GENESIS - Mô hình số trị mô tả biến đổi đường bờ

Hans Hanson và Nicholas Kraus

Ngày 2 tháng 1 năm 2010

Lời nói đầu

Biến động đường bờ là một trong những vấn đề chính trong kỹ thuật bờ biển; không những có ý nghĩa về mặt kỹ thuật dân dụng mà còn là một bài toán thu hút những nhà khoa học tự nhiên, khoa học Trái đất. Để khảo sát quá trình biến đổi này, mô hình toán tỏ ra là một công cụ có ích. Trong khi hiện nay chương trình máy tính đã phát triển với mức độ chi tiết rất cao và cùng với đó đòi hỏi nguồn số liệu rất phong phú và tin cậy, thực tế cho thấy nhiều bài toán kĩ thuật có thể được giải quyết chỉ cần một mô hình đơn giản, với kết quả tính toán chấp nhận được.

GENESIS là một mô hình với cấu trúc tương đối đơn giản, phù hợp với bậc học đại học chuyên ngành kỹ thuật bờ biển. Nhận thấy vai trò của mô hình toán trong việc giảng dạy môn học liên quan đến quá trình vận chuyển cát ven biển và diễn biến đường bờ, Bộ môn Quản lý biển và đới bờ trong hai năm liên tiếp đã cố gắng hướng dẫn sinh viên tiếp cận với các mô hình toán. Tuy vậy, các phần mềm thương mại hiện nay có xu hướng làm "phức tạp hóa bài toán quá mức cần thiết", không thích hợp trong phục vụ đào tạo và nghiên cứu của sinh viên. Hơn nữa vấn đề chi phí và bản quyền cũng phần nào giới hạn khả năng sinh viên tiếp cận với chương trình tính toán, điều này được khắc phục khi sử dụng chương trình GENESIS.[1]

Chương trình GENESIS được Trung tâm Nguyên cứu Kỹ thuật bờ biển CERC, Hoa Kỳ tiến hành tổ chức nghiên cứu từ năm 1987. Các tác giả của mô hình, Hans Hanson (ĐH Lund, Thụy Điển) và Nicholas Kraus (Hoa Kỳ) đã biên soạn tài liệu khá chi tiết về GENESIS. Cuốn tài liệu này được dịch tóm tắt từ bản tiếng Anh của hai tác giả trên "GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change" (1991). Bản dịch có những đóng góp kĩ thuật quan trọng của G.V. Trần Thanh Tùng (NCS. tại TU-Delft). Mặc dù người dịch có cố gắng và sửa chữa bản thảo thường xuyên nhưng chắc chắn không tránh khỏi những sai sót. Rất mong ý kiến quý giá của các độc giả.

Nguyễn Quang Chiến
Khoa B - ĐH Thủy lợi

[1]GENESIS được kèm trong các phần mềm thương mại như SMS, CEDAS... Tuy vậy, tác giả Hans Hanson đã đồng ý với việc sử dụng file chương trình GENESIS.EXE không có giao diện đồ họa để phục vụ tính toán trong giáo dục đào tạo và nghiên cứu phi lợi nhuận.

Mục lục

Giới thiệu chung **4**

1 Tóm tắt lý thuyết mô hình **5**
1.1 Sự cần thiết mô hình hoá diễn biến đường bờ 5
1.2 Khả năng của mô hình 5
1.3 So sánh các mô hình biến đổi đường bờ 6
1.4 Vai trò của mô hình biến đổi đường bờ trong kế hoạch dự án 7

2 Lý thuyết mô hình **9**
2.1 Các giả thiết trong mô hình biến đổi đường bờ 9
2.2 Phương trình cơ bản của biến đổi đường bờ 10
2.2.1 Phương trình cơ bản 10
2.2.2 Lưu lượng vận chuyển bùn cát 11
2.2.3 Các thông số kinh nghiệm 12
2.3 Tính toán sóng 14
2.3.1 Mô hình truyền sóng nội tại 15
2.3.2 Mô hình truyền sóng "ngoài": RCPWAVE 22
2.3.3 Giới hạn độ dốc sóng ngoài nước sâu 23
2.3.4 Ô năng lượng sóng 24
2.3.5 Lời giải của bài toán số 26
2.3.6 Hệ thống lưới và sơ đồ sai phân 28
2.3.7 Các điều kiện biên và ràng buộc 29
2.3.8 Những vấn đề cần xét trong lưu lượng vận chuyển bùn cát dọc bờ . 32

3 Chương trình GENESIS **35**
3.1 Các bước chuẩn bị trước khi chạy GENESIS 35
3.1.1 Hệ toạ độ và lưới tính toán 35
3.1.2 Các điều kiện biên đầu, cuối 36
3.2 Các file số liệu đầu vào 37
3.2.1 File START 38
3.2.2 File SHORL 43
3.2.3 File SHORM 44
3.2.4 File SEAWL 44

3.2.5 File DEPTH 44
3.2.6 File WAVE 44
3.2.7 Các file đầu ra 45
3.2.8 Các lỗi và cảnh báo 48

4 Biểu diễn các công trình và nuôi bãi 50
4.1 Loại công trình và tác dụng của chúng 50
4.2 Số đoạn lưới của công trình 50
4.3 Biểu diễn các công trình 51
4.3.1 Các cách bố trí phức tạp của mỏ hàn 54
4.3.2 Tường biển 56
4.3.3 Nuôi bãi 56
4.3.4 Cấu hình của các công trình thay đổi theo thời gian 58

5 Nghiên cứu cụ thể cho dự án tại Lakeview, Ohio, Hoa Kỳ 59
5.1 Giới thiệu 59
5.2 Giải pháp thực hiện trong dự án 60
5.2.1 Giải pháp công trình và nuôi bãi 60
5.2.2 Bùn cát 63
5.2.3 Mực nước và vị trí đường bờ 63
5.2.4 Chế độ sóng 63
5.3 Nhập số liệu 64
5.3.1 Số liệu cho file START 64
5.3.2 Kiểm định và thẩm định mô hình 71
5.3.3 Phân tích độ nhạy 73
5.3.4 Các cách bố trí công trình khác nhau 75
5.3.5 Mô phỏng với thời đoạn 5 năm 77
5.3.6 Kết luận 79

A Các lỗi và cảnh báo khi chạy GENESIS 80

B Nội dung các file số liệu của dự án Lakeview 82

Giới thiệu chung

Mô hình

GENESIS (viết tắt từ GENEralized Model for Simulating Shoreline Change) là mô hình toán được xây dựng nhằm mục đích mô tả diễn biến đường bờ trong khoảng thời gian dài (thường là từ 1 đến 100 tháng). Chiều dài của đường bờ mô phỏng phổ biến từ 1 đến 100 km.

GENESIS mô phỏng sự biến đổi đường bờ gây ra bởi biến thiên của lượng vận chuyển bùn cát dọc bờ trong không gian và theo thời gian. Mô hình cũng tính đến ảnh hưởng của nuôi dưỡng bãi và lượng bùn cát từ trong sông đổ ra. GENESIS *không* có khả năng mô phỏng vận chuyển bùn cát ngang bờ.

Chương trình tính toán

Chương trình GENESIS hiện không phát hành các file mã nguồn lên mạng. File chạy `GENESIS.EXE` chỉ dùng được hệ điều hành Windows. Nguồn sử dụng để cung cấp một số file số liệu đầu vào (*input*), kết quả cho ra dưới dạng file text (ASCII). Như vậy, ta có thể sử dụng một chương trình đồ hoạ để việc nhập số liệu cũng như hiển thị kết quả được tiện lợi. Còn cơ chế nội tại của mô hình thì không thể thay thế được.

Tài liệu bao gồm Tóm tắt lý thuyết mô hình toán (Chương 1), Chương trình tính toán và giao diện (Chương 3) và một ví dụ tính toán đơn giản trong thực tế (Chương 5).

Chương 1

Tóm tắt lý thuyết mô hình

1.1 Sự cần thiết mô hình hoá diễn biến đường bờ

Bảo vệ đường bờ và ổn định đường bờ là những nhiệm vụ trung tâm trong lĩnh vực kỹ thuật bờ biển. Sự biến đổi bãi biển bị chi phối bởi các yếu tố gió, sóng dòng chảy, mực nước, đặc trưng bùn cát và nguồn cung cấp. Để dự báo diễn biến bờ biển gây ra bởi một quá trình phức tạp như vậy; rất cần một công cụ hữu ích như mô hình toán. Không những nó cho kết quả khách quan mà còn là công cụ hỗ trợ tính toán cho những kịch bản khác nhau trong các dự án phát triển.

Dù vậy, cần nhận thức rằng mô hình toán không thể hoàn toàn thay thế vai trò của kỹ thuật viên vận hành mô hình và họ có trách nhiệm về kết quả cuối cùng.

1.2 Khả năng của mô hình

GENESIS là mô hình "đường đơn", nghĩa là hình dạng mặt cắt ngang bờ không đổi mà chỉ dịch chuyển theo chiều ngang. Tuy vậy, sự giản hoá này lại khó phù hợp trong thực tiễn. Trong cách mô phỏng này các đường đồng mức đáy luôn song song với nhau và do đó chỉ cần được đại diện bởi một đường cong duy nhất, đó là đường bờ.

Với một số giả thiết phù hợp, GENESIS có thể được dùng cho các bãi biển cát để phân tích các phản ứng của đường bờ dưới tác dụng của sóng trong nhiều bài toán kỹ thuật.

Mô hình dự đoán vị trí của đường bờ biến đổi trong khoảng thời gian từ vài tháng đến vài năm; và thích hợp nhất đối với những trường hợp có một xu hướng biến đổi đường bờ dài hạn và có quy luật, chẳng hạn sự thoái lui đường bờ phía khuất của một đập mỏ hàn hoặc sự phát triển của đường bờ phía sau một đập phá sóng.

Khoảng thời gian mô phỏng phụ thuộc vào các điều kiện sóng và vận chuyển bùn cát, độ chính xác của các điều kiện biên, tính chất của dự án và mức độ gần giống của bãi so với vị trí cân bằng. Ngay sau khi xây dựng công trình, bãi biển đã bị thay đổi nhiều so với trạng thái cân bằng của nó. Trong trường hợp này thay đổi do gia diện vận chuyển cát dọc bờ lớn hơn nhiều so với do bão và những thay đổi theo mùa. Diễn biến kéo dài vài năm

này, khi mặt cắt đang biến đổi giữa hai vị trí cân bằng, được GENESIS mô tả một cách hiệu quả nhất.

Không gian được mô phỏng có thể biến đổi từ vùng dự án đơn lẻ cỡ vài trăm mét đến dải bờ biển dài vài chục km. Cần lưu ý rằng, mặc dù phạm vi của công trình không lớn nhưng các điều kiện có thể mở rộng trên một vùng rộng lớn hơn nhiều. Trong một số trường hợp, phạm vi mô hình có thể mở rộng tuỳ theo yêu cầu xem xét ảnh hưởng của mô hình tới các khu vực lân cận.

Như đã đề cập ở trên, mô hình biến đổi đường bờ được xây dựng nhằm mô phỏng quá trình biến đổi dài hạn của đường bờ trong quá trình tiến tới một trạng thái cân bằng. Trạng thái xáo trộn ban đầu thường là do những công trình lớn được xay dựng, chẳng hạn đê chắn cát tại cửa sông hoặc bến cảng. Mô hình không thể mô phỏng được các biến động ngẫu nhiên của đường bờ mà không có xu thế rõ rệt, chẳng hạn biến đổi của dòng ven bờ do điều kiện sóng khác nhau, hoặc biến đổi của bờ biển tại lạch triều, biến đổi dòng chảy gây ra do gió, hoặc vận chuyển bùn cát ngang bờ trong các trận bão.

1.3 So sánh các mô hình biến đổi đường bờ

Các *mô hình giải tích* cho các nghiên cứu đúng của một phương trình vi phân biểu thị diễn biến của đường bờ. Nhưng để có nghiệm đúng, nhiều giả thiết phải được chấp nhận nhằm lý tưởng hoá điều kiện tự nhiên. Do đó mô hình giải tích nếu cần, chỉ được áp dụng trong giai đoạn tiền khả thi, với mục đích chủ yếu là nhận diện xu hướng phát triển chính của đường bờ và ảnh hưởng của các yếu tố như sóng góc tới, điều kiện biên, điều kiện ban đầu.

Đến nay các *mô hình xói lở mặt cắt* có thể mô phỏng xói lở bãi biển dưới ảnh hưởng của bão (Kriebel và Dean, 1985; Larson, 1988) cũng như biến đổi mặt cắt ngang ngay sau khi đổ cát nuôi bãi (Larson và Kraus, 1989a). Mô hình này bỏ qua quá trình vận chuyển bùn cát dọc bờ. Về nguyên tắc, các mô hình diễn biến mặt cắt và diễn biến đường bờ có thể dùng kết hợp để mô phỏng biến đổi vị trí đường bờ cả ngắn hạn lẫn dài hạn.

Mô hình biến đổi đường bờ, như GENESIS, tổng quát hoá từ mô hình giải tích, nhưng xét tới nhiều yếu tố phức tạp hơn như công trình, sóng, các điều kiện biên điều kiện ban đầu... Ngoài ra, các nguồn bổ sung bùn cát như nuôi bãi, bổ sung bùn cát từ cửa sông, hoặc các hoạt động khai thác cát, v.v. đều được xét đến.

Mô hình 3 chiều mô phỏng thay đổi độ cao, độ đáy theo cả hai hướng: dọc bờ và ngang bờ; và do đó gỡ bỏ các giả thiết về hình dạng mặt cắt ngang không đổi (của mô hình biến đổi đường bờ) và vận chuyển bùn cát không đổi (của mô hình biến đổi mặt cắt). Sóng, dòng chảy, vận chuyển bùn cát cũng được xác định trên toàn bộ lưới tính toán. Mô hình loại này cần chạy trên những máy tính mạnh và đòi hỏi việc kiểm định mô hình và phân tích độ nhạy rất sâu sắc.

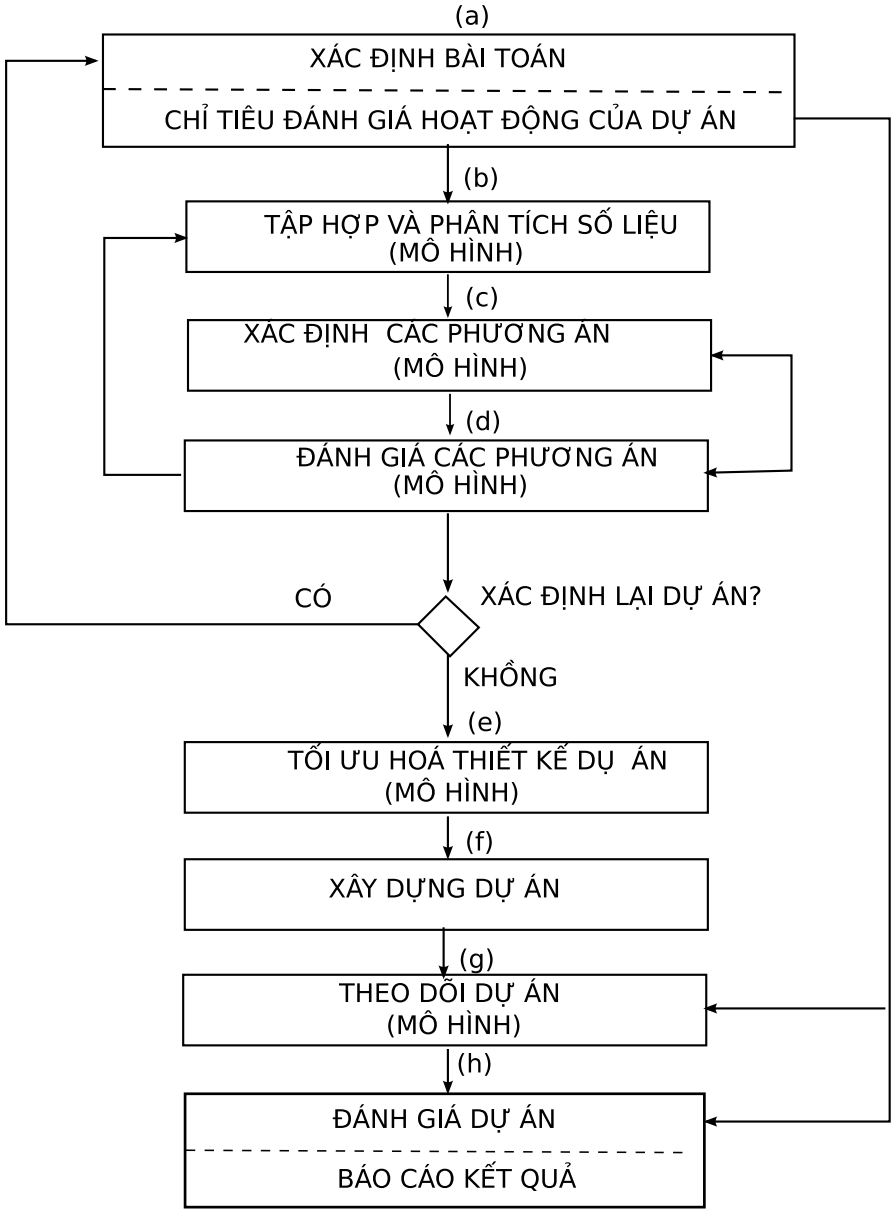
1.4 Vai trò của mô hình biến đổi đường bờ trong kế hoạch dự án

Mô hình biến đổi đường bờ liên hệ chặt chẽ và có thể hỗ trợ đáng kể cho các giai đoạn lập kế hoạch dự án như trên Hình 1.1.

Bước *b*: Các dữ liệu thu thập bao gồm cả những quá trình tự nhiên và những yếu tố gắn với công trình. Chú ý rằng những cấu trúc địa chất có thể gián tiếp ảnh hưởng đến mô hình biến đổi đường bờ, chẳng hạn sự lún sụt tại một vị trí nhất định nào đó.

Các bước *c*-*d*: GENESIS, qua việc mô phỏng diễn biến bờ biển với nhiều phương án khác nhau, có thể là công cụ đánh giá các phương án và tìm ra giải pháp tối ưu cuối cùng. Chẳng hạn, trong (Hanson và Kraus, 1986a), có 9 phương án được vạch ra nhằm hạn chế xói mòn bãi biển tại một khu nghỉ mát. Phương án "số không" được đặt ra xem xét cùng với các phương án xây dựng dãy đập mỏ hàn với các kích thước và khoảng cách khác nhau, nuôi bãi với các khối lượng khác nhau, hoặc đập phá sóng. Với mỗi phương án, khối lượng vật liệu bờ biển sẽ được ước tính, từ đó căn cứ vào giải pháp kỹ thuật mà chọn ra phương án khả thi nhất.

Bước *g*: Mô hình biến đổi đường bờ còn hỗ trợ hướng dẫn cho kế hoạch đo đạc, theo dõi đường bờ. Các khu vực có đường bờ thay đổi mạnh mẽ nhất có thể xác định, từ đó các phương án hợp lý nhằm đo đạc tại những vùng này (cả về mật độ lẫn tần suất đo đạc).



Hình 1.1: Các bước chính trong thiết lập kế hoạch và thực hiện dự án

Chương 2

Lý thuyết mô hình

Chương này nhằm giới thiệu lý thuyết mô hình biến đổi đường bờ nói chung và các biểu thức toán dùng trong GENESIS nói riêng. Bắt đầu từ các giả thiết cơ bản của mô hình, tiếp theo các phép tính vận chuyển bùn cát và diễn biến đường bờ sẽ được trình bày. Một đặc điểm của phần tính toán sóng cũng được xét đến. Nhưng quan trọng nhất là những khái niệm riêng của GENESIS như "ô năng lượng sóng" và các "miền vận chuyển" sẽ được đi sâu xem xét, bên cạnh các điều kiện biên và công thức vận chuyển nói chung.

2.1 Các giả thiết trong mô hình biến đổi đường bờ

Nhiều quan trắc cho thấy mặt cắt ngang bãi biển luôn duy trì một hình dạng đặc trưng của nó, chỉ trừ khi có biến động lớn như sau các trận bão. Nhưng thay đổi theo mùa của mặt cắt cũng biến đổi nhiều so với mặt cắt đặc trưng "trung bình theo thời gian" nói trên. Pelnard-Considère (1956) đã đề xuất theo một lý thuyết phản hồi của đường bờ dưới tác dụng của sóng, với một giả thiết quan trọng là mặt cắt ngang bãi chuyển động tịnh tiến theo phương ngang trong suốt quá trình bồi xói. Mô hình này cũng đã được ông kiểm định trong phòng thí nghiệm.

Với giả thiết như vậy, vị trí của mặt cắt có thể xác định được từ một điểm bất kỳ cho trước trên mặt cắt; và toàn bộ địa hình đáy có thể đặc trưng bởi một đường đồng mức duy nhất—thường là đường mép nước (đường bờ). Do đó, mô hình có tên là *Mô hình biến đổi đường bờ* hay *Mô hình phản hồi đường bờ,* hay đơn giản hơn: *Mô hình đường đơn* theo ý nghĩa biểu diễn của địa hình đáy thông qua một đường đồng mức duy nhất.

Một giả thiết khác là cát chỉ được vận chuyển gần bờ trong một phạm vi độ cao đã định trước. Giới hạn của phạm vi này là đỉnh thềm hoạt động, còn giới hạn dưới tại độ sâu mà ở đó không có sự bồi/xói đáng kể—"độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát". Việc hạn chế sự di chuyển của mặt cắt ngangtrong phạm vi nói trên cho ta một phương pháp đơn giản xác định chu vi của phần mặt cắt bị bồi lắng và xói lở, từ đó ước tính được thể bùn cát tăng/giảm đi, tương ứng với nó là sự dịch chuyển đường bờ.

Trong mô hình, một công thức vận chuyển bùn cát dọc bờ được xác định. Đối với bãi biển mở (nhìn ra biển khơi), lưu lượng vận chuyển bùn cát là hàm của chiều cao và hướng

sóng vỡ. Ở đây không xét đến chi tiết dòng chảy ven bờ.

Cuối cùng là giả thiết đường bờ có xu hướng biến đổi dài hạn một cách rõ rệt. Xu hướng chủ đạo này chi phối sự biến động đường bờ trên nền các "nhiễu động" gây ra bởi bão, chế độ sóng, thuỷ triều, v.v. Chỉ có tác động của sóng gây ra vận chuyển bùn cát dọc bờ và các điều kiện biên là những điều kiện chi phối biến đổi đường bờ dài hạn. Trong những dự án có đập mỏ hàn, kè hướng dòng ở cửa sông và đập phá sóng (đều gây ra chênh lệch vận chuyển cát dọc bờ), giả thiết này thường được thoả mãn.

Tóm lại, các giả thiết cơ bản của mô hình biến đổi đường bờ bao gồm:

- Hình dạng mặt cắt bãi biển không đổi
- Giới hạn phía bờ và phía biển của mặt cắt ngang đều không đổi
- Vận chuyển cát dọc bờ gây ra bởi sóng vỡ
- Bỏ qua chi tiết dòng chảy gần bờ
- Có xu hướng phát triển đường bờ dài hạn

Những giả thiết cơ bản làm đơn giản hoá mô hình tạo điều kiện cho việc mô phỏng được thuận lợi hơn. Tuy vậy cần lưu ý rằng trong một số trường hợp, những giả thiết này có thể bị vi phạm, chẳng hạn ở khu vực gần công trình. Phía được bồi của đập mỏ hàn sẽ thoải hơn phía mặt cắt của bãi trung bình. Trong trường hợp này mặc dù đường bờ biển biến đổi phù hợp với thực đo nhưng cần có sự diễn giải cẩn thận về tổng lượng vận chuyển cát.

Bên cạnh đó, giả thiết rằng độ sâu vận chuyển bùn cát và độ cao thềm không đổi dọc suốt bờ biển là không hoàn toàn phù hợp với thực tế và do đó cần thận trọng lựa chọn hai giá trị đặc trưng này cho mỗi dải bờ biển được mô phỏng.

Dòng vận chuyển bùn cát được gây ra bởi sóng vỡ do đó sẽ không phù hợp trong một số trường hợp mà đóng góp của gió, dòng triều v.v. là đáng kể. GENESIS cũng có thể mô phỏng chi tiết dòng chảy và chuyển cát theo phương ngang và phương thẳng đứng, do đó không thể mô phỏng các dòng tách bờ, dòng hồi quy, v.v.

Xu hướng biến đổi dài hạn của đường bờ chỉ có được khi có tác động của điều kiện biên hoặc một quá trình mang tính quy luật như bổ sung bùn cát của sông ra hoặc thay đổi trạng thái của sóng gây ra bởi đập phá sóng xa bờ.

2.2 Phương trình cơ bản của biến đổi đường bờ

2.2.1 Phương trình cơ bản

Chọn hệ toạ độ Đề-các với trục x hướng song song với đường bờ và trục y hướng vuông góc với bờ ra ngoài khơi. Xét đoạn đường gần bờ Δx, trong khoảng thời gian Δt dịch chuyển một đoạn Δy. Nếu phạm vi thay đổi từ mặt cắt là từ thềm bãi (cao độ D_b) xuống tới độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát (D_c) thì thay đổi thể tích bùn cát trong thời gian Δt là:

$$\Delta V = \Delta x \Delta y (D_b + D_c)$$

Trong khi đó, chênh lệch vận chuyển bùn cát (Q) theo hướng dọc bờ (x), đã dẫn đến sự thay đổi thể tích bùn cát là:

$$\Delta Q \Delta t = (\partial Q/\partial x)\Delta x \Delta t$$

Từ cân bằng vận chuyển bùn cát $\Delta V = \Delta x \Delta y (D_b + D_c) = (\partial Q/\partial x)\Delta x \Delta t$ có xét thêm lượng bổ sung bùn cát q theo phương ngang bờ và chuyển $\Delta t \to 0$ ta được phương trình vi phân:

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{1}{D_b + D_c}\left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q\right) = 0 \tag{2.1}$$

Để giải phương trình (2.1) cần có vị trí đường bờ ban đầu, hai điều kiện biên cho hai đầu đường bờ, cũng như các giá trị Q, q, D_b và D_c.

2.2.2 Lưu lượng vận chuyển bùn cát

Vận chuyển cát dọc bờ

Công thức tính lưu lượng vận chuyển cát dọc bờ là:

$$Q = (H^2 C_g)_b \left(a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos\theta_{bs} \frac{\partial H}{\partial x}\right)_b \tag{2.2}$$

trong đó:

H = Chiều cao sóng

C_g = Vận tốc nhóm sóng trong lý thuyết sóng tuyến tính

b = Chỉ số biểu thị điều kiện tính ở đường sóng vỡ

θ_{bs} = Góc sóng vỡ tạo với đường bờ

Các hệ số không thứ nguyên được $a_1$và a_2 được cho bởi:

$$a_1 = \frac{K_1}{16\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)(1-\rho)\,(1{,}416)^{5/2}} \tag{2.3}$$

$$a_2 = \frac{K_2}{16\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)(1-n)\tan\beta\,(1{,}416)^{7/2}} \tag{2.4}$$

trong đó:

K_1, K_2 = Các hệ số kinh nghiệm đóng vai trò thông số của mô hình

ρ_s = Khối lượng riêng của cát (2650 kg/m^3 đối với cát quartz)

ρ = Khối lượng riêng của nước (1030 kg/m^3 đối với nước biển)

n = Độ rỗng của lớp cát đáy (lấy = 0,4)

$\tan\beta$ = Độ dốc trung bình của đáy biển lấy phạm vi từ đường bờ xuống đến độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát

Hệ số 1,416 là để quy đổi chiều cao sóng ý nghĩa được nhập vào GENESIS, sang chiều cao sóng căn quân phương.

Trong công thức (2.2), số hạng thứ nhất biểu thị công thức SPM (1984) tính dòng vận chuyển bùn cát dọc bờ do sóng vỡ xiên góc với bờ. Komar và Inman (1970) gợi ý giá trị $K_1 = 0{,}77$, trong khi theo Kraus và nnk. (1982), K_1 trong khoảng từ 0,77 xuống 0,58; và khoảng giá trị này được coi là điển hình.

Số hạng thứ hai trong (2.2) biểu thị ảnh hưởng của một yếu tố khác đến vận chuyển bùn cát dọc bờ, đó là gra-đien theo hướng dọc bờ của chiều cao sóng vỡ $\partial H_b/\partial x$, (theo Ozasa và Brampton, 1980). Yếu tố này thường nhỏ hơn nhiều so với các yếu tố sóng vỡ xiên góc đã đề cập ở trên, trong điều kiện bờ biển trống trải. Nhưng gần các công trình khi có nhiễu xạ sóng thì yếu tố này góp phần đáng kể cải thiện kết quả mô phỏng (Kraus, 1983).

Mặc dù có thể ước tính theo kinh nghiệm, các hệ số K_1 và K_2 cần được xem xét là các thông số kiểm định mô hình.

Thông số K_1 cùng với giá trị $1/(D_b + D_c)$ chi phối thời gian biến đổi đường bờ, cũng như độ lớn lưu lượng vận chuyển bùn cát dọc bờ. Giá trị K_2 nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,0 lần K_1. Không nên lấy K_2 quá lớn so với $1{,}0K_1$, do đường bờ có thể diễn biến mạnh ở gần các công trình và mô hình sẽ không ổn định.

Nguồn và tụ điểm bùn cát

Đại lượng q trong phương trình (2.1) biểu thị nguồn cấp hoặc thu bùn cát chạy theo hướng song song đường bờ. Các nguồn cấp thường là cửa sông hoặc bờ vách đứng (dễ sạt lở), còn nguồn thu thường là các lạch sâu hoặc kênh dẫn vào cảng. Ngoài ra, tác động của gió có thể gọi là nguồn cấp hoặc nguồn thu tuỳ thuộc vào hướng gió thổi ra biển hay vào bờ.

