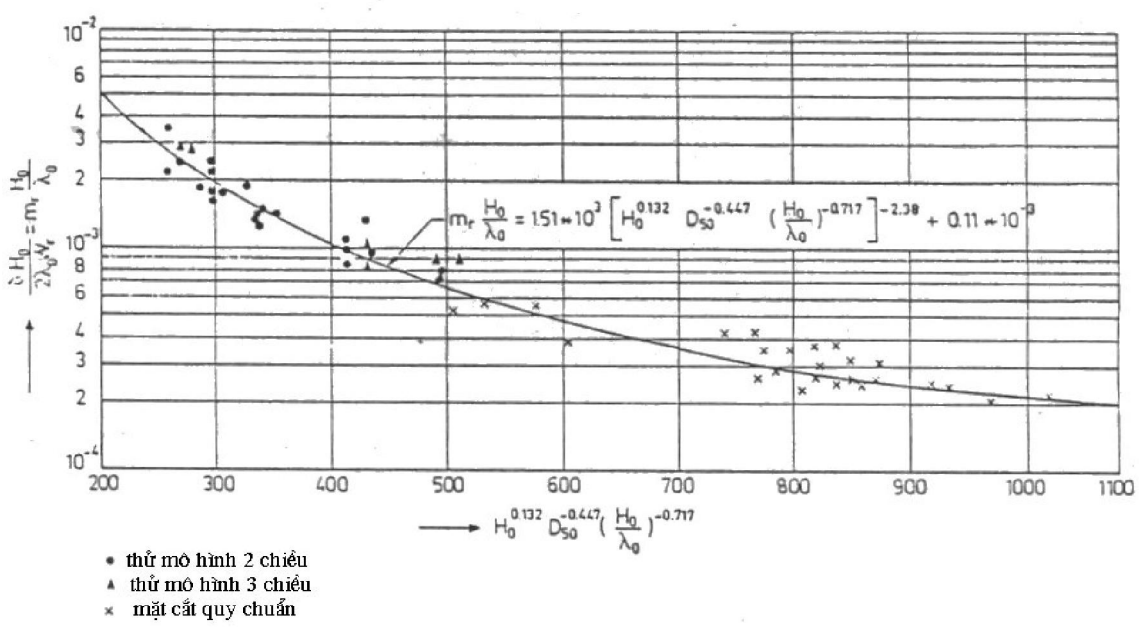
$$x = H_0^{1,68}\left(\frac{H_0}{\lambda_0}\right)^{-0,9} D_{50}^{-1,29}\left(\frac{H_0}{h_m}\right)^{2,66}$$
$$= 2^{1,68}\left(\frac{2}{56,2}\right)^{-0,9}(225\times10^{-6})^{-1,29}\left(\frac{2}{5,04}\right)^{2,66} \qquad (21.24)$$
$$= 280\times10^5$$

ta thu được

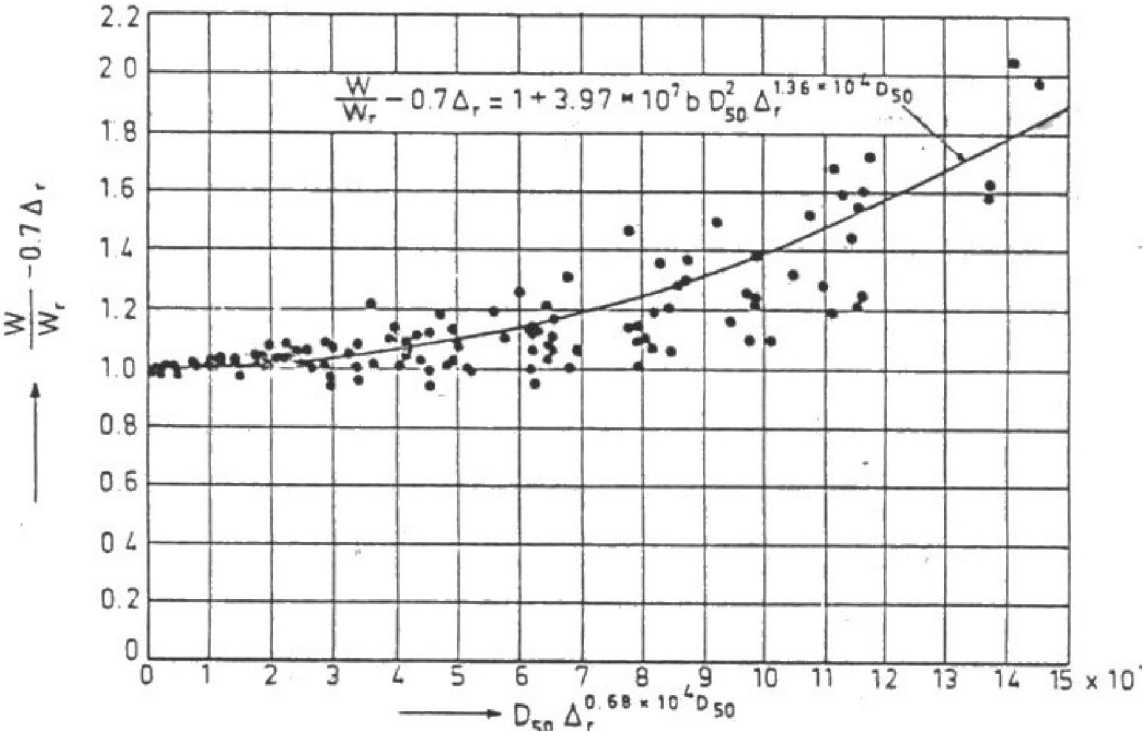
$$\frac{s_{ym}T}{D_{50}} = 0,972 \qquad (21.25)$$

trong đó s_{ym} là giá trị lớn nhất của s_y tìm thấy trên trắc ngang. Phương trình (21.25) bây giờ có dạng:

$$s_{ym} = (0,972)\frac{(225\times10^{-6})}{6} = 3,64\times10^{-5}\, m/s \qquad (21.26)$$



Hình 21.6 **Kích thước tỷ lệ của trắc ngang cân bằng (độ dài m)**



Hình 21.7 **Tương quan chung giữa *W* và W_s (trường hợp hai chiều) D_{50} thứ nguyên *m*, *b*=1 đối với $\Delta r > 0$ và *b* = 0 với $\Delta r < 0$**

Vị trí trên trắc ngang mà tại đó vận chuyển xa bờ cực đại diễn ra có thể được tìm thấy sử dụng hình 21.9. Cho giá trị:

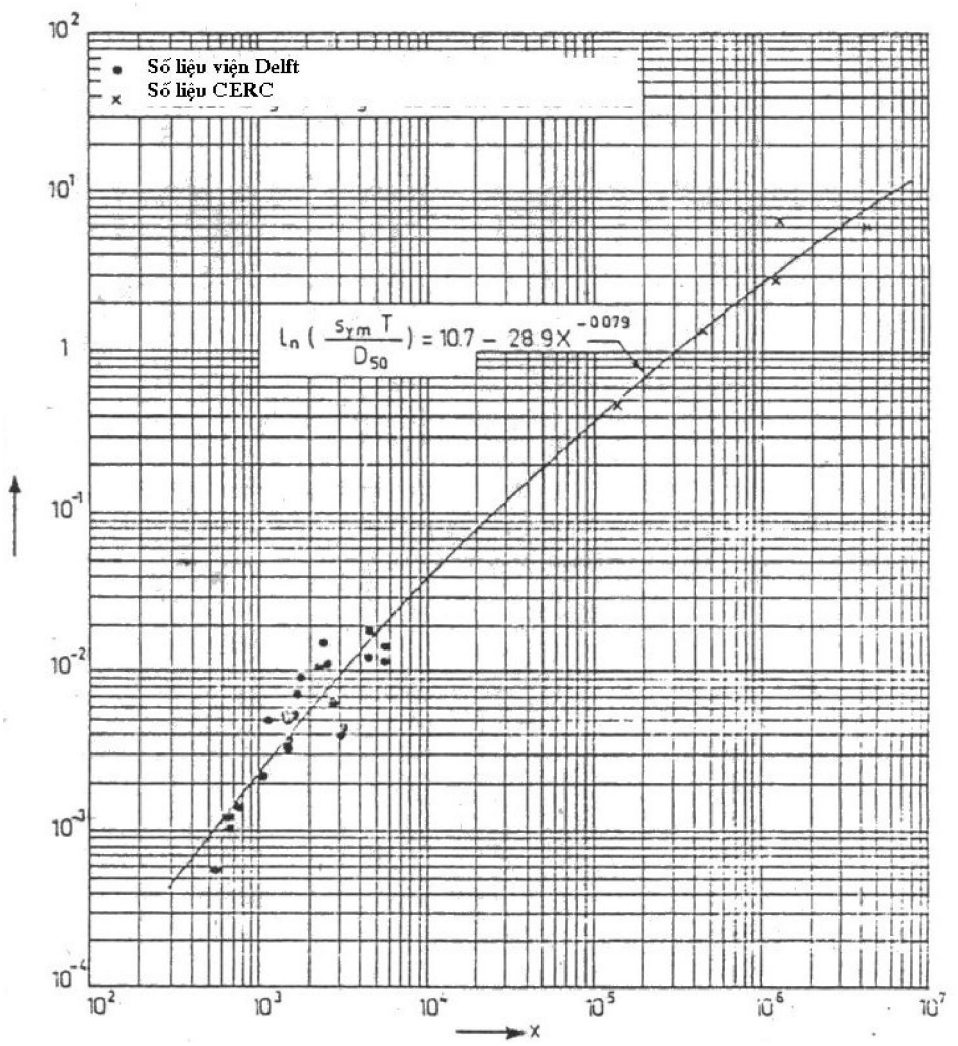
$$H_0^{-0,55}\left(\frac{H_0}{h_m}\right)^{2,69} = (2)^{-0,55}\left(\frac{2}{5,04}\right)^{2,69} = 0,0568 \qquad (21.27)$$

ta thu được

$$\frac{\delta_{2m}}{\delta} = 0,737 \qquad (21.28)$$

Trong đó δ_{2m} là giá trị δ_2 tại điểm mà ở đó s_{ym} xuất hiện. Giá trị này của δ_{2m} bằng

$$\delta_{2m} = (0,737)(5,97) = 4,40 \text{ m} \qquad (21.29)$$

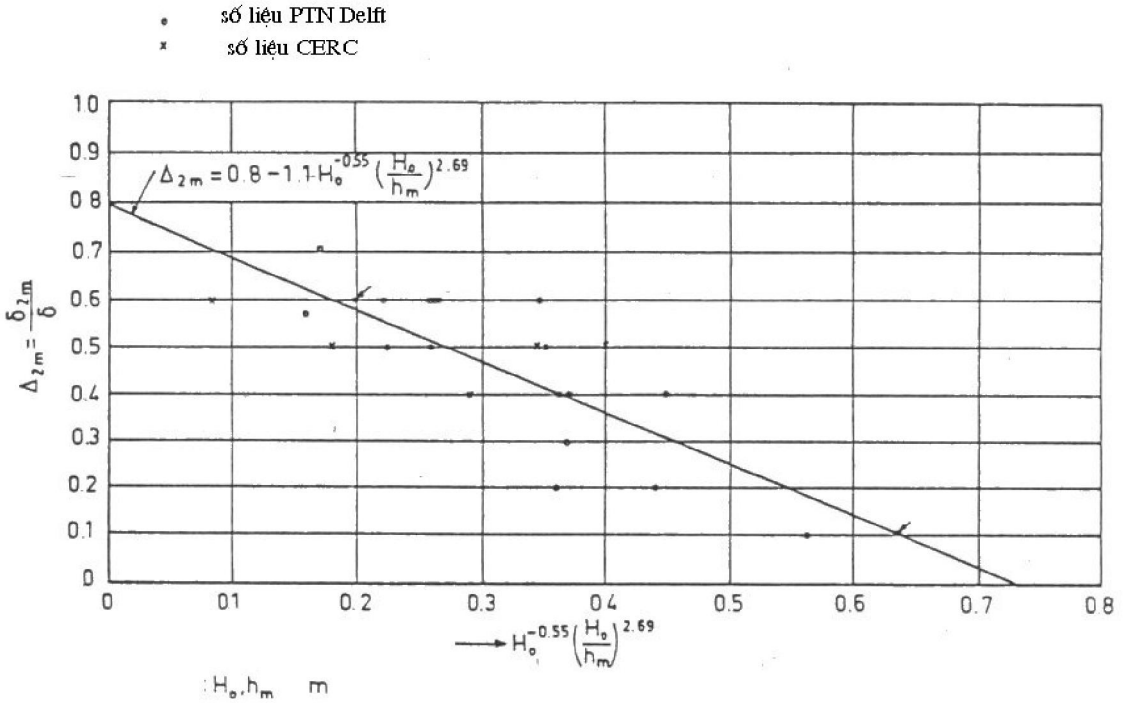


Hình 21.8 **Biên độ của S_{ym}**

Như vậy điểm này nằm thấp hơn mực nước tĩnh nhưng lại cao hơn mặt cắt mà ở đó chúng ta muốn biết vận chuyển cát dọc theo trắc ngang. ($|\delta_2 - \delta_{2m}| = |4.40 - 4.04| = 0.36$ m trên mực nước biển trung bình, hình 21.3)

Hình 21.10 cho ta s_y - là giá trị mong muốn- phụ thuộc vào giá trị s_{ym}. Cho giá trị:

$$\left|\frac{\delta_2 - \delta_{2m}}{\delta}\right|\left(\frac{H_0}{h_m}\right)^2\left(\frac{H_0}{\lambda_0}\right)^{-1} = \left|\frac{4{,}04 - 4{,}40}{5{,}97}\right|\left(\frac{2}{5{,}04}\right)^2\left(\frac{2}{56{,}2}\right)^{-1} = 0{,}267 \qquad (21.30)$$



Hình 21.9 **Vị trí của S_{ym}**

và sử dụng hình 21.10b (chúng ta ở phía ngoài điểm cực đại) sẽ thu được:

$$\frac{s_y}{s_{ym}} = 0{,}935 \tag{21.31}$$

hoặc

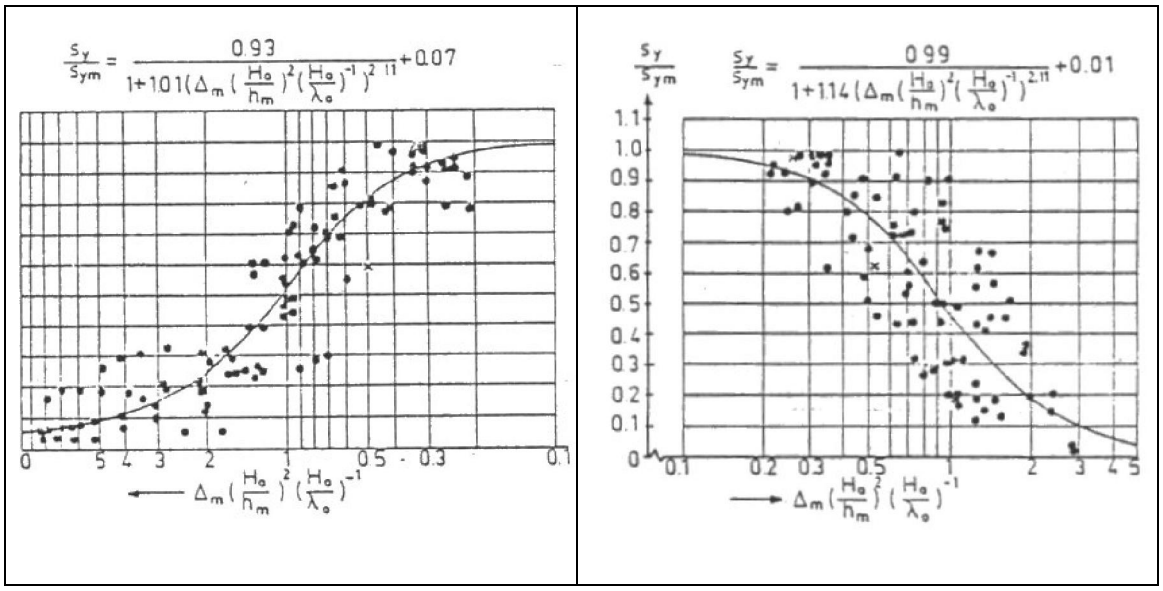
$$s_y = (0{,}935)(3{,}64\times10^{-5}) = 3{,}40\times10^{-5}\, m/s \tag{21.32}$$

Bây giờ chúng ta có thể thế các giá trị vào phương trình (21.06). Sử dụng các kết quả (21.16) (21.23) và (21.32):

$$S_y = (3{,}40\times10^{-5})(184{,}35 - 175{,}13) = 3{,}14\times10^{-4}\, m^2/s \tag{21.33}$$

hoặc tính theo cơ sở giờ

$$S_y = 1.13 \quad \text{m}^2/\text{h} \tag{21.34}$$



a. ven bờ b. xa bờ

Hình 21.10 **Phân bố của tỷ số S_y/S_{ym}**

Như vậy dòng trầm tích voà cỡ hơn1 mét khối trong 1 giờ được vận chuyển ra phía biển từ một mét đường bờ. Tuy nhiên điều này không thế xẩy ra mãi được. Dòng trầm tích vận chuyển dọc trắc ngang sẽ làm thay đổi trắc ngang và từ đó thay đổi các tham số tham gia vào công thức tính toán, đặc biệt giá trị (L_2-L_1).

21.4 VẬN CHUYỂN BA CHIỀU

Khi đưa chiều thứ 3 - dọc đường bờ - vào cuộc thảo luận chúng ta sẽ phải đối mặt ngay với nhiều dòng chảy bổ sung làm phức tạp thêm việc mô tả vận chuyển cát theo chiều ngang. Như đã được chỉ ra trên đây, các dòng chảy ven bờ, không phân biệt nguyên nhân - xem chương 12 đến chương 16 - sẽ gây ảnh hưởng tới vận chuyển ngang. Các thành phần dòng chảy bổ sung chẳng hạn như dòng gián đoạn (rip) chảy theo trắc ngang bãi vuông góc với bờ sẽ gây ảnh hưởng trực tiếp và rõ ràng nhất.

Trường hợp đặc biệt của dòng chảy vuông góc với bờ xuất hiện khi mỏ hàn làm gián đoạn vận chuyển dọc bờ. Nước chảy song song với bờ về phía mỏ hàn bị chệch hướng ra phía biển dọc theo mỏ hàn. Tính liên tục của dòng chảy ven bờ được thiết lập lại sau mỏ hàn sẽ dẫn tới dòng chảy về phía bờ tại phía sau mỏ hàn. Nếu như trường dòng dọc bờ này thông thường kéo dài thêm về phía biển sau công trình, tương tự dòng triều tác động lên một vùng rộng lớn dọc theo bờ thì dòng nước xung quanh mũi của công trình sẽ tập trung nhiều hơn so với trường hợp các dòng dọc bờ không tồn tại trên vùng xa bờ.

Điều đáng tiếc là những hiểu biết sâu hơn về cơ chế bên trong và các tham số đặc trưng cho các kiểu dòng chảy riêng biệt này vẫn bị thiếu hụt nghiêm trọng.