Thay đổi trực tiếp vị trí đường bờ

Sự thay đổi trực tiếp này có thể do nuôi dưỡng bãi hoặc nạo vét. Trong trường hợp này, mặt cắt ngang có thể dịch chuyển về phía bờ hoặc biển một cách định trước, có thể là một hàm số theo thời gian và khoảng cách dọc bờ.

2.2.3 Các thông số kinh nghiệm

Chiều sâu vận chuyển bùn cát dọc bờ

Bề rộng của mặt cắt có xảy ra vận chuyển bùn cát hướng dọc được lấy xấp xỉ bằng bề rộng đới sóng vỡ, vốn chủ yếu phụ thuộc vào chiều cao sóng vỡ.

Thuật toán chuyển cát trong GENESIS yêu cầu thông số độ sâu hoạt động của vận chuyển bùn cát dọc bờ, từ đó liên quan tới bề rộng đới sóng vỡ. "Độ sâu hoạt động của vận chuyển bùn cát dọc bờ", D_{LT}, được lấy bằng chiều sâu sóng tần suất 1/10 phía thượng lưu công trình. Theo các giả thiết cơ bản trong GENESIS thì độ sâu này tương đương với:

$$D_{LT} = \frac{1{,}27}{\gamma}\left(H_{1/3}\right)_b \tag{2.5}$$

trong đó:

1,27 = Hệ số chuyển đổi giữa chiều cao sóng 1/10 và chiều cao sóng ý nghĩa

γ = Chỉ số sóng vỡ, tỉ số giữa chiều cao sóng và độ sâu nước tại điểm sóng vỡ

$\left(H_{1/3}\right)_b$ = Chiều cao sóng ý nghĩa tại điểm vỡ

Nếu lấy $\gamma = 0{,}78$ ta được $D_{LT} \approx 1{,}6(H_{1/3})_b$. Như vậy độ sâu hoạt động D_{LT} nhỏ hơn nhiều so với độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát D_c, trừ trường hợp sóng đặc biệt lớn.

Một đặc trưng khác là "độ sâu lớn nhất của vận chuyển bùn cát dọc bờ" D_{LTo} để xác định độ dốc bãi trung bình $\tan\beta$ trong phương trình (2.2), D_{LTo} được cho bởi:

$$D_{LTo} = (2{,}3 \div 10{,}9H_o)\frac{H_o}{L_o} \tag{2.6}$$

trong đó:

H_o/L_o = Độ dốc của sóng nước sâu

H_o = Chiều cao sóng ý nghĩa vùng nước sâu

L_o = Chiều dài sóng nước sâu

Theo lý thuyết sóng tuyến tính $L_o = gT^2/2\pi$ với g là gia tốc trọng trường và T là chu kỳ sóng. Nếu có số liệu phổ sóng thì lấy T ứng với đỉnh năng lượng, còn không thì lấy T ứng với chiều cao sóng ý nghĩa (xem Hallermeier, 1983). Trong GENESIS, D_{LTo} được tính với mỗi bước thời gian và là giá trị chung đại diện cho cả đường bờ; nó thay đổi tuỳ thuộc vào điều kiện sóng vì vậy phản ánh tính chất biến đổi theo mùa của hình dạng và độ dốc mặt cắt.

Hình dạng và độ dốc trung bình của mặt cắt

Hình dạng mặt cắt trung bình của Bruun (1954) và Dean (1977) được sử dụng:

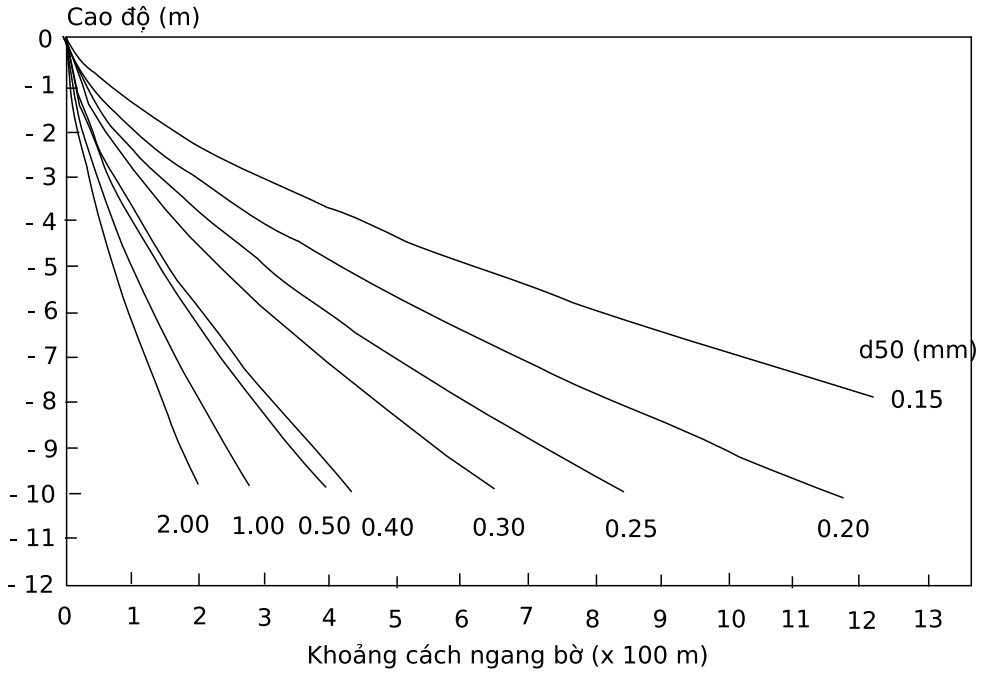
$$D = Ay^{2/3} \tag{2.7}$$

trong đó D là độ sâu, A là một tham số kinh nghiệm phụ thuộc vào đường kính hạt cát vùng gần bờ, d_{50} (Moore, 1982).

$$M = \begin{cases} 0{,}41(d_{50})^{0{,}94} & \text{với } d_{50} < 0{,}4 \\ 0{,}23(d_{50})^{0{,}32} & \text{với } 0{,}4 \le d_{50} < 10 \\ 0{,}23(d_{50})^{0{,}28} & \text{với } 10{,}0 \le d_{50} < 40{,}0 \\ 0{,}46(d_{50})^{0{,}11} & \text{với } 40{,}0 \le d_{50} \end{cases} \tag{2.8}$$

Trong đó đơn vị tính: d_{50} (mm) và A ($\mathrm{m}^{1/3}$)

Trường hợp có nhiều mặt cắt thực đo trong vùng nghiên cứu thì có thể dùng Hình 2.1 để xác định một giá trị d_{50} đại diện, từ đó tính ra A.



Hình 2.1: Đường cong để xác định đường kính trung bình

Tương ứng với giá trị tham số A và độ sâu lớn nhất vận chuyển bùn cát D_{LTo} [cho bởi P.T. (2.6)], độ dốc trung bình của mặt cắt cân bằng vùng gần bờ là:

$$\tan\beta = \sqrt{\frac{A^3}{D_{LTo}}} \tag{2.9}$$

Độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát D_c

D_c chính là độ sâu đó tại đó dường như không có sự thay đổi độ cao đáy, và thường rất khó xác định trên thực tế. Mặt khác, nếu coi D_c là độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát trong một khoảng thời gian nhất định như 1 năm thì có thể dùng lại công thức (2.6) với chiều cao của sóng ý nghĩa lớn nhất, chỉ xảy ra 12 giờ trong cả năm (nghĩa là tần suất 0,137% trong năm) (Hallermeier, 1983). Tuy vậy cần so sánh giữa giá trị tính toán với các số liệu thực đo, đồng thời cần lưu ý rằng giá trị D_c có thể thay đổi ở khu vực lân cận công trình.

2.3 Tính toán sóng

Tài liệu sóng xa bờ dùng cho mô hình có thể là thực đo hoặc tính toán, với các bước thời gian cố định, thường từ 6 đến 24 giờ. Chiều cao và hướng sóng tại điểm đo (hoặc tính) phải được diễn toán đến điểm sóng vỡ trước khi tính biển đổi đường bờ.

Hệ phương trình GENESIS bao gồm 2 thành phần: một tính toán vận chuyển bùn cát dọc bờ và diễn biến đường bờ; phần kia tính toán chiều cao và hướng sóng vỡ từ số liệu sóng ngoài khơi cho trước. Thành phần này là mô hình truyền sóng nội tại của GENESIS, khác với một mô hình truyền sóng "ngoài" có thể lựa chọn để cung cấp thêm thông tin sóng gần bờ cho GENESIS.

Việc lựa chọn mô hình sóng nào phụ thuộc vào số lượng, chất lượng tài liệu sóng cũng như độ phức tạp của địa hình gần bờ.

Trên (Hình 2.2a), mô hình truyền sóng nội tại được áp dụng cho vùng gần bờ, coi rằng các đường đồng mức gần như thẳng và song song, các đặc trưng chiều cao và hướng sóng được tính tại các điểm trên lưới tính toán dọc bờ, kể từ độ sâu tương ứng với các số liệu sóng ngoài khơi. Nếu áp dụng mô hình sóng "ngoài" (Hình 2.2b), quá trình truyền sóng sẽ xét đến địa hình đáy không đều, kể từ độ sâu của tài liệu sóng ngoài khơi. Kết quả tính toán chiều cao và hướng sóng tại các điểm dọc bờ (ở đó sóng chưa vỡ cho trước) được lưu vào một file làm đầu vào cho mô hình truyền sóng nội tại, để tính tiếp đến điểm sóng vỡ.

2.3.1 Mô hình truyền sóng nội tại

Sóng vỡ

Tính toán quá trình truyền sóng từ nước sâu đến đường tham chiếu gần bờ ước lượng ban đầu không xét đến ảnh hưởng của nhiễu xạ sóng gần các vật cản, sau đó sẽ chỉnh cục bộ tính đến nhiễu xạ của từng khu vực gần vật cản.

Nếu bỏ qua nhiễu xạ, bài toán truyền sóng sẽ có 3 ẩn số: chiều cao sóng, góc sóng tới và độ cao sóng tại điểm sóng vỡ. Chúng được tìm ra từ hệ 3 phương trình: (2.10), (2.14), và (2.11).

Phương trình (2.10) biểu thị chiều cao sóng vỡ sau khi bị biến đổi qua khúc xạ và ảnh hưởng nước nông.

$$H_2 = K_R K_S H_{\text{ref}} \tag{2.10}$$

trong đó:

H_2 = chiều cao sóng vỡ tại điểm bất kỳ dọc bờ

K_R = hệ số khúc xạ

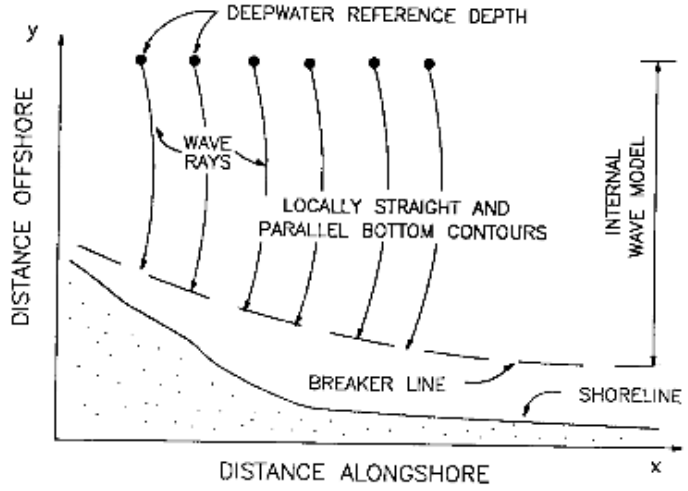
K_S = hệ số ảnh hưởng do nước nông

H_{ref} = chiều cao sóng tại độ sâu tham khảo (ngoài khơi hoặc gần bờ, tuỳ theo mô hình sóng được lưa chọn)

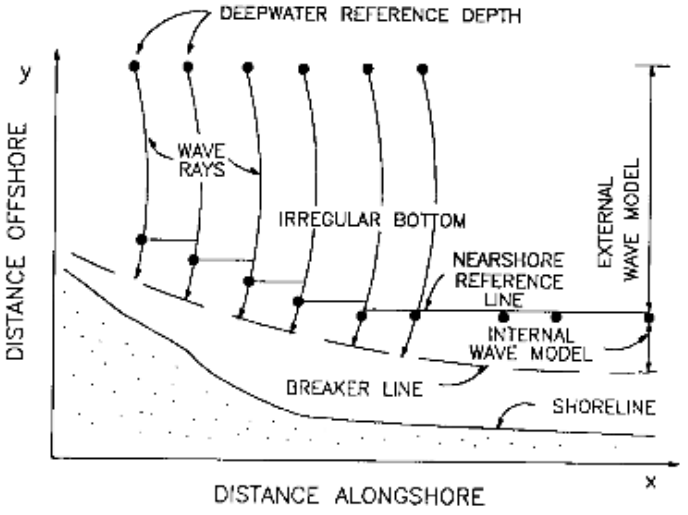
Hệ số khúc xạ sóng K_R là một hàm số của góc tới (θ_1) và góc tia khúc xạ (θ_2) (tại điểm sóng vỡ P_2) và được cho bởi:

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}} \tag{2.11}$$

Hệ số ảnh hưởng nước nông K_S phụ thuộc vào chu kỳ sóng, độ sâu tại P_1 (điểm đầu), và độ sâu sóng vỡ được cho bởi:



a. Transformation by internal wave model only



b. Transformation by external and internal wave models

Hình 2.2: Sử dụng các mô hình truyền sóng.

$$K_S = \sqrt{\frac{C_{g1}}{C_{g2}}} \tag{2.12}$$

trong đó C_{g1} và C_{g2} lần lượt là vận tốc nhóm sóng ở các điểm P_1 và P_2.

$$C_g \equiv C \cdot n \tag{2.13}$$

với C = vận tốc truyền sóng = L/T và L = chiều cao sóng tại độ sâu D

$$n = 0{,}5\left(1 + \frac{2\pi D/L}{\sinh(2\pi D/L)}\right)$$

Chiều dài sóng được tính từ phương trình phân tán:

$$L = L_o \tanh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)$$

Trong GENESIS, phương trình trên được giải bằng phương pháp xấp xỉ phân thức (Hunt, 1979) so với sai số 0,1%.

Phương trình sóng vỡ giới hạn độ sâu là:

$$H_b = \gamma D_b \tag{2.14}$$

Trong đó D_b là độ sâu tại vị trí sóng vỡ và chỉ số sóng vỡ γ là hàm số phụ thuộc độ dốc nước sâu và độ dốc trung bình của bãi biển (Smith và Kraus, ?).

$$\gamma = b - a\frac{H_o}{L_1} \tag{2.15}$$

với $a = 5{,}00(1 - e^{-43\tan\beta})$ và $b = 1{,}12/(1 + e^{-60\tan\beta})$

Góc tới của sóng tại vị trí vỡ được tính dự theo định luật Snel

$$\frac{\sin\theta_b}{L_b} = \frac{\sin\theta_1}{L_1} \tag{2.16}$$

trong đó θ_b và L_b là góc tới và chiều dài sóng tại điểm sóng vỡ còn θ_1 và L_1 tại vị trí xa bờ.

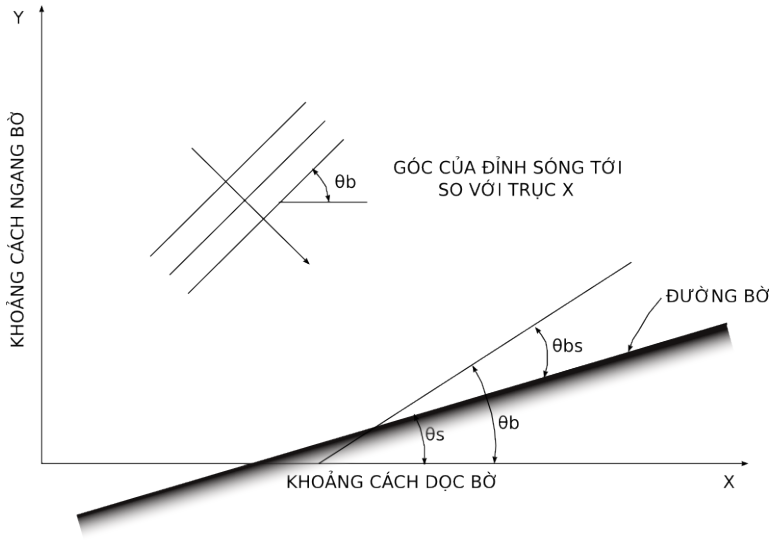
Hệ phương trình (2.10), (2.14) và (2.16) được giải theo phương pháp lặp để cho kết quả H_b, D_b và θ_b ứng với chiều cao, góc tới và chu kỳ sóng ngoài khơi cho trước.

Góc sóng vỡ θ_b tính được xét trong hệ toạ độ cố định. Nếu trong hệ toạ độ này, góc phương vị của đường bờ là θ_s (xem hình 2.3), $\theta_s = \arctan(\partial y/\partial x)$, thì góc sóng vỡ dùng để tính lưu lượng vận chuyển cát dọc bờ là:

$$\theta_{bs} = \theta_b - \theta_s \tag{2.17}$$

Như vậy nếu $\theta_s = 0$ thì sóng vỡ vuông góc với đường bờ. Góc θ_b trên Hình 2.3 được quy ước là dương.

Giá trị θ_b này sẽ được sử dụng để tính vận chuyển cát dọc bờ, nếu như không có nhiễu xạ sóng do công trình mà ta sẽ xét dưới đây.



Hình 2.3: Định nghĩa về góc sóng vỡ.

Ảnh hưởng của công trình đến sóng vỡ

Các công trình nhân tạo (đập phá sóng, đập mỏ hàn, *jetty* ở cửa sông) đều tác động tới sóng khi chúng chưa vỡ; các đảo mũi đất tự nhiêncũng đôi khi có tác động tương tự—ta gọi chung là công trình. Sự thay đổi các hình thế sóng này dẫn đến sự thay đổi vận chuyển bùn cát dọc bờ. Ở phía khuất của công trình, đường đi vòng của sóng nhiễu xạ cùng với chiều cao sóng giảm đi làm cho dòng vận chuyển bùn cát hướng vào phía khuất gây bồi lắng.

Hình 2.4 phác hoạ cách tính chiều cao và hướng sóng vỡ phía sau công trình (Kraus, 1981, 1982, 1984). Vùng tính toán được chia thành vùng đón sóng và vùng khuất lấy ranh giới là tia sóng qua đầu công trình được kéo dài. Để tính được chiều cao sóng vỡ, cần xét đến ảnh hưởng của nhiễu xạ đối với ngay cả vùng đón sóng. Để tính góc tới của sóng vỡ tại điểm P_2 trong vùng khuất, cần giả thiết tia sóng xuất phát từ P_1 truyền theo một góc θ_1 tới P_2.

Góc θ_1 không thể các định trước vì nó phụ thuộc vào điều kiện sóng vỡ, và để đơn giản có thể thay θ_1 bằng θ_g là góc tạo bởi đường thẳng P_1P_2.

Trong vùng ảnh hưởng bởi nhiễu xạ, chiều cao sóng vỡ có xét đến ảnh hưởng của nhiễu xạ, khúc xạ, tán xạ nước nông được cho bởi:

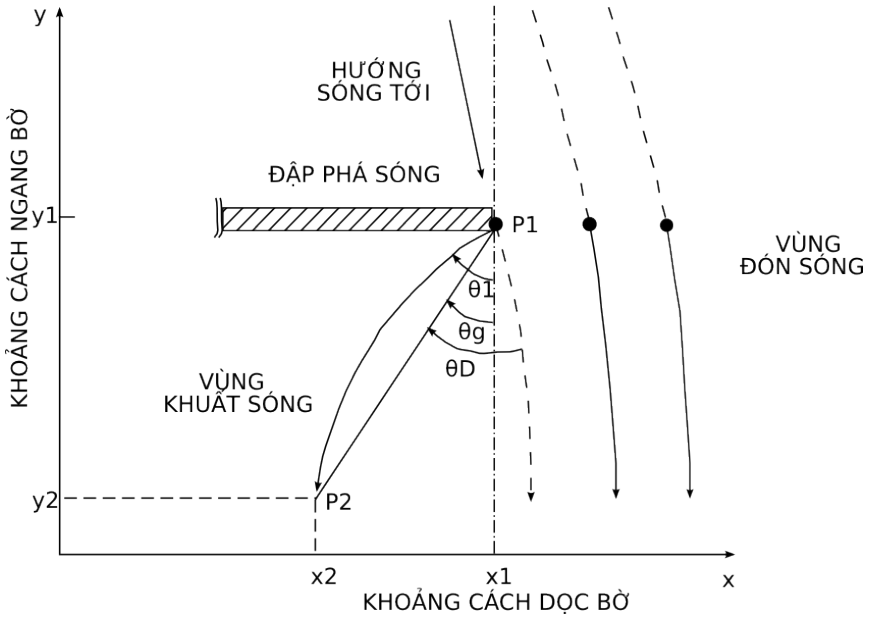
$$H_b = K_D(\theta_D, D_b)H_b' \tag{2.18}$$

Với K_D = hệ số nhiễu xạ

θ_D = góc giữa tia sóng tới P_1 và tia nối P_1P_2 nếu như điểm P_2 nằm trong vùng khuất sóng

H_b' = góc sóng vỡ ở trong cùng ô tính toán nếu không xét nhiễu xạ

Ba ẩn số H_b, D_b và θ_b được tính đối với mỗi đoạn đường bờ, bằng cách giải lặp phương



Hình 2.4: Sơ đồ tính sóng nhiễu xạ.

trình (2.18) cùng với các phương trình (2.14) và (2.16) như các hàm của chiều cao, góc tới của sóng vỡ và chu kỳ sóng.

Đồ thị và bảng tra nhiễu xạ với sóng đơn đã được thiết lập, nhưng chiều cao sóng tra được thường nhỏ hơn sóng ngẫu nhiên, trong thực tế hướng sóng biến thiên trong một phạm vi. Để giải quyết bài toán thực tế với sóng ngẫu nhiên này GENESIS sử dụng phương pháp đề xuất bởi Goda và nnk (1978). Cách áp dụng phương pháp này trong GENESIS chỉ đúng với các công trình ngắn (Kraus, 1988a).

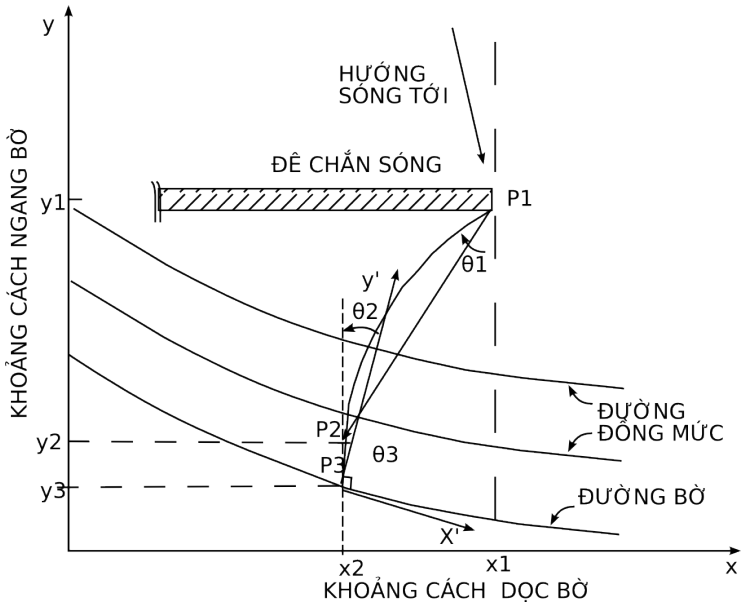
Hiệu chỉnh đường đồng mức

Sự phân bố không đều của vận chuyển bùn cát dọc bờ dẫn đến thay đổi địa hình đáy biển và ngược lại; sự thay đổi này làm ảnh hưởng đến khúc xạ sóng. Trong phạm vi mô hình nội tại của GENESIS, sự tương tác nói trên được biểu diễn trên hai khía cạnh. Thứ nhất, sự thay đổi vị trí đường bờ làm góc θ_1 thay đổi (Hình 2.5). Thứ hai, hình dạng đường bờ lân cận công trình bị biến dạng cũng gây ảnh hưởng cho các đường đồng mức đáy biển biến dạng tương tự.

Một hệ thống toạ độ địa phương chạy theo đường đồng mức với hệ trục toạ độ (x',y') trong Hình 2.5. Hệ trục này được xoay một góc θ_s chính là hướng của đường bờ tại điểm P_3: $\theta_s = \arctan(\partial y/\partial x)$.

Trong hệ trục mới, một góc θ' sẽ có giá trị θ trong hệ trục toạ độ cố định ban đầu sao cho $\theta' = \theta + \theta_s$.

Theo quy ước này, ta có thể viết lại phương trình khúc xạ (2.16) cùng hệ số khúc xạ [biểu thức (2.11)] với các góc $\theta'_{(.)}$ trong hệ toạ độ mới. Sau khi tính được θ'_b ta cần chuyển về hệ toạ độ cố định để tính vận chuyển bùn cát dọc bờ theo phương trình (2.2). Như vậy



Hình 2.5: Góc tới sóng có tính đến biến đổi đường đồng mức.

trong vùng khuất chiều cao sóng vỡ được tính bởi:

$$H_b = K_D(\theta_D, D_b)K'_R(\theta'_1, D_b)H'_b \tag{2.19}$$

Trong đó: K_R = hệ số khúc xạ trong hệ toạ độ xoay.

Phương pháp tính "hiệu chỉnh đường đồng mức" này được tự động dùng trong mô hình tính sóng nội tại của GENESIS và cho kết quả góc sóng vỡ gần với thực tế hơn (Kraus, 1983; Kraus và Harikai, 1983).

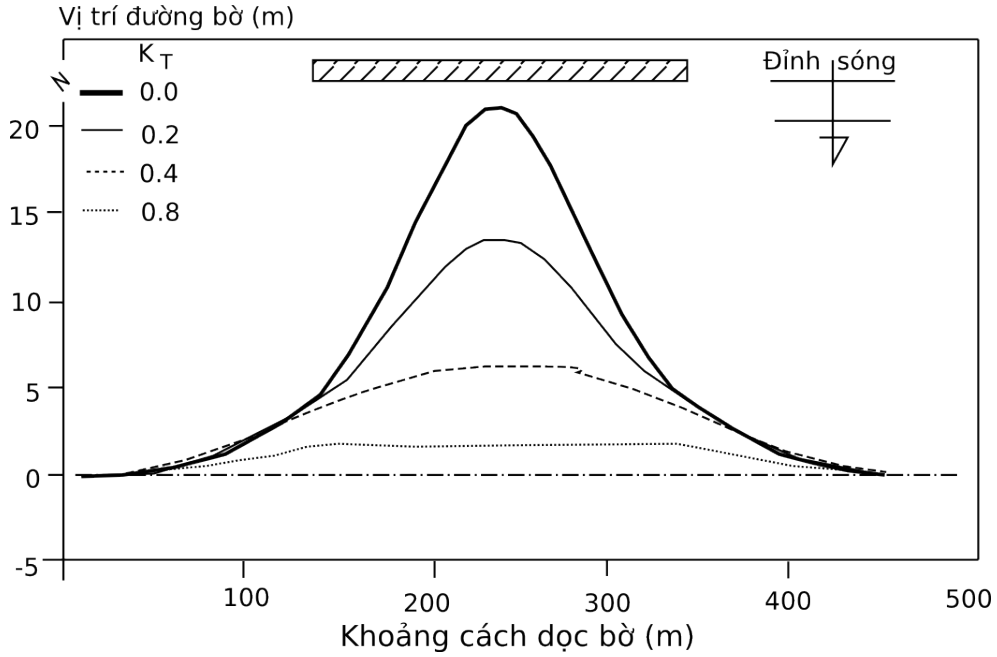
Truyền sóng xuyên qua đập phá sóng

Khi thiết kế đập phá sóng, một trong các yếu tố cần tính đến tổng các mô hình toán là sự truyền sóng xuyên qua công trình (ở đây bao hàm nghĩa sóng xuyên qua và vượt qua đỉnh công trình). Tính được sóng xuyên qua công trình giúp ta đưa ra giải pháp kinh tế hơn đối với các công trình đỉnh thấp hoặc có các khe rỗng. GENESIS phiên bản 2 đã được áp dụng tính khả năng truyền sóng cho dãy mỏ hàn tại Louisiana, Hoa Kỳ (Hanson, Kraus, và Nakashima, 1989).

Để mô tả truyền sóng xuyên trong mô hình một hệ số truyền qua K_T được chỉ định đối với mỗi đê chắn sóng. Hệ số truyền qua là tỉ số giữa chiều cao sóng ngay sau đê chắn sóng với chiều cao sóng ngay trước đê chắn sóng, nằm trong khoảng $0 \leq K_T \leq 1$, trong đó giá trị 0 tương ứng với sóng không truyền qua và giá trị 1 tương ứng với sóng truyền qua hoàn toàn.

Tính toán trong GENESIS được thực hiện theo các tiêu chí sau:

- Nếu $K_T \to 0$, tính toán sóng nhiễu xạ giống như lý thuyết đối với nhiễu xạ sau đập liền khối cao vô tận.



Hình 2.6: Sự biến đổi đường bờ phụ thuộc vào hệ số truyền sóng.

- Nếu hai ô năng lượng sóng có cùng giá trị K_T, sẽ không xảy ra nhiễu xạ sóng (chiều cao sóng đồng nhất tại biên).
- Tại biên giới của các ô năng lượng có K_T khác nhau năng lượng sóng sẽ được truyền từ ô có sóng lớn sang ô có sóng nhỏ. Năng lượng sóng được truyền tỉ lệ với tỉ số giữa hai giá trị K_T.