Bowen (1969) đã chú ý nhiều đến vấn đề này. Sự hợp nhất các dòng này nhằm xác định vận chuyển trầm tích ngang đang đòi hỏi nhiều nỗ lực hơn nữa.

22 BIẾN ĐỔI BỜ THEO CÁC LÝ THUYẾT ĐA ĐƯỜNG

E.W. Bijker

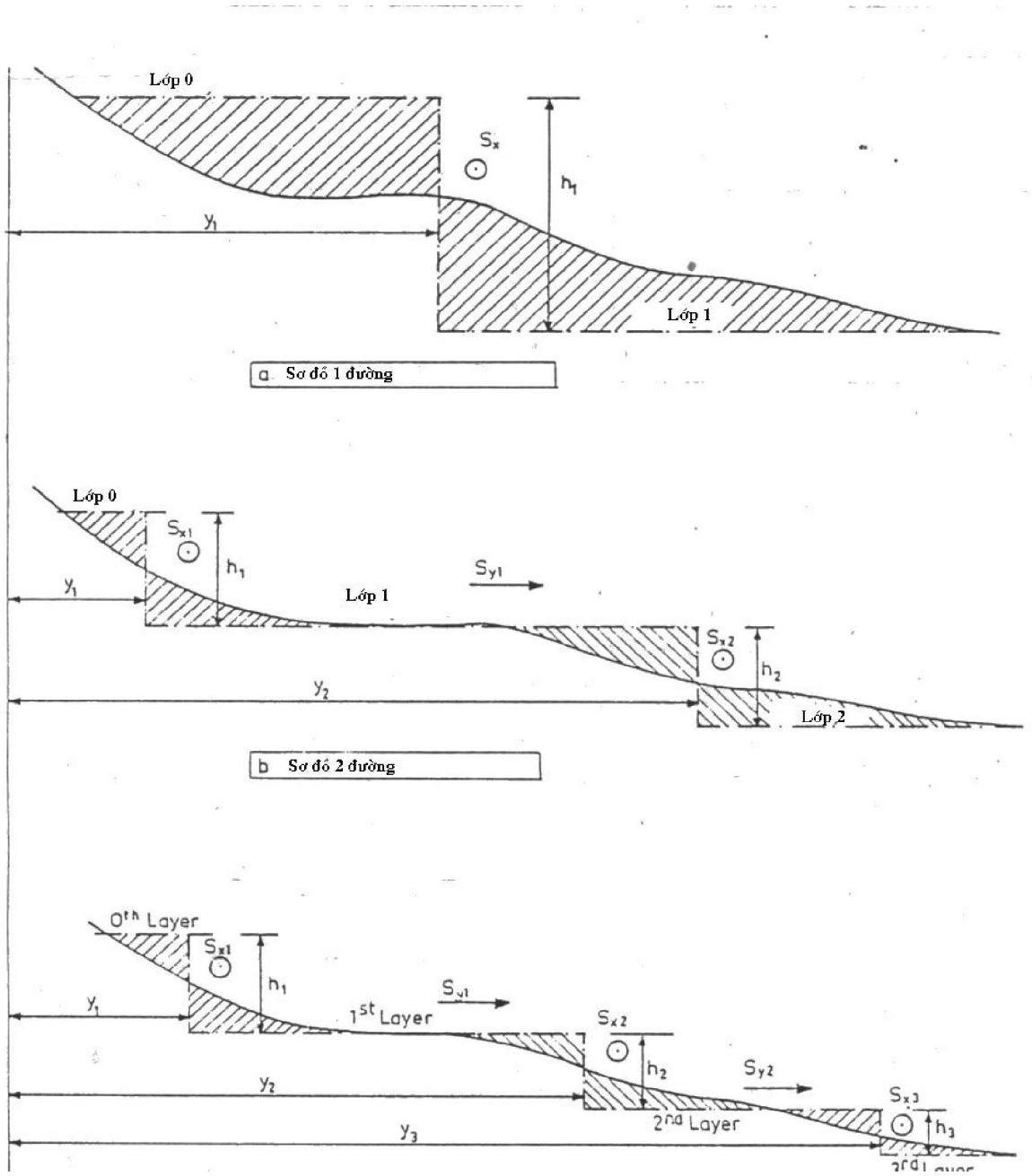
22.1 MỞ ĐẦU

Những hạn chế các phương trình tiến triển đường bờ đơn là đáng kể, chung quy lại chúng xuất hiện do sử dụng các phép sơ đồ hoá quá mạnh so với hiện thực. Điều đó có thể đúng đối với các điều kiện biên và các điều kiện ban đầu cũng như các đặc trưng và sóng. Trong trường hợp riêng, Bakker (1968) đã quan tâm đến loại bờ mà trên đó vận chuyển cát dọc bờ chỉ bị chắn một phần do các mỏ hàn có độ dài ngắn hơn bề rộng đới sóng đổ.

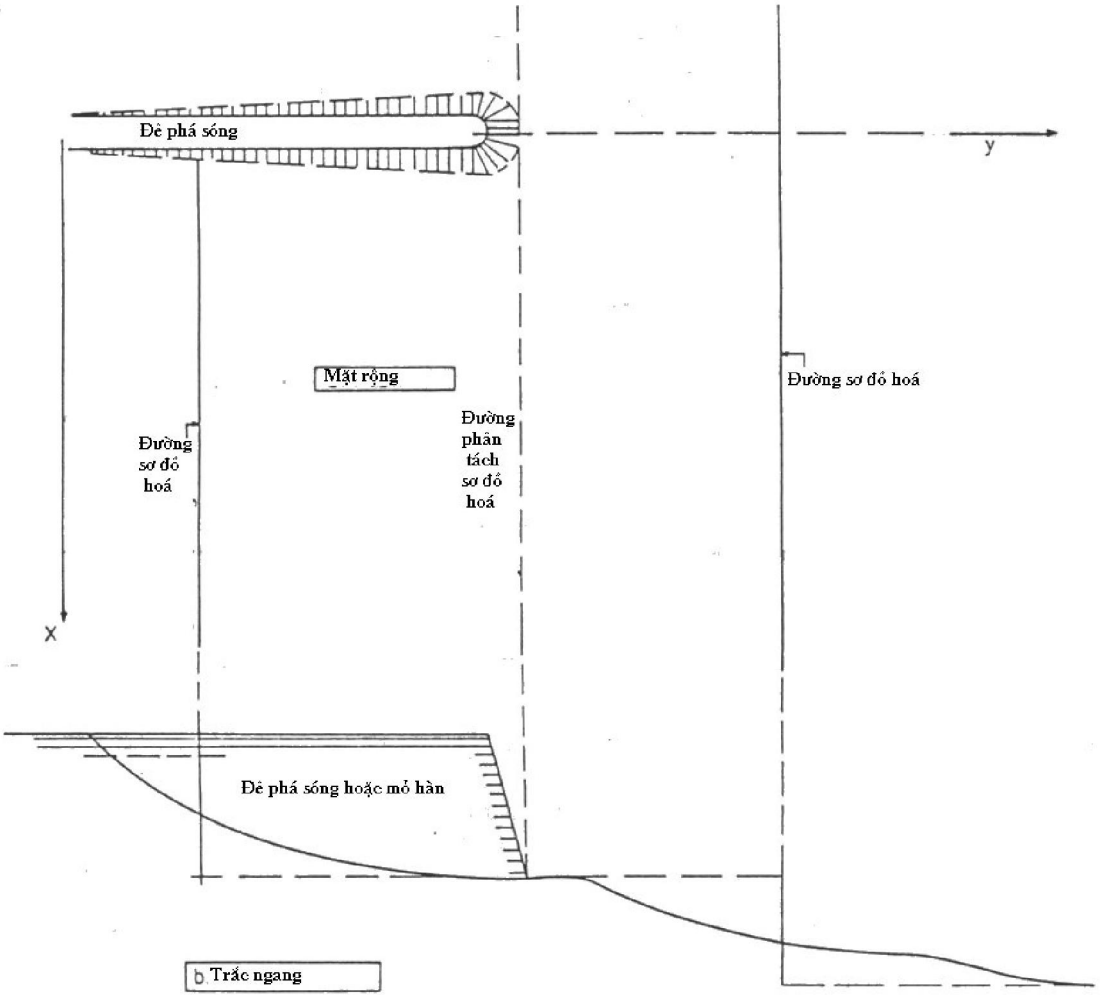
Bakker đã đề xuất lý thuyết hai đường để giải bài toán đó; đó là một trường hợp riêng của lý thuyết đa đường. Thay cho việc khái quát hoá đường bờ bằng một đường cong, nhiều đường cong đã được sử dụng đến như sẽ được giải thích trong các phần tiếp theo.

22.2 SƠ ĐỒ HOÁ

Hình 22.1 chỉ ra trắc ngang bãi với các sơ đồ 1, 2, 3 đường. Việc lựa chọn trục quy chiếu cho khoảng cách y là tuỳ ý. Diện tích của mỗi cặp "tam giác" được đánh dấu là như nhau. Mỗi dòng vận chuyển dọc bờ S_{xi} được hướng song song với bờ đi ra ngoài mặt phẳng của tờ giấy và mô tả lượng vận chuyển cát đáy trong đới đó. Các mặt phẳng ngang thường được chọn ở các độ cao tương ứng nhiều hay ít với các phần phẳng của trắc ngang tổng. Nếu các cấu trúc đặc biệt chẳng hạn như các mỏ hàn, được đưa vào sơ đồ hoá, thì những mặt ngang sơ đồ thường được chọn sao cho giới hạn của các điều kiện biên tương ứng với giới hạn đới vận chuyển . Điều này được minh hoạ trong phác thảo ở hình 22.2.



Hình 22.1 **Trắc ngang bãi và các sơ đồ** (từng cặp đánh dấu có diện tích như nhau)



Hình 22.2 **Sơ đồ bờ và trắc ngang** (sơ đồ hai đường)

22.3 CÁC PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC VÀ CHUYỂN ĐỘNG

Cũng giống với phương pháp xấp xỉ đường đơn đã được trình bày ở chương 20, cần phải phát triển mối tương quan liên tục và các phương trình chuyển động cho mỗi đới của sơ đồ đó.

Phương trình liên tục có phần phức tạp hơn một ít so với phương trình cho lý thuyết đường đơn vì bây giờ có sự cung ứng và mất cát theo 2 hướng. Hình 22.3 chỉ ra một phần tử trong mặt phẳng có thể so sánh được với hình 20.2 a. Một lần nữa, vận chuyển thực tế của vật liệu đi vào phần tử bằng thể tích chứa được cho mỗi một trong số N phần tử – mỗi phần tử cho một đường sơ đồ.

Như vậy, cho $i = 1$ tới N

$$S_{xi}dt - (S_{xi} + dS_{xi})\,dt + S_{yi-1}\,dxdt - S_{yi}\,dxdt = dxdyh_i \qquad (22.01)$$

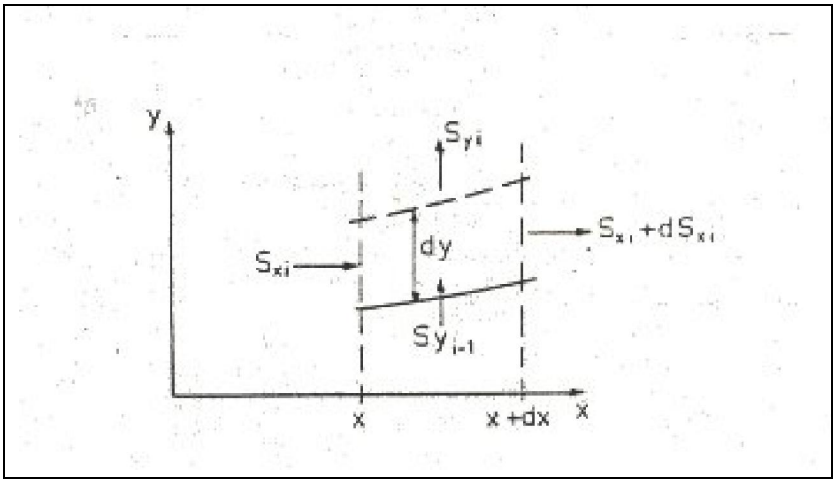
Do không có cát chuyển ngang ngoại trừ giữa các đới sao do đó:

$$S_{y0} = 0$$
$$S_{yN} = 0 \qquad (22.02)$$

Việc sử dụng các công 20.02 và 20.03 vẫn còn đúng trong (22.01), ta thu được:

$$\frac{\partial S_{xi}}{\partial x} - S_{y(i-1)} + S_{yi} + h_i \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \qquad (22.03)$$

có thể so sánh được với phương trình (22.04). Cần phải nhắc lại rằng trong các phương trình trên S_{xi} là vận chuyển cát dọc bờ trên toàn bộ bề rộng đới, trong khi S_{yi} là vận chuyển ngang trên một đơn vị độ dài bãi. Cho $N = 1$ phương trình (22.03) chuyển thành phương trình liên tục tổng quát.



Hình 22.3 **Các tương quan phương trình liên tục**

Các hạng thức $S_{y(i-1)}$ và S_{yi} trong phương trình (22.03) có thể được đánh giá theo phương trình dạng (21.06) và các phương pháp của chương trước. Phương pháp Swart đã trình bày ở đó, thực sự cho phép dẫn đến phương trình chuyển động dọc theo trắc ngang.

Tốc độ biến đổi vận chuyển cát dọc theo đường bờ $\frac{\partial S_{xi}}{\partial x}$ có thể thu được nhờ kết hợp các phương pháp trình bày trong mục 20.3. Như vậy, việc sử dụng và mở rộng các kết quả dẫn đến:

$$\frac{\partial S_{xi}}{\partial x} = \frac{\partial S_{xi}}{\partial \phi_i} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} = 0 \qquad (22.04)$$

và

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial x} = -\frac{\partial^2 y_i}{\partial x^2} \qquad (22.05)$$

trong đó ϕ_i giờ đây là góc tới tức thời của sóng tại chân của mỗi đới so với đường sơ đồ của đới đó. Như vậy góc tới của sóng sẽ là:

$$\phi_i = \phi'_i - \frac{\partial y_i}{\partial x} \qquad (22.06)$$

trong đó ϕ'_i là góc tới của sóng tại chân của đới thứ i tính tương đối so với trục x. Độ sâu tại chân thứ i này sẽ rút ra từ hình 22.1:

$$\sum_{n=1}^{i} h_n \tag{22.07}$$

Rõ ràng rằng, các điều kiện sóng cần được tính tại cùng độ sâu này. Nói chung, hiệu ứng khúc xạ, nước nông, và sóng đổ đều cần phải xét đến.

Trong thực tế, các giá trị S_{xi} có thể tính được thông qua việc xác định phân bố vận chuyển cát dọc bờ đi qua bãi, ví dụ phương pháp Bijker đã được trình bày ở chương 19. Lấy tích phân của đường cong vận chuyển cát qua mỗi đới sơ đồ ta thu được một cách độc lập tập hợp các giá trị cho S_{xi}.

Đạo hàm $\frac{\partial S_{xi}}{\partial \phi_i}$ có thể đánh giá gần đúng thông qua tập hợp các giá trị S_{xi} như đã trình bày trên đây đối với các giá trị tương đối khác nhau của ϕ'_i.

Đạo hàm đang xét đến được đánh giá gần đúng:

$$\frac{\partial S_{xi}}{\partial \phi_i} \approx \frac{\Delta S_{xi}}{\Delta \phi_i} \tag{22.08}$$

22.4 CÁC ĐIỀU KIỆN BAN ĐẦU VÀ ĐIỀU KIỆN BIÊN

Giống như cách tiếp cận một đường, các điều kiện biên và điều kiện ban đầu tương ứng cần được thiết lập một cách nhất quán với bài toán cần giải. Mỗi đường của lời giải theo cách tiếp cận N đường sẽ cần có một điều kiện ban đầu và hai điều kiện biên. Hơn nữa các điều kiện biên cho vận chuyển trầm tích ngang cũng cần phải thiết lập. Chẳng hạn, một điều kiện biên chung cho sự chuyển dịch ngang đó là không có dòng cát đi vào hoặc thoát ra theo hướng ngang trên bãi sơ đồ; điều này sẽ dẫn tới phương trình (22.02). Vì các điều kiện biên và điều kiện ban đầu khác theo hướng dọc bờ tương ứng với mỗi đường gần giống với những ghì đã nêu trong chương 20, chúng sẽ không được giải thích thêm sau này nữa.

Một lợi thế bổ sung của các nghiệm số trị là các điều kiện ban đầu có thể mềm dẻo hơn nhiều. Chẳng hạn điều kiện ban đầu ngụ ý rằng bờ thẳng và có độ dốc không thay đổi sẽ không cần đòi hỏi nữa. Giờ đây điều kiện ban đầu $y_i(x)\big|_{t=0}$ có thể mô tả độ sâu thực tế. Tất nhiên, điều này tạo khả năng giải bài toán một cách hiện thực hơn.

22.5 CÁCH GIẢI CÁC PHƯƠNG TRÌNH

Các nhà toán học đã bảo đảm cho chúng ta rằng với các điều kiện thích hợp chẳng hạn như các giá trị không đổi cho S_{xi}, S_{yi}, ϕ'_i và W_i cùng các điều kiện ban đầu đơn giản $y_i(x)$ = hằng số tại $t = 0$, nghiệm giải tích sẽ tồn tại đối với các phương trình chuyển động thể hiện bằng (22.04) kết hợp với tương quan liên tục (22.03). Tuy nhiên rất ít khi tìm được và sử dụng các nghiệm giải tích này, điều đó chứng

tỏ tính rất phổ biến và thực tế của sự phát triển các sơ đồ tích phân số nhằm giải tổ hợp các phương trình (22.04) và (22.05) một cách trực tiếp thông qua các kỹ thuật xấp xỉ sai phân theo bước thời gian. Việc phát triển các chương trình số cho công việc này là hoạt động nghiên cứu chính của nhóm kỹ thuật bờ tại trường Đại học công nghệ Delft.

22.6 NHỮNG PHÁT TRIỂN TIẾP THEO

Tiến thêm một bước nữa trong việc tính toán xấp xỉ số của chúng ta có thể chia nhỏ ra mỗi đường sơ đồ thành các khối dọc theo bãi; sau đó chúng ta áp dụng lưới lên mặt bãi - mặt phẳng x, y. Thông thường, các khối phần tử này sẽ tương đối dài (theo hướng x) so với bề rộng của nó. Bây giờ chúng ta tính các điều kiện sóng, dòng chảy và vận chuyển cát cho mỗi khối này tại điểm khởi đầu nghiên cứu và tính những sự biến đổi bờ xảy ra trong một khoảng thời gian nào đó. Sau khoảng thời gian đó, các thay đổi hoặc về hình học bờ hoặc các điều kiện dòng và sóng xa bờ sẽ là cần thiết đối với các tham số tính toán cho mỗi phần tử cần được tính toán lại. Theo cách này, sự phát triển của đường bờ và toàn bãi phụ thuộc vào các điều kiện bão cho trước có thể được mô phỏng. Thực vậy ngay cả ảnh hưởng thuỷ triều và những lực tác động khác đã được mô tả trước trong mục 16.6 cũng có thể phải đưa vào.

Trong khi tất cả những điều này có vẻ rất tốt đẹp về mặt nguyên lý, hãy còn một vài giới hạn trong thực tế. Tính liên tục của nước cũng như cát cần phải được cung cấp và các tình thế chuyển tiếp chẳng hạn như sự phát triển của dòng ven bờ về phía khuất gió của mỏ hàn cũng phải tính đến. Tuy nhiên, có lẽ điều quan trọng nhất còn lại là câu hỏi kinh tế liên quan đến chi phí tính toán "Độ chính xác tăng lên của lời giải có biện hộ được cho chi phí và cố gắng tính toán bổ sung hay không?"

23 CÁC BỜ CÁT

E.W. Bijker, J. v.d. Graaff

23.1 MỞ ĐẦU

Các cồn cát thường xuất hiện một cách tự nhiên ở nhiều vùng trên thế giới. Trong trạng thái không khống chế được chúng thường kết hợp với cát khô được vận chuyển do gió. Ở trạng thái này, các cồn cát có thể dịch chuyển do gió, thường trở nên khá cao và thỉnh thoảng xâm lấn và phá vỡ các công trình của con người. Chúng có thể được nhắc đến, chẳng hạn khi đường cao tốc và đường sắt bị phủ lấp cũng như đất đai sản xuất nông nghiệp bị phá huỷ.

Tuy các cồn cát xuất hiện khắp nơi trên thế giới, song chúng thường hay tập trung dọc theo bờ biển. Bờ biển Hà Lan là một ví dụ tuyệt vời về các cồn cát dọc bờ. Chúng cũng có thể được tìm thấy ở nhiều vùng khác: một phần bờ biển Ghana, một phần bờ Oregon ở Hoa Kỳ. Các cồn cát biệt lập tồn tại dọc theo bờ đất bùn của Suriname, (Allersma, 1968). Do được đặc trưng bởi độ cao và thể tích cát lưu giữ, các cồn cát ven bờ có thể được sử dụng trong các sơ đồ bảo vệ bờ vì lợi ích con người. Phần còn lại của chương này sẽ dành cho việc tìm hiểu động lực học của bờ có cồn cát bảo vệ tương tự như trường hợp bờ biển Hà Lan.

23.2 THÀNH TẠO CÁC CỒN CÁT

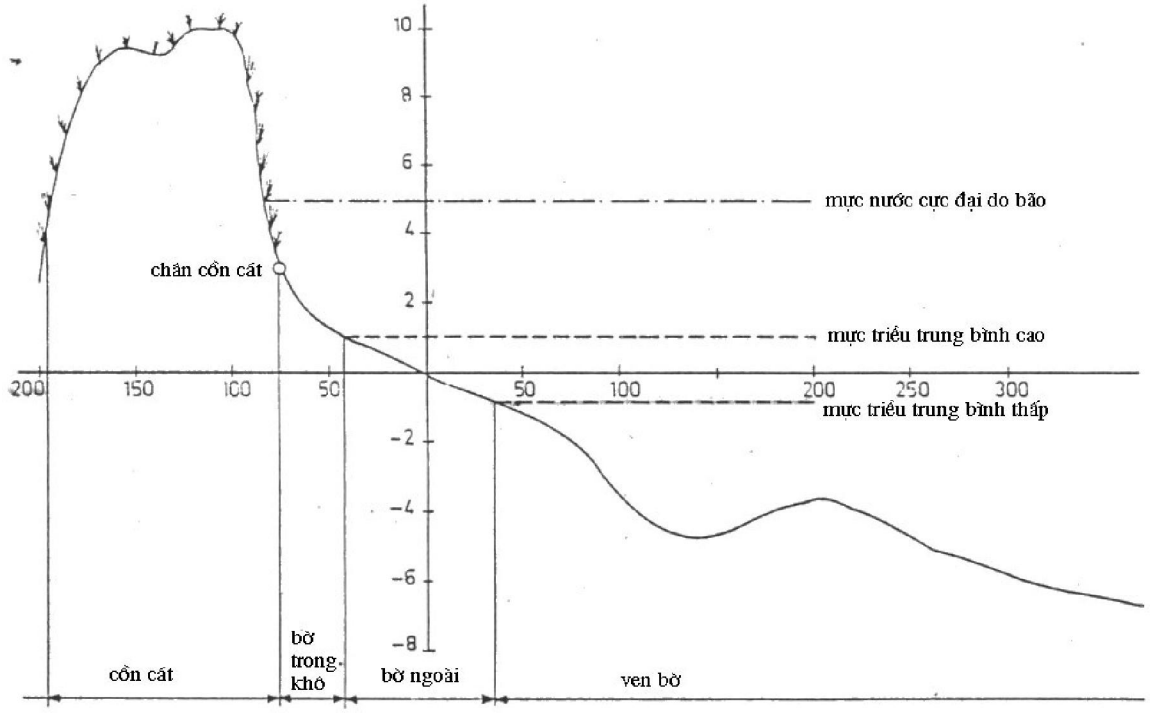
Có hai thành phần cơ bản cần thiết để tạo nên các cồn cát dọc bờ: sự cung ứng cát chậm, liên tục vừa phải và gió thổi ở một chừng mực nào đó về phía bờ.

Cát thường được biển cung ứng do sóng bằng một trong hai cách: hoặc thông qua vận chuyển ngang từ nước sâu hoặc do bồi lấp bãi gây nên bởi sự suy giảm dòng cát vận chuyển dọc bờ. Cách cung ứng trầm tích đầu tiên được gây nên bởi dòng vận chuyển gần đáy không lớn về phía bờ do sóng ở ngoài đới sóng đổ. (Điều này là trái với những tranh luận về khối lượng vận chuyển ngang bên trong đới sóng đổ đã được trình bày ở phần 11.5). Longuet Higgins (1953), Bijker, et al (1975) và Battjes (1976) đã thảo luận chi tiết hơn về dòng vận chuyển trầm tích này. Đây là một trong những nguồn cung ứng cát chủ yếu cho bờ biển Hà Lan. Những cồn cát này nói chung phát triển chậm chạp nhưng ít khi ổn định.

Cách cung ứng thứ hai, do suy giảm dòng cát vận chuyển dọc bờ là nguồn cơ bản hình thành nên các cồn cát. Sự cung ứng như vậy nuôi dưỡng các cồn cát gần

cuối Mũi Cod ở Hoa Kỳ. Các cồn cát có thể lớn nhanh hơn do sự cung ứng cát nhiều hơn.

Với nguồn cung ứng khác, cát trở nên khô và gió có thể dễ dàng hơn tách cát khỏi lớp mặt dẫn đến vận chuyển. (Cát ướt chưa bão hoà có độ dính bổ sung do ứng suất mặt của nước giữa các hạt tinh thể. Sức căng bề mặt này chỉ bị vượt qua khi gió tương đối mạnh). Tác động thuỷ triều có thể đủ cho phép lớp trên cùng của cát gần với mép thuỷ triều cao bị khô và vận chuyển theo gió. Nếu như nước biển cực kỳ mặn, muối đọng lại do nước bốc hơi có thể đủ để gắn chặt các hạt cát với nhau nhằm giữ chúng không bị phát tán theo gió. Lớp cát được gắn kết như vậy thường được gọi là trầm tích vôi hoá, nhưng thường ít thấy trên các bờ các đại dương.



Hình 23.1. **Trắc ngang bờ có đụn cát**

Hình 23.1 chỉ ra mặt cắt ngang biểu trưng của bờ cát bảo vệ thường gặp ở Hà Lan. Điều này có thể so sánh được với những gì trình bày trong tập I hình 25.1. Phần bờ biển khô phía sau có xu thế tạo cho các cồn cát có vẻ rất độc lập với phần còn lại của bờ, mặc dù trong thực tế không phải vậy. Ngoại trừ thời kỳ bão, các thay đổi của các cồn cát thường xẩy ra chậm chạp hầu như không thể cảm nhận được nếu người quan sát không có trình độ chuyên môn cao.

Trong mục này sẽ có những mô tả sự hình thành và nuôi dưỡng các cồn cát. Mục tiếp trong chương sau sẽ mô tả sự hình thành và biến đổi của cồn cát vì lợi ích của con người. Tuy nhiên, quá trình thành tạo bờ thỉnh thoảng bị gián đoạn do xói mòn. Có thể xẩy ra khả năng bờ cát ít nhiều bị xói mòn mặc dù cát luôn được cung

ứng một cách tự nhiên từ ngoài khơi. Điều kiện cần để việc này xẩy ra, đó là mức xói gây ra do tăng vận chuyển dọc bờ nhiều hơn mức cung ứng cát theo hướng ngang bờ. Hai phần tiếp theo sau đây sẽ mô tả những thay đổi bờ biển có cồn cát trong các chu kỳ dựa chủ yếu dựa vào kinh nghiệm ở Hà Lan.

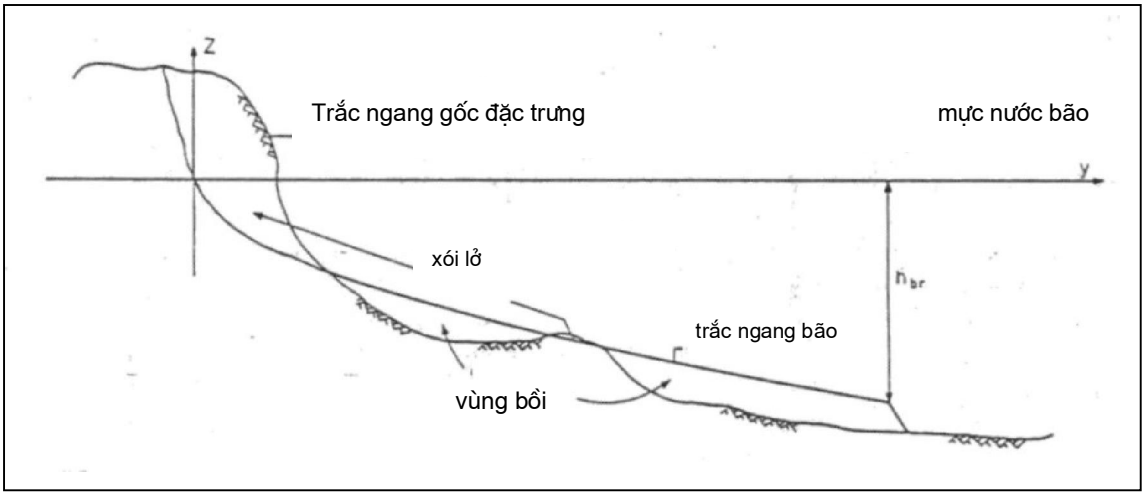
23.3 ĐỘNG LỰC NGẮN HẠN CÁC ĐỤN CÁT

Trong những thời kỳ có bão tố dữ dội mực nước sẽ cao hơn đáng kể so với các điều kiện bình thường. Dưới những điều kiện bão cực mạnh, như được chỉ ra ở hình 23.1, các cồn cát trở thành đối tượng tấn công trực tiếp của biển. Cát bị xói từ các cồn cát và vận chuyển trước hết theo hướng ngang bờ đi ra biển dọc theo trắc ngang bãi. Trong khi đó có thể xẩy ra đồng thời dòng vận chuyển dọc bờ đáng kể, tuy nhiên điều này không cần phải quan tâm đến nhiều, đặc biệt nếu các điều kiện dọc bờ không thay đổi lớn từ nơi này đến nơi khác và độ kéo dài của bão tương đối ngắn. Dù có đúng như thế thì những biến đổi của trắc ngang bãi có thể rất lớn trong một khoảng thời gian ngắn hoạt động của bão.

Ngay cả trong thời kỳ cơn bão và lũ lụt lịch sử trong các tháng giêng và hai năm 1953 ở Hà Lan, sự phá huỷ các cồn cát cũng không xẩy ra nghiêm trọng. Trong cơn bão này với tần suất xuất hiện trung bình vào khoảng 1 lần trên 250 năm, xói mòn cồn cát lớn nhất tính được vào khoảng 100 m^3 cát trên 1 mét chiều dài bãi. Điều này tương ứng với việc hình thành chỗ lõm ở chân cồn cát trên khoảng cách cỡ từ 20 đến 30 m.

Các điều kiện nghiêm trọng hơn có thể xẩy ra đối với bờ biển Hà Lan. Tuy khả năng xẩy ra điều này thường rất hiếm. Hiện tượng xói lở cồn cát cũng sẽ trở nên nghiêm trọng hơn nhiều. Thực vậy, hầu hết các cồn cát - bảo vệ của bờ biển Hà Lan có thể chịu được xói lở cỡ lớn hơn 500 m^3 cát trên 1 mét đường bờ và có khả năng ngăn lụt vùng ở sâu phía sau bờ biển. Rất tiếc là ở một ít khu vực đường bờ không có được lượng dự trữ cát nhiều như vậy của các cồn cát.

Một câu hỏi cực kỳ quan trọng đặt ra, đó là " Với từng dạng bờ có cồn cát nhất định, khả năng chịu đựng và không bị phá huỷ đối với bão đến cấp nào?" Nhiều công trình nghiên cứu về vấn đề này đã được tiến hành ở Hà Lan và vẫn đang được tiếp tục. Một số kết luận dựa vào cả mô hình và những nghiên cứu theo nguyên mẫu được dẫn ra trong phần kết thúc này.



Hình 23.2. **Trắc ngang trong trường hợp bão**

Vì dòng vận chuyển trầm tích ngang quyết định đối với vận chuyển trầm tích bờ trong giai đoạn xói cồn cát, nguyên lý liên tục dẫn đến việc lượng cát xói mòn từ cồn cát cần phải lưu lại ở một nơi nào đó dọc theo trắc ngang bãi. Những đo đạc tiến hành dọc bờ biển Hà Lan ngay trước và sau cơn bão vào năm 1953 đã chỉ ra rằng phần lớn bờ đã hình thành dạng trắc ngang bão được phát triển tiếp từ mực nước lũ kéo dài đến độ sâu ít nhiều tương ứng độ sâu biên ngoài đới sóng đổ. Trắc ngang này có dạng phù hợp với tương quan bán kinh nghiệm:

$$z = -0{,}41\sqrt{y + 4{,}5} + 0{,}88 \qquad (23.01)$$

trong đó y và z được xác định theo cách thông thường và được chỉ ra dọc theo trắc ngang trên hình 23.2. Chú ý rằng phương trình 23.01 không thể không có thứ nguyên – hệ đơn vị mét được sử dụng trong đó. Phương trình này được công bố trong một báo cáo vô danh của Bộ các công trình công cộng (1972) và chỉ có hiệu lực đối với trắc ngang thấp hơn mực nước tĩnh. Hình 23.2 chỉ ra một trắc ngang như vậy. Tính liên tục của cát dẫn đến diện tích vùng xói lở bằng diện tích vùng bồi đắp và được thể hiện trên hình vẽ.

Đáng tiếc là không có ai đủ can đảm tiến hành đo đạc trong cơn bão năm 1953 trên bờ biển ; do đó chúng ta không biết mặt cắt bão trên hình 23.2 được phát triển theo thời gian ra sao. Nếu mức nước lũ do bão được giả thiết đạt ngay lập tức và được duy trì một khoảng thời gian nào đó đồng thời với quá trình xói lở diễn ra, thì chúng ta có thể kết luận từ hình 23.2 rằng đới sóng đổ trở nên rộng hơn nhiều trong quá trình xói. Hơn nữa vì trắc ngang bãi trong bão liên quan với mức nước lũ tĩnh trong cơn bão đó, nên lượng tổng cộng các vật liệu của cồn cát bị xói phụ thuộc mạnh vào mức nước lũ do bão này. Độ kéo dài về thời gian của bão dường như không quan trọng lắm; mỗi khi trắc ngang dạng 23.2 hình thành, sự biến đổi tiếp theo sẽ xẩy ra chậm hơn ngoại trừ khi mực nước hay sóng tiếp tục tăng lên. Các tương quan thực nghiệm đã được thiết lập nhằm mục đích dự báo xói lở cồn cát trên cơ sở mực nước lũ do bão. Đáng tiếc là do có một số lượng lớn các giả thiết hạn chế

đã được sử dụng trong phương pháp, nên các tương quan thu được mang định tính nhiều hơn là định lượng trong thực tế. Từ khi công bố công trình nêu trên, những nghiên cứu mô hình tiếp theo được tiến hành trong Phòng thí nghiện Thuỷ lực Delft đã chỉ ra rằng các tính toán có thể quá thận trọng, lượng vật liệu bị xói lở thường ít hơn lượng dự báo.

Thực vậy, trước khi những nghiên cứu tiếp theo được hoàn thành, chúng ta đưa ra ở đây một số khá ít các kết quả định tính hơn là một tập hợp đầy đủ các mối tương quan thực nghiệm.

Như đã phát triển ở trên, mực nước lũ do bão hiện hữu là rất quan trọng để xác định mức độ xói lở cuối cùng của cồn cát. Một mức tăng nhỏ của mực nước có thể dẫn tới sự gia tăng đáng kể xói lở.

Những cồn cát tương đối cao cung cấp nhiều lượng cát hơn đối với mỗi mét đường bờ bị xói. Hiện tượng bồi lấp đường bờ sẽ giảm đi nhưng thể tích tổng cộng thực tế của cát bị xói lở càng nhiều hơn đối với cồn cát cao hơn. Điều này có thể hình dung được khi ta dịch chuyển trắc ngang bão một ít về bên phải trên hình 23.2; thể tích bồi lấp sẽ tăng nhanh. Các cồn cát cao sẽ giảm đến mức tối thiểu sự bồi lấp, các cồn cát thấp sẽ giảm thiểu thể tích cát bị xói lở. Mối quan hệ này có thể hữu ích khi tiến hành biện pháp nhân tạo kích thích hình thành cồn cát nhằm đạt được một dạng tối ưu của chúng.

Những cơn bão xuất hiện tiếp sau cơn bão ban đầu với cùng một cường lực sẽ gây ra phá huỷ cồn cát ít hơn cơn bão trước. Lượng cát vận chuyển ngang bờ chỉ vào khoảng 20 đến 30% so với những gì xẩy ra trong cơn bão đầu tiên và điều này đã được thử nghiệm tại Hà Lan.

Các cơn bão tương đối mạnh, chẳng hạn như ở Hà Lan năm 1953, không thể dịch chuyển cát đi rất xa, hầu hết cát được lưu lại trong đới sóng đổ.

Các cồn cát trước đây đã ổn định sẽ được hình thành lại trong những năm tiếp theo. Quá trình này xẩy ra tương đối chậm so với quá trình xói lở trong bão, nhưng việc khôi phục này diễn ra nhiều nhất chỉ trong một vài năm.