Tóm lại biểu thức cho hệ số truyền sóng xuyên qua đê chắn sóng có dạng:

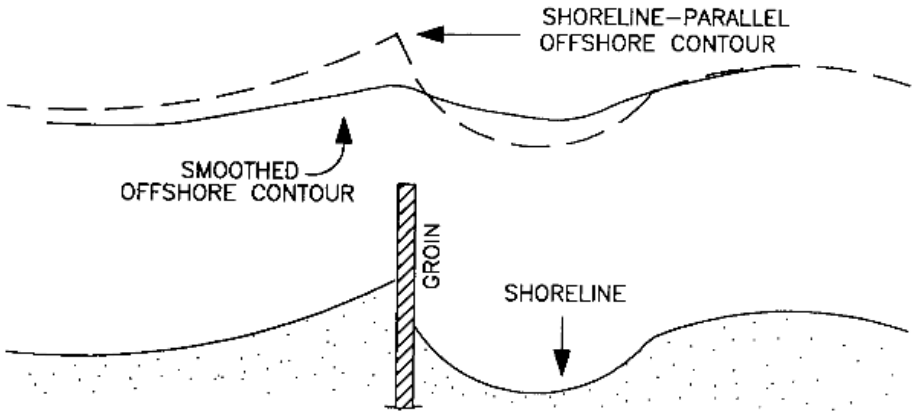
$$K_{DT} = \begin{cases} K_D + R_{KT}(1 - K_D) & \text{với } \theta_D > 0 \\ K_D - R_{KT}(K_D - 0{,}5) & \text{với } \theta_D = 0 \\ K_D(1 - R_{KT}) & \text{với } \theta_D < 0 \end{cases} \tag{2.20}$$

Trong đó R_{KT} là tỉ số của hệ số sóng truyền nhỏ chia cho hệ số sóng truyền lớn của hai đê chắn sóng.

Hình 2.6 là ví dụ tính toán biến đổi đường bờ với thời gian 180 giờ trong điều kiện sóng $H = 1{,}5$ m và $T = 6$ s truyền vuông góc với bờ, đê chắn sóng dài 200 m và cách bờ 250 m. Rõ ràng là với K_T càng nhỏ thì phần bồi lắng càng vươn xa.

Đường đồng mức ngoài khơi điển hình

Một giả thiết cơ bản trong mô hình biến đổi đường bờ là mặt cắt ngang chuyển động tịnh tiến; cũng có nghĩa là các đường đồng mức ngoài khơi luôn di chuyển song song với đường bờ. Tuy vậy nếu áp dụng trực tiếp giả thiết này cho mô hình sóng nội tại thì sẽ hình thành



Hình 2.7: Ví dụ về đường đồng mức điển hình.

nên khu vực có đường bờ biến đổi đột ngột, dẫn đến mất ổn định trong mô hình toán. Để khắc phục hạn chế này, GENESIS cho phép lựa chọn làm trơn đường đồng mức (Hình 2.7) từ đó mô phỏng tốt hơn địa hình ngoài khơi. Phạm vi đường đồng mức điển hình đến tận độ sâu sóng vỡ, và việc làm trơn đường đồng mức trong thời gian tính toán là mỗi tháng một lần.

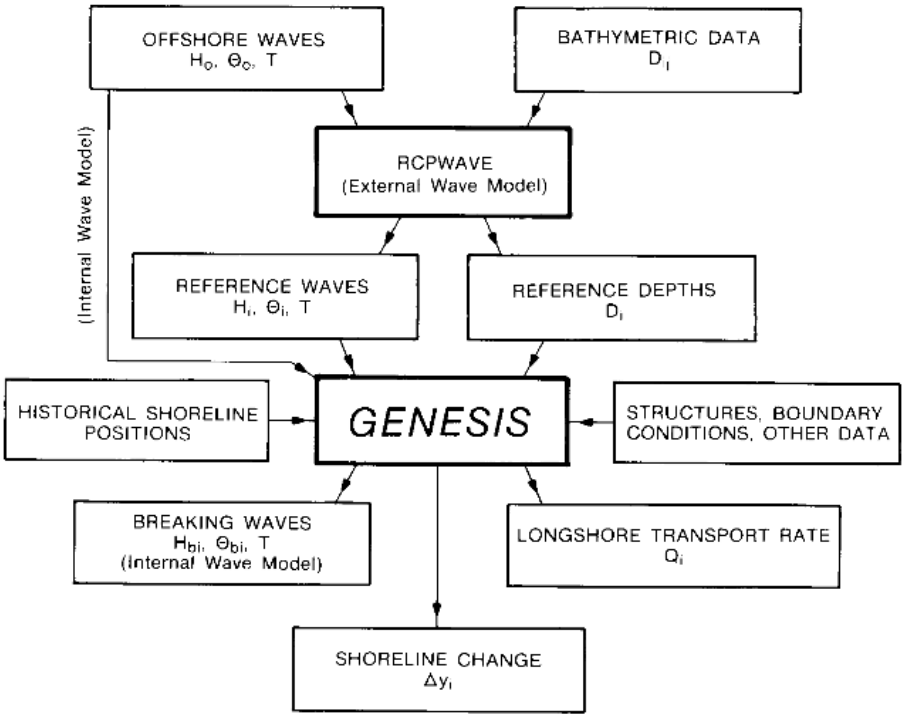
2.3.2 Mô hình truyền sóng "ngoài": RCPWAVE

Các đường đồng mức đáy biển trên thực tế thường không thẳng và song song. Trong những trường hợp này, tính toán sóng cần thực hiện trên địa hình đáy biển thực đo. Mô hình truyền sóng RCPWAVE (Ebersole, 1985; Ebersole và nnk., 1986) có một số ưu điểm sau:

- Trực tiếp cho kết quả chiều cao và góc sóng tới trên lưới tính toán;
- Hiệu quả, cho phép mô phỏng một vùng rộng;
- Bao gồm cả các tác động phân tán sóng gây ra bởi đáy biển, cho phép mô phỏng thực tế hơn so với khúc xạ đơn thuần;
- Tính ổn định đã được kiểm chứng.

Hình 2.8 cho thấy vị trí của RCPWAVE trong sự kết hợp với GENESIS, trong đó RCPWAVE cung cấp chiều cao và hướng sóng tại đường tham chiếu gần bờ, từ đó GENESIS sử dụng mô hình nội tại để tính truyền sóng đến đường sóng vỡ.

Thời khoảng tính toán trong mô hình biến đổi đường bờ thường là cỡ vài năm với phạm vi không gian của vùng mô phỏng cỡ vài km, tương đương hàng trăm đoạn lưới. Vì bước thời gian mô phỏng thường là 6, 12, 24 h, cần phải tính truyền sóng hàng nghìn lần. RCPWAVE là mô hình hai chiều, thời gian chạy sẽ rất lâu so với GENESIS là mô hình một chiều. Hơn nữa nếu xét đến thực tế là số liệu sóng nhập vào thường không có hoặc có độ chính xác không cao thì việc chạy RCPWAVE cho mỗi bước thời gian cùng với GENESIS là một sự thiếu hợp lý.



Hình 2.8: Sơ đồ tính toán kết hợp GENESIS và RCPWAVE.

Thay vào đó, một kỹ thuật tính toán tốt hơn là chia điều kiện sóng ngoài khơi thành những khoảng chu kỳ và hướng khác nhau (Kraus và nnk., 1988). Thời khoảng chia đối với chu kỳ sóng là 1 s và hướng sóng tới là 11,25° hoặc 22,5°. Bằng cách này ta có khoảng từ 50 đến 100 khoảng chu kỳ sóng và các lần tính toán đều sử dụng chiều cao sóng đơn vị để tình ra các "hệ số truyền sóng" dọc theo đường tham chiều gần bờ. Sau đó chiều cao sóng tại đường tham chiếu này được tính bằng cách nhân "hệ số truyền sóng" với chiều cao sóng ngoài khơi có tài liệu.

2.3.3 Giới hạn độ dốc sóng ngoài nước sâu

Số liệu sóng ngoài khơi có thể thay đổi trong trường hợp ta muốn phân tích độ nhạy, kiểm tra với những trường hợp cực hạn nhất. Nhìn chung chiều cao sóng có thể tăng lên, nhưng nếu không cẩn thận có thể sẽ tạo ra sóng có độ dốc quá lớn, phi thực tế. GENESIS thực hiện kiểm tra xem độ dốc sóng ngoài khơi làm số liệu đầu vào có thỏa mãn điều kiện (Mitchell, 1893) hay không

$$\frac{H_o}{L_o} = 0{,}142 \tag{2.21}$$

Nếu độ dốc sóng tính được vượt quá 0,142 thì chiều cao sóng nước sâu sẽ giảm bớt để thoả mãn biểu thức (2.21) và giữ nguyên chu kỳ sóng. Máy sẽ thông báo trong trường hợp này.

2.3.4 Ô năng lượng sóng

Khái niệm "ô năng lượng sóng" đóng vai trò trung tâm và chi phối cấu trúc chương trình GENESIS. Nó cho phép mô tả điều kiện sóng vỡ dọc bờ và lượng vận chuyển bùn cát dọc bờ trong nhiều hình thức bố trí công trình khác nhau.

Ô năng lượng

Một ô năng lượng là phần diện tích sát bờ biển, đón sóng từ phía ngoài khơi. Về nguyên tắc, ô năng lượng được xác định bởi hai đường biên nhằm hạn chế sóng truyền đến bãi biển được xét đến. Các ô năng lượng này được phân cách bởi các đập mỏ hàn, jetty dài, các đê chắn sóng không cho sóng xuyên qua (theo nghĩa ở Mục 2.3.1), và đầu các đê chắn sóng cho sóng xuyên qua. Năng lượng sóng tới phải đi qua một trong các cửa sổ này để tới một địa điểm trên vùng gần bờ. Một vị trí có thể (và cũng thường) đón sóng từ vài ô năng lượng khác nhau.

Vùng tính toán vận chuyển cát

Mô hình GENESIS hiện tại giả thiết các công trình gắn bó (kè mỏ hàn, jetty và đê chắn sóng gần bờ) không cho năng lượng sóng truyền qua. Từ đặc điểm này cùng với khái niệm ô năng lượng, vùng bờ được chia thành các "vùng tính toán vận chuyển cát". Mỗi vùng này được giới hạn bởi các công trình gắn với bờ gây nhiễu xạ sóng hoặc là một biên mô hình. GENESIS sẽ giải phương trình biến đổi đường bờ cho từng vùng, trừ trường hợp trao đổi cát vượt qua ranh giới các vùng như hiện tượng vận chuyển cát vòng qua đầu đập mỏ hàn.

Ví dụ

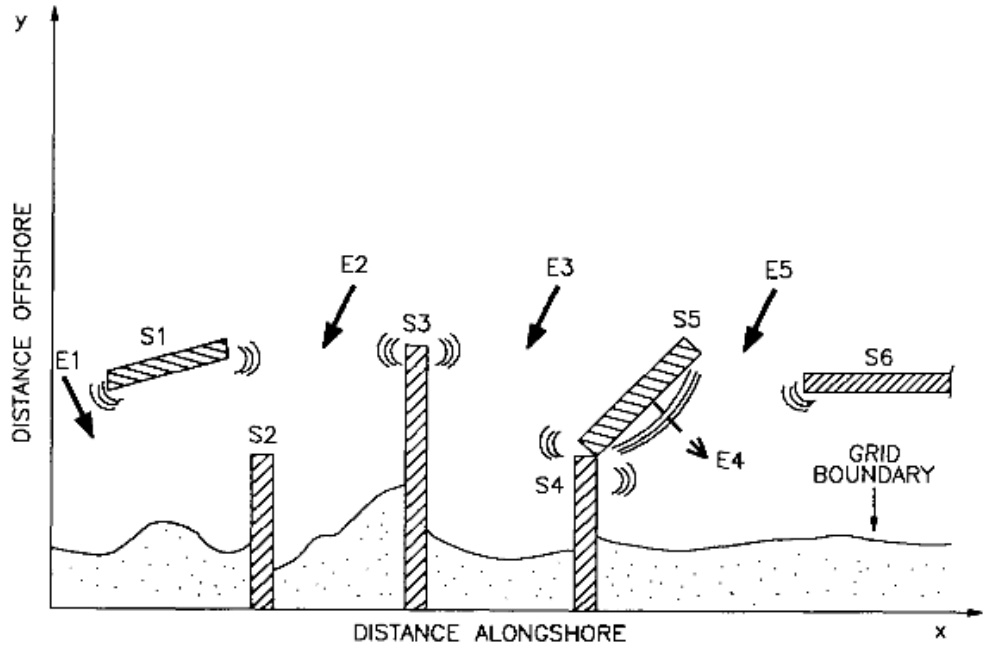
Hình 2.9 minh hoạ một hệ thống các ô năng lượng và vùng vận chuyển cát. Ta quy ước các hình vòng cung cho đầu các công trình (đập chắn sóng, mỏ hàn) có xảy ra nhiễu xạ; và các công trình cho sóng truyền qua. Trên hình có 5 ô năng lượng kí hiệu E1-E5 và 6 công trình ký hiệu S1-S6.

E1 là ô năng lượng chắn bởi phương trình phía tay phải và có biên hở phía tay trái. Sóng tiến vào ô E1 sẽ nhiễu xạ tại đầu trái của đập S1. Mọi sóng đi qua ô E1 không thể ảnh hưởng đến vùng kể từ bên tay phải S3.

S1 là đê chắn sóng xa bờ có cả hai bờ gây nhiễu xạ; đầu trái định vị cho biên phải của ô E1 và đầu phải định vị biên trái của ô E2. Đập S1 này không cho sóng truyền qua và do đó bản thân không phải là một ô năng lượng (so sánh với S5).

S2 một đập mỏ hàn ngắn, không xác định một ô năng lượng nào do đó nó không gây nhiễu xạ. S2 cũng không xác định một biên vận chuyển bùn cát nào mà chỉ đơn giản nằm trong vùng vận chuyển bùn cát kéo dài từ biên trái sang đến phía trái của đập S3.

E2 ô này được bao bởi các công trình nhiễu xạ S1 và S3. Sóng truyền qua E2 có thể tới tận biên trái hệ thống nhưng lại không thể truyền qua S3. Vậy E2 nằm cùng với ô E1 trong cùng một vùng vận chuyển cát.



Hình 2.9: Các ô năng lượng và vùng vận chuyển cát.

S3 Do dòng bùn cát dọc bờ được gây bởi sóng vỡ, chỉ những mỏ hàn đâm ra ngoài vùng sóng vỡ mới có ảnh hưởng nhiễu xạ đối với sóng trước khi vỡ (chẳng hạn mỏ hàn S3). Còn các mỏ hàn ngắn (như S2) chỉ làm hạn chế vận chuyển cát. Đập S3 chắn hoàn toàn dòng bùn cát và đóng vài trò là một biên của vùng vận chuyển cát.

E3 Sóng tiến vào ô này không thể truyền sang phía tay trái của S3 hoặc sang phía tay phải của S4-S5.

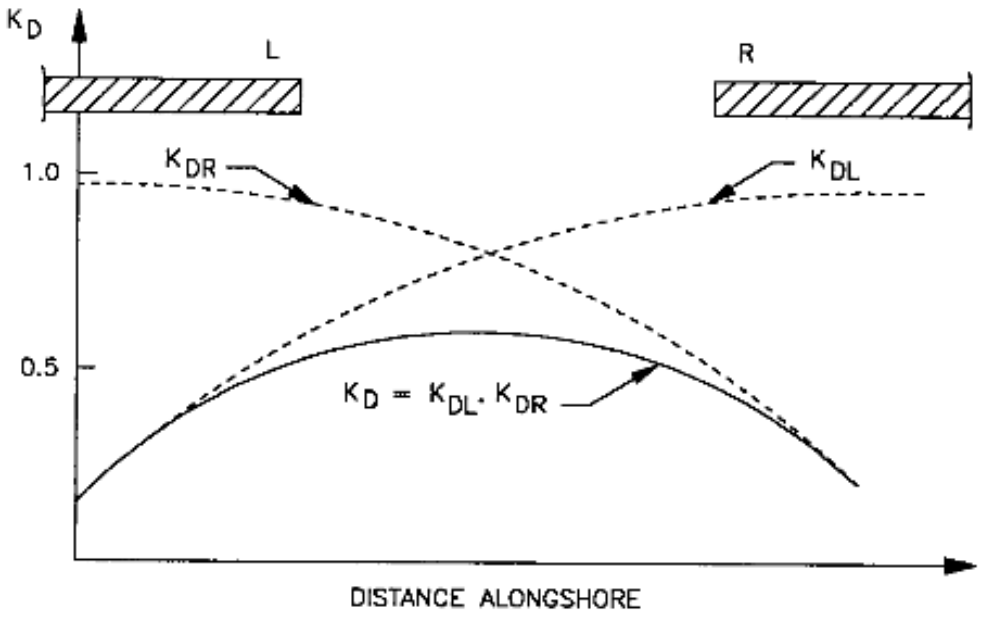
S4 và S5: trong GENESIS có thể tạo ra công trình có hình dạng phức hợp chỉ bằng các đập mỏ hàn và đê chắn sóng xa bờ. Đập mỏ hàn S4 vì nối với đê chắn sóng S5, nên bản thân nó cũng coi như gây ra nhiễu xạ; đồng thuòi S4 đóng vai trò biên của vùng tính vận chuyển bùn cát.

E4: Do đê chắn sóng S5 cho sóng truyền qua nên bản thân có cũng là một ô năng lượng, ô E4.

E5: Sóng truyền qua ô này có thể đến đc biên phải nhưng không thể tới bờ phía bên trái S4.

S6: Nếu năng lượng của sóng đến từ phía phải của S6 có thể bỏ qua được thì có thể giả thiết công trình dài vô hạn, và biến đổi đờng bờ bên phải S4-S5 chỉ bị chi phối bởi năng lượng sóng trên vào các ô E4-E5.

Với sơ đồ trên GENESIS sẽ chia vùng tính toán thành 3 vùng vận chuyển cát: bãi biển từ phía trái đến S3, bãi biển từ S3 đến hệ S4-S5 và bãi biển từ hệ S4-S5 đến biên phải. Các ô năng lượng sóng, sóng vỡ và vận chuyển bùn cát dọc bờ sẽ được GENESIS tự động xác định căn cứ vào số liệu đầu vào.



Hình 2.10: Hệ số nhiễu xạ trong trường hợp có hai nguồn.

Tổng hợp nhiễu xạ

Nếu một ô năng lượng chị ảnh hưởng của hai nguồn nhiễu xạ: một ở biên trái (L) và một ở biên phải (R) với hệ số nhiễu xạ tương ứng, K_{DL} và K_{DR}. Mô hình sóng nội tại tính một hệ số khúc xạ tổng hợp K_D chung cho toàn ô:

$$K_D = K_{DL}K_{DR} \tag{2.22}$$

như trên Hình 2.10 với ô hở một phía, hệ số nhiễu xạ cho phía đó sẽ là 1,0.

2.3.5 Lời giải của bài toán số

Phương trình 2.1 có thể giải ra được nghiệm đúng trong một số trường hợp đơn giản. Tuy nhiên để giải bài toán thực tế với đường bờ và hình dạng công trình phức tạp cùng với điều kiện sóng thay đổi, ta cần tìm nghiệm của P.T. 2.1 bằng cách sai phân hoá. Theo đó đường bờ được chia thành những đoạn nhỏ có độ dài xác định (gọi là khoảng cách đoạn lưới) và thời gian mô phỏng được chia thành những khoảng nhỏ (gọi là bước thời gian).

Độ chính xác số trị và bản chất vật lý

Sai phân hoá P.T. (2.1) bỏ qua lượng bổ cập q ta được biểu thức tính thay đổi vị trí đường bờ như sau:

$$\Delta y = -\frac{\Delta t}{D_B + D_C}\frac{\Delta Q}{\Delta x} \tag{2.23}$$

Trong đó ΔQ là sự chênh giữa hai lưu lượng vận chuyển bùn cát giữa hai đầu của cùng một đoạn đường bờ. P.T. (2.23) cho thấy Δy tỷ lệ thuận với Δt và tỉ lệ nghịch với Δx (thực ra Δy tỉ lệ nghịch với $(\Delta x)^2$, sẽ được giải thích sau).

Độ chính xác số trị chỉ mức độ chính xác mà sơ đồ tính toán đạt được khi giải phương trình vi phân (2.1). Độ chính xác vật lý chỉ mức độ chính xác mà P.T. (2.1) cần các số liệu đầu vào mô tả các quá trình thực tế. Độ chính xác vật lý phụ thuộc vào chất lượng số liệu đầu vào và mức độ chấp nhận của các giả thiết trong mô hình trước điều kiện ứng dụng thực tế. Độ chính xác số trị không đảm bảo cho chính xác vật lý. Để đẩy nhanh tốc độ tính toán, cần kéo dãn bước thời gian tính toán. Mặc khác, cả độ chính xác số trị và vật lý đều cần bước thời gian ngắn, để diễn biến chính xác cần các biến đổi về điều kiện sóng cũng như đường bờ. Tương tự nếu càng chính xác nếu chia chi tiết thành nhiều đoạn hơn, nhưng dĩ nhiên thời gian tính toán cũng tăng lên.

Ổn định bờ

Khoảng cách lưới và bước thời gian cho phép trong phương pháp sai phân phụ thuộc vào loại lược đồ tính. Để xét sự phụ thuộc của nghiệm số P.T. (2.1) ta giả sử góc sóng vỡ θ_{bs} trong P.T. (2.2) là nhỏ để có thể coi $\sin 2\theta_{bs} \approx 2\theta_{bs}$ từ đó sau một số biến đổi (Kraus và Harikai, 1983), ta được:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \tag{2.24}$$

trong đó

$$\varepsilon_1 = \frac{2K_1}{D_B + D_C}(H^2 C_g)_b \tag{2.25}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{K_2}{D_B + D_C}\left(H^2 C_g \cos\theta_{bs}\frac{\partial H}{\partial x}\right)_b \tag{2.26}$$

Vì P.T. (2.24) có dạng khuếch tán với các đặc tính ổn định đã được xác định rõ. Độ ổn định số của sơ đồ tính được chi phối bởi:

$$R_s = \frac{\Delta t(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{(\Delta x)^2} \tag{2.27}$$

Đại lượng R_s được biết đến trong các phương pháp số với cái tên "số Courant", ở đây ta gọi nó là tham số ổn định. Dạng sai phân của P.T. (2.24) cho thấy $\Delta y \sim \Delta t/(\Delta x)^2$.

P.T. (2.24) có thể giải theo sơ đồ hiện hoặc sơ đồ ẩn. Nếu giải bằng sơ đồ hiện, vị trí đường bờ mới đối với mỗi đoạn lưới tính toán chỉ phụ thuộc vào các giá trị đã được tính toán ở bước thời gian trước. Ưu điểm của sơ đồ hiện là để lập trình, để mô tả các điều kiện biên và thời gian chạy cho một bước thời gian ngắn hơn so với sơ đổ ẩn. Tuy vậy, một nhược điểm lớn là tính ổn định của nghiệm số đòi hỏi một giới hạn ràng buộc đối với bước thời gian. Đối với sơ đồ hiện áp dụng cho phương trình vi phân dạng khuếch tán, điều kiện sau phải được thoả mãn (Crank, 1975):

$$R_S \leq 0,5 \tag{2.28}$$

Khi sử dụng sơ đồ hiện, nếu các giá trị R_S tại bất kỳ đoạn lưới nào vượt quá 0,5 thì đường bờ tính được sẽ có dao động phi thực tế; dao động này sẽ khuếch tán theo thời gian nếu R_S tiếp tục lớn hơn 0,5. Các giá trị ε_1 và ε_2 phụ thuộc vào điều kiện sóng và có thể biến thiên dọc bờ. Nếu khoảng cách mắt lưới định trước thì một con sóng lớn có thể làm Δt trở nên rất nhỏ. Do vậy dùng sơ đồ hiện để giải trong điều kiện tổng quát là không hiệu quả.

Lược đồ ẩn là phương pháp trong đó ta tính vị trí mới của đường bờ theo cả trạng thái đường bờ tại lớp thời gian liền trước và thời gian hiện tại. Ưu điểm của sơ đồ ẩn là sự ổn định ngay cả trong điều kiện R_S lớn.

Trong GENESIS, lược đồ ẩn được chọn để giải P.T. (2.1) [xem (Kraus và Harikai, 1983)]. Trong phương pháp này, độ chính xác số học có thể ước lượng bằng $R_S(\%)$ với mọi $R_S < 10$. Trong quá trình tính, GENESIS sẽ đưa cảnh báo nếu $R_S > 5$.

2.3.6 Hệ thống lưới và sơ đồ sai phân

Lưới đan xen

Trong hệ thống lưới sai phân đan xen của GENESIS, các vị trí đường bờ y_i được đặt tại trung tâm của cả đoạn lưới (gọi là các "điểm y") và lưu lượng vận chuyển cát Q_i tại đường ngăn cách các đoạn lưới (các "điểm Q") như trên Hình 2.11. Biên trái được đặt tại đoạn lưới 1 và biên phải tại đoạn lưới N. Tổng cộng có N vị trí đường bờ, và ta phải chỉ định N giá trị vị trí đường bờ ban đầu. Có $N + 1$ điểm Q, và ta phải chỉ định 2 giá trị Q_1 và Q_{N+1}làm điều kiện biên. Vì các giá trị Q_i phụ thuộc vào điều kiện sóng, tất cả các đại lượng sóng đều được tính toán tại các điểm Q. Tương tự như vậy điểm đầu các công trình cũng được đặt tại các điểm Q. Còn các nguồn bổ sung tiêu hao cát thì được đặt tại điểm y.

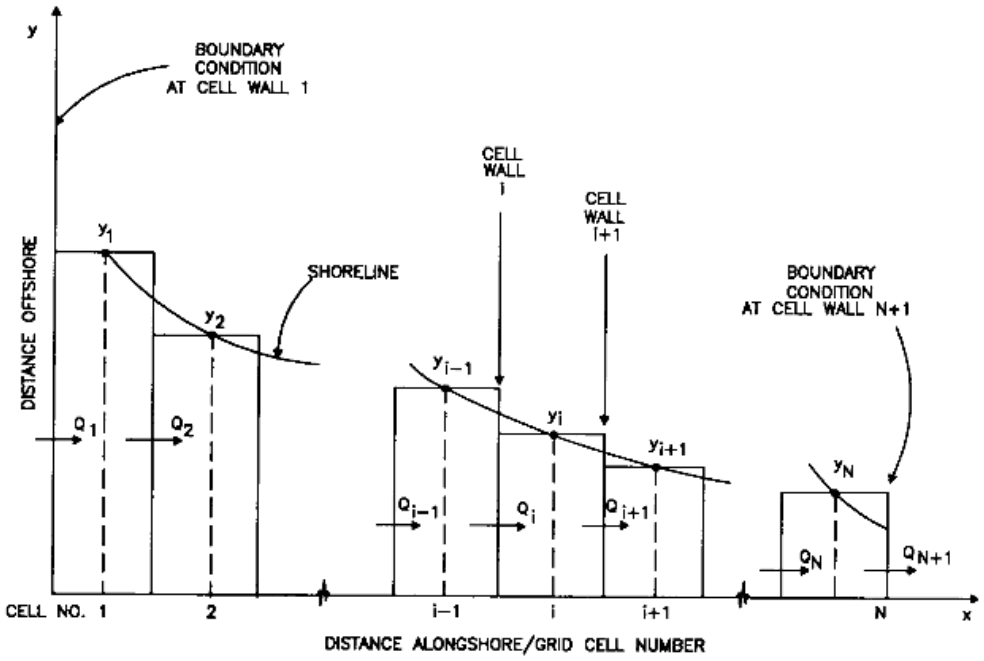
Sơ đồ sai phân ẩn

Trong phần tiếp theo, chỉ số i được dùng cho một đại lượng đặt tại đoạn lưới i bất kỳ dọc theo bãi biển. Dấu ($'$) dùng cho đại lượng ở lớp thời gian mới, trong khi đại lượng không có dấu phẩy là ở lớp thời gian hiện tại (đã biết). Giá trị y' và Q' không biết trước và cần tìm; còn giá trị q' và D'_B tuy cũng ở lớp thời gian kế tiếp nhưng đã biết giá trị.

Lược đồ ẩn Crank-Nicholson (Crank, 1975) được sử dụng trong đó $\partial Q/\partial x$ tại mỗi nút lưới được biểu diễn bởi trung bình giữa lớp thời gian hiện tại và lớp thời gian kế tiếp.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{1}{2}\left(\frac{Q'_{i+1} - Q'_i}{\Delta x} + \frac{Q_{i+1} - Q_i}{\Delta x}\right) \tag{2.29}$$

Thế P.T. (2.29) vào P.T. (2.1) đồng thời tuyến tính hoá các góc sóng vỡ trong P.T. (2.2) dưới dạng $\partial y/\partial x$ cho hệ phương trình hai ẩn y'_i và Q'_i



Hình 2.11: Lưới sai phân đan xen.

$$\begin{cases} y_i' = & B'(Q_i' - Q_{i+1}') + y_{ci} \\ Q_i' = & E_i(y_{i+1}' - y_i') + F_i \end{cases} \tag{2.30}$$

trong đó

$$B' = \frac{\Delta t}{2(D_B + D_C')\Delta x}$$

y_{ci} = Hàm số của các đại lượng đã biết là q_i và q_i'

E_i = Hàm số của chiều cao và góc sóng tới cùng các đại lượng đã biết khác

F_i = Hàm số, tương tự như E_i

Phương pháp "quét hai lần" được dùng để giải hệ phương trình (2.30). Chi tiết của phương pháp này có thể xem ở (Hanson và Kraus, 1986b).