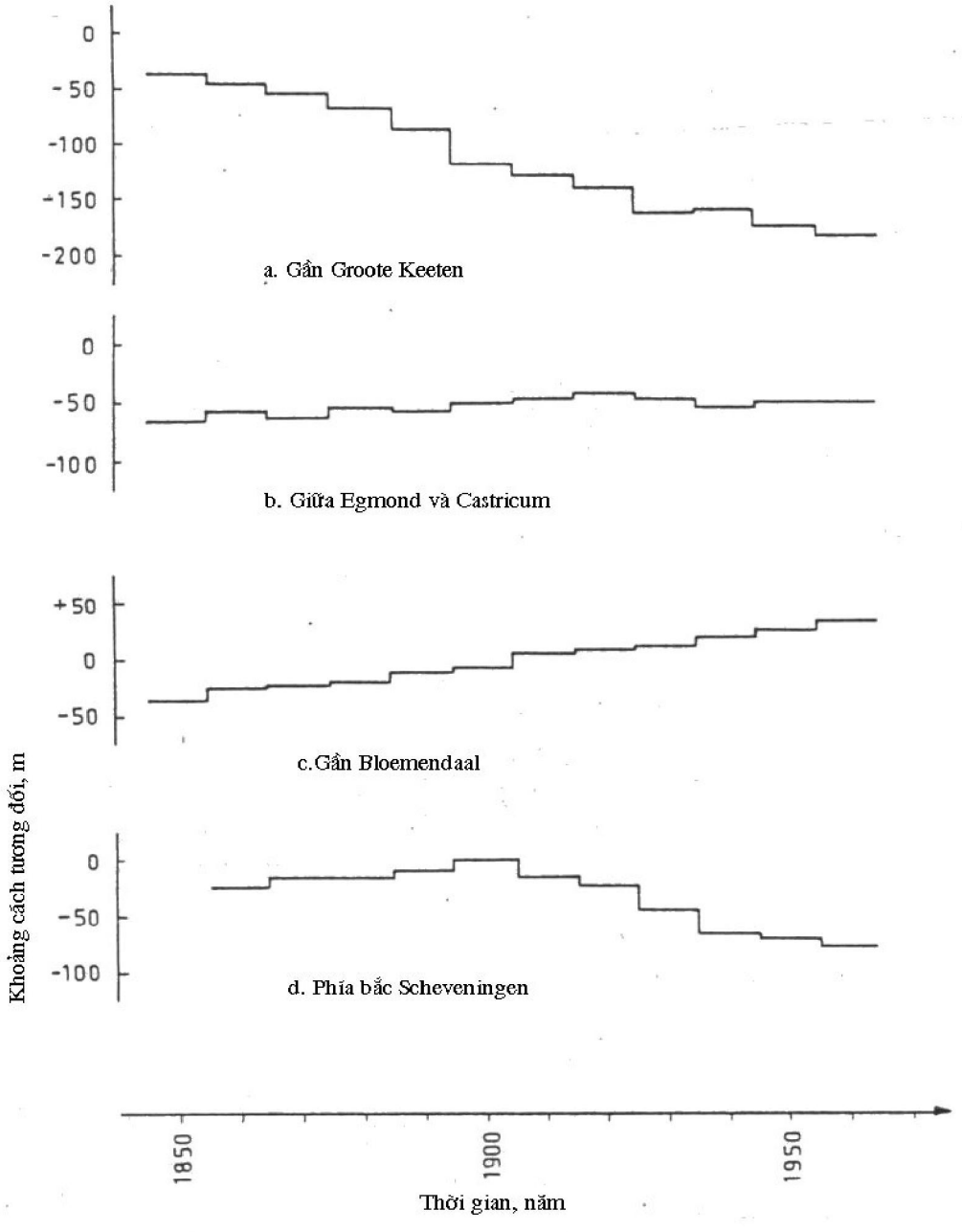
Thông thường, phần cao nhất của trận lũ do bão chỉ xẩy ra trong một khoảng thời gian tương đối hạn chế. Tuy nhiên, phần lớn xói lở cồn cát lại chỉ diễn ra trong một vài giờ.

23.4 ĐỘNG LỰC HỌC DÀI HẠN CÁC CỒN CÁT

Một dãy các cồn cát bảo vệ bờ cần giữ ổn định trong một thời kỳ nhiều năm hoặc nhiều thập niên, thêm vào đó là là khả năng tồn tại của chúng qua các cơn bão mạnh. Tuy không thấy rõ các diễn biến chậm nhưng cần thiết phải xác định các xu thế biến đổi bờ từ từ này, đặc biệt đối với xói lở.

Vì các cồn cát có ý nghĩa quan trọng như vậy để bảo vệ bờ biển Hà Lan, những biến đổi chậm của vị trí các cồn cát được theo dõi cẩn thận trong nhiều thập niên. Hình 23.3 chỉ ra mức độ dịch chuyển trung bình 10 năm của chân các cồn cát tại 4

địa điểm dọc bờ biển Hà Lan trong khoảng thời gian hơn một thế kỷ một. Chỉ có những thay đổi tương đối được chỉ ra trong hình đó; điểm zero của thang tỷ lệ được lấy hoàn toàn tuỳ tiện.

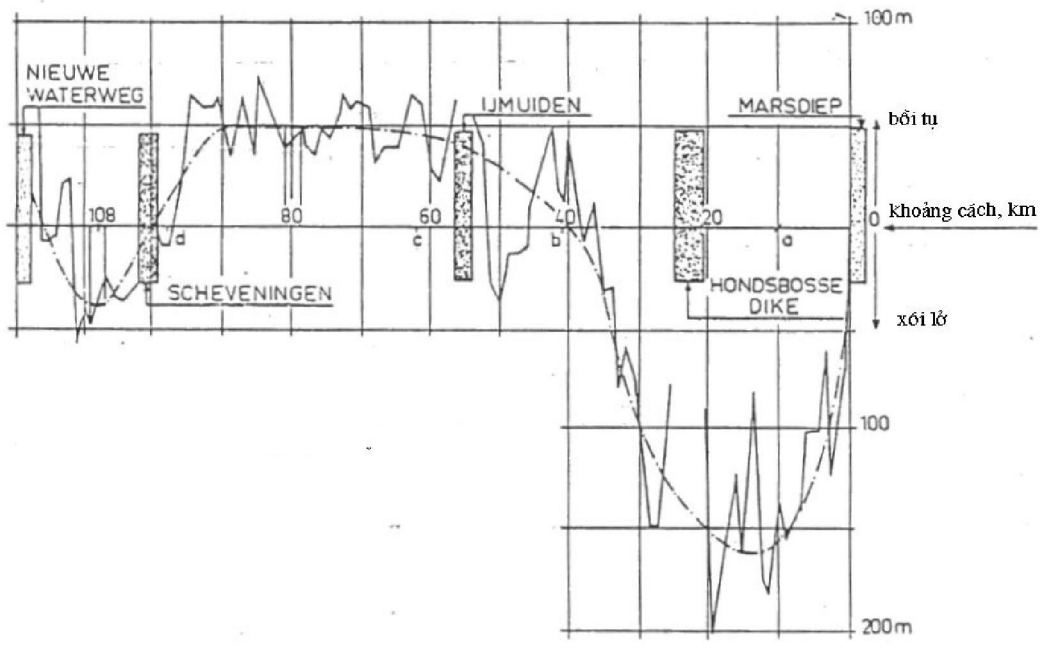


Hình 23.3 **Biến đổi cồn cát tại 4 địa điểm bờ biển Hà Lan**

Hình 23.3a, trên khoảng 10 km về phía nam Den Helder, chỉ ra hiện tượng xói lở liên tục vào khoảng 1.3 m/năm, trong khi tại 31 km tiếp theo về phía nam hình

23.3b - các cồn cát được giữ rất ổn định. Gần Bloemeldaal, cách Den Helder 62 km về phía nam, các cồn cát được bồi đắp vào khoảng 0.6 m/mỗi năm - hình 23.3c.

Ngay tại phía bắc Scheveningen - hình 23.3d – hiện tượng bồi đắp chậm ban đầu chuyển sang bị xói khoảng 1.4 m/năm sau năm 1900. Điều này là thú vị khi xét đến sự kiện rằng các công trình bảo vệ bờ - tường chắn biển và mỏ hàn đã được xây dựng tại Scheveningen vào đầu thế kỷ. Điểm đo đạc được chỉ ra trong hình nằm cách mép công trình trên khoảng 2 km về phía bắc.



Hình 23.4 **Dịch chuyển chân cồn cát dọc bờ biển Hà Lan trong thế kỷ qua**

Hình 23.4 chỉ ra sự chuyển đổi toàn vùng bờ trong một thế kỷ. Các chữ từ *a* đến *d* trên trục ngang chỉ ra các vị trí các đồ thị trong hình 23.3.

Khác với nguyên nhân xói lở cồn cát trong thời kỳ bão, những sự biến đổi bờ vừa mới mô tả trên đây được gây ra chủ yếu do vận chuyển trầm tích dọc bờ. Những sự biến đổi bờ này xẩy ra liên quan đến gradient của khả năng vận chuyển dọc bờ. Hiện tượng bồi lấp thường do suy giảm khả năng vận chuyển và xói lở do gia tăng khả năng vận chuyển dọc bờ. Những biến đổi vừa được mô tả trên hình 23.3 và 23.4 đối với chân cồn cát cũng là đặc trưng cho cả toàn bộ trắc ngang bãi. Nếu giả thiết rằng trắc ngang tổng thể bao gồm các cồn cát cao khoảng 20 m thì sự biến đổi bãi và cồn cát 1 m trong 1 năm dẫn đến gradient khả năng vận chuyển dọc bờ vào khoảng 20000 m^3 trong 1 năm trên 1 km. Khi mở rộng đáng kể khoảng cách này thì thể tích cát di chuyển sẽ rất lớn. Ví dụ, trên 40 km, tốc độ xói lở 1 m/1 năm dẫn tới tăng khả năng vận chuyển trầm tích cỡ 800000 m^3/năm.

Đặc biệt hiện tương xói lở có tầm quan trọng lớn đối với sự an toàn lâu dài cho vùng bờ được bảo vệ bằng cồn cát. Trong khi chúng ta không thể thường xuyên lý giải được nguyên nhân biến đổi bờ chậm hay dự báo mức độ chính xác của nó, cần phải cố gắng xác định các xu thế hiện tại, ngoại suy chúng, và cố gắng đưa ra những hậu quả có thể xẩy ra. Thông thường, hiện tượng xói lở thường được dự đoán trước, sự phát triển đường bờ có thể được quy hoạch với các biến đổi bờ có khả năng xẩy ra. Các vấn đề trở nên khó khăn hơn và thường nhạy cảm hơn khi để quá muộn việc quy hoạch cho những biến đổi bờ tự nhiên. Khi đó, các công trình bảo vệ bờ nhân tạo là giải pháp đáng xem xét nhất. Tuy nhiên có một lựa chọn khác đó là từ bỏ khu vực này. Sự lựa chọn thứ hai này có thể kinh tế hơn trong một thời kỳ dài đối với một số tình thế nhất định.

Các công trình bảo vệ bờ sẽ được thảo luận sâu hơn trong chương sau. Tuy nhiên, trước hết chúng ta sẽ kết thúc chương này với việc thảo luận về khả năng dự báo những biến đổi bờ được bảo vệ bằng các cồn cát.

23.5 PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

Những thảo luận trong các phần trước của chương này chỉ giới hạn vào tập tính của cồn cát trên trắc ngang đơn. Bây giờ, chúng ta sẽ sử dụng một phát triển phương pháp đa đường của chương trước nhằm chỉ ra cách phân tích toàn bộ bờ có cồn cát bảo vệ.

Vì phương pháp đa đường liên quan đến cả vận chuyển trầm tích ngang bờ và dọc bờ, nên nó có thể được sử dụng một cách có kết quả để phân tích hạn ngắn và hạn dài. Tuy nhiên nó có thể trở nên cồng kềnh cho việc phân tích hạn ngắn nếu như địa mạo bờ bị chi phối bởi vận chuyển ngang.

Phương pháp mô hình đa đường cải tiến liên quan đến việc cho phép tính đến lượng cát đi vào bãi từ các cồn cát. (Chúng ta có thể nhớ lại từ chương 22 rằng phương trình 22.02 không đưa dòng cát đi vào và ra đới sóng đổ theo hướng ngang bờ). Bây giờ chúng ta có thể cho cát đưa vào đới vận chuyển dọc bờ gần nhất với các cồn cát thông qua việc bỏ đi hạn chế S_{yo} luôn luôn bằng không. Tuy nhiên, điều kiện biên này cần phải thay thế bởi một cách mô tả khả thi nào đó quá trình biến đổi cồn cát. Điều này có thể được tiến hành dựa vào độ dốc tương tự như đối với tất cả vận chuyển ngang khác.

Tuy nhiên, ở đây, tồn tại hai sự khác biệt quan trọng.

Trước hết, các cồn cát có xu hướng "đổ sập" (cave in) trong khi xói lở một lượng khá lớn cát lắng đọng lập tức ở phần bãi trên. Mô hình của chúng ta cũng cần làm được như thế. Điều này có thể thu được theo từng bước, chẳng hạn một lượng cát cho trước sẽ lắng đọng phía trên cùng của bãi khi độ dốc của cồn cát trở nên quá lớn. Khối lượng cát này có thể phụ thuộc vào các tính chất của cát và độ cao cồn cát thông qua xấp xỉ phân tích vòng tròn trượt (slip circle analysis) rất quen thuộc đối

với các kỹ sư nền móng. Điều đó tạo ra một sự gián đoạn trong cung ứng cát trái với quan niệm Swart.

Vấn đề thứ hai đó là vận chuyển cát từ bãi tới các cồn cát do một hiện tượng hoàn toàn khác (và độc lập) là gió. Trong khi có thể chấp thuận một dạng hàm vận chuyển liên tục, ta hiện có quá ít hiểu biết về sự bồi đắp cồn cát để có thể xác định các tham số cần thiết đối với vận chuyển cát về phía các cồn cát.

Do đó khi nghiên cứu bờ bị xói lở với cung ứng cát theo dạng vòng tròn trượt sẽ dẫn đến một mô tả toán học đối với S_{yo} trong dạng đặc biệt. Ngoại suy phương trình 21.06 với các kí hiệu trong chương 21:

Nếu $(W_0 - (L_1 - L_0)) < 0$ thì $S_{y0} = 0$ (23.02)

và

nếu $(W_0 - (L_1 - L_0)) > 0$ thì $S_{y0} = S_{cc}$ (23.03)

trong đó W_o là khoảng cách tương ứng với độ dốc cồn cát "vừa mới ổn định",

L_o là khoảng cách đặc trưng cho cồn cát, và

S_{cc} là lượng cát lắng đọng ở phần trên cùng bãi trong một khoảng thời gian thông qua hiện tượng "đổ sập" .

Do S_{cc} thông thường lớn, một phần trên của bãi " sẽ mở ra phía trước" do được cung ứng từ các cồn cát. Điều đó sẽ tự động khôi phục tình trạng 23.02 và khởi đầu quá trình tăng vận chuyển ngang tới các đới nước sâu hơn. Trong thời kỳ thời tiết êm ả cát được cung cấp từ bãi biển sẽ tái tạo lại các cồn cát, dạng hàm vận chuyển cát liên tục hơn - càng gần với phương trình 21.06 hơn – sẽ thay thế cho 23.02 và 23.03.

24 CÁC CÔNG TÁC BẢO VỆ BỜ

E.W. Bijker, J. v.d. Graaff, W.W. Massie

24.1 MỞ ĐẦU

Chương này trước hết đề cập đến các phương thức khác nhau theo đó con người có thể gây ảnh hưởng tới các quá trình tự nhiên xẩy ra dọc bãi biển. Ở đây có một sự chú ý tới những hậu quả hình thái của những biến đổi khác nhau do con người tạo ra lên các chi tiết cấu tạo của chính các công trình đó. Khía cạnh sau cùng này nói chung thuộc lĩnh vực các công trình thuỷ lực hơn là kỹ thuật bờ.

Những nguyên lý của các hậu quả hình thái học của những biến đổi khác nhau do con người tạo ra được thảo luận trong các phần sau. Cũng có gì đó không đáng ngạc nhiên khi phần lớn các công trình gắn liền đến các bãi đang bị xói. Các bờ đang được bồi đắp ít khi có vấn đề đặt ra.

24.2 CUNG ỨNG CÁT

Chắc có lẽ giải pháp đơn giản nhất và đáng tin cậy nhất duy trì bãi bị xói lở là cung ứng cát từ những nguồn khác nhau; tuy nhiên còn có một số phương pháp khác để giải quyết vấn đề này.

Phương pháp dường như trực tiếp nhất đó là chuyển cát vào vị trí hướng bờ của đường sóng đổ thông qua các hoạt động nạo vét. Vì cát được đổ vào vùng nước nông hoặc vào bãi khô, chỉ có một số loại máy hút thuỷ lực mới có khả năng đổ cát qua đường ống dẫn - xem tập 1 chương 16. Thỉnh thoảng cát cung ứng có thể được lấy từ dự án nạo vét cục bộ được tiến hành vì một mục đích khác; nạo vét để mở rộng cảng là một ví dụ tốt nhất về công việc này. Trong trường hợp đó chi phí nuôi dưỡng có lẽ sẽ là tối thiểu, ở đây chỉ đòi hỏi kinh phí phụ nhằm kéo dài đường ống dẫn.

Một nguồn cung ứng khác đó là sử dụng cát nạo vét từ các bãi bồi gần đó. (Thông thường, xói lở ở một bãi này đều kèm theo bồi lắng ở một bãi khác gần đó). Hiện tượng xói lở và bồi đắp lên hai phía của cửa vào cảng là một ví dụ thuộc loại này. Trong quá khứ, các công trình cố định vĩnh cửu kèm theo trang bị nạo vét trên đó được xây dựng tại các bãi bồi trong đới sóng đổ để thu cát vận chuyển dọc bãi và bơm nó vào vùng bờ bị xói một cách tương đối liên tục. Ít nhất có một công trình chuyển rẽ cát như vậy đã được mô tả trong tập 1 của Cẩm nang bảo về bờ. Đáng tiếc những công trình như thế thường ít có được thành công mỹ mãn. Chúng có thể do đã không được định vị chính xác để thu nhận sự cung ứng đầy đủ cát trong khi

đó bão mạnh có thể làm cho chúng bị chìm sâu vào cát và không thể hoạt động được nữa. Ống dẫn đổ cát từ công trình này thường được lắp đặt vĩnh cửu qua cửa vào cảng, kết quả ống dẫn hoàn toàn nằm chìm sâu – một dạng ống hình chữ U - có thể bị tắc do cát trong trường hợp hỏng bơm đột ngột vì đường ống dẫn chứa đầy hỗn hợp nước và cát. Việc lắp đặt cố định như vậy cũng gây tồn đọng khá nhiều vốn đầu tư cho một mục đích duy nhất.

Như vậy, sẽ kinh tế và hiệu quả hơn khi chuyển cát bằng các thiết bị nạo vét thông thường. Những thiết bị này có thể sử dụng để chuyển cát lúc có yêu cầu và những lúc không cần có thể sử dụng cho mục đích khác. Không nhất thiết phải lấy cát từ bên trong vùng sóng đổ bình thường (thời tiết êm ả). Nếu một tàu nạo vét nổi tạo một hố sâu hoặc một rãnh song song với đường bờ sát biên ngoài đới sóng đổ khi thời tiết yên tĩnh thì cát sẽ chuyển vào hố này do sự vận chuyển dọc theo trắc ngang của bãi. Lý thuyết vận chuyển đa đường có thể dược sử dụng để nghiên cứu bài toán vận chuyển như vậy. Nếu như hố sâu được nạo vét ít nhiều liên tục, điều kiện biên của lời giải là địa hình bờ tại hố đào sẽ không thay đổi – bất kỳ lượng cát nào đi vào vùng hố đào sẽ biến mất một cách đơn giản. Cũng như vậy, mô hình đa đường có thể được dùng để mô phỏng các tập tính của cát cung ứng cho bãi bị xói lở. Nếu các hệ số cần thiết có thể xác định được, thông qua quá trình từ mô phỏng như trên đến các thí nghiệm bằng hình thức mò mẫm đối với các điểm lấy cát và xả cát khác nhau để chọn ra được những vị trí thích hợp nhất.

Khi không có sẵn cát trên bãi hoặc ở khu vực có các hoạt động nạo vét khác thì thỉnh thoảng cũng cần phải lấy cát từ vùng xa bờ. Vị trí lựa chọn cần đủ xa bờ (thường vài hải lí) để những quá trình bãi không làm ảnh hưởng được. Thông thường cát được nạo vét trên vùng tương đối lớn đảm bảo hạn chế ảnh hưởng lên địa hình vùng xa bờ. Mặt khác việc nạo vét trải rộng như vậy có thể tăng ảnh hưởng lên công nghiệp đánh bắt hải sản của các địa phương.

Điều bất lợi của mọi phương pháp cung ứng cát nêu trên đó là đặc trưng dài hạn của chúng. Cát cần phải được cung ứng lâu dài theo các khoảng đều đặn. Trong khi đó việc đầu tư tiền vốn ban đầu có thể rất thấp, nhưng chi phí toàn bộ sẽ lớn hơn trong thời gian vận hành lâu dài.

Cát cũng có thể được cung ứng từ đất liền. Trong khi vận chuyển cát qua đất liền có thể trở nên rất đắt đỏ, trên cơ sở cung ứng liên tục cho bãi biển bị xói lở chậm, vẫn có khả năng tiết kiệm hơn khi củng cố bờ bảo vệ bằng các cồn cát. Ví dụ, chuyển cát xung quanh các cồn cát có thể sẽ làm thấp xuống và mở rộng mặt nghiêng của chúng làm cho chúng trở nên lâu bền hơn và giảm thiểu khả năng mất cát trong tương lai. Mặt khác, việc tăng độ cao đỉnh cồn cát nhờ chuyển cát lên phía trước có thể cần thiết, nếu như quá trình lùi lại của toàn thể đường bờ cần được giảm thiểu (xem chương 23). Rõ ràng rằng, những biện pháp này chỉ nhằm mục đích cải thiện bãi trong một thời kỳ ngắn, nó thường quá đắt đỏ cho một hạn dài.

Nếu các cồn cát dọc bờ đang được phát triển lên từ từ nhờ nguồn cát do gió mang tới, thì việc xây dựng đê chắn gió hoặc trồng các bãi cỏ khác nhau có thể

thành công trong việc kích thích các cồn cát hình thành và duy trì hình dạng mong muốn. Tập I *Cẩm nang bảo vệ bờ* đã mô tả một số loại cồn cát bảo vệ và tăng cường. Phương pháp bảo vệ như thế có thể trở nên cần thiết đối với các bờ bồi lắng nhằm ngăn chặn vận chuyển cát do gió vào phía đất liền, vì quá trình này có thể gây nên các hậu quả không mong muốn đối với các hoạt động cuả con người thông qua đất đai canh tác hay đường giao thông.

Tính tiện ích dễ nhận thấy và rất thực tế của tất cả các sơ đồ nuôi dưỡng bãi ở trên chính là bản thân của sự nuôi dưỡng bãi đó; các công việc cũng giống như trong tự nhiên và những hậu quả của các công việc đó đối với các phần bờ lân cận có khả năng tốt nhất trong số tất cả các phương pháp bảo vệ có thể. Ý nghĩa của nhận xét cuối cùng này sẽ trở nên rõ ràng hơn trong chương này.

24.3 MỎ HÀN

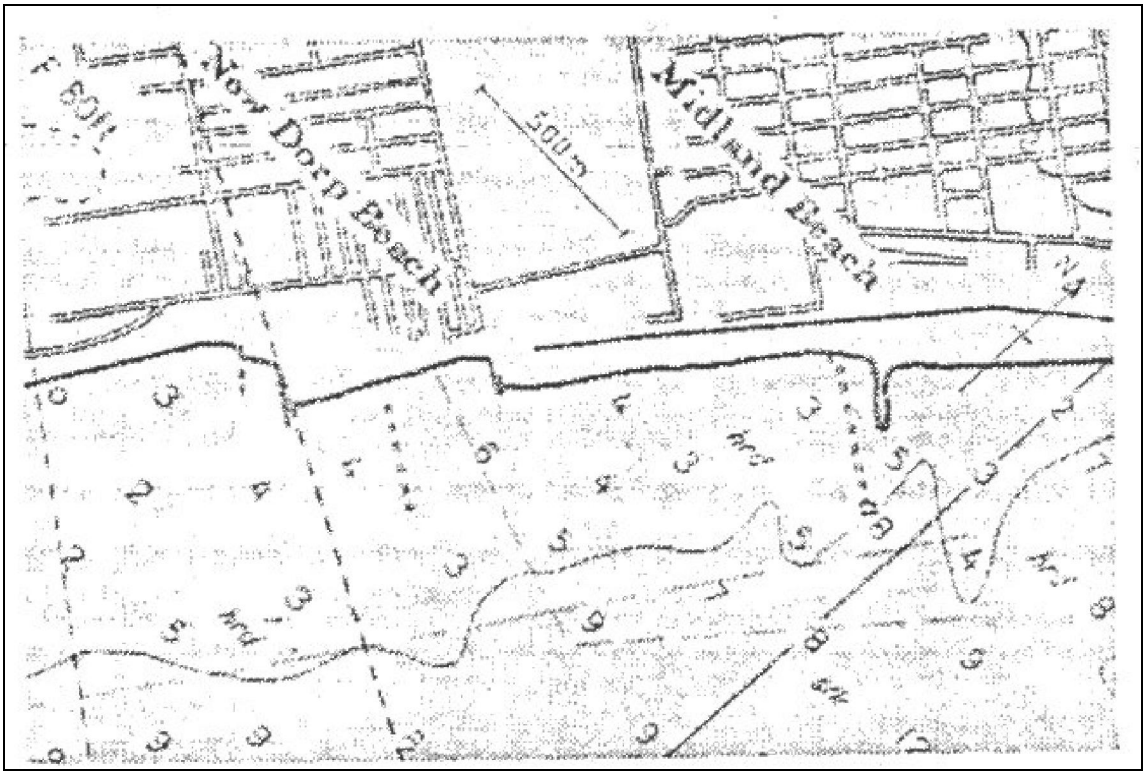
Mỏ hàn chứng tỏ rất hiệu quả ổn định bờ đang bị xói lở do có gradient dương của vận chuyển cát dọc bờ. Để có hiệu quả hoàn toàn, các mỏ hàn cần phải kéo dài trên toàn đới sóng đổ với cao độ hơn mực nước tĩnh, tuy nhiên, thông thường chỉ cần làm gián đoạn một phần của vận chuyển trầm tích dọc bờ là đủ để đạt được tính ổn định bãi, các mỏ hàn thấp hơn, ngắn hơn vẫn có thể được chấp nhận. Các mỏ hàn tại Scheveningen, Hà Lan thuộc dạng sau cùng này. Trong thời kỳ bão mạnh ở đây vào năm 1976 - các mỏ hàn đã hoàn toàn nằm sâu dưới nước.

Khoảng cách giữa các mỏ hàn cùng với độ cao, độ dài của chúng và hướng tới của sóng cũng quan trọng đối với hiệu quả của chúng. Vì đường bờ giữa các mỏ hàn sẽ tự định hướng ít nhiều song song với đỉnh sóng tới, các bãi bắt buộc phải chịu các đỉnh sóng tới hầu như song song và có thể được bảo vệ một cách thoả đáng nhờ các mỏ hàn cách nhau không quá xa. Hình 24.1 chỉ ra một dạng bờ như vậy với các mỏ hàn đặt cách nhau 900 m. Khoảng cách này là cực kỳ rộng. Cần chú ý tới việc bãi nằm giữa các mỏ hàn gần như thẳng nhưng không song song với đường bờ; góc tới của sóng (tất cả sóng đều xuất phát từ một hướng này) là rõ ràng.

Đối với trường hợp tới hạn khác, các mỏ hàn thỉnh thoảng được đặt theo các khoảng dọc bờ tương đương độ dài của chúng. Do chi phí cao cho việc xây dựng các mỏ hàn, điều quan trọng nhất chúng phải được thiết kế chính xác và đặt trên một khoảng cách chính xác. Không có một nguyên lý chung đơn giản nào có thể được đưa ra để xác định khoảng cách giữa các mỏ hàn. Tuy nhiên, chúng ta có thể nghiên cứu các hậu quả hình thái học của các sơ đồ lắp đặt mỏ hàn khác nhau sử dụng mô hình đa đường nhằm xác định kích thước tối ưu cho tập hợp các mỏ hàn. Nếu chúng ta muốn có kết quả chính xác hơn trong mô phỏng, cần có được các mô hình đầy đủ hơn, những ảnh hưởng của mỏ hàn lên thành phần sóng tới cũng cần phải được đưa vào trong tính toán - xem chương 16 và 19.

Các chi tiết xây dựng của tập hợp rất nhiều các cấu trúc mỏ hàn đã được dẫn ra trong tập I của *Cẩm nang bảo vệ bờ*.

Vậy hệ quả của dãy các mỏ hàn đối với việc duy trì đường bờ ra sao? Cát tiếp cận dãy các mỏ hàn từ phía đầu dòng dọc theo bờ sẽ bị dừng tại mỏ hàn đầu tiên; sự bồi lắng có thể xảy ra ở đây. Khi sự bồi lắng này đã tới được mép ngoài của mỏ hàn thứ nhất, cát sẽ đi qua vào khoảng không gian giữa mỏ hàn thứ nhất và mỏ hàn thứ hai, v.v….Nếu như bờ được bảo vệ rất dài, chúng ta tốt hơn hết không tính vật liệu được đi dọc con đường này qua toàn bộ mỏ hàn bảo vệ trong một thời gian rất dài.



Hình 24.1 **Mỏ hàn bảo vệ bờ, New Jersey, Hoa Kỳ**

Điều gì sẽ xảy ra tiếp theo đối với phần cuối dòng khi đi qua mỏ hàn cuối cùng? Ở đây sẽ có vận chuyển cát được đánh giá đối với đới sóng đổ (nhắc lại rằng do vận chuyển cát tăng dọc bờ dẫn tới xói lở bãi như chúng ta đã dẫn ra trước khi xây dựng các mỏ hàn) nhưng không có cát chuyển qua vị trí mỏ hàn cuối cùng. Kết quả dẫn đến xói lở mạnh, tất cả cát trước đây được lấy đi dọc theo bờ hiện nay đang được bảo vệ bây giờ sẽ gây xói lở trên một phần tương đối nhỏ của bờ nằm tại phần cuối dòng sau mỏ hàn cuối cùng. Việc xói lở này đến lượt mình có thể lại được bảo vệ bằng những mỏ hàn bổ sung, tuy nhiên càng có nhiều mỏ hàn chúng ta đã xây dựng nên, sẽ bắt gặp thêm các vấn đề tương tự ở một nơi nào khác. Các mỏ hàn lại đã làm nẩy sinh ra những vấn đề khác.

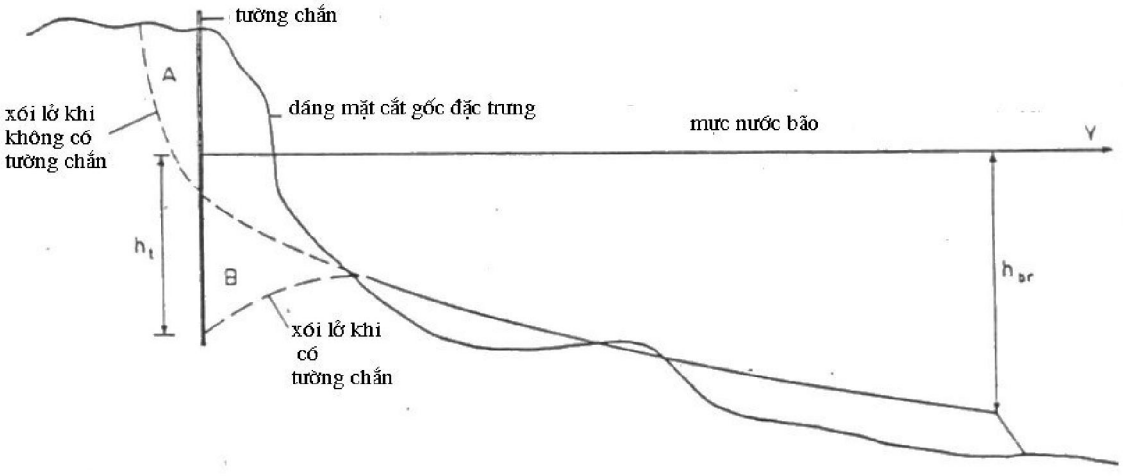
Mặc dù vậy, việc xây dựng các mỏ hàn vẫn rất hữu ích. Bằng việc làm ổn định một phần của bãi, vấn đề xói lở được tập trung vào một đoạn bờ bé hơn. Rất có thể sự xói lở của đoạn bờ riêng này không thể xác định được. Mặt khác, chúng ta có thể

chọn một vị trí gần với nguồn cung ứng cát từ bên ngoài thuận tiện hơn cho việc nuôi dưỡng bờ bãi.

Điều rất quan trọng cần nhắc lại rằng các mỏ hàn có tác dụng không lớn trong việc ngăn cản vận chuyển ngang trầm tích đi vào hay đi ra xa bờ. Thực vậy, vận chuyển cát ngang đã gây ra sự xói lở mạnh trên một phần của bờ biển Hà Lan trong những cơn bão mạnh ngay cả khi các mỏ hàn đã được xây dựng theo các khoảng đều dọc bờ. Những công trình làm hạn chế sự vận chuyển ngang này sẽ được thảo luận trong phần sau.

24.4 TƯỜNG CHẮN

Tường chắn là một cấu trúc lớn được xây dựng song song với đường bờ nhằm cản trở vận chuyển vật liệu từ bờ ra phía biển.



Hình 24.2. **Cồn cát được tăng cường bởi tường chắn**

Các công trình này thường là các khối nguyên như đã được xây dựng dọc bờ Hà Lan tại Scheveningen. Các cấu trúc mềm bảo vệ dốc cũng được thiết kế; công trình bảo vệ bờ trên phần đảo ở Jersey là một thí dụ. Trong trường hợp cụ thể, tường chắn được xây dựng giữa dãy các cồn cát nhằm giảm thiểu xói lở các cồn cát đó.

Vấn đề quan trọng nhất trong thiết kế các tường chắn là đánh giá độ sâu cực đại xói lở tại khu vực chân công trình. Thông tin này đảm bảo sự sống còn đối với việc phân tích địa kỹ thuật của tường và xây dựng nó. Vậy làm thế nào để giải quyết vấn đề này?

Đương nhiên không phải đối với bất cứ loại tường chắn nào chúng ta đều không có được sự đảm bảo cần thiết. Tường mềm – một dạng phủ cố định- được xây dựng trên đảo Jersey là trường hợp như vậy. Tại đây không có vấn đề xói lở vì công trình được xây dựng trên nền đá cứng. Chỉ có cát từ các khu vực xung quanh được sử dụng để lấp phía sau bức tường này! Tuy nhiên cũng không thể đảm bảo chắc chắn

về khả năng vận chuyển cát do sóng, do vật liệu đáy ở đây không thể dịch chuyển được nên không có vấn đề nào nẩy sinh thêm.

24.5 CÁC KHỐI CHẮN SÓNG RỜI

Các tường chắn mô tả trong phần trên được xây dựng ngay trên bãi hoặc sau bãi. Đôi khi, người ta muốn xây dựng một dãy các khối chắn sóng rời ngoài khơi song song với bờ. Từ rời sử dụng ở đây theo nghĩa không liên kết với bờ hơn là khả năng chia thành từng mảng. Hình 28.7 trong tập I cho ta thấy một loạt các bộ phận phá sóng được xây dựng ở Hoa Kỳ trong những thập niên gần đây. Các khu vực bờ của Israel cũng được bảo vệ theo cách tương tự. Vậy điều gì xẩy ra do các khối chắn sóng gây nên đối với các quá trình bờ?

Nhóm các khối chắn sóng không ngăn chặn dòng vận chuyển trầm tích dọc bờ theo cách mà các mỏ hàn gây nên. Thay vào đó, chúng làm biến đổi các thành phần sóng giữa chúng và bờ; gây các ảnh hưởng lên cả thành phần dòng chảy lẫn dòng trầm tích dọc và ngang bờ. Do độ cao sóng bị suy giảm phía ngoài đê chắn sóng thông qua tán xạ và tiếp theo có thể do khúc xạ, khả năng cung ứng cát phía ngoài đê chắn sóng cũng bị giảm dẫn đến hiện tượng lắng đọng từ dòng "ngược" về phía khuất của đê chắn sóng. Tiếp đến, các thành phần nhiễu và khúc xạ phía sau đê chắn sóng cũng biến đổi góc tới của sóng so với đoạn đường bờ. Như vậy, sóng tới theo một góc nào đó đồng thời với khúc xạ phía cuối đê tạo nên các vùng bóng.

Chuyển động ngang của cát cũng bị hạn chế trong một số trường hợp. Điều này có thể xẩy ra, ví dụ, trên miền đê chắn sóng tại vùng bờ Israel gần Tel Aviv.

Về nguyên lí, có thể tính toán được những biến đổi bờ trong trường hợp đó bằng cách sử dụng lí thuyết đa đường. Tuy nhiên việc làm này không dễ dàng chút nào. Những biến đổi nhanh của của điều kiện sóng sẽ yêu cầu những cân bằng lực chặt chẽ phục vụ tính toán vận tốc dòng dọc bờ – xem mục 16.6. Mặt khác, sẽ rất khó làm biến đổi lực ma sát đáy trong các công thức vận chuyển trầm tích khi chỉ tính đến các thành phần sóng. Cuối cùng, biến đổi bãi sẽ gây tác động lên các thành phần khuyếch tán dẫn đến yêu cầu tính toán lặp lại của các điều kiện sóng.

Một cách tiếp cận khác đó là sử dụng mô hình vật lí. Vấn đề này cũng gặp nhiều khó khăn. Nhằm mục đích tái hiện các hiện tượng liên quan một cách đúng đắn nhất, cần phải sử dụng một mô hình nguyên mẫu. Ngoại trừ khi các mô hình này quá lớn, nhìn chung các hiệu ứng tỷ lệ luôn gây nên các vấn đề cần giải quyết.