2.3.7 Các điều kiện biên và ràng buộc

GENESIS yêu cầu cung cấp các giá trị của Q tại hai phía (hai cạnh ô 1 và ô $N+1$) tại mỗi lớp thời gian. Vai trò quan trọng của điều kiện ở chỗ nó trực tiếp chi phối vị trí đường bờ tính toán được trên lưới sai phân. Biên lý tưởng nhất được đặt tại điểm kết thúc của vận chuyển bùn cát, chẳng hạn các mũi đất dài hoặc những jetty dài và các cửa vào. Mặt khác, các công trình như đập mỏ hàn hoặc tường biển lại có thể xuất hiện trong niềm tính toán. Các công trình này làm gián đoạn vận chuyển cát dọc bờ và vị trí của đường bờ. Các ràng buộc này, vốn có vai trò trương tự như điều kiện biên, phải được tính đến trong khi chạy mô hình. Dưới đây, các điều kiện thường dùng sẽ được xét đến.

Điều kiện biên "bãi cố định"

Trước khi chạy mô hình nên vạch ra tất cả các đường bờ thực đo; trong nhiều trường hợp ta có thể phát hiện ra 1 đoạn bờ biển khá xa khu vực dự án, mà ở đó đường bờ biến đổi không đáng kể theo thời gian. Có thể vị trí biên của mô hình tại đây, và ta nói đường bờ được "ghim cố định", nếu xét về vận chuyển bùn cát thì:

$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 & \text{, đối với biên trái} \\ Q_{N+1} = Q_N & \text{, đối với biên phải} \end{cases} \tag{2.31}$$

Quan hệ này được giải thích từ P.T. (2.23): nếu tại biên $\Delta Q = 0$ thì $\Delta y = 0$; nghĩa là vị trí đường bờ không đổi. Biên loại này cần được đặt đủ xa công trình sao cho vùng gần biên không bị ảnh hưởng bởi những nhiễu động gây ra bởi công trình. Về thuật toán, xem (Hanson, 1987).

Điều kiện biên cửa ngăn

Đập mỏ hàn, jetty, đê chắn sóng liền bờ và các mũi đất có đóng vai trò ngăn chặn một phần bờ hoặc toàn bộ dòng vận chuyển cát dọc bờ, có thể được coi là một biên của mô hình nếu như một trong hai đầu lưới sai phân. Còn nếu ở niềm trong lưới, các công trình đóng vai trò hạn chế vận chuyển bùn cát và được tự động tính trong GENESIS.

Các công trình được hàm hoá dưới dạng bùn cát vận chuyển qua nó. Cần xét cả lượng cát vào và ra khỏi đoạn lưới có công trình. Chẳng hạn tại một jetty cạnh một cửa vào với luồng được nạo sâu thì bùn cát có thể chuyển qua đầu jetty lắng vào kênh khi có sóng lớn. Ngược lại cát không thể vượt qua cả luồng dẫn jetty để vào đoạn lưới. Do vậy, jetty luôn đóng một vai trò "cánh cửa" một chiều, chỉ cho cát ra khỏi chứ không cho vào đoạn lưới.

Đến năm 1991, vấn đề diễn toán điều kiện biên dạng cửa đang được chú ý nghiên cứu (Gravens và Kraus, 1989); nhưng nói chung đều quy về việc biểu diễn bùn cát vòng qua đầu công trình và qua đỉnh công trình.

Vận chuyển bùn cát qua đầu công trình

Hiện tượng chuyển cát vòng qua đầu công trình xảy ra nếu độ sâu nước tại đầu công trình D_G nhỏ hơn độ sâu cát hoạt động D_{LT}. Do đã biết trước hình dạng mặt cắt bãi biển [P.T. (2.7)] từ chiều dài công trình mà suy ra D_G. Tuy vậy, vì công trình được cài đặt trên cạnh đoạn lưới sai phân mà sẽ có hai giá trị độ sâu. Trong GENESIS, độ sâu của ô phía thượng lưu được chọn.

Để biểu diễn chuyển cát vòng qua đầu công trình, hệ số BYP được sử dụng và xác định bởi:

$$BYP = 1 - \frac{D_G}{D_{LT}}, \qquad (D_G \leq D_{LT}) \tag{2.32}$$

với ý định mô phỏng phân bố đều của vận chuyển bùn cát dọc bờ. Nếu $D_G \geq D_{LT}$ thì $BYP = 0$. Giá trị của BYP nằm trong khoảng $0 \leq BYP \leq 1$ với $BYP = 0$ tương ứng

với không có vận chuyển bùn cát vòng qua đầu công trình còn $BYP = 1$ nghĩa là toàn bộ cát được chuyển vòng qua. Giá trị cụ thể của BYP phụ thuộc vào điều kiện sóng tại mỗi lớp thời gian vì D_{LT} là hàm phụ thuộc vào chiều cao và chu kỳ sóng [P.T. (2.5)].

Vận chuyển cát qua đỉnh công trình

Hệ số thấm $PERM$ có thể dùng biểu thị vận chuyển bùn cát vượt qua đỉnh hoặc xuyên qua công trình gắn với bờ (chẳng hạn đập mỏ hàn). Một con đập liền kín và tương đối cao sẽ có $PERM = 0$, còn công trình "hoàn toàn thông suốt" có $PERM = 1$. Một giá trị được chọn trong khoảng $0 \leq PERM \leq 1$ tuỳ vào đánh giá của người chạy mô hình, dựa vào kích thước, đặc tính của công trình cũng như biên độ triều tại địa phương. Giá trị tối ưu của $PERM$ cần được xác định thông qua kiểm định mô hình.

Với các giá trị tìm được của BYP và $PERM$, GENESIS sẽ tính phần cát chuyển qua một công trình liền bờ (Hanson, 1987)

$$F = PERM(1 - BYP) + BYP \tag{2.33}$$

Chỉ số F sẽ được tính cho mọi công trình dạng mỏ hàn (liền bờ) có trong mô hình.

Tường biển

Tường biển nói riêng hay bất kỳ một tuyến không xói chắn dọc theo đường bờ, chẳng hạn vách đá, chính là rằng buộc về vị trí đường bờ do đường bờ không thể thoái lui được. Hanson và Kraus (1986b) đã phát triển phương pháp tính vị trí đường bờ tại nơi có tường biển theo ba nguyên tắc sau:

- Đường bờ phía trước một trường biển không được thoái lui quá vị trí của tường.
- Thể tích cát được bảo toàn.
- Hướng vận chuyển cát dọc bờ tại tường giống như hướng vận chuyển cát tiềm năng.

GENESIS luôn tích lượng vận chuyển cát tiềm năng dọc bờ, sau đó điều chỉnh lại ở những ô của tường biển mà đường bờ bị thoái lui vào trong. Về quy trình tính toán chi tiết, có thể xem thêm trong (Hanson và Kraus, 1986b).

Nuôi bãi

Nuôi bãi là một phương pháp phổ biến trên thế giới không những nhằm bảo vệ bờ mà nhiều tác dụng kinh tế, du lịch v.v. Nuôi bãi thường được áp dụng với những biện pháp công trình khác. Trong GENESIS, các giả thiết sau được sử dụng:

- Cát đổ có đường kính trung vị giống như cát tại chỗ;
- Dạng mặt cát cân bằng của bãi đổ tương ứng với đường kính trung vị của cát;
- Chiều cao thềm bãi của phần cát đổ giống như bãi tự nhiên.

Mặc dù ban đầu bãi được đổ với hình dáng mặt cắt bất kỳ nhưng sau một thời gian, thường là vài tuần đến vài tháng, lượng cát đổ sẽ hình thành một mặt cắt cân bằng. Từ lượng cát đổ và các dạng mặt cắt ban đầu và cân bằng, ta tìm được khoảng cách lấn ra biển của đường bờ Y_{add} (tất nhiên là cần tính đến một phần cát mịn trôi ra khỏi đới sóng vỡ). Biết thời gian tiến hành đổ cát nuôi bãi, GENESIS sẽ tính ra khoảng cách Δy mà đường bờ lấn ra trong mỗi bước thời gian.

Sự thay đổi vị trí đường bờ có thể âm (đường bờ thoái lui); nó có thể xảy ra khi có khai thác cát. Trong trường hợp này, đường bờ không thể lùi vào quá vị trí của tường biển.

2.3.8 Những vấn đề cần xét trong lưu lượng vận chuyển bùn cát dọc bờ

Phương trình (2.2) tính lưu lượng chuyển cát dọc bờ là hàm số đặc trưng sóng và hướng của đường bờ/đường đồng mức tại mỗi lớp thời gian và mỗi mắt lưới, trừ các biên đường cố định. Trong phần này có 3 vấn đề thường gặp trong thực tiễn có liên qua đến P.T. (2.2) là:

- Nhiều năng lượng chuyển cát hình thành từ nhiều nguồn sóng.
- Các lưu lượng chuyển cát dẫn xuất (lưu lượng "tịnh" và tổng cộng).
- Ngưỡng hiệu quả đối với lưu lượng chuyển cát dọc bờ (khi sóng lặng và "gần lặng").

Hai vấn đề đầu được giả quyết trong GENESIS, còn vấn đề thứ ba cần được giải quyết từ khâu chuẩn bị số liệu.

Nhiều lưu lượng chuyển cát

Những đợt sóng biển tới bờ thường được hình thành từ các nguồn khác nhau: sóng lừng (chu kỳ dài) có thể được hình thành từ những cơn bão ngoài khơi rất xa, và sóng gió (chu kỳ ngắn hơn). Trong GENESIS, mỗi dòng sóng coi như gây ra một vận chuyển bùn cát độc lập. Phép cộng đại số các dòng chuyển cát thành phần độc lập này cho ta dòng chuyển cát tổng cộng. Nói cách khác, tại mỗi nút lưới i ta có:

$$Q_i = \sum_{m=1}^{M} Q_{i,m} \tag{2.34}$$

trong đó M là số thành phần sóng.

Các lưu lượng chuyển cát dẫn xuất

Tại điểm bất kỳ trên đường bờ, gọi Q_{lt} là lưu lượng chuyển cát dọc bờ về phía trái, còn Q_{rt} là lưu lượng chuyển cát dọc bờ về phía phải. Khi đó:

- *Lưu lượng chuyển cát dọc bờ tổng cộng* Q_g được xác định là tổng lưu lượng chuyển cát dọc bờ về phía trái và về phía phải tại một vị trí nhất định (chẳng hạn, đoạn lưới thứ i) trên đường bờ tại một vị trí xác định:

$$Q_g = Q_{rt} + Q_{lt} \tag{2.35}$$

Một luồng dẫn vào cảng bị bồi lắng do cát tới từ cả hai phía là một ví dụ áp dụng Q_g

- *Lưu lượng chuyển cát dọ bờ "tịnh"* Q_n là chênh lệch giữa vận chuyển cát về phía phải và về phía trái tại một điểm duy nhất định trên đường bờ trong khoảng cách xác định.

$$Q_n = Q_{rt} - Q_{lt} \tag{2.36}$$

Lưu lượng chuyển cát tịnh là tổng vec-tơ của các lưu lượng chuyển cát và nhằm xác định xem một đoạn đường bờ biểu diễn cụ thể sẽ bồi hay xói; đây cũng là đặc trưng cần tính để theo dõi biến đổi đường bờ trong GENESIS.

Ngưỡng hiệu quả của vận chuyển cát

Từ P.T. (2.2), thành phần chính của lưu lượng chuyển cát phụ thuộc vào chiều cao và góc sóng vỡ:

$$Q \sim (H_b)^{5/2} \sin 2\theta_{bs} \tag{2.37}$$

do tốc độ truyền sóng tại vị trí sóng vỡ: $C_{gb} \sim (H_b)^{1/2}$. Nếu xét hai con sóng có cùng góc sóng vỡ và chiều cao sóng vỡ lần lượt là 1 m và 0,1 m thì con sóng 1 m sẽ lớn gấp 300 lần con sóng kia (!). Như vậy chuỗi số liệu sóng có cả lúc biểu động và biển lặng, ta có thể lược bỏ nhiều con sóng nhỏ sinh ra vận chuyển bùn cát không đáng kể đối với thay đổi đường bờ. Một ví dụ cụ thể là (Kraus và nnk., 1988).

Phương pháp được dùng trong GENESIS là tại mỗi thời điểm đo sóng, thực hiện tính truyền sóng tới đường sóng vỡ (giả thiết các đường đồng mức thẳng và song song). Nếu chiều cao sóng vỡ thấp dưới ngưỡng, ta đạt chiều cao sóng bằng 0 hoặc chu kỳ bằng (-999); cách hiệu chỉnh này cho phép bỏ qua chuyển cát đối với những con sóng quá nhỏ.

Giới hạn dưới của lượng vận chuyển cát hiệu quả tương ứng với:

$$H_b X_b V = 3{,}9 \ (\mathrm{m}^3/\mathrm{s}) \tag{2.38}$$

trong đó

X_b = bề rộng của vùng sóng vỡ

V = vận tốc trung bình của dòng ven bờ

Lấy $X_b \approx D_b/\tan\beta$ và $H_b = \gamma D_b$, bề rộng vùng sóng vỡ sẽ là $X_b = D_b/(\gamma \tan\beta)$. Với V [komar-inman-70] đề nghị công thức kinh nghiệm:

$$V = 1{,}35 \left(\frac{H_b}{2}\right) \left(\frac{\gamma_g}{H_b}\right)^{1/2} \sin 2\theta_{bs}$$

Thay tất cả vào P.T. (2.38) ta được một công thức tìm ra các điều kiện sóng không có vận chuyển cát hiệu quả:

$$H_b^{5/2} \sin 2\theta_{bs} = \frac{2 \times 3{,}9}{1{,}35} \frac{\gamma^{1/2} \tan \beta}{g^{1/2}} \tag{2.39}$$

Nếu vế trái của trong P.T. (2.39) nhỏ hơn giá trị "ngưỡng" là vế phải thì điều kiện sóng nước sâu tương ứng trong chuỗi số liệu sẽ được coi là "lặng" (không có chuyển cát hiệu quả).

Chương 3

Chương trình GENESIS

Trong chương trình này, cấu trúc giao diện và các file vào-ra của chương trình được xét đến, bao gồm các vấn đề thực tế gặp phải khi chạy chương trình GENESIS. Nhưng trước hết, những công tác chuẩn bị trước khi chạy chương trình được đề cập dưới đây.

3.1 Các bước chuẩn bị trước khi chạy GENESIS

3.1.1 Hệ toạ độ và lưới tính toán

Như đã đề cập ở trong Chương 2, việc đầu tiên là căn cứ vào bản đồ/ảnh vệ tinh của đoạn đường bờ nghiên cứu mà xác định hệ trục toạ độ. Trục x hướng dọc theo bờ và trục y hướng ra biển. Nên đặt hệ trục toạ độ sao cho tất cả các toạ độ của đường bờ đều dương. Các vị trí dọc theo bờ, sau khi có lưới, sẽ được chỉ định bằng chỉ số các đoạn lưới thay vì toạ độ thực. Một ví dụ về hệ trục và lưới như trên Hình 3.1.

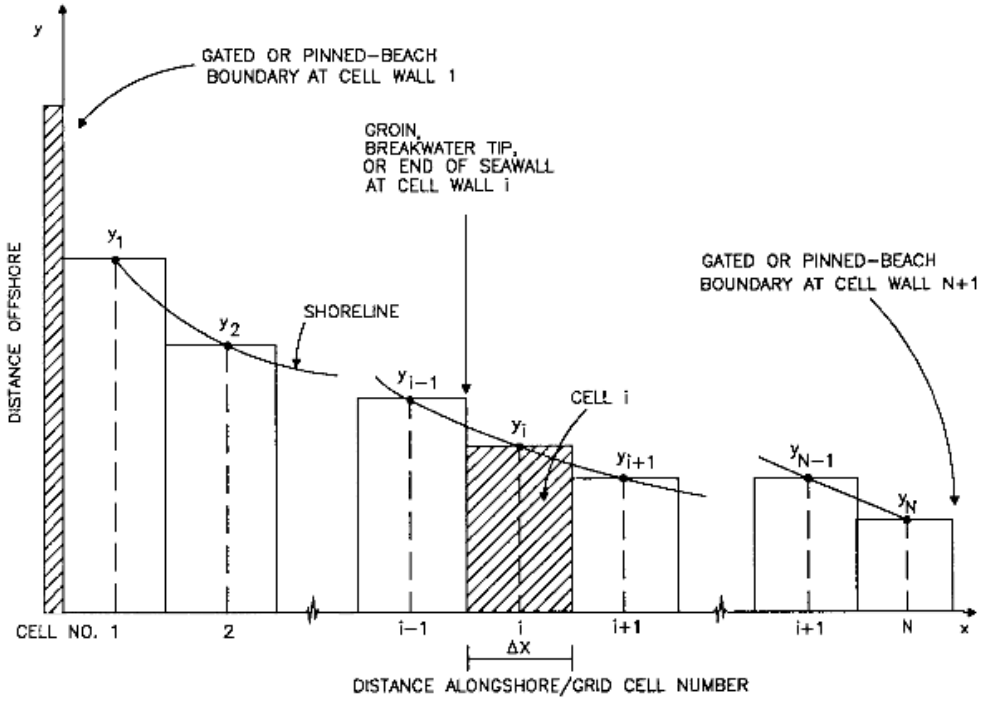
Như ở Mục 2.3.6, lưới bao gồm N ô cách bởi $N + 1$ vách ngăn. Vách ngăn 1 chính là nơi đặt biên trái của mô hình, và cũng tiếp giáp với trục y.

GENESIS phiên bản 2 sử dụng lưới khoảng cách Δx đều nhau, khoảng cách này phải đủ nhỏ để biểu thị những đặc điểm chính của đường bờ. Vị trí của các đầu đập mỏ hàn, đê chắn sóng hay tường biển được đặt ở vị trí đường ngăn (xem Hình 3.1).

Ngược lại, các vị trí nuôi bãi lại được xác định tại điểm giữa các đoạn lưới vì chúng gắn liền với thay đổi vị trí đường bờ.

Nếu một số công trình quá ngắn khi co lại để hai đầu của nó vừa vào vị trí đường ngăn thì có thể kéo dài thêm một đoạn lưới về một trong hai phía.

Tất cả vị trí của đường bờ (hiện tại và số liệu đo trong quá khứ) phải được xác định tại tâm đoạn lưới. Cũng có thể lựa chọn mô phỏng một đoạn đường bờ nhất định trong phạm vi lưới, nhưng trường hợp này đòi hỏi thận trọng khi xác định điều kiện biên, tốt nhất là chạy trước với toàn bộ đường bờ để có được vận chuyển cát tại các địa điểm cần thiết.



Hình 3.1: Ví dụ hệ trục toạ độ và lưới dùng trong GENESIS.

3.1.2 Các điều kiện biên đầu, cuối

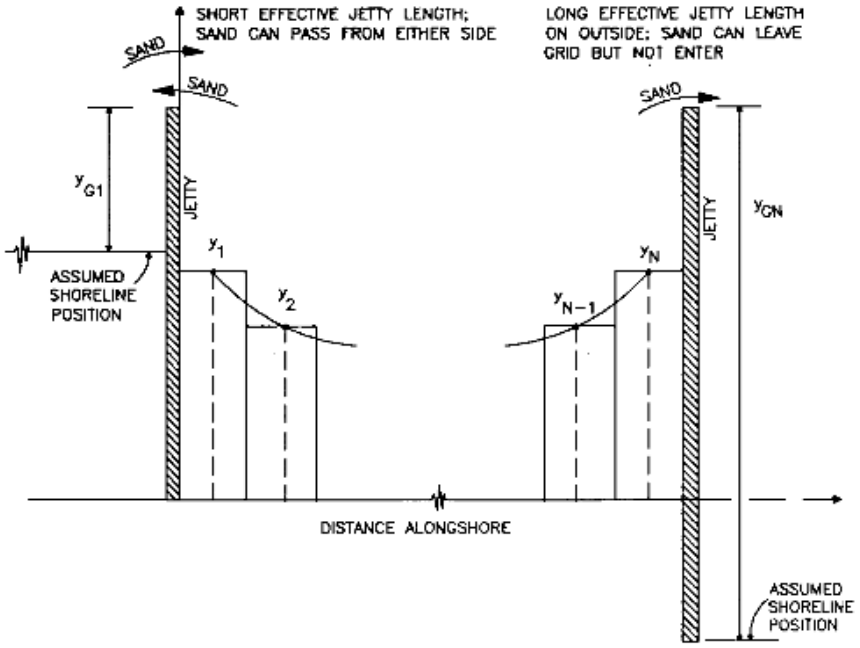
Trong phần 2.3.7, ta đã xét đến hai loại điều kiện đầu cuối: điều kiện "bãi cố định" và "dạng cửa". Trong đó, biên "bãi cố định" là thường trực, nó sẽ được dùng khi không có đập mỏ hàn, ở vị trí các đường ngăn 1 và $N + 1$, và cho phép tự do chuyển cát ở hai đầu.

Biên dạng cửa

Một điều kiện biên dạng cửa (Hình 3.2) được đặt ở đường ngăn đầu hoặc cuối nếu như ở đó có đập mỏ hàn (hoặc jetty hay đê chắn sóng liền bờ). Lượng cát chuyển qua biên này phụ thuộc vào chiều dài mỏ hàn tính đến bờ, độ dốc bãi và độ xuyên thấu của mỏ hàn.

Với biên phải ở Hình 3.2, ta cho khoảng cách từ đầu mỏ hàn đến đường bờ Y_{GN} rất lớn và độ xuyên thấu của mỏ hàn bằng 0. Nhìn từ phía ngoài biên phải vào trong, đập mỏ hàn trở nên một đường ngăn hoàn toàn không cho bùn cát di chuyển vào trong. Ngược lại, ở mặt trái cũng của đập mỏ hàn này, khoảng cách từ đầu đập đến đường bờ lại không lớn như vậy và sẽ có vận chuyển cát vượt qua đập mỏ hàn trong những điều kiện thích hợp nhất định.

Đập mỏ hàn ở biên trái Hình 3.2 có chiều dài tương tự nhưng cho phép chuyển cát qua nó theo hai chiều vì chiều dài hiệu quả Y_{G1} được đặt tương đối ngắn. Điều kiện biên dạng cửa cho phép điều chỉnh tương đối linh hoạt các lưu lượng chuyển cát qua các biên đầu, cuối.



Hình 3.2: Điều kiện biên dạng cửa.

Điều kiện biên "bãi cố định"

Điều kiện loại này biểu thị một bãi biển có xu hướng ổn định dài hạn. Nó được sử dụng ở vị trí những bãi biển cát xa công trình và dự báo không có xu hướng thay đổi đáng kể.

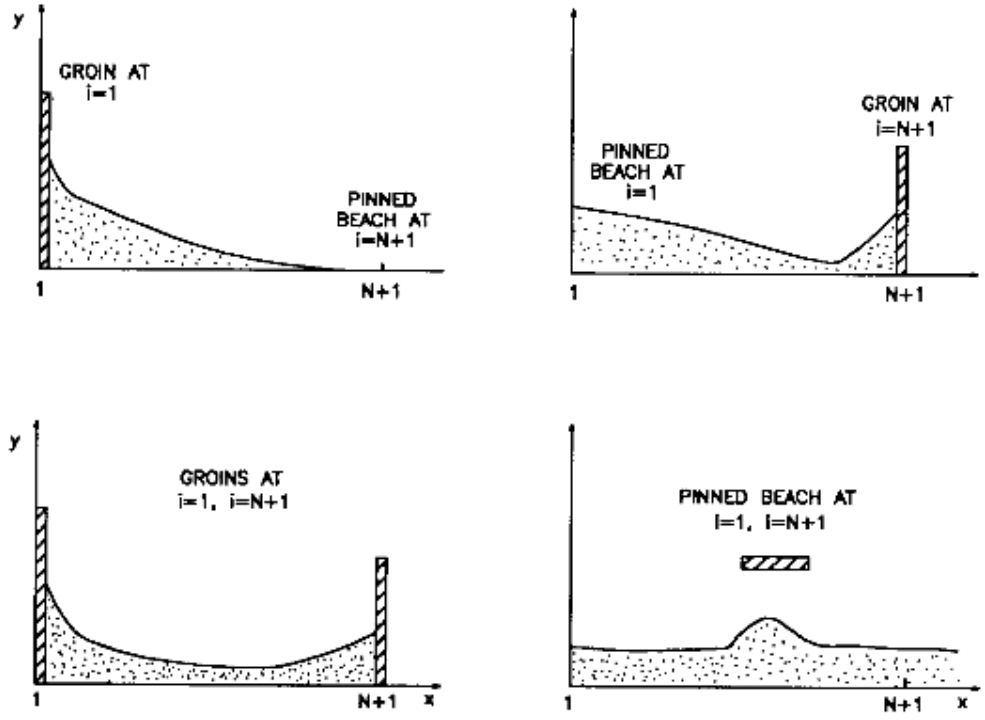
Sự tổ hợp bốn loại điều kiện đầu, cuối được minh hoạ trên Hình 3.3. Các điều kiện độc lập và được xác định trước, chỉ dựa vào đánh giá các hiện tượng vật lý diễn ra trên thực tế. Với các dự án nhỏ, điều kiện biên được đặt xa công trình (chẳng hạn một khoảng cách 5 lần chiều dài khu vực dự án về hai phía). Để đảm bảo khoảng cách này đủ xa, cần kiểm tra lại bằng cách thay đổi lại khoảng cách này. Phải thận trọng trong trường hợp thời gian mô phỏng kéo dài hoặc độ lớn của lượng chuyển cát là đáng kể.

3.2 Các file số liệu đầu vào

Để hoạt động được, GENESIS cần có 6 file số liệu đầu vào có cùng phần mở rộng. Tên của 6 file này bắt đầu bằng START, SHORL, SHORM, SEAWL, DEPTH, WAVES. Như vậy, nếu ta chọn phần mở rộng là DAT thì tên đầy đủ của các file sẽ là START.DAT, SHORL.DAT, SHORM.DAT, SEAWL.DAT, DEPTH.DAT, WAVES.DAT.

Các file START, SHORL, SHORM và WAVES nhất thiết phải có mỗt lần chạy GENESIS. Chúng lần lượt là các file về vị trí các tường biển và độ sâu vùng gần bờ.

Tất cả các file đầu vào có dạng văn bản ASCII sẽ bỏ qua chúng khi đọc số liệu. Ngay cả khi bạn không muốn viết tiêu đề/ chú thích hãy bỏ bốn dòng trống đầu tiên của file. Hãy nhập số liệu bắt đầu từ dòng thứ năm.



Hình 3.3: Tổ hợp các loại điều kiện biên đầu cuối.

Một dự án nhất thiết phải có nhiều kịch bản khác nhau. Hãy lập ra nhiều file số liệu cung ứng với các kịch bản đó, chẳng hạn START_MH (với mỏ hàn) hay START_DCS (với đê chắn sóng). Sau đó hãy copy lần lượt từng file đề vào file START và chạy cho từng trường hợp.

3.2.1 File START

File đầu vào START chứa những chỉ dẫn cơ bản trong mô phỏng diễn biến đường bờ, và đồng thời là giao diện chính giữa người dùng với GENESIS. File START bao gồm thông tin sắp xếp theo các phần dựa vào các dòng chữ (hướng dẫn, giải thích) cần được giữ nguyên trong file, và GENESIS sẽ bỏ qua các dòng này và đọc các số liệu. Ngoài ra, các nhãn (A.1, B.1, C.1, ...) phải được đặt ngay ở cột 1, vì GENESIS sẽ dò theo vị trí của chúng ở đó.

Tuy vậy, dữ liệu trong mỗi mục có thể kéo dài trên chiều dòng. Nếu có nhiều giá trị (số) trên cùng một dòng thì cần phân tách chúng bởi cac dấu cách hay dấu phẩy.

Các biến dạng mảng (vectơ) được viết cùng với dạng ngoặc đơn, chẳng hạn TOUT(I). Sau đây là toàn bộ nội dung của file START.

A. Phần thiết lập chung

Dòng A.1: TITLE: Tiêu đề chứa mô tả ngắn ngọn về dự án.

Dòng A.2: ICONV: Đơn vị tính toán, chỉ nhận một trong hai giá trị 1 hoặc 2 (các biến kiểu như vậy được coi là *cờ*). Ứng với hệ đơn vị Anh (ICONV=2), các khoảng cách, chiều dài, chiều cao, độ sâu,... đều được tính bằng *foot* (1foot = 0,3048 m).

Dòng A.3: NN,DX: chính là tổng số đoạn tính toán (N) và chiều dài mỗi đoạn (Δx). Tích số $N \times \Delta x$ cho ta chiều dài toàn bộ khu tính toán.

Dòng A.4 ISSTART, N: Các giá trị này cho phép người dùng tính toán trên một phần lưới kể từ ô thứ ISSTART cho đến ô thứ N (nếu chưa xem xét kĩ, ta nên đặt chúng lần lượt bằng 1 và NN)

Dòng A.5: DT: Bước thời gian tính toán (Δt) theo giờ, Δt càng nhỏ, kéo dài thời gian chạy máy những kết quả chính xác hơn. Nên chọn $\Delta t = 6$ h khi thiết kế, tuy vậy với tính toán sơ bộ có thể chọn Δt cỡ 24 h. Ngoài ra tuỳ theo số liệu sóng mà chọn Δt là một ước số của bước thời gian đo sóng DTW (Dòng B.6).

Dòng A.6: SIMDATS: Ngày tháng bắt đầu thực hiện mô phỏng, (sáu chữ số: Năm Năm Tháng Tháng Ngày Ngày). Nếu trong mô phỏng có nhiều giai đoạn với thay đổi cac hình dạng cấu trúc các công trình thì cần chỉ định SIMDATS cho từng giai đoạn.