Trong một số điều kiện nhất định thường có khả năng gây khó khăn cho việc dự báo, ngoại trừ các nghiên cứu chuyên sâu, cát sẽ lắng đọng phía ngoài khối chắn sóng cho đến khi đạt tới khối này và tạo ra tombolo. "Một số điều kiện nhất định" bao gồm các điều kiện sóng cũng như độ dài các khối chắn sóng, kích thước và khoảng cách đến bờ gốc. Nếu hiện tượng bồi lắng đạt đến khối chắn sóng, tất cả dòng chảy dọc bờ ngoài đê chắn sóng bị chặn lại. Điều này dẫn đến tích tụ các vật thể nổi và kéo theo suy thoái các giá trị tái sinh của bãi. Mặt khác, khi bờ được tích

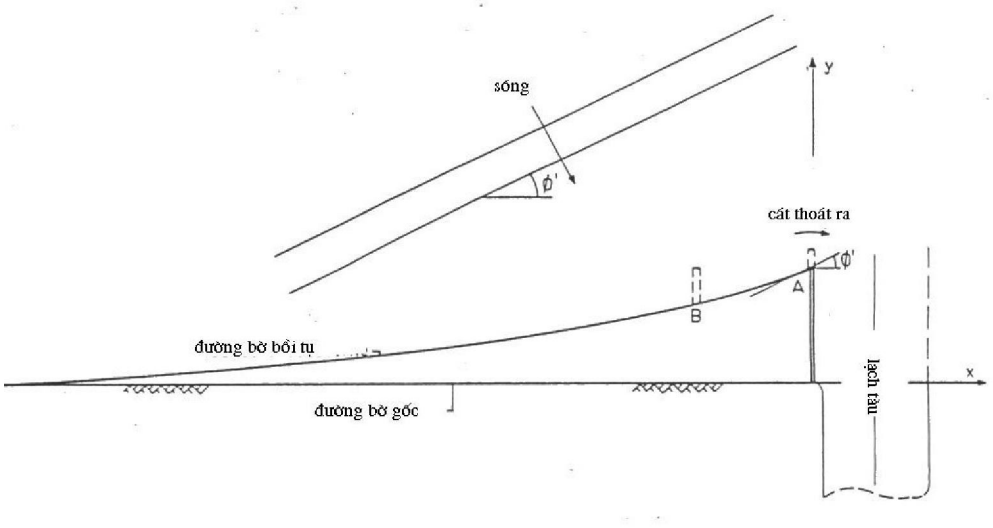
tụ gần đê chắn sóng – nhưng chưa đạt đến đê- cường độ dòng chảy dọc bờ tổng cộng có thể dẫn đến các bãi nhiều bậc rất nguy hiểm cho người tắm.

Trong một số trường hợp, các tombolo không phát triển cả về phía nước lẫn về phía các đê chắn sóng. Vùng nước nông được phát triển rộng ra cùng với tính bất đồng nhất của đường bờ trên đoạn bờ thẳng trước đây là kết quả của khối đá ngầm nằm ngoài bờ như tại High Pine Ledge, Plymouth.

24.6 KIỂM SOÁT BỒI LẮNG

Các mục trên đây của chương này chủ yếu liên quan đến các bờ bị xói lở và các biện pháp ổn định chúng. Tuy nhiên không phải lúc nào cũng chỉ có những vấn đề liên quan đến xói lở. Đôi khi quá trình bồi lắng lại cần được kiểm soát nhằm mục đích không cho chúng vượt qua những khu vực đã bị bồi. Một ví dụ khá nổi tiếng về doi cát vượt đó là chuyển dịch cát đi qua mép của các đê chắn sóng được xây dựng nhằm bảo vệ cửa ra vào cảng nạo vét. Các phương pháp dự báo định lượng cát đi qua công trình chắn sóng theo lí thuyết đơn đường được dẫn ra trong chương 20. Tuy nhiên đây có phải là phương pháp tốt nhất ngăn chặn các dòng vận chuyển cát không mong muốn hay không?

Vấn đề tương tự đã được minh hoạ một phần thông qua hình 24.3. Trên đó, hiện tượng bồi lắng đã bị điều khiển do quá trình đổi dòng cuối đê chắn sóng tại điểm A. Điều này khá dễ hiểu vì góc của bãi bồi nhỏ hơn ϕ' tại điểm đó – xem chương 20.



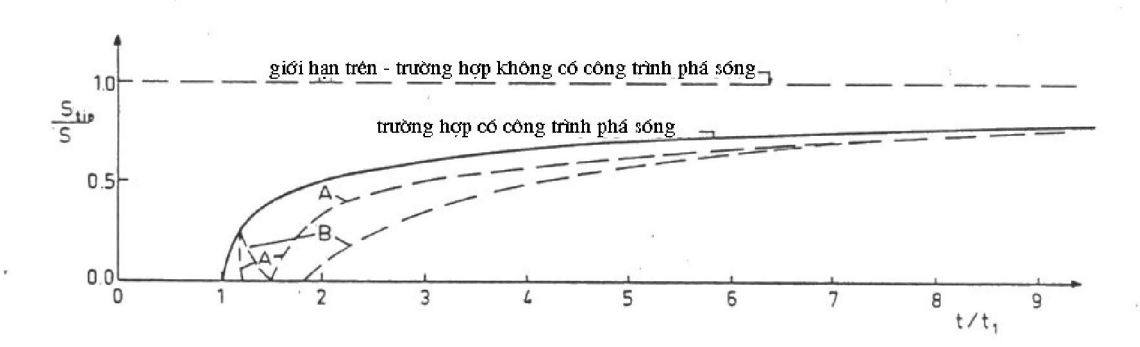
Hình 24.3 **Cát thoát khỏi vùng bồi lắng với các biện pháp chống trả**

Một khả năng khác ngăn chặn chuyển hướng cát bằng cách kéo dài đê chắn sóng về phía biển tại điểm A như đã chỉ ra bằng đường đậm trên hình 24.3.

Việc xây dựng thêm có thể cần được đặt ra khi đê phá sóng gốc được xây dựng nhưng đã bị loại bỏ vì nguyên nhân giá cả của công trình liên quan đến độ sâu lớn. Tất nhiên, việc phát triển tại điểm A có thể dẫn đến chuyển dòng ngay tức thời và

đảm bảo ổn định cho đến khi diện tích lắng đọng phát triển đến mép của đê chắn sóng mới.

Hình 24.4 cho ta thấy sự phát triển của vận vận chuyển cát vượt qua đầu đê chắn sóng dựa trên cơ sở phương trình 20.49 kết hợp với bảng 20.2. Nếu cho rằng việc phát triển đê chắn sóng tại điểm A đủ dài để ngăn vận chuyển cát qua cuối đê chắn sóng cho đến thời điểm bằng 1,5 lần thời gian gốc t_1, từ đó đường cong mới kí hiệu A trên hình 24.4 có thể tính theo theo giá trị của thang thời gian mới tương tự như khi tính đường cong đầu tiên.



Hình 24.4 **Phát triển của vận chuyển qua đỉnh đê chắn sóng**

Giải pháp kỹ hơn đối với vấn đề này có thể xây dựng trong dạng các mỏ hàn tại một địa điểm thượng nguồn tính từ đê chắn sóng tại bờ bồi tụ - điểm B trên hình 24.3. Việc xây dựng những mỏ hàn như vậy sẽ ngăn chặn lập tức dòng vận chuyển cát qua điểm B nhưng không vượt qua được A, như đã dẫn ra phần đầu nghiêng của đường cong B trên hình 24.4. Như vậy lượng cát đi qua điểm A sẽ gây xói lở từ phần bờ giữa B và A đến khi góc sóng tới tại A trở lại bằng ϕ. Tuy nhiên, cuối cùng cát sẽ đi qua đầu mỏ hàn tại B nhưng không phải tất cả cát sẽ vượt qua điểm A; một phần trong số đó sẽ được giữ lại giữa A và B và phát triển đoạn bờ đó. Như vậy, phần phát triển của đường B trên hình 24.4 nằm dưới đường A. Khác với những đường cong khác, đường B chỉ được đưa ra một cách hình thức trên hình 24.4; dạng chính xác của đường cong đó phụ thuộc vào khoảng thời gian trong đó mỏ hàn phụ được xây dựng (t/t_1=1,20 được dẫn ra), độ dài của mỏ hàn, và khoảng cách A-B. Tuy nhiên, phương pháp mô phỏng đa đường vừa trình bày có thể được sử dụng trong dự báo tập tính của mỏ hàn.

25 LẮNG ĐỌNG TRẦM TÍCH CÁC LẠCH TÀU

E.W. Bijker, W.W. Massie

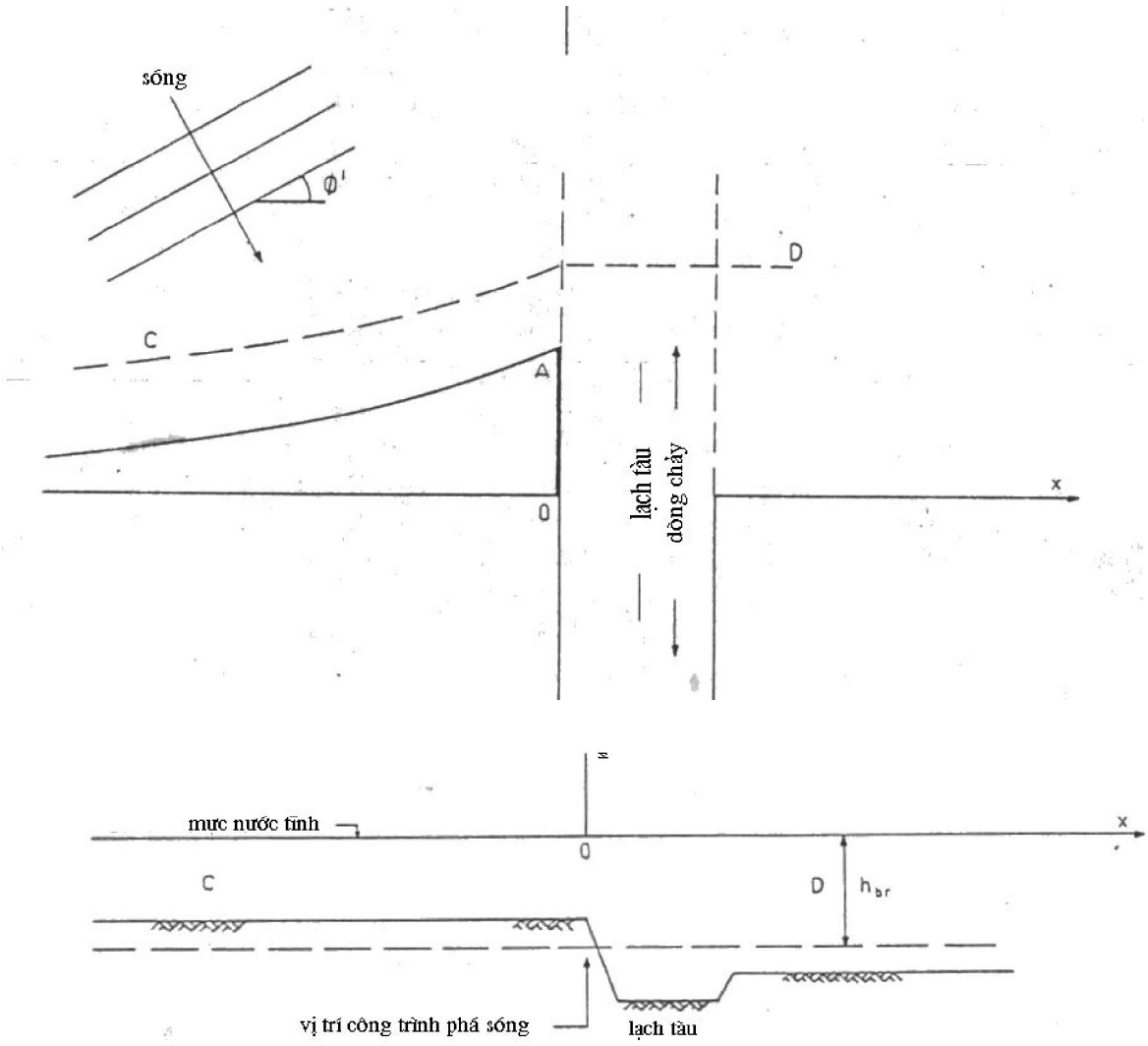
25.1 MỞ ĐẦU

Tất cả những vấn đề hình thái đã được trình bày đều sử dụng các tham số biến đổi chậm; các gradient của độ cao sóng hoặc dòng cát vận chuyển khi khoảng cách không lớn. Ngoại trừ các tham số biến đổi chậm đó, vấn đề của chúng ta gắn liền với sự gián đoạn của điều kiện biên như dòng vận chuyển cát bị chặn hoàn toàn bởi đê chắn sóng. Bây giờ chúng ta cần làm cách gì để giải quyết các vấn đề trầm tích lạch tàu?

Để tập trung những tranh luận của chúng ta như một vấn đề riêng, cần xem xét ví dụ cát vận chuyển quanh đầu đê chắn sóng, A, trên hình 24.3 của chương trước. Lí thuyết được trình bày trong các chương trước cũng đã tập trung giải quyết câu hỏi về những gì xẩy ra đối với bờ bồi lắng và có bao nhiêu cát thoát ra. Như vậy người đọc bây giờ có thể tự trả lời được câu hỏi này. Tuy nhiên, vấn đề đặt ra hiện nay là: Điều gì xẩy ra với lượng cát đi qua đầu mỏ hàn, A, trên hình 24.3? Có bao nhiêu cát sẽ lắng xuống lạch tàu? Bao nhiêu cát vượt qua được lạch tàu và sẽ tiếp tục vận chuyển đi? Những câu trả lời đối với vấn đề này sẽ được trình bày trong chương này.

25.2 CÁC BIẾN ĐỔI THỰC TẾ

Các biến đổi những tham số vật lí ảnh hưởng đến vận chuyển cát sau khi vượt qua đầu đê chắn sóng trên hình 24.3 bây giờ sẽ nhiều hơn so với trường hợp biến đổi của góc tương đối của sóng tới với đường bờ. Sự biến đổi bổ sung lớn nhất sẽ xuất hiện khi độ sâu tăng nhanh và điều kiện sóng khi vượt qua lạch; thành phần dòng chảy bổ sung cũng xuất hiện. Thông thường lạch tàu có độ sâu quá lớn để cho phép sóng đổ xuất hiện. Hình 25.1 thể hiện rõ sự biến đổi của tham số đó. Vị trí của trắc diện vẽ dọc theo bãi trong đới sóng đổ và ngang qua lạch được thể hiện bằng đường đậm CD trên hình 25.1a. Bản thân trắc diện đó được thể hiện trên hình 25.1b; nó phản ánh ảnh hưởng của sự bồi lắng cát về phía trái của đê chắn sóng. Độ sâu tương ứng biên ngoài đới sóng đổ, h_{br}, cũng được dẫn ra trên trắc diện dọc bờ. Hình 25.1b cho ta thấy sự biến đổi đột ngột của độ sâu trên bờ của các lạch. Ngoài ra, sóng bị đổ trên vùng bên phải của đê chắn sóng. Những biến đổi này gây ra nhiều hệ quả đối với quá trình vận chuyển cát dọc và ngang lạch.



Hình 25.1. **Sơ đồ bờ và trắc diện dọc bờ Trên: sơ đồ theo hình 24.3, Dưới: trắc diện CD**

Biến đổi vật lí rõ ràng nhất xẩy ra đối với các thành phần dòng chảy trong và ngoài lạch. Ngay khi đới sóng đổ kết thúc, gần cuối đê chắn sóng, lực chủ yếu gây nên dòng dọc bờ – ít nhất cũng là phần gradient ứng suất trượt trong ứng suất xạ – sẽ bị triệt tiêu – xem chương 12. Biến đổi nhanh trong dâng rút mực nước do sóng cũng sẽ xuất hiện giữa bãi bồi và lạch. Điều này dẫn đến thành phần lực theo trắc diện dọc bờ với hướng phụ thuộc vào hướng của độ dốc tổng cộng của mặt nước – xem mục 16.6.

Tiếp theo, các biến đổi độ cao sóng sẽ xuất hiện dọc theo trắc diện C-D về bên phải đê chắn sóng. Những biến đổi này, cả về hướng tới lẫn độ cao. đều do các biến đổi do hiệu ứng phản xạ và nước nông gây nên từ sự khác biệt địa hình. Như vậy, bằng cách này, tất cả các thành phần ứng suất ngang sẽ biến đổi nhanh hơn khi gần lạch.

Hệ quả vật lí của những điều này dẫn đến việc thành phần lực tác động ngang lạch sẽ khác hẳn so với phương trình 12.15 đã được xây dựng trên cơ sở gradient ứng suất ngang. Một hệ cân bằng lực mới sẽ phải được thiết lập nhằm mục đích tính toán dòng chảy.

Mặc dầu sóng sẽ không đổ dọc theo lạch, chúng vẫn còn gây tác động lên ma sát đáy do vẫn tạo ra các thành phần vận tốc trên đáy ngoại trừ đối với trường hợp nước rất sâu – xem chương 5, tập I. Phương trình 15.28 có thể vẫn được sử dụng để đánh giá lực ma sát vì cách dẫn dắt tương quan ma sát trong chương 15 vẫn còn giá trị. Tuy nhiên, vận tốc hiệu chỉnh, V, cần được đưa vào phương trình này. Không chỉ lực ma sát và các gradient ngang quyết định cho vận tốc này; các gradient lực dọc cũng rất quan trọng thậm chí còn tạo ra vận tốc gần như song song với trục lạch. Lực tác động dọc lạch chủ yếu dẫn đến các tác động tổng hợp của triều và có thể do nguồn nước ngọt. Cân bằng lực cần thiết để dự báo phân bố vận tốc cũng rất phức tạp để có thể lí giải ở đây.

Các phân tích vật lí bổ sung cần thiết đối với dòng chảy được rút ra từ thực tế các điều kiện biến đổi rất nhanh trong những khoảng rất ngắn. Điều này có nghĩa các dòng chảy sẽ tăng hoặc giảm tại khu vực cuối đê chăn sóng; các ảnh hưởng quán tính cũng cần được đưa vào cân bằng lực. Điều này đã tránh được hoàn toàn cho đến nay do các biến đổi đó chỉ xuất hiện chậm nên các tác động quán tính có thể được bỏ qua.

Vậy tất cả các điều đó gây ảnh hưởng đến vận chuyển trầm tích như thế nào? Các ảnh hưởng lên hai thành phần của vận chuyển trầm tích, di đáy và lơ lửng, sẽ được dẫn ra trong mục sau.

25.3 DÒNG VẬN CHUYỂN DI ĐÁY

Dòng vận chuyển di đáy có phản ứng rất nhanh đối với các biến đổi của điều kiện vật lí. Dòng di đáy được xác định hầu như theo các đặc trưng cục bộ của vận tốc và ứng suất trượt. Việc khuấy tách và lắng đọng trở lại của các hạt cát gần đáy trong một chu kỳ sóng chứng minh rõ điều đó – xem chương 18.

Việc bỏ qua quán tính của dòng di đáy cho thấy rằng tốc độ dòng di đáy có thể được tính tương đối dễ tại bất cứ vị trí nào mỗi khi các điều kiện dòng chảy và sóng được xác định. Cách tiếp cận của Bijker phản ánh trong phương trình 19.34 vẫn có thể sử dụng được ở đây. Các tương quan này là độc lập với sóng đổ, do đó có thể sử dụng mọi nơi khi có yêu cầu.

Mỗi khi tốc độ dòng vận chuyển di đáy được biết như một hàm của vị trí, chúng ta có thể tính toán lượng xói lở và lắng đọng do dòng di đáy gây nên. Trong khi điều này có thể dễ dàng, nó chỉ có thể đưa ra các giá trị thực tế khi dòng lơ lửng được giữ nguyên hoặc không đáng kể. Đây là chủ đề của mục tiếp theo.

25.4 DÒNG VẬN CHUYỂN LƠ LỬNG

Các dòng lơ lửng đặt ra nhiều vấn đề hơn so với dòng di đáy. Tất nhiên dòng lơ lửng được phân bố trên tất cả độ sâu và tại mọi điểm. Do các vật liệu lơ lửng lắng đọng chậm hơn vận tốc lắng đọng (nó chỉ đạt đến vận tốc này khi biển lặng) mọi quá trình khuấy lên và lắng xuống sẽ xuất hiện theo cấp. Nồng độ trầm tích lơ lửng tại một điểm cho trước sẽ phụ thuộc trực tiếp vào điều kiện địa phương của rối, dòng di đáy cũng như quá khứ của các quá trình đó; dòng lơ lửng mang tính chất quán tính.

Kể từ khi Einstein phát triển ra công thức của mình – phương trình 19.17 - cho điều kiện dừng, đến nay mối tương quan đối với vận chuyển lơ lửng phát triển trong chương 19 không còn chính xác nữa trong điều kiện bài toán không dừng. Nói chung sự biến đổi của dòng vận chuyển lơ lửng xuất hiện muộn hơn so với các phương trình dạng 19.17 và yêu cầu người sử dụng quan tâm tới điều này.

Về nguyên lí cần tìm kiếm khả năng tách được nồng độ trạng thái chuyển tiếp và các mối tương quan của vật chất lơ lửng, song những cố gắng theo hướng này có thể khó đáp ứng; một cách tiếp cận rất đơn giản và xấp xỉ thô hơn sẽ được trình bày dưới đây, các nguyên lí của phương pháp này có thể tìm thấy trong mục 25.6.

25.5 MỘT GIẢI PHÁP GẦN ĐÚNG

Nhằm đạt được một kết quả khả thi cho vấn đề bồi lắng lạch, phương pháp thô sau đây thường được áp dụng. Thay vào việc tính giá trị gần đúng của lượng trầm tích lắng đọng, chúng ta sẽ xác định các giới hạn mà theo đó những biến đổi của hình thái lạch có thể xẩy ra. Điều này dựa trên cơ sở phương trình vận chuyển trầm tích đã được phát triển đối với các điều kiện dừng.

Bước đầu tiên của quá trình này là đánh giá các điều kiện vật lí tại những vị trí tới hạn. Việc chọn một số điểm nằm ngoài lạch và một ít điểm nằm dọc theo trục lạch cũng đủ để dự báo những biến đổi hình thái của lạch gần mép đê chắn sóng.

Bước tiếp theo là đánh giá dòng di đáy và dòng lơ lửng riêng rẽ tại các điểm vừa chọn. Các kết quả thu được đó theo các giả thiết không thật chính xác về điều kiện biến đổi chậm.

Lắng đọng trầm tích hay xói lở tại một điểm nào đó do dòng di đáy có thể thu được bằng cách xem xét các biến đổi của tốc độ vận chuyển giữa những điểm trên khu vực đã lựa chọn trong bước một. Do dòng di đáy có ít quán tính, các kết quả này có thể chấp nhận được.

Nếu lắng đọng trầm tích lơ lửng xẩy ra (lượng vận chuyển trầm tích lơ lửng giảm) thì cực đại lắng đọng của vật liệu có thể tìm được bằng cách so sánh hai giá trị tốc độ vận chuyển trầm tích lơ lửng trong trạng thái dừng. Tương tự, cực đại xói lở các vật liệu lơ lửng cũng có thể tìm được bằng cách so sánh tốc độ vận chuyển dừng trong đó xói lở do vận chuyển lơ lửng xẩy ra. Các giá trị tốc độ lắng đọng và xói lở này là những cực đại có thể của tác động quán tính vận chuyển trầm tích lơ

lửng; những biến đổi dòng vận chuyển lơ lửng không thể vượt qua giá trị đó được. Như vậy, biến đổi do dòng vận chuyển di đáy cùng với biến đổi cực đại do dòng lơ lửng sẽ cho ta giới hạn trên của bồi lắng hay xói lở.

Trong các trường hợp cực trị khác và đặc biệt đối với lắng đọng, biến đổi thực tế của dòng vận chuyển lơ lửng có thể xem không đáng kể cho đến phía ngoài của giới hạn lạch. Điều này sẽ đúng hơn khi kích thước phần tử của trầm tích lơ lửng hay bề rộng lạch giảm. Như vậy, giới hạn dưới của xói lở hay bồi lắng có thể tính được chỉ căn cứ duy nhất vào các biến đổi của dòng di đáy.

Cơ sở của cách tiếp cận chi tiết hơn sẽ được trình bày trong mục sau.

25.6 XÁC ĐỊNH CHÍNH XÁC HIỆN TƯỢNG TRẦM TÍCH

Việc mô tả về lí thuyết hiện tượng lắng đọng trong các điều kiện độ sâu biến đổi đòi hỏi sử dụng nhiều biến hơn so với trường hợp vừa trình bày trong mục trước. Nhằm mục đích chứng tỏ khả năng tiếp cận lí thuyết, cho rằng không có sự gián đoạn xuất hiện trên các bờ dốc lạch – các đường dòng gần đáy vẫn liên tục khi qua bờ; điều này vẫn bảo đảm, ngoại trừ khi bờ lạch rất dốc với độ dốc thông thường trên 1:7 .

Giả thiết chung tiếp theo cho rằng các đường dòng vẫn theo hướng ngang và vận tốc rối được đặc trưng bởi hệ số khuyếch tán, ε_z, thường thích ứng ngay đối với các trạng thái mới. Giả thiết về dòng chỉ theo hướng ngang đảm bảo dòng vận chuyển trầm tích chỉ theo hướng dòng chảy và do đó không gây ra lắng đọng trực tiếp.

Như vừa chỉ ra trên đây, vận chuyển trầm tích di đáy dễ thích ứng ngay với sự biến đổi của điều kiện dòng chảy và do đó các biến đổi của vận chuyển di đáy có thể tính được theo các công thức hiện có. Khó khăn chính đối với vấn đề này liên quan đến việc xử lí các biến đổi của dòng lơ lửng.

Xem xét toàn bộ khối nước nằm phía trên khu vực cần dự báo. Khối nước này có bề rộng (theo hướng vuông góc với dòng chảy) đơn vị, độ cao dz và độ dài (theo hướng dòng chảy) dx. Tính liên tục của trầm tích thu được:

$$\frac{d}{dx}S(x,z)dxdz+\frac{d}{dz}S(x,z)dxdz=0 \qquad (25.01)$$

trong đó:

$S(x,z)$ là vận chuyển ngang của vật liệu lơ lửng,

$S_V(x,z)$ là vận chuyển theo phương thẳng đứng (dương về dưới) của vật liệu lơ lửng,

x, z là toạ độ của điểm cần tiến hành xem xét cân bằng.

Nếu chúng ta xem xét phương trình 25.01 đối với trường hợp riêng trong đó z là độ cao đáy, thì $S_V(x,đáy)$ là tốc độ lắng đọng của trầm tích lơ lửng.

Phương trình 19.12 là phương trình chuyển động đối với vận chuyển thẳng đứng chỉ yêu cầu thêm một số biến đổi nhỏ:

$$S_V(x,z) = Wc(x,z) + \varepsilon_z \frac{d}{dz} c(x,z) \qquad (25.02)$$

trong đó :

W là vận tốc lắng của phần tử, và

$c(x,z)$ là nồng độ trầm tích.

Trong trạng thái dừng – chương 19 - $S_V = 0$; được rút ra từ phương trình 19.12.

Cho rằng hướng ngang của $S(x,z)$ được xác định theo véc tơ vận tốc tổng cộng $V(x,z)$ và nồng độ $c(x,z)$:

$$S(x,z) = V(x,z).c(x,z) \qquad (25.03)$$

Lúc này vận tốc nước biến đổi như một hàm của khoảng cách, x, do độ sâu của dòng biến đổi. Các biến đổi vận tốc đó cần thoả mãn tương quan liên tục đối với nước.

Các điều kiện biên xấp xỉ của lời giải đối với tập hợp các phương trình nêu trên được thể hiện trong dạng sau:

a. $S_v(x,z) = 0$ trên mặt nước tự do – không có trầm tích đi vào và mất đi.

b. $S_v(x,z) = 0$ phía trước mép lạch – nơi điều kiện dừng không thoả mãn.

Hệ thống các phương trình này chủ yếu được giải bằng phương pháp số sử dụng các máy tính hiện đại.

Bijker (1980) thu được lời giải đơn giản hơn có thể triển khai trên các máy tính nhỏ thậm chí bằng máy tính cầm tay. Cách đơn giản hoá này được trình bày sau đây:

a. Phương trình 25.01 được tích phân theo độ sâu và thu được:

$$\frac{d}{dx} S_S(x) + S_{Vb}(x) = 0 \qquad (25.04)$$

trong đó: $S_S(x)$ tổng vận chuyển trầm tích lơ lửng tại điểm, x, và

$S_{Vb}(x)$ là vận chuyển trầm tích theo phương thẳng đứng tại đáy- chủ yếu là lắng đọng trầm tích tại điểm, x.

b. Bijker cũng cho rằng ε_z không biến đổi theo độ sâu thay cho việc sử dụng công thức 19.13.

Bijker sử dụng công thức của Coleman (1970):

$$\varepsilon_z = 0{,}16 \frac{Vh}{C} \sqrt{g} \qquad (25.05)$$

trong đó: g là gia tốc trọng trường,

h độ sâu nước,

C hệ số Chezy, và

V là vận tốc trung bình toàn lớp nước.

(Nếu sóng trở nên đáng kể, có thể biến đổi 25.05 theo lí thuyết trình bày trong mục 19.4).

c. Một cách đơn giản hoá bổ sung đó là

$$S_S = \sqrt{c}\,h \qquad (25.06)$$

sẽ được thay cho biểu thức chính xác hơn 19.11.

d. Cuối cùng Bijker đã sơ đồ hoá lạch với bờ nghiêng thành bờ thẳng đứng đi qua điểm giữa của bờ dốc.

Bốn phép xấp xỉ bổ sung này cho phép bỏ qua những phép tích phân số phức tạp của phương pháp K. van Rijn (1977). Đã có hai kết quả so sánh các phương pháp đó được trình bày trong bài báo của Bijker (1980). Chúng ta có thể rút ra kết luận rằng phương pháp đơn giản hơn có thể chấp nhận được đối với việc dự báo lắng đọng trầm tích, nhưng không thể sử dụng để tính toán vận chuyển trầm tích thực tế đi qua lạch.

Cuối cùng, có thể sẽ thú vị nếu xem xét lắng đọng vật liệu lơ lửng như một hàm của khoảng cách được thể hiện qua ví dụ từ bài viết của Bijker (1980). Cát với đường kính 0,2 mm chịu tác động của dòng chảy với vận tốc 1 m/s trên khu vực có độ sâu 5 m. Độ sâu biến đổi nhanh đến đến 10 m tại lạch. Khoảng một phần năm của khả năng lắng đọng trầm tích lơ lửng xuất hiện phía trong 25 m của mép lạch; khoảng một nửa xuất hiện phía trong 100 m và khoảng ba phần tư lắng đọng trong vòng 175 m. Hình vẽ này chỉ bao gồm phần biến đổi vận chuyển vật liệu lơ lửng và đã chỉ ra giới hạn trên của lắng đọng trầm tính trong mục 25.5 là hiếm khi gặp được, đặc biệt khi độ sâu nước lớn hơn so với độ sâu trong ví dụ này.

26 CÁC KÝ HIỆU

W.W. Massie

Các kí hiệu sử dụng trong tập bài giảng này được thể hiện trong bảng. Các chuẩn quốc tế của các kí hiệu được sử dụng rộng rãi ngoại trừ trường hợp việc sử dụng trái với ý nghĩa các kết quả. Một số kí hiệu có thể có nhiều nghĩa, tuy nhiên chúng chỉ cho phép trong ngữ cảnh việc sử dụng đảm bảo nghĩa một cách rõ ràng. Ví dụ, T được sử dụng cho cả chu kỳ lẫn nhiệt độ

Các hàm được kí hiệu theo thuật ngữ Anh và Mỹ. Phần lớn các khác biệt đối với kí hiệu châu Âu lục địa xuất hiện trong các hàm lượng giác ngược. Như vậy, một góc với giá trị sin bằng y sẽ được viết như :

$\sin^{-1}y$ thay cho cách viết arc sin*y*.

Những nhầm lẫn có thể tránh trong các kí hiệu đó bằng cách viết nghịch đảo của sin là cosecant, csc, hay 1/sin. Theo quy tắc tương tự ta cũng áp dụng cho các hàm lượng giác và hyperbolic khác.

Trong bảng các kí hiệu bằng chữ in hoa cho ta biết chuẩn quốc tế. Hai cột cuối bảng cho ta thứ nguyên và đơn vị cụ thể.

CÁC KÍ TỰ LA MÃ

Kí hiệu	Định nghĩa	Phương trình	Thứ nguyên	Đơn vị
A	Mật độ năng lương	h. 3.5	L^2T^{-1}	m^2/s
	Hệ số	17.01	$M^{-1}L^2T^2$	
	độ nhám không thứ nguyên	19.18	--	--
a	Biên độ dịch chuyển quỹ đạo	15.16	L	m
	Giới hạn tích phân	19.10	L	m
	Hệ số	20.11	L^2T^{-1}	m^2/s
B	độ ngang tàu (beam)	3.04	L	m
	Khoảng cách từ đường lái	5.01	L	m
	Hệ số	19.01	--	--
b	Khoảng cách giữa các tia sóng	12.02	L	m
C	Hệ số ma sát Chezy	13.01	$L^{1/2}\ T^{-1}$	$m^{1/2}$ /s
C□	Hệ số ma sát Chezy		$L^{1/2}\ T^{-1}$	$m^{1/2}$ /s
c	Vận tốc sóng	3.02	LT^{-1}	m/s
	Nồng độ	9.01	--	--
D	Độ mớn nước tàu	3.04	L	m
	kích thước hạt phần tử	19.01	L	μm
D_{50}	kích thước hạt phần tử	19.46	L	μm
DWT	Trọng tải tổng cộng	chg. 3	M	kg
E	Mức ngẫu nhiên	4.13	--	--
E	Năng lượng sóng trên một đơn vị diện tích	10.02	MT^{-2}	N/m
e	Cơ số logarit tự nhiên	4.07	--	--
F_{fr}	Lực triều trên một đơn vị diện tích	13.02	$ML^{-1}T^{-2}$	N/m^2
f	Tham số ma sát	15.15	--	--
g	Gia tốc trọng trường	10.02	LT^{-2}	m/s^2

H	độ cao sóng	4.23	L	m
h	độ sâu nước	4.01	L	m
	độ cao lớp sơ đồ hoá	19.18	--	--
h'	Nước dâng do sóng	11.01	L	m
I	độ sâu lạch cho phép ngoài	4.01	L	m
	Giá trị tích phân Einstein	19.18	--	--
i	Tỷ số	4.26	--	--
K	Số sóng của triều	13.04	L^{-1}	m^{-1}
K_r	Hệ số khúc xạ	17.07	--	--
k	Số sóng	10.01	L^{-1}	m^{-1}
L	độ dài tàu	3.04	L	m
	Mực biển	4.01	L	m
	độ dài phá sóng hiệu quả	20.22	L	m
	Khoảng cách đến bãi sơ đồ hoá	21.02	L	m
L_C	độ dài lạch	4.09	L	m
l	Quãng đường xáo trộn	14.02	L	m
M	Hệ số	20.30	L	m
M□	số lượng tàu cực đại	4.14	--	--
m	chỉ số đếm	4.17	--	--
m	độ dốc bãi	12.15	--	--
m'	độ dốc bãi bồi	20.26	--	--
N	Số sóng đếm được	4.12	--	--
	Số các giá trị cực trị	5.03	--	--
n	Tỷ số vận tốc sóng	10.03	--	--
n	Số lần trả tiền	4.26	--	--
pwf	Nhân tố rủi ro (present worth factor)	4.26	--	--
Q	Giá trị tích phân	19.20		

q	Tỷ lệ biến đổi vận chuyển cát trên một đơn vị rộng	21.06	LT^{-1}	m/s
	Biến ẩn	4.07		
R	Hàm trao đổi phản hồi	Hình 3.5		
S	Thành phần ứng suất ngang	10.01	MT^{-2}	N/m
	Vận chuyển trầm tích	17.08	L^3T^{-1}	m^3/năm
	Vận chuyển trầm tích trên một đơn vị rộng	9.01	L^2T^{-1}	m^2/năm
s	vị trí tức thời của tàu	4.02	L	m
s	Tốc độ biến đổi vận chuyển trầm tích	20.05	L^3T^{-1}	m^3/năm
T	Chu kì sóng	4.27	T	s
T'	Chu kì triều	13.03	T	s
Te	Chu kì tính	3.03	T	s
t	Thời gian	4.02	T	s
U'	Thành phần năng lượng sóng	17.01	MLT^{-3}	N/s
u	Thành phần vận tốc theo hướng x	14.01	LT^{-1}	m/s
	Tham số ẩn	20.18	--	--
u'	Nhiễu động vận tốc theo hướng x	14.01	LT^{-1}	m/s
V	Vận tốc	13.01	LT^{-1}	m/s
Vr	Vận tốc tổng cộng	15.22	LT^{-1}	m/s
*V**	Vận tốc động lực	15.04	LT^{-1}	m/s
v	Thành phần vận tốc theo hướng y			
	Thể tích cát tích tụ	20.41	L^3	m^3
v'	Nhiễu động vận tốc theo hướng y	14.01	LT^{-1}	m/s
v_S	Vận tốc tàu	3.02	LT^{-1}	m/s
W	Bề rộng cân bằng của bãi sơ đồ hoá	21.06	L	m
	Vận tốc lắng (rơi) của hạt trầm tích	19.12	LT^{-1}	m/s
X	Toạ độ theo hướng truyền sóng	10.01	L	m

x	Toạ độ dọc theo lạch	4.02	L	m
	Toạ độ theo hướng vận chuyển cát	9.01	L	m
	Toạ độ dọc theo bờ	13.01	L	m
x	Biến ẩn	4.07	--	--
Y	Toạ độ dọc theo đỉnh sóng	10.04	L	m
y	Toạ độ vuông góc bờ	14.01	L	m
Z	Toạ độ thẳng đứng		L	m
	Mực triều	13.03	L	m
	Hạ mũi và thân tàu	4.01	L	m
z	Toạ độ thẳng đứng	9.01	L	m
z'	Toạ độ thẳng đứng	15.02	L	m
z'_0	độ cao vận tốc zero	15.04	L	m
z'_t	độ cao tiếp tuyến phân bố vận tốc	15.09	L	m
z^*	độ sâu không thứ nguyên	19.15	--	--

KÍ TỰ HY LẠP

Kí hiệu	Định nghĩa	Phương trình	Thứ nguyên	Đơn vị
α	Góc tới của sóng so với tàu	3.02	--	--
β	Góc lắng đọng tại đầu đê sóng đổ	20.39		
γ	chỉ số sóng đổ	11.04		
Δ	Mật độ tương đối của trầm tích	19.01		
δ	Tham số	21.09	L	m
ε	Tham số độ rộng phổ	Ch 5		
	Hệ số nhớt	14.01	L^2T^{-1}	m^2/s
	Hệ số khuyếch tán rối	19.12		
η	Mực mặt nước	9.01		
θ	Góc tương đối so với mặt cơ bản	10.06		
	Giá trị tích phân	20.19		
κ	Hệ số Karman	15.04		
λ	độ dài sóng	10.01	L	m
μ	Tham số sóng đáy	19.45		
ξ	Tham số	15.29		
π	Hằng số	3.03		
ρ	Mật độ nước (biển)	3.04	ML^{-3}	kg/m^3
σ	Phương sai	4.03		
τ	ứng suất ma sát	14.01	$ML^{-1}T^{-2}$	N/m^2
ϕ	Góc sóng tới so với hướng bờ tức thời	12.01		
ϕ_0	Góc sóng tới so với hướng bờ gốc	20.08		
Ω	Tần số sóng triều	13.03	T^{-1}	1/s
ω	Tần số sóng mặt	3.02	T^{-1}	1/s
ω_e	Tần số sóng đo được	3.02	T^{-1}	1/s

CÁC CHỈ SỐ

Chỉ số	Định nghĩa
b	đáy
bc	đáy, dòng chảy
br	đường sóng đổ
c	độ thoáng đáy tàu
cr	Tới hạn
cw	Dòng chảy và sóng
i	chỉ số đếm
L	mực nước tĩnh
m	Cực đại
min	Cực tiểu
0	Nước sâu (ngoại trừ ch. 21)
p	Phần tử
r	Nhám
r	Kết quả
r	khúc xạ
rms	Trung bình căn bình phương
s	Tàu
sig	đặc trưng
t	Tại điểm tiếp tuyến
tip	đầu đê chắn sóng
w	sóng
x	Thành phần x
xx	Thành phần x của ứng suất pháp tuyến
xy	Thành phần y của ứng suất tiếp tuyến

y	Thành phần y
yx	Thành phần y của ứng suất tiếp tuyến
yy	Thành phần y của ứng suất pháp tuyến
η	Sóng, mặt nước

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Ackers, P.; White, W.R. (1973): Sediment Transport: New Approach and Analysis: *Journal of the Hydraulics Division: American Society of Civil Engineers;* volume 99, number HY 11: pp 2041-2060.