Dòng A.7: SIMDATE: Thời đoạn tính toán có thể được chỉ định qua ngày tháng kết thúc mô phỏng hoặc số bước thời gian tính toán. Nếu SIMDATE $>$ 180000, nó sẽ được tính là ngày tháng kết thúc, còn nếu SIMDATE $<$ 180000 sẽ được coi là số bước thời gian mô phỏng.

Dòng A.8: NOUT: Ngoài vị trí đường bờ cuối cùng sau mô phỏng, ta cần biết diễn biến của đường bờ thông qua các vị trí của nó tại một số thời điểm trong thời đoạn mô phỏng. Số NOUT để chỉ định cho GENESIS viết NOUT vị trí đường bờ ra file OUTPT.DAT

Dòng A.9: TOUT(I): Dãy các giá trị ngày tháng (hoặc thứ tự lớp thời gian) tại đó in ra kết quả. Số giá trị phải bằng NOUT.

Dòng A.10: ISMOOTH: Dường đồng mức đại diện trong mô hình tính sóng nội tại được thực hiện qua phép trung bình trượt. Giá trị của ISMOOTH là số ô được dùng để tính trung bình hoá. Nếu ISMOOTH = 0 thì không có làm trơn, và đường đồng mức đại diện sẽ đi theo đường bờ. Nếu ISMOOTH = N thì đường đồng mức đại diện sẽ là đường thẳng song song với đường nối hai đầu của đường bờ.

Dòng A.11: IRWM: Nếu IRWM =0 sẽ không có thông báo lỗi/ cảnh báo trên màn hình và file SETUP. Tuy vậy, Trong quy hoạch và thiết kế, ta cần chú ý những trường hợp bất lợi tiềm tàng và do đó nên đặt IRWM = 1.

Dòng A.12: K2, K2: Các hệ số vận chuyển bùn cát dọc bờ này cần được hiệu chỉnh trong khâu kiểm định mô hình. Với các bãi biển cát, kinh nghiệm cho thấy $0,1 < K_1 < 1,0$ và $0,5K_1 < K_2 < 1,5K_1$. Lần chạy thử ban đầu ta có thể lấy $K_1 = 0,5$ và $K_2 = 0,25$. Hệ số K_1 chi phối độ dài thời gian tính toán và cũng là một hệ số kiểm định chính của mô hình (Chú ý: giá trị K_1và K_2 tương ứng với chiều cao của sóng căn quân phương, mặc dù số liệu sóng được nhập vào file WAVE là chiều cao sóng ý nghĩa.

Dòng A.13: IPRINT: GENESIS có thể in một dòng thông báo lên màn hình trong mỗi bước thời gian, nếu ta chọn IPRINT = 1.

B. Sóng

Dòng B.1: HCNGF,ZCNGF, ZCNGA: Hệ số thay đổi chiều cao sóng HCNGF sẽ được nhân với chiều cao sóng dọc theo đường tham chiếu (hoặc với chiều cao sóng nước sâu, nếu ta dùng mô hình truyền sóng ngoài (dòng B.3). Hệ số thay đổi hướng sóng ZCNGF có tác dụng như trên đối với hướng sóng. Lượng thay đổi hướng sóng ZCNGA sẽ được thêm vào (bớt đi, nếu ZCNGA < 0) góc sóng tới dọc đường tham chiếu (hoặc nước sâu). Các tham số thay đổi này cho phép ta giải đáp nhanh những câu hỏi có tính định hướng như "Điều gì sẽ xảy ra nếu như chiều cao sóng tăng 20%" hoặc "Điều gì xảy ra nếu như sóng tới lệch về phía Đông 5° so với tính toán?". Các giá trị mặc định là HCNGF = 1. , ZCNGF = 1. và ZCNGA = 0.

Dòng B.2: DZ: Chiều sâu của sóng tại đó nhập số liệu sóng phục vụ tính khúc xạ. Nếu không dùng mô hình khúc xạ (xem dòng B.3) thì là chiều sâu tại đó thu nhập số liệu sóng.

Dòng B.3: NWD: Giá trị này chỉ định rằng số liệu trong file sóng là tại vị trí nước sâu, chưa bị ảnh hưởng bởi khúc xạ (NWD = 0) hay hay là giá trị sóng tính toán tại đường tham chiếu , đã qua khúc xạ (NWD = 1).

Dòng B.5: ISPW: Với vùng tính toán rộng lớn, mô hình khúc xạ sóng có thể được thực hiện với độ phân giải chi tiết như lưới đường bờ. Bằng cách cho ISPW > 1, kích thước ô lưới tính sóng của GENESIS sẽ là bội số của chiều dài ô lưới, bằng cách đó giảm khối lượng tính toán sóng ISPW lần.

Dòng B.6: DTW: Trong trường hợp số liệu sóng thưa hơn bước thời gian tính toán DT thì cần chỉ định nó bằng giá trị DTW. Chẳng hạn với các ô quan trắc sóng cách nhau 24 h và thời đoạn tính toán 6 h thì DTW = 24 và DT = 6. Lưu ý rằng DTW phải là bội số của DT, chẳng hạn như ví dụ trên vì khi đó máy sẽ đọc mỗi giá trị trong biểu đo sóng 24/6 = 4 cho 4 thời đoạn tính toán trước khi chuyển sang giá trị tính toán tiếp theo trong biểu đo sóng.

Dòng B.7: NWAVES: Biến NWAVES biểu thị số nguồn sóng độc lập được dùng để tính toán. Cơ sở của việc này là số liệu đo sóng thường gồm nhiều đỉnh phổ biểu thị cho các đoạn sóng riêng rẽ. Chẳng hạn, sóng lừng truyền từ cơn bão ở xa, trong khi đó còng sóng phát sinh ngay tại chỗ.

Dòng B.8: WDATS: Từ các giá trị này, GENESIS sẽ xác định trong các file WAVES thời điểm tương ứng mô phỏng. Trong phần lớn trường hợp, không có đủ tài liệu sóng cho toàn bộ khoảng thời gian mô phỏng; và số liệu sóng trong file WAVE được coi là đại diện cho một số năm điển hình. Thông thường người ta chọn thời điểm bắt đầu file sóng (WDATS) sao cho mô phỏng sẽ bắt đầu vào ngày tháng đầu tiên trong file đó. Nếu chẳng hạn ta muốn xét đến ảnh hưởng mùa của chế độ sóng tới đường bờ thì có thể chỉnh WDATS đến các tháng khác nhau.

C. Số liệu bãi cát

Dòng C.1: D50: GENESIS sử dụng đường kính trung vị của bùn cát (d_{50}) để tính mặt cắt bãi cân bằng. Có thể tham khảo Hình 2.8 để xác định giá trị d_{50}.

Dòng C.2: ABH: Chiều cao thềm bãi trung bình (D_B) phía trên mực nước biển trung

bình hoặc mặt chuẩn được quy định trước.

Dòng C.3: DCLOS: Độ sâu giới hạn vận chuyên bùn cát D_C) chính là độ sâu giới hạn phía biển mà từ đó trở ra ngoài khơi không còn thay đổi mặt cắt ngang. Giá trị D_C cũng được tính so với cùng một mặt chuẩn như D_B.

D. Mỏ hàn không nhiễu xạ

Nếu chiều dài của mỏ hàn hoặc jetty chỉ bằng cỡ bề rộng trung bình của vùng sóng vỡ GENESIS xếp chúng vào loại "không nhiễu xạ" bởi tại đầu đập hướng sóng đã tới gần như vuông góc với bờ. Trong phần D này ta xét những đập mỏ hàn dạng như vậy.

Dòng D.1: INDG: Giá trị này "cờ" chỉ định xem có mỏ hàn ngắn trong mô hình (INDG = 1) hay không (INDG = 0). Trong trường hợp sau, các giá trị từ dòng $D3 \rightarrow D5$ sẽ được GENESIS bỏ qua.

Dòng D.3: NNDG: Số mỏ hàn không nhiễu xạ có trong lưới tính toán, kể cả các mỏ hàn ở hai đầu biên (nếu có).

Dòng D.4: IXNDG(I): Các thứ tự ô lưới (sắp xếp tăng dần) tại đó có mỏ hàn không nhiễu xạ. Số các giá trị nhập vào đây phải đúng bằng NNDG (dòng D.3).

Dòng D.5: YNDG(I): Chiều dài lần lượt của từng mỏ hàn (theo thứ tự như dòng D.4) đo từ trục x đến đầu mỏ hàn.

E. Mỏ hàn hoặc jetty có nhiễu xạ

Dòng E.1: IDG: Các mỏ hàn và jetty có chiều dài vượt quá đới sóng vỡ được coi là có gây ra nhiễu xạ. Nếu chúng có mặt trong mô hình thì giá trị của cờ IDG = 1. Còn nếu ngược lại, IDG = 0 và GENESIS sẽ bỏ qua các giá trị từ dòng $E3 \rightarrow E6$.

Dòng E.3: INDG: Số mỏ hàn hoặc jetty có nhiễu xạ trong mô hình, kể cả tại các vị trí biên (ô thứ 1 và N+1), nếu có.

Dòng E.4: IXDG(I): Các thứ tự ô lưới (sắp xếp tăng dần) tại đó có mỏ hàn/jetty có nhiễu xạ. Số các giá trị nhập vào đây phải bằng NDG (dòng E.3).

Dòng E.5: YDG(I): Chiều dài lần lượt của từng mỏ hàn có nhiễu xạ (theo thứ tự như dòng E.4) tính đến trục x.

Dòng E.6: ĐG(I): Độ sâu lần lượt tại đầu của từng mỏ hàn nhiễu xạ (theo thứ tự như dòng E.4).

F. Mỏ hàn/jetty

Phần này bao gồm thông tin chung về cả mỏ hàn nhiễu xạ lẫn không nhiễu xạ. Nếu không có bất kỳ mỏ hàn/jetty nào (cả dòng D.1 và E.1 đều có giá trị bằng 0) thì ta có thể bỏ qua các dòng $F.2 \rightarrow F.5$ sau đây.

Dòng F.2: SLOPE: Mỏ hàn dòng chuyển cát ven bờ và phần cát bị bồi lắng phía thượng lưu đập làm cho độ dốc bãi phía mỏ hàn thoải hơn so với độ dốc cân bằng. Độ đốc này, SLOPE2, cần được ước lược qua đo đạc hoặc tham khảo tài liệu khác và GENESIS sẽ dùng nó để tính chuyển cát qua đầu mỏ hàn/jetty.

Dòng F.3: PERM(I): Hệ số thẩm thấu của từng mỏ hàn/jetty xếp theo thứ tự tăng dần của vị trí ô lưới tại đó có công trình này (bất kể loại nhiễu xạ hay không nhiễu xạ). Giá trị của PERM được trọn theo kinh nghiệm, từ 0,0 với mỏ hàn "đặc" không cho chuyển cát qua đến 1,0 với mỏ hàn hoàn toàn "trong suốt". Có thể coi đây là một "thông số mô hình" cần được kiểm định. Một quy tắc đơn giản là ban đầu lấy $P = 0,0 \div 0,1$ đối với những mỏ hàn có đỉnh cao vượt mặt nước trong hầu hết mọi con triều và $P = 0,1 \div 0,5$ với mỏ hàn có những đoạn hở hoặc nước tràn qua đỉnh một thời gian trong mỗi con triều.

Dòng F.4 và F.5: YG1, YGN: Nếu một mỏ hàn/jetty được đặt ở bên mô hình (ô thứ 1 hoặc N+1), thì ta cần chỉ định các khoảng cách từ đầu công trình đến đường bờ (sát ngoài ô lưới): Y_{G1} hoặc Y_{GN}.

G. Đê chắn sóng xa bờ

Trong GENESIS, đê chắn sóng được mô phỏng như một công trình có hai đầu gây nhiễu xạ sóng. Nói chung các đê chắn sóng được đặt ngoài vùng sóng vỡ; những trong trường hợp có sóng vỡ trước khi tới chân đê thì tại hai đầu của nó, chiều cao sóng được lấy bằng $H_b = \gamma D_b$

Trong phiên bản 2.0, GENESIS chưa hỗ trợ mô phỏng bồi lắng tiến đến đê chắn sóng cũng như một số rằng buộc hình học: chiều dài của đê và khoảng cách từ đê đến bờ phải lớn hơn bước sóng. Phần Structures sẽ có thêm các ví dụ mô phỏng cách bố trí đê chắn sóng khác nhau.

Dòng G.1: IDB: Nếu có đê chắn sóng trong mô hình, IDB = 1. Ngược lại, IDB = 0 và GENESIS sẽ bỏ qua các giá trị trênm các dòng $G.3 \rightarrow G.9$.

Dòng G.3: NDB: Số đê chắn sóng trong mô hình.

Dòng G.4 và G.5: IDB1, IDBN: Các giá trị IDB1 và IDBN thông báo cho GENESIS biết rằng có đê chắn sóng qua biên trái (và phải) không (=1:có, =0: không). Với đê chắn sóng loại này ta chỉ xét nhiễu xạ qua một đầu đê nằm trong phạm vi lưới tính toán. Tuy vậy cần thận trọng bởi trong trường hợp này, GENESIS sẽ tự đặt điều kiện biên tại đó theo dạng *bãi cố định.*

Dòng G.6: IXDB(I): Vị trí các đoạn lưới tại đó có các đầu đê chắn sóng (hai giá trị cho mỗi đê chắn sóng cắt qua biên ô lưới).

Dòng G.7: YDB(I): Khoảng cách từ mỗi đầu đê chắn sóng đến trục x, lần lượt theo thứ tự từ trái qua phải (cũng như IXDB).

Dòng G.8: DDB(I): Độ sâu lần lượt tại từng đầu đê chắn sóng. Các dòng G.6, G.7 và G.8 đều có $(2 \times NDB + IDB1 + IDBN)$ giá trị, chính là số đầu đê chắn sóng có trong mô hình.

Dòng G.9: TRANDB(I): Hệ số truyền sóng K_T qua từng đê chắn sóng (nằm trong vùng tính toán), chỉ gồm NDB giá trị. TRANDB = 0 với đê chắn cao và hoàn toàn không cho sóng truyền qua, TRANDB = 1 mô tả công trình giả tưởng hoàn toàn trong suốt cho sóng truyền qua. Giá trị của TRANDB cần xác định qua thí nghiệm hiện trường hoặc kiểm định qua mô hình.

H. Tường biển

Tường biển khống chế phạm vi thoái lui của đường bờ. Thông thường GENESIS mô tả một tường biển riêng biệt bằng cách nhập giá trị -9999 vào file đầu vào SEAWL tại những vị trí không có tường dọc theo lưới tính toán.

Dòng H.1: ISW: Nếu có tường biển trong mô hình, ISW = 1 và ngược lại ISW = 0 đồng thời GENESIS bỏ qua dòng H.3 (và bỏ qua không đọc file SEAWL).

Dòng H.3: ISWBEG, ISWEND: Vị trí đoạn lưới bắt đầu và kết thúc của tường biển (dĩ nhiên là tường biển có thể được chia làm nhiều đoạn, như đã đề cập ở trên).

I. Nuôi bãi

Trường hợp có nuôi bãi thì thông tin trong các lần nuôi bãi được nhập theo thứ tự thời gian tiến hành. Các lần nuôi bãi có thể một phần trùng lặp về thời gian và vị trí. Phần bãi mới cùng độ cao thềm và đường kính hạt cát so với bãi biển ban đầu.

Người dùng cần quy đổi thể tích nuôi bãi thành khoảng cách lấn ra biển tổng cộng sau khi đổ (nhập vào dòng I.8), và GENESIS sẽ trung bình hoá trong từng bước thời gian suốt thời đoạn nuôi bãi. Nếu cần chỉ định khối lượng nuôi bãi thay đổi hướng dọc bờ, hãy đặt một số lượng nuôi bãi riêng biệt đặt cạnh nhau.

Dòng I.1:IBF: Nếu có nuôi bãi, IBF = 1. Ngược lại, IBF = 0 và GENESIS sẽ bỏ qua các dòng $I.3 \rightarrow I.8$

Dòng I.3: NBF: Số đợt nuôi bãi.

Dòng I.4 và I.5: BFDATS(I), BEDATE(I): Ngày tháng (hoặc thứ tự bước thời gian) bắt đầu và kết thúc lần lượt từng đợt nuôi bãi, xếp theo thời gian bắt đầu mỗi đợt.

Dòng I.6 và I.7: IBFS(I), IBFE(I): Thứ tự đoạn tương ứng với vị trí đầu IBFS(I) và cuối IBFS(I) của từng đợt đổ nuôi bãi (thứ tự như trên dòng I.4 và I.5).

Dòng I.8: YADD(I): Bề rộng bãi được lấn thêm ra khơi (cộng thêm vào vị trí đường bờ cũ) trong thời kỳ mỗi đợt nuôi bãi.

Về thể tích, lượng cát nuôi bãi sẽ bằng YADD (ABH + DCLOS), từ đó xác định YADD; tuy vậy cần chú ý rằng thực tế có sự thất thoát vận liệu mịn ra khơi và thềm bãi sau khi đổ có thể cao hơn bãi xung quanh. Vì vậy lượng YADD có thể nhỏ hơn tính toán ban đầu, người kỹ sư cần dựa vào kinh nghiệm để cân nhắc, điều chỉnh con số này.

3.2.2 File SHORL

File đầu vào SHORL.DAT lưu giữ vị trí của đường bờ ban đầu (lúc ban đầu tính toán). Một dự án điển hình sẽ yêu cầu ít nhất ba file SHORL, dùng cho kiểm định thẩm định và các dự án (đường bờ hiện thời). Vị trí đường bờ là tung độ (khoảng cách từ đường bờ tới trục x) và có đơn vị như mục A.2. Cần có NN giá trị toạ độ tại đường bờ, mặc dù có thể khi tính toán ta chỉ xét một đoạn trong số đó.

Các con số có nhập dưới dạng số nguyên hoặc thập phân tuỳ ý, và được phân các bởi dấu cách, dấu phẩy, hoặc kết hợp cả hai. Mỗi dòng có đúng 10 giá trị, trừ dòng cuối cùng. Bốn dòng đầu tiên trong file là các dòng chú thích.

3.2.3 File SHORM

File SHORM chứa vị trí đường bờ thực đo phục vụ cho việc kiểm định hoặc thẩm định mô hình. Cấu trúc file SHORM tương tự như file SHORL. Nếu việc tính toán chỉ thực hiện trên một phần đường bờ nhất định thì kiểm định / thẩm định cũng chỉ giới hạn trong phạm vi tương ứng.

GENESIS định nghĩa "lỗi kiểm định/thẩm định" (CVE) là trị trung bình của độ lớn sai lệch giữa vị trí đường bờ tính toán (trong file SHORC) với đường bờ thực đo (file SHORM) tại lần lượt từng đoạn đường bờ. Sự phù hợp giữa đường bờ tính toán và thực đo được gói ngọn trong số CVE; tuy vậy không nên coi nó là chỉ tiêu duy nhất cho độ phù hợp. Chẳng hạn, đường bờ tính toán có thể trùng khớp với đường bờ thực đo trên phần lớn chiều dài của chúng có thể khác biệt nghiêm trọng tại vài vị trí rất quan trọng (chẳng hạn như sát công trình), trong khi đó CVE vẫn có thể nhỏ. Tốt nhất là nên xét độ phù hợp bằng cách so sánh hai đường bằng mắt thường.

3.2.4 File SEAWL

File SEAWL chứa vị trí tung độ của tường biển (ngăn chặn không cho tường biển thoái lui sâu hơn giá trị được ổn định) Trên thực tế tường biển còn có thể là đường sá hoặc các công trình lớn chạnh theo hướng dọc bờ.

Trong file SEAWL, các giá trị -9999 tương ứng các giá trị không có tường biển. Cấu trúc của file SEAWL tương tự như file SHORL, SHORM.

3.2.5 File DEPTH

File DEPTH chỉ được đọc khi trước đó đã chạy mô hình khúc xạ sóng "ngoài" (NWD = 1 trên dòng B.3 file START) để cung cấp số liệu sóng. File DEPTH chứa độ sâu dọc theo đường tham chiếu mà từ đó, GENESIS tiếp tục tính truyền sóng bằng mô hình sóng nội tại. Các độ sâu này cần được xác định trong quá trình chạy mô hình sóng ngoài, và số liệu sóng trong file đầu vào WAVE sẽ tương ứng với các giá trị độ sâu này trên từng ô lưới. Nếu không dùng mô hình sóng "ngoài", nghĩa là thông số sóng đo được ở cùng một độ sâu (NWD = 0), file này sẽ bỏ qua không được đọc.

Cấu trúc của file DEPTH tương tự như file SHORL, SHORL hay SEAWL.

3.2.6 File WAVE

File đầu vào WAVE lưu giữ số liệu sóng; file này được đọc trong từng bước thời gían, trừ khi ta chỉ định khác đi ở dòng B.7 của file START. Chiều cao sóng ở đây là chiều cao sóng hiệu quả với đơn vị tương ứng được lựa chọn (hoặc ft). Góc sóng tới được tính bằng độ và chu kỳ sóng được tính bằng giây.

Số dòng trong file WAVE không nhất thiết ohải bằng tổng số bước thời gian. Tuy vậy, nếu trong thời gian tính toán đã đọc đến cuối file WAVE thì ở bước thời gian thì ở bước thời gian kế tiếp, máy sẽ tự động quay trở lại đầu file để đọc số liệu sóng. Một cách đơn

giản để đặt chế độ sóng đồng nhất (phục vụ tính toán sơ bộ) là chỉ một dòng số liệu trong file WAVE. Trường hợp này nên đặt B.6 trong file START, nên đặt $DTW \geq$ số bước thời gian tính toán (chẳng hạn với thời gian mô phỏng là 1 năm và $\Delta t = 6$ h thì $DTW \geq 1$ năm/6h hay $DTW \geq 1461$); nếu không chương trình sẽ liên tục quay vòng đọc số liệu từ file sóng trong mỗi bước thời gian.

Nếu sử dụng mô hình truyền sóng ngoài (NWD = 1 ở dòng B.3 trong file START) thì mỗi bước thời gian WAVE phải cung cấp:

- Chu kỳ sóng
- Chiều cao và góc sóng tới tại vị trí ngoài khơi (độ sâu DZ)
- Chiều cao và góc sóng tới tại từng điểm dọc theo đường tham chiếu ở gần bờ.

Ba đặc trưng sóng xa bờ: chu kỳ, chiều cao, góc sóng tới được nhập vào theo thứ tự như vậy trên cùng một dòng. Nếu như chu kỳ có giá trị âm GENESIS sẽ không tính sóng tại bước thời gian đó. Cách này có thể áp dụng cho những thời điểm lặng sóng (H quá nhỏ).

Nếu có đầy đủ tài liệu sóng (chiều cao sóng, hướng sóng) tại tất cả các bước thời gian tính toán thì khối lượng số liệu sẽ rất đáng kể. Vì vậy, các cặp giá trị H và Z (tức là góc tới θ) tại các điểm tính toán gần bờ được lưu trong giá trị IZH tính bởi

$$IZH = H \times 10^5 + Z \times 10 \tag{3.1}$$

Số IZH sau đó được chuyển sang dạng số thập phân. Nếu $Z < 0$ thì IZH sẽ có giá trị âm. Chẳng hạn, nếu $H = 1{,}14$ m và $Z = -6{,}5°$thì sẽ cho ta $IZH = -114065$.

Giá trị chiều cao sóng được giới hạn trong khoảng $h < 10$ m, Với độ chính xác đến cm. Góc sóng tới giới hạn trong khoảng $-90° < \theta < 90°$ với độ chính xác đến phần mười độ.

Nếu không dùng mô hình truyền sóng ngoài ($NWD = 0$), các thuật toán tính truyền sóng nước nông và khúc xạ đơn giản sẽ được dùng để chuyển sóng về sóng vỡ gần bờ. Phương pháp này coi rằng đường đồng mức thẳng và song song với đường đồng mức ngoài khơi (xem Phần V). Trong trường hợp này, với mỗi bước thời gian, file WAVES chỉ gồm số liệu sóng ngoài khơi (chu kỳ, chiều cao, hướng sóng tới). Như vậy trong file hoặc chỉ có số liệu sóng ngoài khơi nếu $NWD = 0$ (như Hình 3.4a), hoặc cả ngoải khơi gần bờ với $NWD = 1$ (Hình 3.4b).

3.2.7 Các file đầu ra

File SETUP

Kết quả xuất hiện trên màn hình khi chạy chương trình cũng được lưu vào file SETUP để tiện việc in ấn. Ngoài việc hiển thị lại các thông số cơ bản của mô hình, file SETUP còn chứa tất cả những thông số báo lỗi và cảnh báo xuất hiện trong quá trình chạy GENESIS.

Một ví dụ file SETUP như ở Hình 3.5, sau lô-gô của GENESIS là danh sách những thông số quan trọng. Tiếp theo là vị trí đường bờ ban đầu và độ dịch chuyển đường bờ tính được. Tham số CVE cho ta độ chênh lệch trung bình giữa vị trí đường bờ tính toán (SHORC) so với thực đo (SHORM) tại mỗi đoạn lưới.

```
************************************************************************
WAVES FOR ILLUSTRATIVE EXAMPLE FOR MANUAL.
FILE CONTAINS ONLY OFFSHORE WAVE DATA.  DT = 6 HR.  DX = 15 FT.
******* ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ******
2.0  1.00  -30.0  JAN 1987
2.0  1.00   00.0
2.0  1.00   00.0
3.0  1.00  -30.0
2.0  1.00   00.0
2.0  1.00   00.0
3.0  2.00   15.0
2.0  1.00   00.0
2.0  1.00   00.0
3.0  2.00   15.0
2.0  1.00   00.0
2.0  1.00   00.0
3.0  1.00   15.0
2.0  1.00   00.0
2.0  1.00   00.0
3.0  2.00   38.0
2.0  1.00   00.0
2.0 .......
```

a. File WAVES trong trường hợp không có số liệu sóng gần bờ

```
************************************************************************
WAVES FOR ILLUSTP4TIVE EXAMPLE FOR MANUAL.
FILE CONTAINS OFFSHORE & NEARSHORE WAVE DATA.  DT = 6 HR.  DX = 15 FT.
******* ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ******
  2.0  1.00 -30.0 JAN 1987
-114185-116203-118172-121160-123158-120155-172153-124121-102134-097119
-103122-113183-110201-127162-129167-125164-124146-154163-129199-112133
-124146-154163-129199-112133-116203-118172-121160-123158-120155-172153
-124121-102134-097119-125164-124146-154163-129199-112133-154163-129199
-112133-116203-118172-121160-123158-120155-172153
  2.0  1.00  00.0
-114185-116203-118172-121160-123158-120155-172153-124121-102134-097119
-103122-113183-110201-127162-129167-125164-124146-154163-129199-112133
-124146-154163-129199-112133-116203-118172-121160-123158-120155-172153
-124121-102134-097119-125164-124146-154163-129199-112133-154163-129199
-112133-116203-118172-121160-123158-120155-172153
  2.0  1.00  00.0
-114185-116203-118172-121160.......
```

b. File WAVES trong trường hợp có số liệu sóng gần bờ

Hình 3.4: Các ví dụ file WAVES.

```
(Lô gô của GENESIS)

RUN :   ILLUSTRATIVE EXAMPLE FOR MANUAL
AMERICAN CUSTOMARY UNITS
GROIN X-COORDINATES
5     15
DISTANCE TO GROIN TIPS FROM X-AXIS
230.0  200.0
GROIN PERMEABILITIES
0.0    0.1
X-COORDINATES  OF DETACHED BREAKWATER TIPS
20     30
DISTANCE TO BREAKWATER TIPS FROM X-AXIS
450.0  450.0
DETACHED BREAKWATER TRANSMISSION COEFFICIENTS
0.0
DATES OR TIME STEPS WHEN FILLS START
870101
DATES OR TIME STEPS WHEN FILLS END
870115
X-COORDINATES WHERE FILLS START
20
X-COORDINATES WHERE FILLS END
33

DX =  200.0    DT =   12.00    ISSTART =  1    N =      37    NTS =     60
NWAVES =  1    DCLOS = 15.0    ABH =    3.0    DZ =   60.0    D50 =   0.25
HCNGF = 1.0    ZCNGF =  1.0    ZCNGA =  0.0    K1 =   0.77    K2 =    0.38

SHORELINE POSITION AFTER  0.YEARS  =    60 TIME STEPS.  DATE IS  870131
100.0  101.9  107.0  120.6  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0  100.0
100.0  100.0  100.2  111.3  100.0  100.0   90.1  104.5  116.9  137.4
148.2  145.2  144.6  145.5  147.0  148.9  151.6  155.8  154.5  146.7
151.7  156.2  155.2  149.1  146.4  147.4  149.9

SHORELINE CHANGE AFTER  0.YEARS  =    60 TIME STEPS.  DATE IS  870131
 0.0    1.8    6.8   20.3   -0.4   -0.6   -0.7   -0.9   -1.1   -1.3
-1.6   -2.0   -2.1    8.5   -3.3   -3.9  -14.4   -0.8   10.7   30.2
39.9   35.7   33.7   33.0   32.8   32.8   33.3   35.2   31.4   20.8
22.8   24.1   19.6    9.7    3.0   -0.4    0.0

OUTPUT LAST TIMESTEP NO.     60 DATE IS   870131

OFFSHORE WAVE DATA INPUT:
HZ =    1.00000     T =     2.00000        ZZ =    0.000000


CALIBRATION/VERIFICATION  ERROR =     17.9221

CALCULATED VOLUMETRIC CHANGE = +5.03E+04 (YARDS3)
SIGN CONVENTION:   ‘‘-’’ => EROSION, ‘‘+’’ => ACCRETION
```

File OUTPT

File OUTPT chứa kết quả tính toán chính của lần chạy chương trình. Nội dung của file gồm có:

(a) Tiêu đề của lần chạy và vị trí (tung độ) của đường bờ ban đầu.