Allersma, E. (1968): *Mud on the Oceanic Shelf off Guiana*: Symposium on Investigations and Resources of the Caribbean Sea and Adjacent Regions: Willemstad, Curaco, 18-26 November: pp 193-203, FAO, UNESCO.

Allersma, E. , Massie, W.W. (1973): *Statistical Description of Ocean Wave*: Coastal Engineering Group, Deaprtment of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Baker, Elijah, (1952): *Introduction to Steel Shipbuilding*: 2nd edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York, U.S.A

Bakker, W.T. (1968): *The Dynamics of A Coast with Groyn System*: Proceeding 11th Coastal Conference: Volume I, Chapter 31, London

Bakker, W.T. (1971) *The Influence of the Longshore Variation on the Wave Height on the Littoral Current*: Study report WWK 71-19: Ministry of Public Works (Rijkswaterstaat), The Hague, The Netherlands

Battjes, J.A. (1974): *Computation of Set-up, Longshore Currents, Run-up and Overtopping due to Wind-Generated Waves*: Delft University of Technology Communications on Hydraulics, number 74-2, Deaprtment of Civil Engineering,

Battjes, J.A. (1975): *Modeling of Turbulence in Surf Zone*: Proceedings of Symposium on Modelling Techniques: San Francisco: American Society of Civil Engineers: pp 1050-1061.

Battjes, J.A. (1976): *Radiation Stress: Lecture notes for course on short waves,* Coastal Engineering Group, Deaprtment of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.

Battjes, J.A. ; Roas, A. (1975): *Characteristics of Flow in Run-Up of Periodic Waves*: Proceeding of 15th Coastal Engineering Conference: Honolulu, July.

Bijker, E.W. (1967): *Some Cosiderations about Scales for Coastal Models with Movable Bed;* Doctorate Dissertation, Delft University of Technology.

Bijker, E.W. (1968): *Littoral Drift as a Function of Waves and Current:* Delf Hydraulics Laboratory publication number 58, 1969.

Bijker, E.W., Kalkwijk, J.; Pieters, T. (1975): *Masse Transport in Gravity Waves on a Sloping Bottom:* report 75-1, Deaprtment of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.

Bowen, A.J. (1969): The Generation of Longshore Currents on a Plane Beach; *Journal of Marine Research;* volume 27, number 2, pp 206-215.

Bowen, A.J. : Rip Current : *Journal of Geophysical Research*, Volume 73, N 23, pp 5467-5490

Chow, Ven Te (1959): *Open Channel Hydraulics*: Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA

Comstock, John P- editor (1957): *Principles of Naval Architecture*: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, USA

Dorrestein, R. (1961): On the Deviation of the Average Pressure at a fixed point in a moving fluid from its Hydrostatic Value: *Applied Scientific Research*, volume 10, section A, pp 384-392

Bijker E.W. *Sedimentation in Channels and Estuaries*, Proceeding of the 17th Conference on Coastal Engineering, Sydney, Australia, 23-28 Mars 1980, New York 1981, 11 pages.

Eden, Edwin W. Jr. (1971): Vessel Controllablility in Restricted Waters; *Journal of Waterways, Habors, and Coastal Engineering Division;* volume 97, number WW3, pp 475-490, August: American Society of Civil Engineers, New York, U.S.A.

Einstein, H.A. (1950): *The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows:* United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Technical Bulletin number 1026.

Englund, F.; Hansen, F. (1967): *A monograph on Sediment Transport in Alluvial Channels*: Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.

Frijlink, H.C. (1952): *Discussion of the Sediment Transport Formulas of Kalinske, Einstein, and Heyer-Piter and Mueller in relation to recent Sediment Transport Measurements in Dutch Rivers*: 2me Journal Hydraulique: Soc. Hydraulique de France, Grenoble, pp 98-103

Van Hijum, E. (1972): *Slow Coastal Accretion Near A Breakwater*, unpublised research manuscript, Coastal Engineering Group, Delft University of Technology.

Jonsson, I.G. (1975): *The Wave Friction Factore Relatted: Progress Report* number 37, pp 3-8, Institute for Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark, Lingby.

Kalinske, A.A. (1947): *Movement of Sediment as Bed Load in Rivers*: Transactions of the American Geophysical Union, volume 28, number 4, pp 615-620.

von Karman, Theodore (1930): *Mechanical Similarity and Turbulence*: Proceedings of 3th International Congress of Applied Mechanics: volume I, pp 85-92; Stockholm, Sweden.

Kennedy, J.F.; Locher, F.A. (1971): *Sediment Suspension by Water Waves: Waves on Beaches and Resulting Sediment Transport*: Proceeding of an Advanced

Seminas, Mathematics Research Center Publication number 28, pp 249-295; University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, U.S.A.

Komar, P.D. (1976) Evaluation of Wave-Genarated Longshore Current Velocities and Sand Transport Rates on Beaches: article in: *Beach and nearshore Sedimentation* (R.A. Davis, Jr and R.L. Ethington, editors): Special Publication number 24: Society of Economic Paleontologists and Mineralologists.

Kray, Casimir, J. (1973): Design of Ship Chnnels and Maneuvering Areas: *Journal of Waterways, Habors, and Coastal Engineering Division*; volume 99, number WW3, pp 475-490, February: American Society of Civil Engineers, New York, U.S.A.

Kroese, G.M.; Nieuwenhuyse, P. (1974): *Possibility to Use Tugboats to Assist Large Ships in Exposed Channels:* Student Thesis, Coastal Engineering Group, Deaprtment of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Longuet-Higgins, M.S. (1953): *Mass Transport in Water Waves*: Phil. Transactions Royal Society, London: A., volume 245, number 903, pp 535-581.

Longuet-Higgins, M.S.; Stewart, R.W. (1962): Radiation Stress and Mass Transport in Gravity Waves,with Application to Surf Beats: *Journal of Fluid Mechanics*; volume 13, pp 481-504

Longuet-Higgins, M.S.; Stewart, R.W. (1963): A Note on Wave Set-Up; *Journal of Marine Research*; volume 21, pp 4-10.

Longuet-Higgins, M.S.; Stewart, R.W. (1964): Radiation Stresses in Water Waves: A Physical Discussion with Applications: *Deep Sea Research*, volume 11 pp 529-562.

Longuet-Higgins, M.S.; Stewart, R.W. ; (1971): *Recent Progress in the Study of Longshore Currents: Waves on Beaches and Resulting Sediment Transport:* Proceedings of an Advanced Seminar, Mathematics Research Center Publication number 28, pp 203-248; University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, U.S.A.

Moore, G.M.; Cole A.Y. (1960): *Coastal Processes, Vicinity of Cape Thompson, Alaska*; Geologic Investigations of Cape Thompson, N.W. Alaska-Preliminary Report; Trcae Element Investigation Report 753, U.S. Geological Survey, Washington D.C., U.S.A.

Oldenkamp, I. (1973): *Statistical Analysis of Ship□s Maneuvres*; Preprints, Symposium on Ship Handing, Netherlands Ship Model Basin, Waneningen, The Netherlands.

Pelnard-Considere (1954): *Essay on the Theory of the Evolution of the Form of Beaches and Bars:* Quatrieme journees de l'Hydraulique, Paris, Question 3, Les Energies de la Mer.

Prandtl, Ludwig (1926): On Fully Developed Turbulence: *Proceedings of the 2nd International Congress of Applied Mechanics*, Suricht, pp 62-74

Svasek, J.N.; Bijker, E.W. (1969): *Two Methods for Determination of Morphological Changes Induced by Coastal Structures*; Proceedings of the 22nd International Navigation Congress, Paris; subject 11-4, pp 181-202; Permanent International Association of Navigation Congress, Brussels, Belgium.

Swart, D.H. (1974): *Offshore Sediment Transport and Equilibrium Beach Profiles*; Doctorate Dissertation, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology.

Thornton, E.B. (1970): *Variation of Longshore Current Across the Surf Zone*; Proceedings of the 12nd Coastal Engineering Conference volume I, Chapter 18, pp 291-308.

Vô danh (1972): *Method for Computing Dune Erosion Resulting from a Severe Storm*: Technical Advisory Commission for Flood Prevention, Ministry of Public Works (Rijkswaterstaat), The Hague, The Nethelands.

Vô danh (1973) *Shore Protection Manual*; U.S. Army Coastal Engineering Research Center; published by U.S. Government Printing office, Washington D.C., U.S.A.

Vô danh (1974): Problems of Large Vessels in shllow Water; *The Motor Ship*; number 648, pp 573-575, July.

Vô danh (1976): *Computation of Longshore transport*; Delft Hydraulics Laboratory report R968 part 1, September, Delft.

Wanhill, Stephen R.C. (1974): Further Analysis of Optimum Size Seaport; *Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*; volume 100, number WWW4, pp 377-383; American Society of Civil Engineers, New York, U.S.A.

Wiegel, Robert L. (1964): *Oceanographical Engineering*; Prentice-Hall, Inc., London.

TÀI LIỆU THAM KHẢO BỔ SUNG

Hinze, J.O. (1962): Momentum and Mechanical Energy Balance Equations for A Flowing Homogeneous Suspension with Slip between the Phases; *Applied Scientific Research,* volume 33, number A 11.

Kerssens, P.J.M.; van Rijn, L.V. (1977): *Model for Non-Steady Suspended Sediment Transport;* Delf Hydraulics Laboratory Publicaton 191.

Swart, D.H. (1976): *Coastal Sediment Transport; Computation of Longshore Transport*; Delft Hydraulics Laboratory, Report of Investigation R968, part I.

MỤC LỤC

1 Mở đầu 4
2 Những vấn đề được trình bày 6
2.1 Mục tiêu 6
2.2 Những vấn đề chi tiết 6
3 Chuyển động của tàu, thuyền 8
3.1 Mở đầu 8
3.2 Các chuyển động thẳng đứng 8
3.3 Các chuyển động ngang 10
3.4 Tần số vượt sóng 11
3.5 Xác định chuyển động tàu thuyền trong sóng 11
3.6 Một số định nghĩa và các phép xấp xỉ 13
3.7 Ví dụ 14
4 Độ sâu lạch tàu 16
4.1 Mở đầu 16
4.2 Tiếp cận vấn đề 17
4.3 Các chuyển động của tàu 18
4.4 Mực nước và sự biến đổi của nó 20
4.5 Độ ghồ ghề đáy 21
4.6 Những biến đổi của độ thoáng đáy tàu 22
4.7 Các tính chất của phân bố chuẩn và phân bố Rayleigh 25
4.8 Khả năng va chạm đáy lạch 25
4.9 Mật độ lưu thông tàu 27
4.10 Biến động điều kiện bão 28
4.11 Các bước đánh giá tiếp theo 30
4.12 Tóm lược 32
5 Bề rộng lạch tàu 34
5.1 Mở đầu 34
5.2 Vấn đề lý tưởng hoá 34
5.3 Vấn đề thực tế 35

5.4 Các phương pháp thiết kế 37
5.5 Các nhân tố bổ sung 38
6 Các mô hình điều khiển tàu 40
6.1 Các mô hình vật lý 40
6.2 Tiếp cận mô phỏng 41
6.3 Mô tả bộ mô phỏng tàu 41
6.4 Sử dụng bộ mô phỏng tàu 41
6.5 Một số điều cần lưu ý 41
7 Tăng cường khả năng vận hành tàu 43
7.1 Đặt vấn đề 43
7.2 Hỗ trợ tàu kéo (tugboat) 43
7.3 Thiết bị hích tàu (Bow Thrusters) 45
8 Tối ưu hoá tổng thể lạch tàu 46
8.1 Mở đầu 46
8.2 Định nghĩa tối ưu hoá tổng thể 46
8.3 Chi phí xây dựng 46
8.4 Tổn thất 47
8.5 Chi phí duy tu 47
9 Vận chuyển cát ven bờ 50
9.1 Mở đầu 50
9.2 Cơ sở các công thức 51
9.3 Đơn giản hoá quá trình 50
10 Ứng suất xạ và các thành phần của nó 53
10.1 Mở đầu 53
10.2 Các ứng suất xạ cơ bản 53
10.3 Biến đổi của ứng suất xạ 54
10.4 Các thành phần ứng suất xạ 56
10.5 Các ứng dụng trong các bài toán kỹ thuật bờ 59
11 Nước dâng do sóng 60
11.1 Mô tả hiện tượng 60
11.2 Các lời giải phương trình vi phân 61
11.3 Lời giải cho trường hợp sóng trườn (splilling) 61
11.4 Lời giải cho trường hợp sóng lao (plunging) 62
11.5 Lưu ý 63
11.6 Ví dụ 65

12 Gradient ứng suất rối ngang 66
12.1 Mở đầu 66
12.2 Biến đổi ngoài đới sóng đổ 66
12.3 Biến đổi trong đới sóng đổ 70
13 Lực triều dọc bờ 69
13.1 Hệ toạ độ sử dụng 69
13.2 Thành phần lực triều một chiều 69
14 Các lực rối 72
14.1 Mở đầu 72
14.2 Mô tả toán học 72
15 Các lực ma sát đáy 74
15.1 Mở đầu 74
15.2 Ma sát khi dòng chảy ổn định 74
15.3 Ma sát khi có sóng 80
15.4 Ma sát tổng hợp sóng và dòng chảy 80
15.5 Một số lưu ý bổ sung 83
16 Tính toán dòng chảy dọc bờ 84
16.1 Mở đầu 84
16.2 Cân bằng lực cơ sở 84
16.3 Tác động của rối 90
16.4 Tác động của sóng không đều (irregular) 86
16.5 Ví dụ 87
16.6 Các lực tác động bổ sung 91
17 Các công thức cũ vận chuyển ven bờ 93
17.1 Mở đầu 93
17.2 Công thức CERC 93
17.3 Các xác minh mới đối với công thức CERC 95
17.4 Biến đổi dòng trầm tích theo góc sóng tiến vào bờ 100
17.5 Các hệ số trong công thức CERC 96
17.6 Ví dụ triển khai công thức CERC 97
17.7 Các hạn chế của công thức CERC 98
18 Cơ chế vận chuyển cát 100
18.1 Mở đầu 100
18.2 Các luận điểm cơ sở 100
18.3 Độ gồ ghề đáy 101

18.4 Các nhận xét chung 103
19 Các công thức hiện đại vận chuyển cát ven bờ 105
19.1 Mở đầu 105
19.2 Công thức vận chuyển trong trường hợp chỉ có dòng chảy 105
19.3 Ảnh hưởng của sóng lên vận chuyển trầm tích đáy 117
19.4 Biến đổi của ứng suất đáy 117
19.5 Dòng di đáy do sóng và dòng chảy 119
19.6 ảnh hưởng của sóng lên dòng vận chuyển lơ lửng 120
19.7 Vận chuyển trầm tích tổng cộng 122
19.8 Một số nhận xét về công thức Bijker 124
19.9 Ví dụ đối với công thức Bijker 125
19.10 Độ nhạy của công thức Bijker 132
19.11 So sánh với công thức CERC 133
20 Biến đổi bờ theo lý thuyết đường đơn 135
20.1 Mở đầu 135
20.2 Phương trình liên tục 136
20.3 Phương trình chuyển động 137
20.4 Cách giải, các điều kiện biên và điều kiện ban đầu 138
20.5 Ứng dụng cho hiện tượng lắng đọng do công trình chắn sóng 139
20.6 Lắng đọng không song song 142
20.7 Vận chuyển qua công trình chắn sóng 144
20.8 Đánh giá 149
20.9 Ví dụ 149
21 Vận chuyển cát dọc theo trắc ngang bãi biển 154
21.1 Mở đầu 154
21.2 Vận chuyển hai chiều 155
21.3 Ví dụ 157
21.4 Vận chuyển ba chiều 167
22 Biến đổi bờ theo các lý thuyết đa đường 169
22.1 Mở đầu 169
22.2 Sơ đồ hoá 169
22.3 Các phương trình liên tục và chuyển động 171
22.4 Các điều kiện ban đầu và điều kiện biên 173
22.5 Cách giải các phương trình 173
22.6 Những phát triển tiếp theo 174

23 Các bờ cát 175
23.1 Mở đầu 175
23.2 Thành tạo các cồn cát 175
23.3 Động lực ngắn hạn các đụn cát 177
23.4 Động lực học dài hạn các cồn cát 179
23.5 Phương pháp phân tích 182
24 Các công tác bảo vệ bờ 184
24.1 Mở đầu 184
24.2 Cung ứng cát 184
24.3 Mỏ hàn 186
24.4 Tường chắn 188
24.5 Các khối chắn sóng rời 189
24.6 Kiểm soát bồi lắng 190
25 Lắng đọng Trầm tích các lạch tàu 192
25.1 Mở đầu 192
25.2 Các biến đổi thực tế 192
25.3 Dòng vận chuyển di đáy 194
25.4 Dòng vận chuyển lơ lửng 195
25.5 Một giải pháp gần đúng 195
25.6 Xác định chính xác hiện tượng trầm tích 196
26 Các ký hiệu 199
Các kí tự La mã 200
Kí tự Hy Lạp 204
Các chỉ số 205
Tài liệu tham khảo 2077
Tài liệu tham khảo bổ sung 211
Mục lục 211