(b) Vị trí đường bờ tính toán tại những thời điểm định trước.

(c) Thể tích cát vận chuyển dọc bờ qua mỗi đoạn đường bờ, đơn vị m^3/năm.

(d) Chiều cao và hướng sóng vỡ tại mỗi điểm dọc bờ tính cho từng ô năng lượng

(e) Lưu lượng chuyển cát dọc bờ tại mỗi đoạn đường bờ vào bước thời gian cuối

(f) Vị trí đường bờ tính toán tại lúc kết thúc mô phỏng và các đường bao (xa nhất về phía biển và gần nhất về phía bờ) trong tất cả các vị trí bờ biên suốt thời đoạn mô phỏng.

(g) Vị trí tính toán của đường đồng mức đại diện. GENESIS chỉ xét hướng của đường này, không phải toạ độ tuyệt đối. Đường đồng mức đại diện được coi như các đường bờ 300 m về phía bờ biển.

File SHORC

File đầu ra SHORC chứa vị trí đường bờ "cuối cùng" (tại bước thời gian tính toán cuối). Hình thức của file SHORC giống như file SHORL, vì vậy ta có thể copy kết quả này làm đầu vào (đường bờ ban đầu) cho một đoạn mô phỏng kế tiếp, chẳng hạn như khi ta muốn mô phỏng trong trường hợp thay đổi cách bố trí các công trình, như ta đã đề cập trong phần Lý thuyết. Tiêu chuẩn khách quan về độ phù hợp, định lượng bởi giá trị Y_{diff}, được tính bằng chênh lệch trung bình giữa toạ độ đường bờ tính toán (trong file SHORC) với toạ độ đường bờ thực đo (file SHORM).

3.2.8 Các lỗi và cảnh báo

Sau khi chuẩn bị đầy đủ các file đầu vào, ta có thể chạy chương trình GENESIS. Nếu bạn mới dùng chương trình, có thể sẽ gặp phải lỗi khi chạy. Căn cứ vào các thông báo, cảnh báo lỗi xuất hiện trên màn hình cũng như file SETUP, có thể xử lý tuỳ từng trường hợp (xem Phụ lục C).

Một thủ thuật tránh lỗi là tháo gỡ một dự án phức tạp thành nhiều giai đoạn và chạy kiểm thử mô hình cho từng giai đoạn với vài bước thời gian. Chẳng hạn, nếu như dự án có một số công trình cùng với nuôi bãi, file START ban đầu chỉ nên có các điều kiện biên và ta chạy thử. Tiếp theo, ta có thể chỉ bổ sung vào các mỏ hàn không nhiễu xạ. Sau đó có thể thêm vào các công trình không nhiễu xạ. Cuối cùng sau khi các giai đoạn trước kia đều chạy thông, ta bổ sung nuôi bãi. Bằng cách này các lỗi sẽ bị cô lập và xử lý dễ dàng.

Thông báo lỗi

Thông báo lỗi cho ta thông tin khi có lỗi làm ngừng chương trình tính toán. Lỗi có thể xảy ra khi nhập số liệu không thống nhất (chẳng hạn chỉ định có ba mỏ hàn nhưng chỉ cho vị trí của hai mỏ hàn thôi) hoặc sự cố nghiêm trọng trong tính toán (như chạy với nhiều sóng lớn đến từ hướng quá xiên góc với đường bờ). GENESIS được xây dựng trên cơ sở các phương trình vật lý và các thuật toán phù hợp cho một giới hạn nhất định, mà ta phải tuân theo để không xảy ra lỗi.

Cảnh báo

Các cảnh báo xuất hiện khi một trạng thái bất ổn tiềm tàng bị phát hiện trong quá trình tính toán. Một cảnh báo thường thấy là thông số ổn định STAB (tức là R_S) vượt quá 5,0 tại bước thời gian bất kỳ (xem P.T. (2.28)). Nếu STAB $>$ 5,0 trong nhiều bước thời gian hay giá trị của STAB quá lớn. Với những trường hợp như vậy, kết quả sẽ dường như không chính xác và ta phải giảm bước thời gian DT.

Chương 4

Biểu diễn các công trình và nuôi bãi

4.1 Loại công trình và tác dụng của chúng

GENESIS có thể mô phỏng tác động của các công tình cũng như các biện pháp kĩ thuật khác vùng ven biển. Các loại công trình nói chung có thể biểu diễn được bao gồm: mỏ hàn, jetty, đê chắn sóng liền bờ (ở các bến cảng), đê chắn sóng xa bờ, và "biện pháp mềm" như nuôi bãi. GENESIS cho phép ta kết hợp linh hoạt các loại công trình đơn giản nói trên để tạo ra các cách bố trí phức tạp hơn, chẳng hạn như mô hình chữ T, chữ Y, và jetty với các ngạnh.

Trong mô phỏng biến đổi đường bờ, các công trình gây ra hai tác động trực tiếp:

a) Các công trình kéo dài trong phạm vi vùng sóng vỡ ngăn chặn một phần hoặc toàn bộ lượng cát di chuyển dọc bờ phía thượng lưu công trình, làm giảm lượng cát cấp cho phía hạ lưu. Tác động ngăn chặn có thể là trực tiếp, như với các mỏ hàn hoặc jetty, hoặc gián tiếp, như vùng nước lặng phía khuất của đập phá sóng xa bờ.

b) Các đê chắn sóng tách bờ và công trình với một đầu vươn ra ngoài vùng sóng vỡ, tạo ra nhiễu xạ sóng. Chính sự nhiễu xạ này tạo ra sự thay đổi điều kiện sóng (chiều cao sóng) tại từng vị trị nói riêng, ảnh hưởng đến vận chuyển cát dọc bờ.

4.2 Số đoạn lưới của công trình

Đối với mô hình hoá cho thiết kế, nên có ít nhất là chín mắt lưới (tám đoạn lưới) sau mỗi đê chắn sóng hoặc giữa các mỏ hàn liền kề nhau. Trong giai đoạn đánh giá sơ bộ hay tính toán cho một phạm vi đường bờ dài và chi tiết tại mỗi công trình là không quan trọng, vẫn nên có ít nhất bốn đoạn lưới.

Độ dài đoạn lưới trong mô hình cần được lựa chọn sau khi cân nhắc bốn điều kiện sau:

a) Yêu cầu về độ phân giải

b) Độ chính xác của vị trí đường bờ thực đo và các số liệu khác

c) Độ tin cậy mong đợi của dự đoán (Phần lớn phụ thuộc vào thẩm định và chất lượng của số liệu sóng).

d) Thời gian chạy máy tính (phụ thuộc vào bước thời gian, số đoạn lưới và thời đoạn mô phỏng).

Số công trình có thể được tính đến trong mô hình phụ thuộc vào cấu hình cụ thể của GENESIS, chẳng hạn với GENESIS:

a) Số ô lưới tối đa: 60

b) số mỏ hàn (không nhiễu xạ + nhiễu xạ) tối đa: 70

c) Số đê chắn sóng tách bờ: 20

d) Số đợt nuôi bãi: 50

Lưu ý rằng thời gian tính toán sẽ tăng lên đáng kể khi thêm vào các công trình nhiễu xạ.

4.3 Biểu diễn các công trình

Phần này trình bày những khả năng cũng như hạn chế của GENESIS trong việc biểu diễn các công trình. Những ví dụ được đưa ra là sự biểu diễn được lí tưởng hoá của những cách bố trí công trình khác nhau. Lí thuyết "ô năng lượng sóng" và "miền tính toán vận chuyển" đã đề cập đến trong Mục 2.3.4, là cơ sở cho việc biểu diễn ảnh hưởng của công trình. Lưu ý rằng trong mô hình, các công trình được coi là "rất mảnh", chẳng hạn các mỏ hàn/jetty đặt tại đường phân chia các đoạn lưới và không đủ dày như một đoạn lưới.

Có bốn quy tắc đặt công trình như sau:

a) Vị trí của công trình được xác định bởi vị trí các đỉnh của nó, đặt tại vách các đoạn lưới.

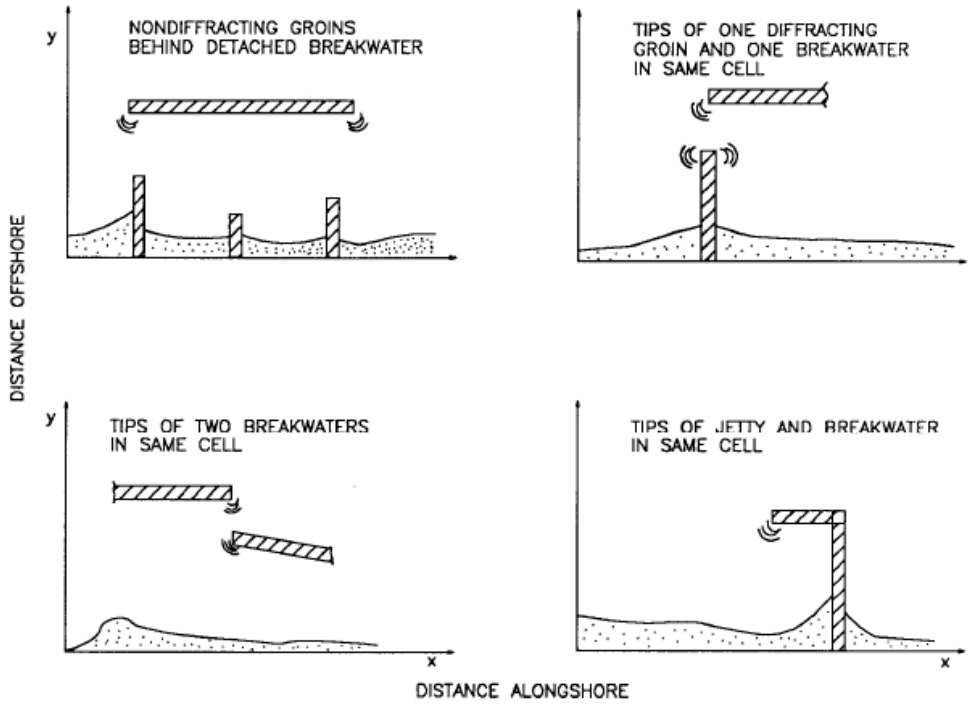
b) Nếu một biên (tại vách số 1 hoặc $N + 1$) không được ta chỉ định cụ thể là mỏ hàn, GENESIS sẽ tự động áp dụng một điều kiện biên "bãi cố định".

c) Cần có ít nhất hai đoạn lưới giữa các mỏ hàn. Mỏ hàn không thể đặt trên đoạn sát cạnh biên mô hình.

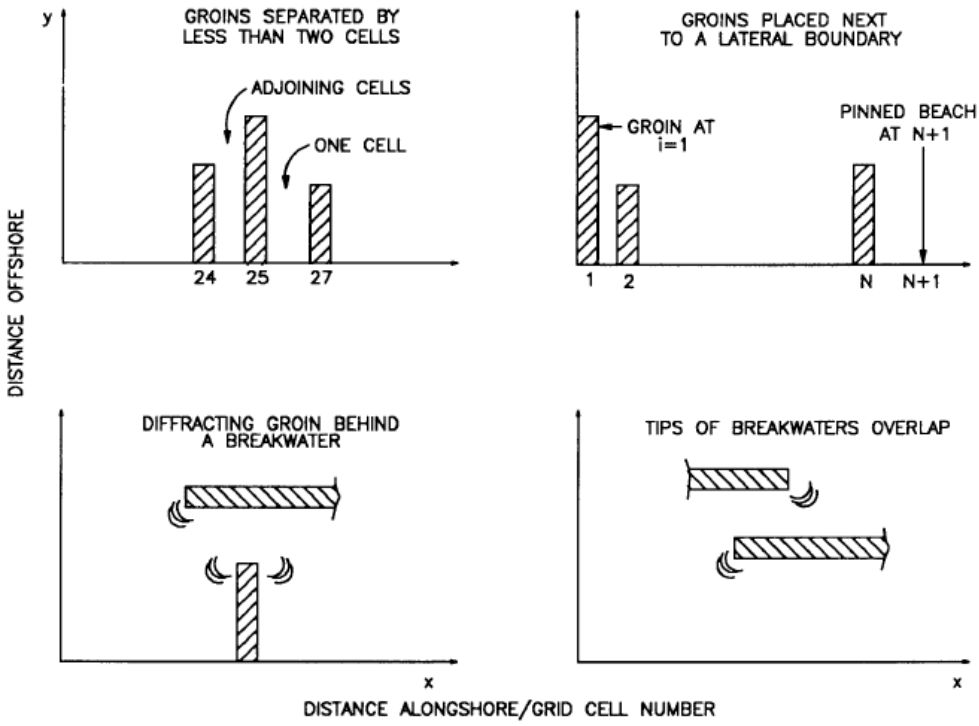
d) Vị trí của các đầu công trình nhiễu xạ có thể trùng nhau (cùng trên một vách lưới), nhưng công trình không được chồng chéo.

Các vị trí hợp lệ của công trình

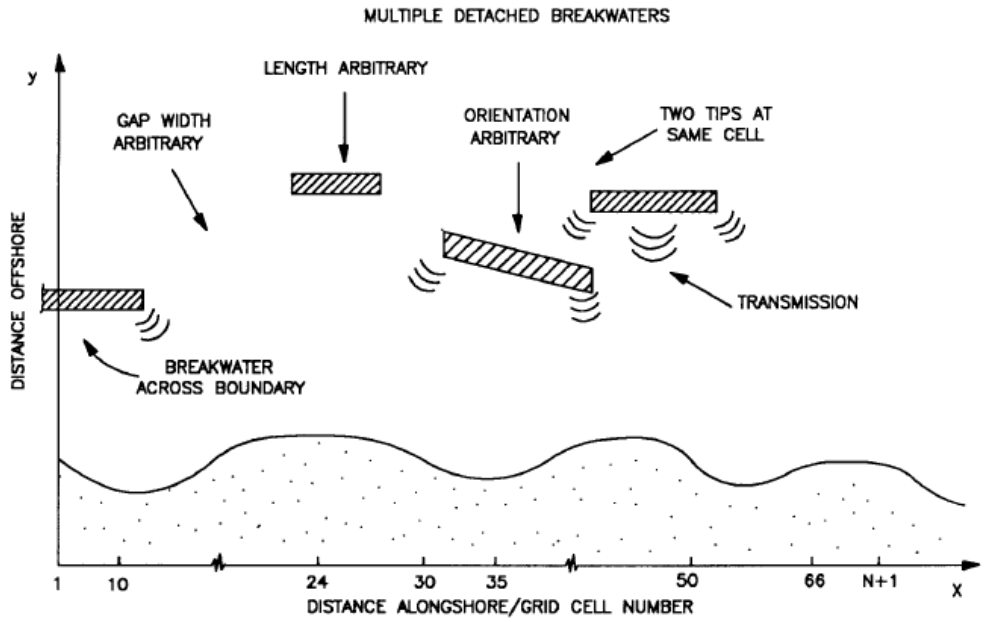
Hình 4.1 cho thấy các cách đặt công trình hợp lệ. Các mỏ hàn không nhiễu xạ có thể được đặt sau đê chắn sóng (nhưng mỏ hàn nhiễu xạ thì không thể). Ngoài ra, các đầu công trình có thể nằm trên cùng một ô lưới và thậm chí có thể "trùng nhau" (có cùng khoảng cách từ mỗi đầu công trình tới đường bờ). Từ đó ta có thể tạo ra các công trình phức tạp như mỏ hàn chữ T, chữ Y, v.v.



Hình 4.1: Ví dụ về các cách đặt công trình hợp lệ.



Hình 4.2: Ví dụ về các cách đặt công trình không hợp lệ.



Hình 4.3: Các tham số gắn với đê chắn sóng

Các vị trí không hợp lệ của công trình

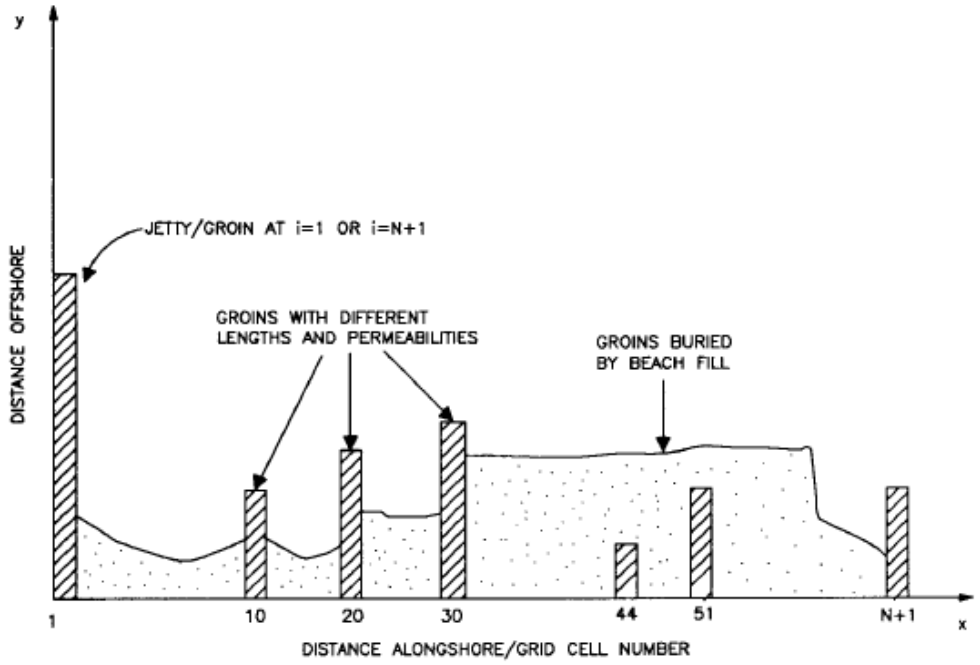
Hình 4.2 minh hoạ những hạn chế chính trong cách đặt công trình. Mỏ hàn phải được đặt cách nhau ít nhất là hai đoạn lưới, (nói chung điều này thường thoả mãn trên thực tế). Mỏ hàn không được đặt sát biên (cả biên đóng lẫn biên mở). Các công trình nhiễu xạ không được xen kẽ với nhau về vị trí (trừ trường hợp các đỉnh trùng nhau như trên Hình 4.1.

Đê chắn sóng

Hình 4.3 minh hoạ các đê chắn sóng với tham số thay đổi: chiều dài, hệ số truyền sóng qua, hướng đặt, khoảng cách xa bờ, và khoảng cách giữa hai đê chắn sóng trong cùng một dãy. Đê chắn sóng cũng có thể cát qua biên mô hình, nhưng trường hợp phức tạp này cần được mô phỏng cẩn thận. Một chú ý nữa là nếu trong quá trình chạy, đường bờ tiến ra phía biển và chạm vào đê chắn sóng (hiện tượng *tombolo*) thì chương trình sẽ dừng lại.

Mỏ hàn

Hình 4.4 minh hoạ các cách biểu mỏ hàn được chấp nhận trong mô hình. Mỏ hàn đơn có thể có chiều dài tuỳ ý và phải được đặt song song với trục y trong GENESIS. Mỏ hàn được coi là kéo dài vô hạn về phía đất liền (với toạ độ -9999 m), và không bao giờ bị xói đến gốc mỏ hàn. Tuy vậy, mỏ hàn có thể bị bồi lấp hoàn toàn, chẳng hạn khi nuôi bãi và khôi phục lại hoạt động khi sóng tác động gây xói.



Hình 4.4: Cách đặt hợp lệ các mỏ hàn đơn giản

4.3.1 Các cách bố trí phức tạp của mỏ hàn

Các mỏ hàn với cách bố trí phức tạp như mỏ hàn chữ Y, chữ T và có thể được biểu diễn bằng cách đặt các mỏ hàn nhiễu xạ và đê chắn sóng trùng với nhau. Hình 4.5 cho thấy ví dụ biểu diễn các công trình phức tạp, và Bảng 3 liệt kê các thông số tương ứng trong file START.

Trong ví dụ ở Hình 4.5 có một số điều đáng lưu ý:

a) Tại những vị trí tiếp nối của các công trình, các biến kiểu IX, Y, và D phải giống hệt nhau [1]

b) Đầu ngang của mỏ hàn T (Hình 4.5b) phải được biểu diễn bởi đê chắn sóng tách bờ, mỗi cái đều nối vói mỏ hàn. Nếu không biểu diễn như vậy, chương trình sẽ không chấp nhận hai công trình nhiễu xạ chồng chéo nhau (như Hình 4.2).

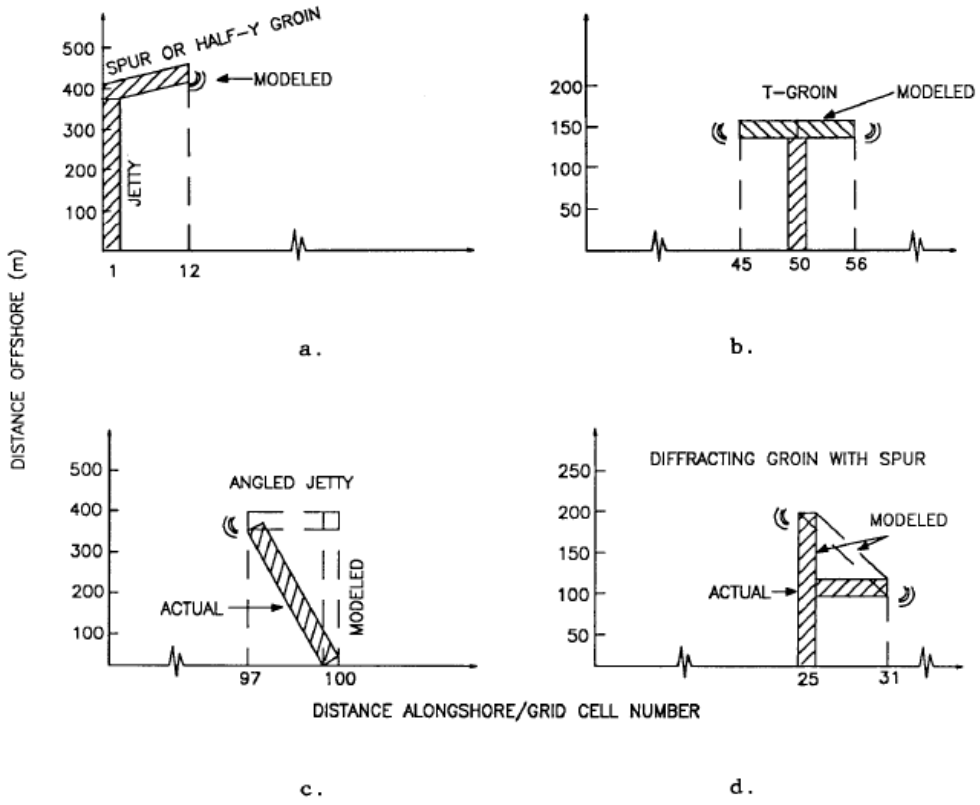
c) Kết nói giữa hai đê chắn sóng tách bờ phải chính xác ở cùng một vị trí (trên Hình 4.5b).

d) Tất cả mỏ hàn gắn với đê chắn sóng phải là loại mỏ hàn gây nhiễu xạ.

* Xem Hình 4.5

** Giá trị chọn tuỳ ý

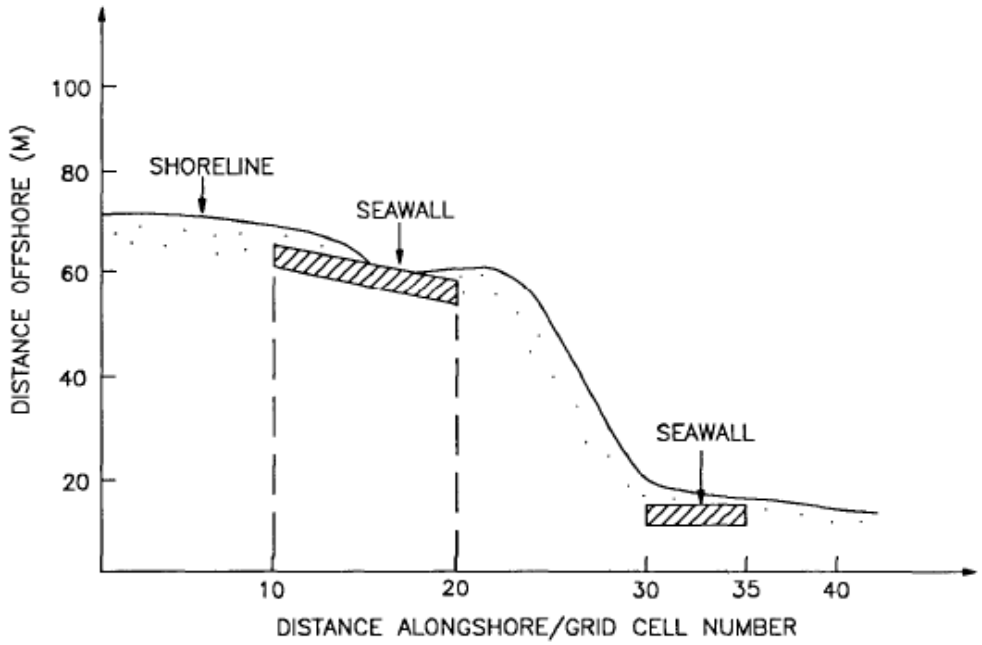
[1] Gồm có IXNDG, IXDG, IXDB, YNDG, YDG, YDB, DDG, DDB.



Hình 4.5: Ví dụ các mỏ hàn và jetty có cách bố trí phức tạp

Bảng 4.1: Đầu vào trong file START của các ví dụ công trình có cách bố trí phức tạp

Biến	Mỏ hàn có góc (a)	Mỏ hàn T (b)	Jetty xiên góc (c)	Mỏ hàn n/xạ có ngạnh (d)
IDG	1	1	1	1
NDG	1	1	1	1
IXDG(I)	1	50	100	25
YDG(I)	350	135	410	225
DDG(I)**	3,1	2,0	3,5	1,7
YG1**	120	-	-	-
YGN**	-	-	630	-
IDB	1	1	1	1
NDB	1	2	1	1
IXDB(I)	1 12	45 50 50 56	97 100	25 31
YDB(I)	350 400	135 135 135 135	410 410	225 135
DDB(I)**	3,1 3,5	1,8 2,0 2,0 2,3	3,7 3,5	1,7 1,3



Hình 4.6: Ví dụ minh hoạ cách bố trí tường biển đơn giản.

4.3.2 Tường biển

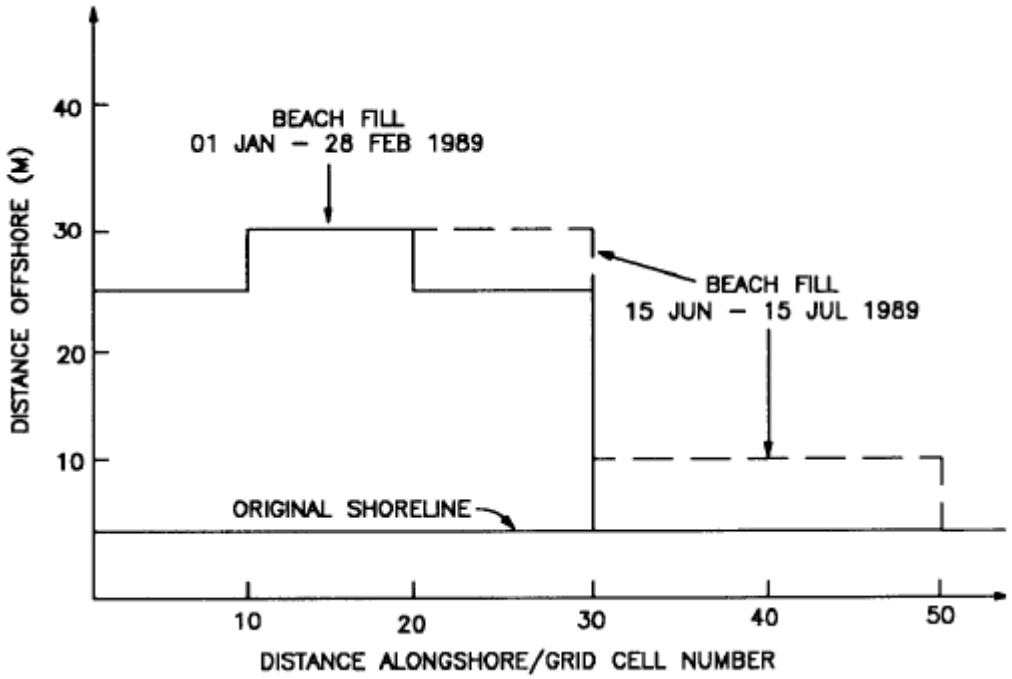
Các đoạn tường biển có tác dụng có thể được đặt ở vị trí bất kỳ trên lưới. Ta có thể biểu diễn nhiều đoạn đường biển bằng cách đặt các giá trị -9999 (m) trong dãy số vị trí tường biển dọc theo bờ. Hình 4.6 cùng với bảng số sau đây là ví dụ biểu diễn hai đoạn tường biển ngắn trong GENESIS. Chú ý rằng tường biển không nhất thiết phải thẳng mà có thể theo đường cong song song với đường bờ, chẳng hạn như kè đá đổ. Dưới đây là các giá trị y cần nhập vào file SEAWL.

```
-9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999     60
  589     58     57     56     55     54     53     52     51     50
-9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999     10
   10     10     10     10     10  -9999  -9999  -9999  -9999  -9999
```

4.3.3 Nuôi bãi

Các đợt đổ cát nuôi bãi có thể thực hiện ở vị trí bất kì trên bãi biển và có thể chồng chéo nhau về cả không gian và thời gian. Một khi khối lượng cát được chỉ định, GENESIS sẽ quy ra khoảng cách trung bình mà đường bờ sẽ tiến ra trong mỗi bước thời gian.

Các giá trị sau đây trong file START.DAT biểu thị cho nuôi bãi trên Hình 4.7:



Hình 4.7: Ví dụ minh hoạ trường hợp đổ cát đơn giản

```
IBF:         1
NBF:         3
BFDATS(I):   890101   890101   890615
BFDATE(I):   890228   890228   890715
IBFS(I):     1        10       20
TBFE(I):     30       20       60
YADD(I):     20       5        5
```

Ngoài biểu diễn hai đợt đổ cát chồng lên nhau (một lượng 20 m đổ vào đoạn $1 \rightarrow 30$ và lượng 10 m đổ vào đoạn $10 \rightarrow 20$), ta có thể phân tách thành ba lần đổ nối tiếp nhau. Khi đó cần nhập số liệu đầu vào như sau:

```
IBF:         1
NBF:         4
BFDATS(I):   890101   890101   890101   890615
BFDATE(I):   890228   890228   890228   890715
IBFS(I):     1        10       20       20
TBFE(I):     10       20       30       60
YADD(I):     20       25       20       5
```

Cần chú ý rằng các giá trị trên cùng một cột đều thuộc một lần đổ. Còn các giá trị trên một dòng thì không nhất thiết sắp xếp theo trình tự thời gian.

4.3.4 Cấu hình của các công trình thay đổi theo thời gian

Trong nhiều dự án có công trình được xây dựng, sửa đổi, dỡ bỏ hoặc phá huỷ diễn ra cùng với biến đổi đường bờ. Trong trường hợp này cần chia quá trình mô phỏng ra thành nhiều giai đoạn. File START với cách bố trí công trình ban đầu sẽ có tác dụng trong giai đoạn thứ nhất, đến khi bắt đầu có thay đổi công trình. File SHORC (đường bờ tính toán) vừa được tạo thành sẽ được vận chuyển sang thành file SHORL (đường bờ ban đầu) của giai đoạn mô phỏng tiếp theo, với một file START khác tương ứng với cách bố trí mới. Cách làm này được lặp lại, để diễn tả nhiều giai đoạn thay đổi của cách bố trí công trình cũng như điều kiện. Thông thường hệ điều hành máy tính sẽ cho phép ta tạo một file *batch* giúp cho tự động quá chuỗi tính toán gồm nhiều giai đoạn.

Chương 5

Nghiên cứu cụ thể cho dự án tại Lakeview, Ohio, Hoa Kỳ

5.1 Giới thiệu

Toàn bộ chương này nghiên cứu cho một dự án trong đó có áp dụng chương trình GENESIS, đồng thời cũng đề cập đến các kỹ năng vận hành mô hình. Dự án Lakeview tại Lorain, bang Ohio nằm bên bờ hồ Erie. Công viên Lakeview ở cách cảng Lorain khoảng 800 m về phía Tây. Đường bờ ở đây thiếu cát tự nhiên, thậm chí một số đoạn bờ không có bãi cát. Trước tình hình này chính quyền địa phương muốn bảo vệ công viên khỏi xói lở và tạo ra một bãi cát phục vụ giải trí.

Dù tài liệu về dự án là khá đủ, số liệu sóng thực đo còn thiếu và cần được tổng hợp từ tính toán *hindcast* cùng một số ít số liệu đo được. Dự án có quy mô nhỏ và đơn giản vừa tầm cho một ví dụ minh họa ứng dụng GENESIS.

Các tài liệu khái quát về khu vực dự án (điều kiện tự nhiên, dân sinh, xã hội) cũng như quy trình thiết kế đã có đầy đủ (USAED, 1975; Walker và nnk., 1980). Pope và Rowen (1983) báo cáo kết quả một đợt theo dõi hiện trường kéo dài 5 năm, đánh giá hiệu quả dự án thông qua tính thay đổi lượng cát và diễn biến đường bờ. Trong phần tiếp theo, một số nội dung trong các tài liệu này cũng được đề cập đến trong việc xây dựng mô hình tính toán.

Đối với một khu vực như Lorain, việc duy trì bãi cần phải kết hợp đổ bãi và duy trì bảo dưỡng định kỳ. Tuy vậy, khoảng đường bờ lấn ra hồ thường bị san bằng bởi những con sóng và do đó đoạn bờ nên được chắn lại bởi các mỏ hàn. Đồng thời mỏ hàn ít gây ảnh hưởng đến đoạn đường bờ kế bên, vì nói chung trong vùng không có cát để xảy ra xói. Ta cũng cần xét đến vận chuuyển cát ngang bờ. Chế độ sóng trong vùng hồ bị chi phối bởi những sóng có chiều cao lớn, chu kì sóng ngắn được phát sinh từ những đà gió ngắn trong những cơn bão nhỏ xảy ra thường xuyên. Kết quả là sóng lớn có xu hướng đẩy bùn cát ra xa bờ, trong khi những cơn sóng lừng có chu kì dài, suốt trong mùa hè với xu hướng chuyển cát về phía bờ cũng không đủ bù đắp cho lượng mất đi. Như vậy bờ đang thiếu cát, và lượng cát bị đẩy ra xa bờ sẽ phân tán và không trở về. Vì vậy một suy nghĩ logic

là bảo vệ lượng cát bằng những đập chắn sóng tách bờ để giảm năng lượng sóng tới đồng thời giữ cát không bị trôi ra xa bờ.

Dự án này, thực hiện năm 1977, là công trình có đê chắn sóng đầu tiên với mục đích ổn định bãi phục vụ giải trí đầu tiên có ở Hoa Kỳ (Hình 5.3).

Hướng vận chuyển cát tổng cộng dọc bờ trong khu vực là từ Đông sang Tây, như ta có thể suy luận từ đà gió trên hồ Erie (Hình 5.1), với lượng vận chuyển tiềm năng ước tính lên tới 45900 m^3. Tuy vậy do sóng từ phí Đông bị chắn khuất phía sau các đê chắn sóng của cảng Lorain, thực tế lượng chuyển cát qua Lakeview lại có hướng từ Tây sang Đông và chỉ là 3820 đến 6120 m^3/năm do thiếu hụt cát. Chính sự thiếu hụt cát tự nhiên này mà bờ bị xói mạnh.

Nỗ lực ban đầu để bảo vệ tài sản nơi đây là xây dựng các mỏ hàn và tường chắn nhưng sự sửa chữa thường xuyên cũng không thể ngăn được xói lở. Sóng bão trong thời kỳ nước hồ dâng cao suốt những năm 1970 đã phá hoại bờ, làm xói chân và sập tường chắn ở Lakeview cùng nhà tắm của khu vực.

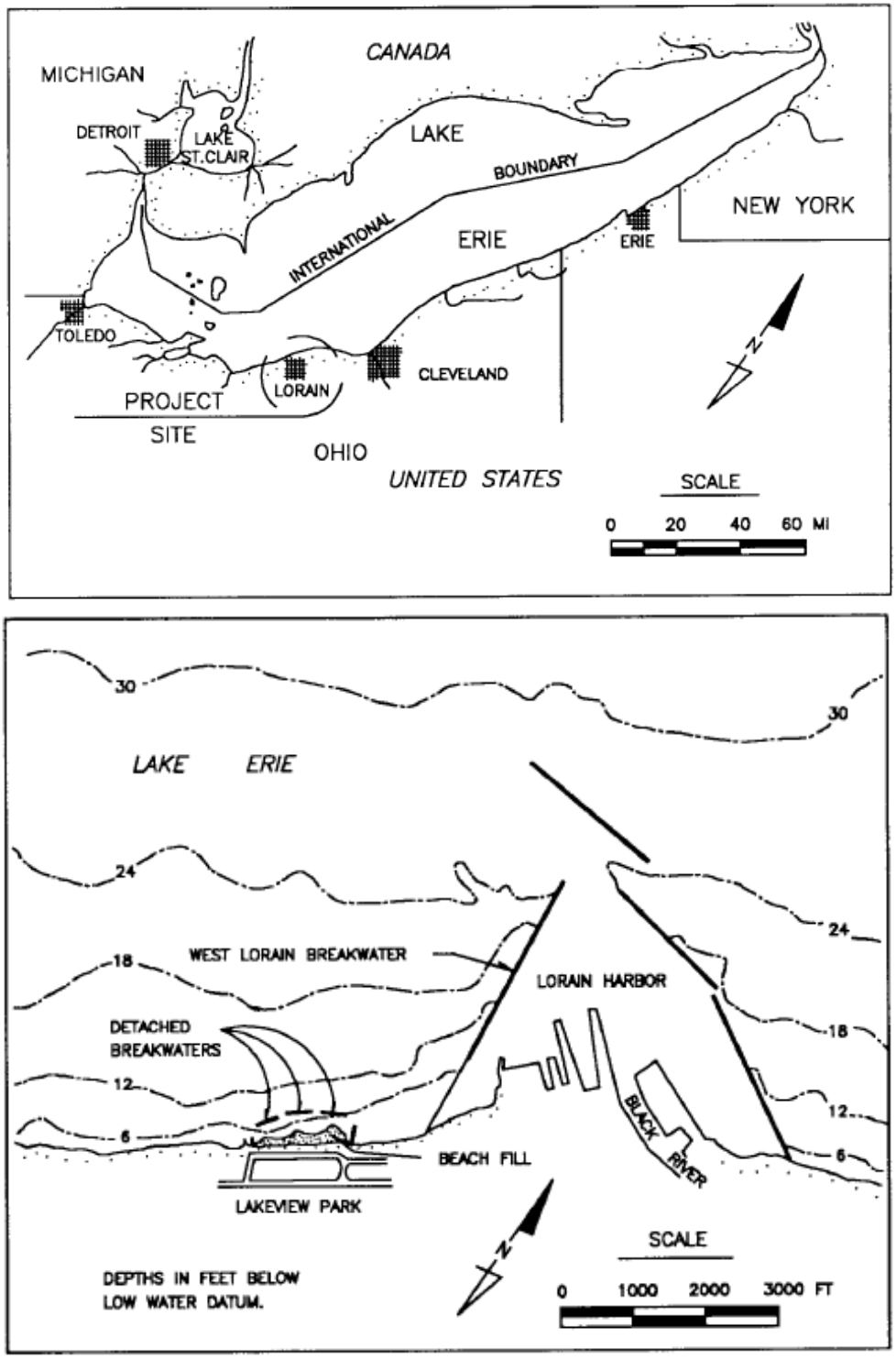
5.2 Giải pháp thực hiện trong dự án

Để thực hiện mục tiêu đề ra, một số kế hoạch được thiết lập bao gồm nuôi bãi, mỏ hàn và đê chắn sóng; kế hoạch được xây dựng năm 1974 trong nghiên cứu kéo dài một năm mà không phải sử dụng mô hình toán hay vật lý nào, với kết quả là báo cáo GDM (USAED, 1975). Dự án được hoàn thành tháng 10/1977 và từ đó bắt đầu một thời gian 5 năm. Việc đổ cát nhằm bảo vệ công viên và tạo ra bãi cát nhằm phục vụ giải trí, còn các đập chắn sóng tách bờ và mỏ hàn là để giữ lượng cát được đổ. Dự án đã thành công; bãi cát đã ổn định và lượng cát bổ sung nuôi bãi trong vòng 5 năm đầu tiên kể từ tháng 10/1977 chỉ khoảng 35% khối lượng ước tính.

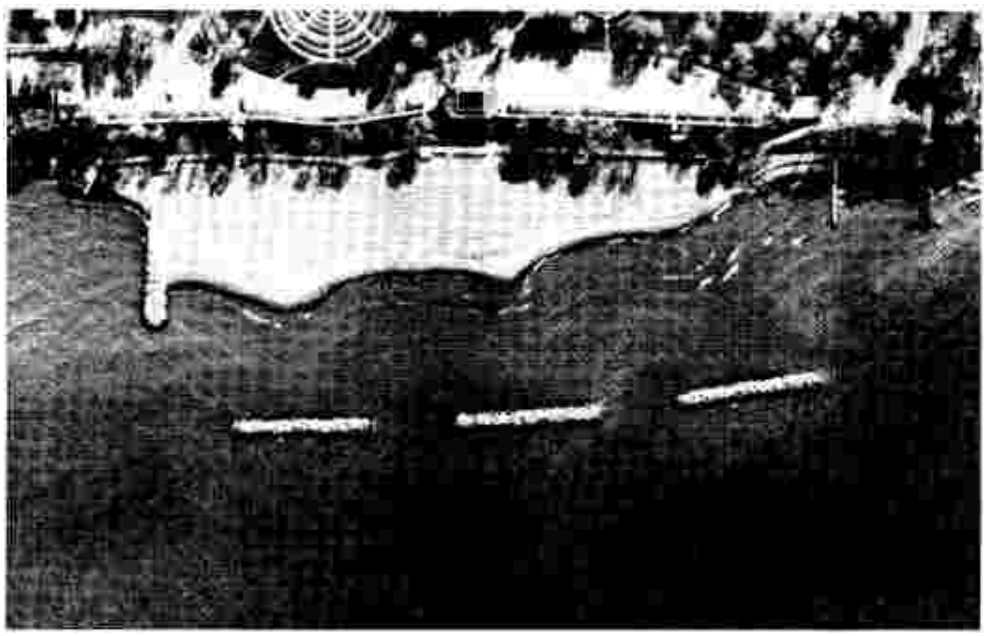
5.2.1 Giải pháp công trình và nuôi bãi

Hình 5.3 cho thấy dự án ba đê chắn sóng tách bờ bằng đá đổ và hai đập mỏ hàn để chắn giữ lượng cát đổ nuôi bãi. Chiều dài bãi được tính là khoảng cách giữa hai mỏ hàn, bằng 381 m, và khoảng cách trung bình từ kè bờ công viên tới đê chắn sóng là 152 m. Mỗi đê chắn sóng dài 76,2 m và cách đều nhau một koảng 48,8 m. Độ sâu nước tại đê chắn sóng biến đổi từ 3,0 m đến 4,0 m; tuỳ theo biến đổi mực nước hồ. Các đê chắn sóng có cao trình đỉnh là 1,83 m phía trên mức nước hồ bình quân nhiều năm. Mỏ hàn phía Tây, bằng bê-tông dài 50,0 m và mỏ hàn phía Đông, một mỏ hàn kết hợp bê tông và đá đổ, dài 110 m, có tác dụng ngăn chặn cát thoát ra khỏi khu vực dự án. Ngoại trừ một mỏ hàn nhỏ nằm bên cạnh phía Tây của khu vực dự án, dọc bờ hai phía hầu như không có bãi.

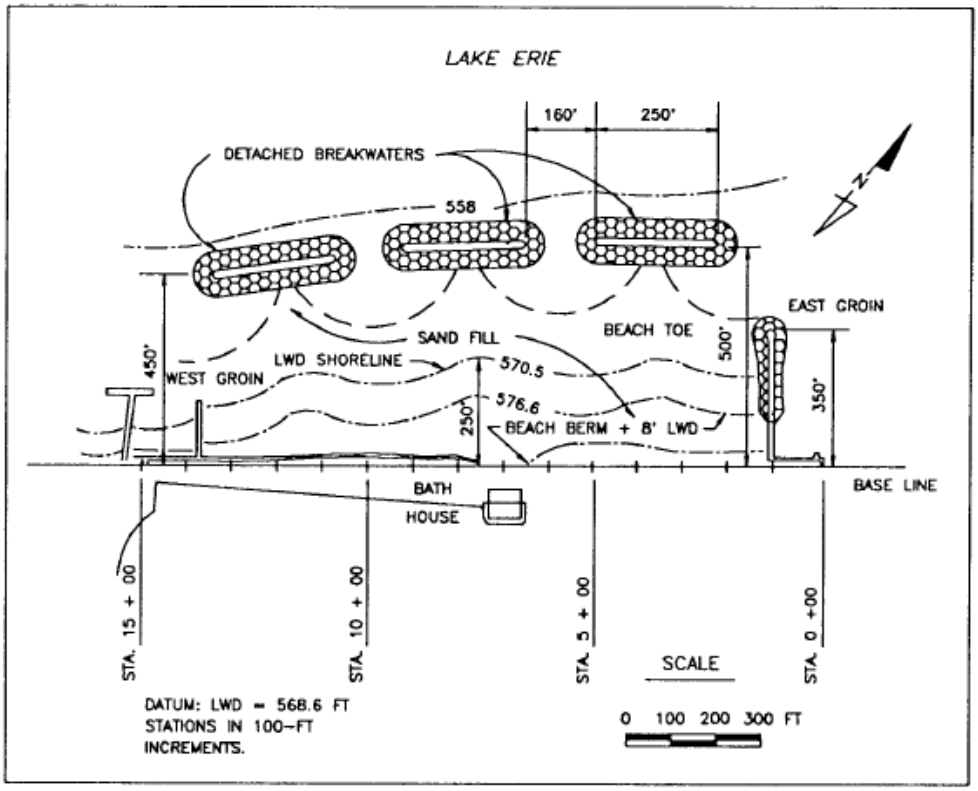
Lượng nuôi bãi ban đầu là 84100 m^3 với cao trình thềm bãi là +2,44 m. Sau khi đổ cát đã xảy ra hiện tượng xói lở gần phía Tây và khu vực này được bổ sung cát với khối lượng 4590 m^3 vào tháng 7/1980 và 2290 m^3 nữa vào tháng 9/1981. Tuy vậy, thật bất ngờ là tổng lượng cát đổ lại ổn định và thậm chí đã có một chút tăng trong thể tích bãi hàng năm (2290 m^3/năm trong suốt 5 năm theo dõi, ngoài hai lần bổ sung cát nói trên). Trong



Hình 5.1: Sơ đồ khu vực dự án Lorain, Ohio



Hình 5.2: Ảnh hàng không của công viên Lakeview, 17/11/1979



Hình 5.3: Bản vẽ thiết kế dự án Lakeview

khi thiết kế, lượng cát thất thoát hàng năm được dự tính là 3820 m^3, gần bằng 5% khối lượng đổ cát ban đầu. Rõ ràng là dự án đã hoàn thành hai chỉ tiêu thiết kế đề ra: bảo vệ khu công viên và tạo ra một bãi cát phục vụ giải trí. Ảnh hàng không thu được cũng cho thấy dự án hầu như không tác động đến đường bờ hai bên.

5.2.2 Bùn cát

Vật liệu bãi địa phương là cát quartz mịn, phân cấp rõ ràng, trong khi đó vật liệu đổ thì thô hơn (tương đối mịn), chỉ gồm 50% hạt quartz, và phân cấp xấu hơn. Sau khi hoàn thành dự án, vật liệu đổ đã được phát hiện là tập trung nhiêu ở vị trí cạnh các đê chắn sóng về phía bờ. Các mẫu bùn cát còn cho thấy đáy hồ từ bờ cho đến khoảng cách xa bờ 91,4 m đều bao gồm cát từ cỡ trung bình đến thô cùng với sỏi.

Các lần lấy mẫu liên tục trong suốt 5 năm kể từ khi đổ cát lần đầu cho thấy cát địa phương tiến vào biên phía Tây của khu vực dự án và cát chuyển khỏi khu vực với lưu lượng vận chuyển nhỏ hơn qua biên phía Đông. Không thấy có biểu hiện chuyển cát ngang bờ qua khe giữa các đê chắn sóng.

5.2.3 Mực nước và vị trí đường bờ

Không có biến động theo triều thiên văn, nhưng mực nước hồ Erie vẫn biến động theo thay đổi khí hậu ngắn hạn và dài hạn. Trong suốt giai đoạn theo dõi kéo dài 5 năm, mực nước trung bình tháng cao nhất đo được là 1,49 m trên mực chuẩn nước thấp nhất (*low water datum,* LWD), và thấp nhất là 0,34 m dưới LWD. (Năm 1986 đã có kỉ lục mới với mực nước cao 1,55 m trên LWD). Nếu xét chuỗi mực nước hồ bình quân tháng thì biên độ dao động năm lớn nhất tính được là 0,84 m; và giá trị chiều cao với mực nước dâng với độ lặp lại bằng 1 năm tính được là 0,46 m.

Đã thấy những dấu hiệu biến đổi địa hình theo dạng đường sin trong quá trình đổ bãi, biểu thị rõ xu hướng biến đổi của bãi theo dạng sóng và dòng chảy phát sinh khi có đê chắn sóng. Trong khoảng thời gian 6 tháng từ 10/1977 đến 5/1978, hình dạng của đường bờ đã dần ổn định, và khoảng 1 năm đường bờ đã đạt hình dạng cân bằng với các đoạn bồi lắng sau mỗi đê chắn sóng. Ảnh hàng không cho thấy các đoạn bồi hình thành rõ rệt trong mùa thu khi nước hồ còn thấp; chúng sẽ một phần bị ngập và do đó đường bờ sẽ phần nào thẳng hơn khi nước hồ dâng cao vào mùa xuân.

5.2.4 Chế độ sóng

Tại thời điểm bấy giờ đã có tài liệu tính toán sóng hindcast trong vòng 3 năm (Saville, 1953) cho vùng Cleveland, Ohio cách khu vực dự án 40 km về phía đông. Sau khi chỉnh lý lại đà gió và độ sâu nước, các dự liệu này có thể được áp dụng cho vùng Lorain. Chiều cao và chu kỳ sóng trung bình trong tính toán hindcast lần lượt là 0,46 m và 4,7 s. Chiều cao sóng hàng năm lớn nhất gần đạt tới 2,44 m, với chu kỳ lên tới 7 s. Để phục vụ cho việc tính toán diễn biến đường bờ, vận chuyển cát được coi như chỉ do sóng trong thời kì mặt hồ không đóng băng, từ 1/4 đến 30/11.

5.3 Nhập số liệu

Phụ lục D là nội dung các file đầu vào sử dụng cho các lần chạy thử ban đầu cũng như lần kiểm định và thẩm định cuối cùng. Các file OUTPT cũng được in ra.

5.3.1 Số liệu cho file START

Cấu hình ban đầu để tính toán trong mô hình được cho trong file START_INIT. Số liệu này mô phỏng trạng thái tự nhiên của khu vực. Như ta sẽ đề cập tiếp theo đây, nhiều đại lượng được xác định dựa vào ảnh vệ tinh, và các đại lượng khác chỉ là ước đoán ban đầu. Ta sẽ dành sự phân tích cho một số liệu chọn lọc.

Dòng A.3. Chiều dài của đê chắn sóng là 76,2 m với khoảng cách giữa chúng là 48,8 m. Muốn có độ phân giải tốt ta cần dành 10 đoạn lưới cho mỗi đoạn đê chắn sóng và khoảng 4 đoạn lưới cho mỗi khoảng cách; từ đó DX = 7,6 m là một lựa chọn hợp lý, vừa đủ để mô phỏng chi tiết hình dạng công trình, lại vừa hạn chế không có quá nhiều đoạn lưới tính toán.

Dòng A.5. Vì số liệu sóng đo được cách nhau 6 h, như ta sẽ bàn đến sau đây, lấy giá trị ước lượng ban đầu DT = 6 h. Tuy vậy do DX = 7,6 m là giá trị tương đối nhỏ nếu ta dùng DT = 6 h, chắc chắn sẽ có những cảnh báo về ổn định (R_s hay STAB quá lớn). Giá trị ban đầu DT = 6 h để thử xem R_s lớn cỡ nào với điều kiện sóng như vậy. Nếu R_s quá lớn, DT sẽ được giảm xuống cho đến khi $R_s < 5$ hoặc có rất ít thông báo lỗi về ổn định.

Dòng A.12. Các giá trị k_1 và k_2 được xác định trong khâu kiểm định. Với lần thử đầu tiên nên ta chọn giá trị thiên nhỏ. Một giá trị 0,77 được chọn tương ứng với lưu lượng chuyển cát khoảng 16430 m^3/năm. Nếu lưu lượng chuyển cát thấp hơn trong thực tế, thì giá trị k_1 được kiểm định sẽ thấp hơn 0,77.

Dòng B.1. Giá trị của các thông số hiệu chỉnh này có thể được thay đổi trong giai đoạn tiếp sau, nhưng ban đầu ta giữ nguyên chúng như những giá trị mặc định

Dòng C.1. Cát địa phương có đường kính trung vị nằm trong khoảng từ 0,15 mm đến 0,20 mm. Tuy vậy, vật liệu cát đổ có đường kính trung vị là 0,40 mm; vì vậy ta sẽ lấy giá trị này vì vật liệu đổ sẽ chiếm ưu thế sau khi đổ cát.

Dòng C2. Thiết kế cho thấy lượng đổ bãi ban đầu có cao trình thềm bãi là 2,44 m.

Dòng C.3. Chiều sâu giới hạn chuyển cát được ước lượng bằng hai lần chiều cao sóng lớn nhất trong năm (2,44 m trong trường hợp dự án) do đó lấy bằng 2,88 m.

Dòng D.1. Vì hai mỏ hàn khác ngắn, ta coi chúng là mỏ hàn không nhiễu xạ. (Trong khâu hiệu chỉnh sau này, có thể dễ dàng chuyển sang mỏ hàn nhiễu xạ để kiểm tra độ nhạy của mô hình đối với giả thiết này).

Các dòng D.4 và D.5. Kích thước hình học của mỏ hàn được đọc từ ảnh hàng không và kiểm tra với bản sơ đồ thiết kế mặt bằng công trình.

Dòng F.2. Các điều tra tiến hành từ 10/1977 đến 11/1979 cho thấy độ dốc đáy hồ là khoảng 1:20 ở sau các đê chắn sóng và 1:15 trong vùng giữa các mỏ hàn. Ta sẽ chọn một độ dốc trung bình 1:18 cho toàn vùng.

Dòng F.3. Mỏ hàn phía Đông được xây dựng liền khối để ngăn không cho cát trôi ra khỏi khu vực bãi. Do đó ta coi mỏ hàn không xuyên thấu và rất ít cát chuyển qua đỉnh

mỏ hàn.

Các dòng F.4 và F.5. Lượng cát chuyển vào khu vực dự án từ các biên hai phía bị chi phối chủ yếu bởi các giá trị chiều dài cac mỏ hàn. Các giá trị sơ bộ có thể lấy bằng cách đo trên ảnh hàng không, nhưng có thể sẽ được thay đổi trong quá trình kiểm định để có được hiệu ứng ngăn cản bùn cát tốt nhất.

Các dòng G.6 và G.7. Các đặc trưng hình học của đê chắn sóng được dễ dàng tìm được qua ảnh hàng không.

Dòng G.9. Các đê chắn sóng được thiết kế dạng đá đổ nhiều lớp theo tiêu chuẩn (SPM, 1984) và không phun vữa. Do đó chúng sẽ có cho sóng truyền qua một phần. Đồng thời, sẽ có tràn đỉnh trong giai đoạn có nước cao và sóng lớn. Các đê chắn sóng theo đó sẽ có hệ số truyền sóng tương đối thấp và như nhau, vì chúng được thiết kế tương tự. Tuy vậy, độ sâu nước khác nhau tại chân các đê chắn sóng này sẽ làm thay đổi các thuộc tính truyền sóng và những điểm khác nhau nhỏ khác giữa các công trình này cũng vậy. Với ước tính ban đầu, ba hệ số truyền sóng sẽ được lấy bằng không và ta sẽ chỉnh chúng về sau này.

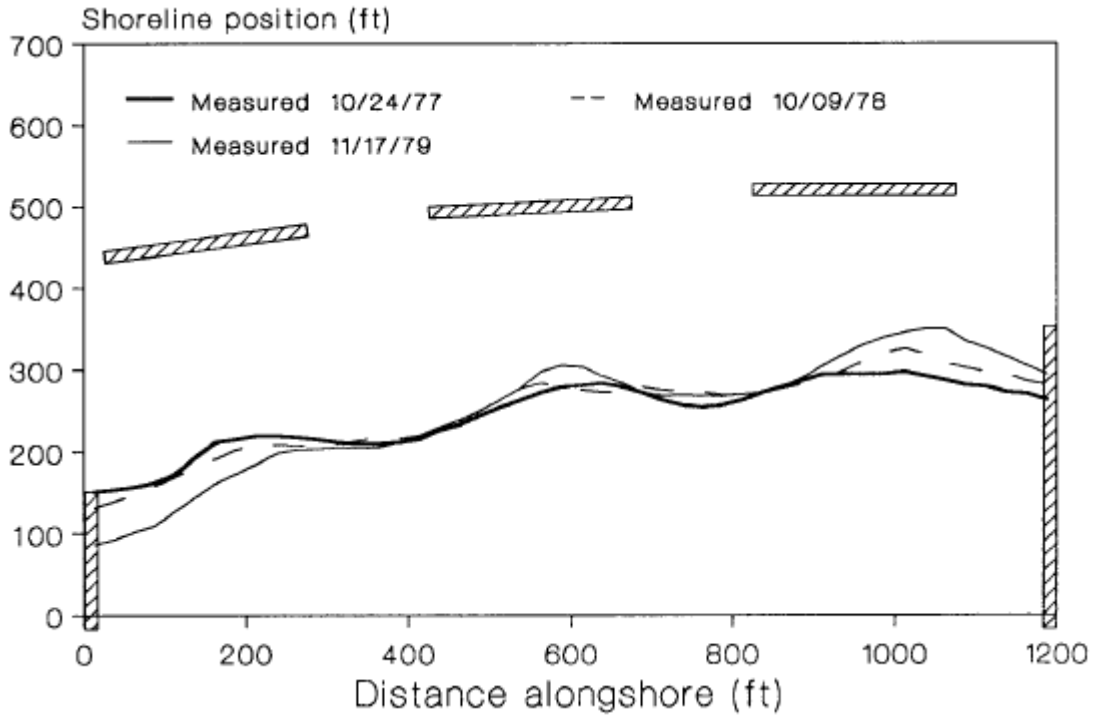
Dòng I.4. Nuôi bãi được thực hiện trước và sau thời khoảng mô phỏng, và không phải vào thời gian giữa hai lần chụp ảnh vệ tinh (thời đoạn mô phỏng). Do đó không có đổ bãi làm đầu vào mô hình.

Số liệu trong file SHORL

Có một số cách cho ta vị trí đường bờ, chẳng hạn từ các mặt cắt ngang bờ gần nhau, đo đạc trực tiếp đường bờ, từ đo địa hình khu vực, hoặc từ ảnh hàng không. Theo cách cuối cùng này, cần thu thập ảnh trong nhiều thời điểm tương ứng với mực nước đã biết. Từ ảnh thu được cần được số hoá vị trí của đường bờ một cách thủ công, để xác định toạ độ của đường bờ so với một đường chuẩn tuỳ ý có xu hướng song song với đường bờ. Từ khảo sát thực địa, khoảng cách trung bình giữa đường mép nước và đường đồng mức "chuẩn cao độ" được xác định cho những đoạn bờ tiêu biểu. Sau đó các khoảng cách này sẽ được cộng vào hoặc bớt đi từ những toạ độ trong quá trình số hoá.

Các ảnh hàng không của khu vực dự án được chụp trong khoảng từ 1/10/1977 đến 18/9/1984; trong đó ba bức ảnh vào những ngày 24/10/1977, 9/10/1979 được chọn ra phục vụ nghiên cứu. Từ 10/1977 đến 1980 không có nuôi bãi, do đó sẽ đơn giản hoá bài toán và thích hợp với mô phỏng hơn. Căn cứ vào kích thước của các công trình có trong ảnh mà xác định được tỉ lệ của ảnh là 1:2300. Khi số hoá, ảnh được phóng đại lên tỉ lệ 1:1500 để đảm bảo sai số khoảng cách chỉ là 0,3 m hay một sai số thể tích 841 m^3.

Pope và Rowen (1983)báo cáo về mực nước hồ trung bình lần lượt trong ba tấm ảnh lần lượt là 0,79 m; 0,76 m; và 0,73 m. Độ dốc bãi ngang khi mới đổ là 1:5, sau đó dần tiến tới 1:12 trong khoảng 6 tháng tiếp theo. Bằng cách chọn độ dốc bãi trung bình bằng 1:12, tính ra được các khoảng cách phương ngang tương ứng là 9,5 m; 8,8 m và 9,1 m như các số liệu chính để cộng với các vị trí đường bờ số hoá được. Vì GENESIS không cho phép mặt cắt chuyển tiếp. Sự chuyển tiếp từ mái dốc sang thoải hơn được giả thiết rằng đã xảy ra vào ngày bắt đầu mô phỏng, 24/10/1977. Sự chuyển tiếp này được phác hoạ trong vị trí đường bờ ngày 24/10. Mặt cắt ngang được biểu thị bởi một đường thẳng từ đỉnh thềm bãi với cao độ +2,4 m xuống độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát, −4,8 m. Ngoài ra, đoạn

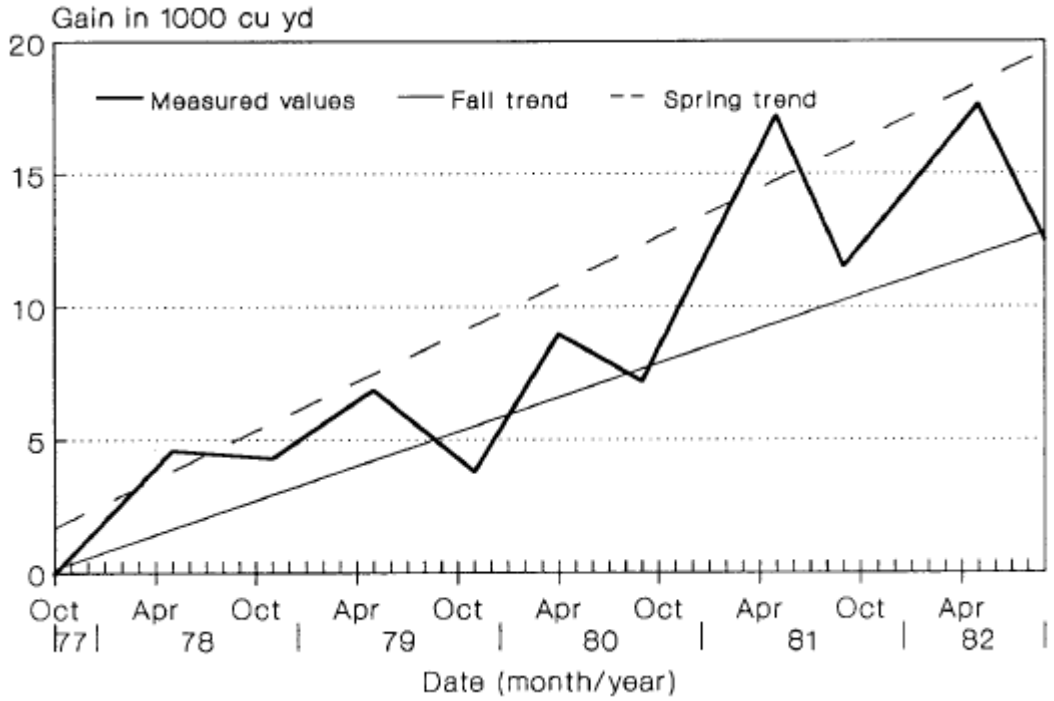


Hình 5.4: Vị trí các đường bờ đo đạc có hiệu chỉnh

chuyển tiếp còn được giả sử làm quay mặt cắt ngang qua tâm của nó, tại cao độ $-1{,}2$ m. Về hình học, điều này tương đương bới đường bờ bị thoái lui đi 8,5 m khi độ dốc chuyển đổi từ 1:5 sang 1:12. Khoảng thoái lui này được trừ khỏi vị trí của đường bờ vào ngày 24/10/1977.

Walker và nnk. (1980)cũng đề cập đến thay đổi về thể tích bãi khu vực dự án trong khoảng thời gian giữa các *date* ảnh vệ tinh nói trên. Từ 10/1977 đến 10/1978, thể tích tăng thêm là 3290 m^3, trong khi từ 10/1978 đến 11/1979 thể tích bị mất đi ước chừng 306 m^3. Mặt khác, nếu ta tính toán so sánh từ số liệu vị trí đường bờ khi các con số tương ứng tìm được là 10320 m^3 (từ 1977 $\rightarrow$ 1978) và 5280 m^3 (từ 1978 $\rightarrow$ 1979). Lấy đường bờ năm 1977 làm chuẩn thì thay đổi về thể tích được quy ra một sai số trung bình là 2,5 m (1 mm trên ảnh hàng không) đối với ước tính vị trí đường bờ 1978, và sai số 0,82 m (0,3 mm trên ảnh đối với đường bờ 1979. Để thống nhất với các nghiên cứu trước đây, các vị trí đường bờ 1978 và 1979 được dịch chuyển tiến lên, lần lượt là 2,5 m và 0,82 m, dẫn đến chênh lệch thể tích là 3260 m^3 trong thời gian từ 10/1977 đến 10/1978 và -256 m^3 từ 10/1978 đến 10/1979. Vị trí bờ đo đạc có hiệu chỉnh được biểu thị trên Hình 5.4, và các file SHORL tương ứng trong Phụ lục B. Theo Hình 5.4, xu hướng chung là có xói lở dọc bờ phần phía Tây khu vực dự án và bồi lắng phía Đông khu vực.

Hình 5.5 biểu thị thay đổi về thể tích bãi trong khu vực nghiên cứu lấy thể tích bãi 10/1977 làm chuẩn. Thay đổi thể tích biến thiên đáng kể theo mùa, với sự tăng thêm vào mùa đông và mất mát vào mùa hè. Trái với dự đoán ban đầu, biến đổi theo mùa dường như tăng theo thời gian, thay vì một xu hướng đạt đến một trạng thái cân bằng. Lượng



Hình 5.5: Thay đổi thể tích bãi thực đo trong khu vực nghiên cứu

tăng thêm có thể được giải thích bằng sự biến đổi dài hạn của chế độ sóng và mực nước. Ngoài ra cũng có thay đổi đáng kể về thể tích bãi qua từng năm, mặc dù xu hướng chung đo đạc được là bồi lắng vào mùa xuân và mùa thu, tương ứng với các thể tích ước tính được qua phương pháp bình phương nhỏ nhất lần lượt là 1680 m^3/năm và 1910 m^3/năm.

Số liệu trong file SEAWL

Trong mô hình, tường chắn được đặt tại một số vị trí dọc theo bờ, được định vị từ ảnh hàng không. File SEAWL được cho trong Phụ lục B.

Số liệu trong file DEPTH

Không cần có một file DEPTH vì ta không dùng mô hình truyền sóng ngoài. Lí do là sóng tán xạ để chắn sóng chính là thành phần chủ đạo trong quá trình truyền sóng, và biến thiên chiều cao và hướng sóng vỡ dọc bờ sẽ khá nhỏ (do sóng khác xạ qua địa hình đáy tương đối phẳng với đường đồng mức đáy gần như song song).

Số liệu trong file WAVES

Cũng với phần lớn nghiên cứu của mô hình hoá diễn biến đường bờ, tài liệu đo sóng tại khu vực trong khoảng thời gian giữa các lần đo vị trí đường bờ là không có sẵn. Thay vào đó, tính toán sóng (Saville, 1953) cho hồ Erie giai đoạn 1948-1950 được sử dụng để đối chiếu

Bảng 5.1: Các dòng số liệu mẫu trong các file WAVE

WAVE_INIT			WAVE_2T			WAVE_CNG			WAVE_DIFF		
T	H	θ	T	H	θ	T	H	θ	T	H	θ
s	m	°	s	m	°	s	m	°	s	m	°
4,5	1,52	-53	8,0	1,52	-53	8,0	1,83	-53	8,0	0,93	-33
3,0	0,61	-30	6,0	0,61	-30	6,0	0,73	-30	6,0	0,54	-30
3,0	0,61	-8	6,0	0,61	-8	6,0	0,67	-8	6,0	0,59	-8
2,0	0,30	0	4,0	0,30	0	4,0	0,30	0	4,0	0,26	0
3,0	0,61	15	6,0	0,61	15	6,0	0,55	15	6,0	0,53	15
3,0	0,61	38	6,0	0,61	38	6,0	0,49	38	6,0	0,49	38
4,0	0,91	60	8,0	0,91	60	8,0	0,73	60	8,0	0,73	60

các xu hướng chung trong khoảng thời gian có số liệu đo đạc. Tính toán hindcast, như trong bảng được thực hiện cho vùng Cleveland, cách Lorain 45 km về phía Đông. Ngoài ra, gần đây hơn còn có các số liệu thực đo chiều cao và chu kì sóng tại độ sâu 9 m ở ngoài cảng Cleveland trong giai đoạn từ tháng 9 đến tháng 11/1981. Số liệu đo đạc được dùng để hiệu chỉnh số liệu tính toán hindcast theo ba giai đoạn, như sẽ trình bày dưới đây.

Sóng vỡ là động lực chính gây ra dòng vận chuyển bùn cát dọc bờ. Vì vậy, cần cố gắng chuẩn bị một số liệu sóng có thể tạo ra lưu lượng chuyển cát phù hợp. Trong nghiên cứu này, tài liệu GDM (USAED, 1975) cung cấp thông tin cơ bản về vận chuyển bùn cát trong khu vực, với nội dung chính như sau:

a) Nơi cách xa ảnh hưởng che chắn của cảng Lorain, lưu lượng chuyển cát tịnh từ Đông sang Tây với ước tính là 45900 m^3/năm.

b) Ảnh hưởng chắn sóng từ phía tây của cảng Lorain làm cho dòng vận chuyển qua Lakeview là từ phía Tây sang Đông với lưu lượng tiềm năng ước tính là 16400 m^3/năm lưu lượng tổng cộng tiềm năng ước tính là 125000m^3/năm

c) Vì nguồn cấp bùn cát có hạn, lưu lượng tiềm năng đã không đạt được. Thay vào đó, lưu lượng tiềm năng tịnh thực tế ước tính là từ 3820 đến 6120 m^3/năm.

d) Vận chuyển bùn cát chỉ đáng kể trong thời kì mặt hồ không đóng băng, từ tháng 4 đến tháng 11. Ta chỉ mô phỏng diễn biến đường bờ trong các thời đoạn này

Việc đầu tiên cần làm là tạo ra một chuỗi số liệu sóng ngoài khơi (chu kì, chiều cao, hướng sóng) từ bảng kết quả của Saville (1953). Trong thời kì không có băng, chế độ sóng theo tính toán hindcast cho thấy tới 73% thời gian lặng sóng. Tuy vậy, người chạy mô hình tin rằng kết quả tính toán hindcast nói trên thiên về lặng; và do đó cần định nghĩa lại trạng thái "lặng" cho sóng ngoài khơi có $T = 2$ s, $H = 0{,}3$ m và $\theta = 0°$. Các dòng số liệu mẫu trong file ban đầu WAVE_INIT được cho trong Bảng 5.1, trong đó cũng kèm theo số liệu sóng hiệu chỉnh sau này, để cho tiện so sánh.

Bảng 5.2: So sánh giữa các số liệu sóng thực đo và hindcast

	Sóng thực đo		Sg hindcast IX - XI		So sánh IX - XI		Hindcast IV -XI		So sánh IV - XI	
	H	T_p	H_h	T_h	$\frac{H}{H_h}$	$\frac{T}{T_h}$	H_h	T_h	$\frac{H}{H_h}$	$\frac{T}{T_h}$
Tháng	m	s	m	s			m	s		
IX	0,37	4,7	0,46	2,4	0,8	1,9				
X	0,61	4,9	0,43	2,3	1,4	2,1				
XI	0,49	4,7	0,52	2,5	0,9	1,9				
TB	0,49	4,7	0,46	2,4	1,0	2,0	0,61	2,4	1,0	1,9

Ghi chú: H = chiều cao sóng ý nghĩa thực đo; T_p = chu kì sóng đỉnh phổ thực đo; H_h = chiều cao sóng ý nghĩa tính toán hindcast; T_h = chu kì sóng ý nghĩa theo tính toán hindcast.

Bảng 5.3: Lưu lượng chuyển cát dọc bờ tính toán

Hướng sóng	Góc so với đường bờ (°)	Số con sóng	Lưu lượng tịnh ($10^3 m^3$/năm)	Lưu lượng tổng ($10^3 m^3$/năm)
BĐB	−53	55	−31	
B	−30	49	−20	
BTB	−8	47	−14	
Lặng	0	713	0	
TB	15	37	18	
TTB	38	49	58	
T	60	26	29	
Tất cả	mọi hướng	976	39	171

Trong chuỗi số liệu sóng có file WAVE_INIT, chế độ sóng cho các tháng 9, 10 và 11 được tách ra và so sánh với tài liệu thực đo tương ứng của năm 1981 (Bảng 5.2).

Từ Bảng 5.2, ta thấy được có sự phù hợp giữa các chiều cao sóng thực đo và tính toán, tuy vậy chu kì sóng thực đo lớn chừng gấp đôi so với chu kì hindcast. Nếu coi chuỗi số liệu thực đo là điển hình, ta phải hiệu chỉnh bằng cách nhân đôi chu lì sóng hindcast nhưng với rằng buộc không cho chu kì sóng vượt quá 8 s. Kết quả hiệu chỉnh này cho ta file số liệu sóng mới, WAVES_2T, mà một số dòng ví dụ cũng có trong Bảng 5.1.

Báo cáo GDM có ước tính lưu lượng chuyển cát dọc bờ theo một công thức tương tự như P.T. (2.2) với K1 = 0,77 và K2 = 0,0. Để thống nhất với tính toán của những chuyên gia có kinh nghiệm đã tiến hành nghiên cứu tại địa phương, ta sẽ lấy các giá trị trên để tính lưu lượng chuyển cát tiềm năng trong trường hợp đường bờ thẳng , không có công trình. Bảng 5.3 chỉ ra một số kết quả tính toán lưu lượng chuyển cát dựa trên file WAVES đã hiệu chỉnh.

Như trong Bảng 5.3, lưu lượng chuyển cát tịnh dọc bờ có giá trị dương (theo hướng Tây → Đông), hướng dòng vận chuyển đã ngược với thực tế mặc dù giá trị lưu lượng có độ lớn cỡ tương đương nhau. Không có thông tin để so sánh lưu lượng tổng cộng. Có thể

Bảng 5.4: Chiều cao sóng trung bình hiệu chỉnh do ảnh hưởng che khuất của cảng Lorain

Hướng sóng	H_o(m) ban đầu	H'(m) hiệu chỉnh	$\frac{H'}{H_0}$
BĐB	0,77	0,38	0,49
B	0,73	0,54	0,74
BTB	0,80	0,72	0,90
Lặng	0,30	0,27	0,90
TB	0,92	0,89	0,97
TTB	1,01	1,00	0,99
T	1,00	0,99	0,99
Tất cả	0,45	0,39	0,27

chỉ ra vài yếu tố gây ra sự khác biệt giữa lưu lượng tịnh tính được so với kết quả tính toán trước đây. Đó là: phương pháp hindcast đơn giản để tính ra bảng sóng; cách làm có phần tuỳ tiện để rút ra chuỗi số liệu sóng từ các con số thống kê sau khi hindcast; và giả thiết rằng giai đoạn 3 năm (1948–1950) có thể đại diện cho chế độ sóng từ sau năm 1977. Tuy vậy, nguyên nhân chính cho khác biệt này có lẽ là số liệu sóng nghiên cứu trước đó chỉ đăc trưng cho Cleveland mà không xét đến các đặc trưng của Lorain. Nói riêng, vì đà gió cho sóng hướng Tây ở Lorain ngắn hơn so với tại Cleveland, nên chiều cao sóng hướng Tây ở Lorain cũng nhỏ hơn.

Xét đến tất cả các yếu tố trên, chiều cao sóng trong chuỗi thời gian được hiệu chỉnh bằng cách nhân các hệ số sau (được chọn lựa có chú ý để tạo ra kết quả mong muốn) tuỳ theo hướng theo đó ta có chuỗi số liệu sóng mới: 0,8 (đối với hướng T); 0,8 (TTB); 0,9 (TB); 1,0 (lặng); 1,1 (TBT); 1,2 (B); và 1,2 (BĐB). Đồng thời, trong những giai đoạn lặng sóng, hướng sóng ngoài khơi để thể hiện chính xác hơn rằng hướng Đông Bắc có đà gió dài. Sự chuyển đổi số liệu sóng cho ta file WAVE_CNG được minh hoạ bằng một số ví dụ trên Bảng 5.1. Theo chuỗi số liệu mới, ta tính được lượng chuyển cát tịnh là -43600 m và lưu lượng chuyển cát tổng cát là 174000 m^3. Như vậy lượng chuyển cát tịnh rất phù hợp với giá trị -45900 m^3theo GDM (USAED, 1975).

Bước tiếp theo trong việc chuẩn bị file đầu vào WAVE là tính đến ảnh hưởng tán xạ sóng phía khuất sau cảng Lorain. Tuy vậy dự án Lakeview tương đối nhỏ và cách xa cảng, ta không thể trực tiếp mô hình hoá công trình cảng trong GENESIS. Thay vì vậy, một chương trình máy tính được viết để tính ra chuỗi ảnh hưởng của bến cảng. Với mỗi bước thời gian 6 h trong file số liệu sóng, chương trình đọc bộ ba số liệu (T, H_o, θ_o) tại đường đẳng sâu 9,1 m, sau đó chuyển đổi điều kiện sóng về độ sâu tại đầu phía ngoài của đê chắn sóng (8,5 m), và tính một hệ số khúc xạ K_D tiêu biểu cho khu vực Lakeview theo phương pháp của (Kraus, 1984, 1988a). Từ đó tính được chiều cao sóng xa bờ hiệu chỉnh $H' = K_D H_o$. Đồng thời, sóng góc tới được giới hạn lớn hơn -33 tức là đường thẳng nối Lakeview với đỉnh đập chắn sóng. Các chiều cao sóng thu được sau hiệu chỉnh được tổng hợp trong Bảng 5.4.

Sự chuyển đổi này cho ta file số liệu sóng WAVES_DIFF, với một số dòng ví dụ trong

Bảng 5.1. Sử dụng số liệu mới này ta tính được vận chuyển cát tịnh qua Lakeview là 16800 m^3/năm, và lượng chuyển cát tổng cộng là 110000 m^3/năm. Như vậy kết quả đã phù hợp với tính toán trước đây (vận chuyển tịnh 16400 m^3/năm và tổng cộng 125000 m^3/năm).

Tóm lại, qua việc kết hợp giữa kinh nghiệm thực địa với các đánh giá về mô hình, file nguyên gốc WAVES_INIT đã được hiệu cỉnh qua một số bước để thu được file WAVES_DIFF, phù hợp cho khâu kiểm định và thẩm định mô hình tiếp sau này. Với việc thoả mãn các điều kiện kiểm tra chuỗi số liệu sóng, file WAVES_DIFF được copy để vào file WAVES.DAT để phục vụ cho chạy mô hình.

5.3.2 Kiểm định và thẩm định mô hình

Quá trình kiểm định và thẩm định mô hình cho kịch bản thiết kế yêu cầu chạy mô phỏng nhiều lần. Các giá trị thông số cần kiểm định, K_1 và K_2, được thay đổi nhằm có được sự phù hợp của đường bờ tính toán so với thực đo tại những thời điểm nhất định, và đồng thời ước tính được lưu lượng chuyển cát dọc bờ tương tự như thực tế. Ngoài K_1 và K_2, một số tham số khác cũng có thể thay đổi.

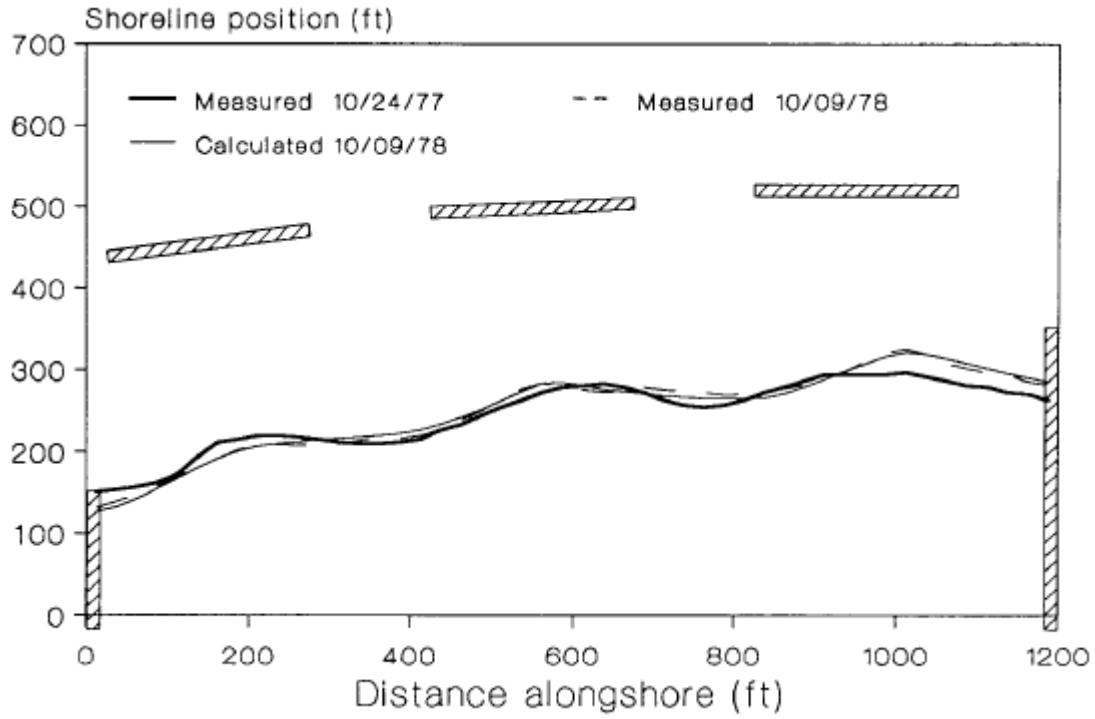
Trong bài toán kiểm mô hình cho Lakeview, thông thường mỗi thời điểm chỉ có một thông số được thay đổi còn các thông số khác giữ nguyên; nhàm tách bạch ảnh hưởng của thông số được xét, từ đó ta hiểu được vai trò của nó trong hệ thống chung.

Chiến lược của kiểm định bao gồm trước hết là xác định giá trị của các thông số chính có ảnh hưởng đến các đại lượng đã biết trong trường hợp này là lưu lượng chuyển cất tịnh và thay đổi thể tích bãi trong khu vực nghiên cứu. Các tham số này được xác định ngay trong giai đoạn đầu kiểm định, tiếp sau đó các tham số có ảnh hưởng mờ nhạt và mang tính cục bộ hơn sẽ được dùng để tối ưu hoá trong giai đoạn cuối kiểm định.

Đối với trường hợp hiện tại, tham số cơ bản nhất K_1được điều chỉnh cho đến khi lưu lượng chuyển cát tịnh cần tính toán gần bằng giá trị được báo cáo. Thứ hai, tham số K_2 dược điều chỉnh luân phiên với YG1 để tạo ra lưu lượng chuyển cát vào biên phía Tây phù hợp với thực tế. Thứ ba, các hệ số truyền sóng qua đê chắn sóng phía Đông được di chuyển hai giai đoạn lưới về phía Đông ngầm thu được sự phù hợp tốt hơn giữa vị trí đoạn bối phía Đông tính được so với thực đo. Hiện chỉnh nhỏ này có thể được coi là sự bù đắp cho kích thước đoạn lưới khác sai phân và sự phân hoá và sự giảm hoá quá mức đê chắn sóng (coi độ dày là rất nhỏ). Cuối cùng, người chạy mô hình quay trở lại xem xét mức độ cân đối giữa các tham số và phù hợp của vị trí đường bờ và của lưu lượng chuyển cát tính toán. Kết quả kiểm định chỉ ra trên Hình 5.6, và các file START và OUTPT được cho trong Phụ lục B.

Hình 5.6 cho thấy có sự phù hợp tốt giữa đường bờ thực đo và tính toán. Giá trị CVE tính được cho thấy chênh lệch bình quân giữa vị trí hai đường bờ là 1,2 m. Thay đổi thể tích bãi tính được là 3360 m^3 rất phù hợp so với giá trị thực đo là 3290 m^3.

Nếu có sẵn số liệu, cần thẩm định kết quả tính toán bằng cách chạy mô hình một thời gian độc lập với mô hình sau kiểm định rồi so sánh với đường bờ thực đo. Phân tích độ nhạy cần thực hiện với mô hình sau khi kiểm định, đặc biệt là trong trường hợp không có tài liệu để thẩm định. Trong trường hợp này, có đủ tài liệu đường bờ thực đo phục vụ cho thẩm định, nhưng số liệu sóng thì không đủ.

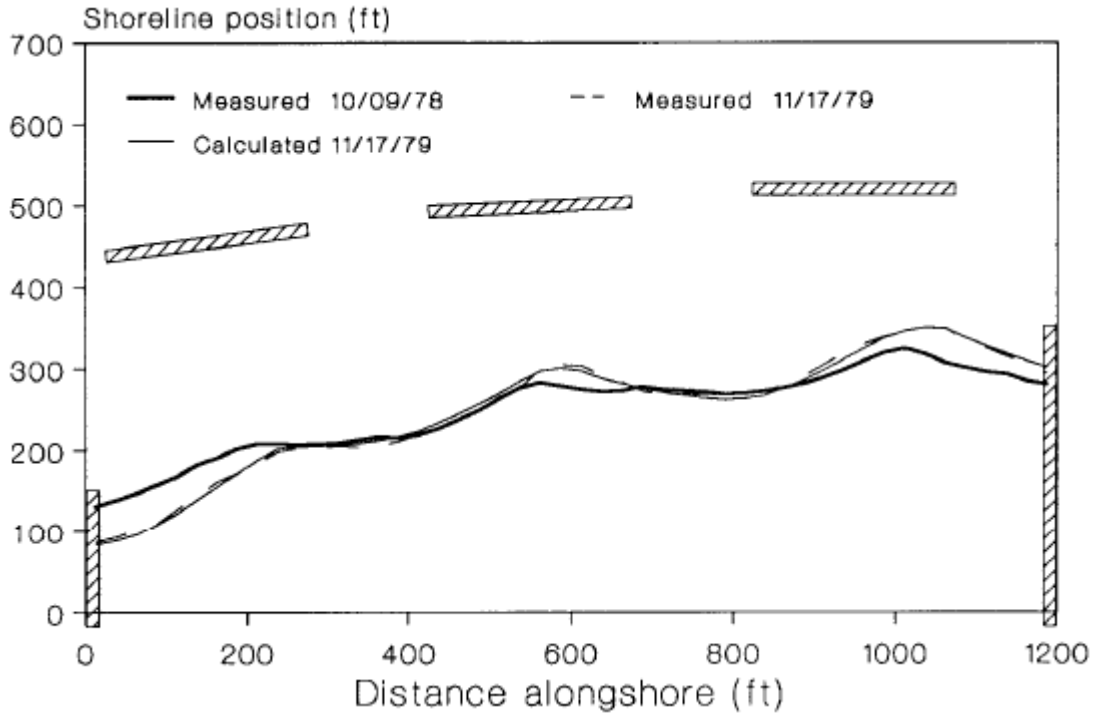


Hình 5.6: Kết quả kiểm định mô hình

Thẩm định được thực hiện trong khoảng thời gian 13 tháng từ 9/10/1978 đến 17/11/1979. Như đã nói ở trên, toàn bộ số liệu sóng chỉ có trong vòng một năm. Vì vậy, sẽ không thuyết phục nếu ta vẫn dùng số liệu sóng đó (vốn gây ra tăng thể tích bờ một lượng 3290 m^3 trong khâu thẩm định, ngay cả khi đường bờ phần nào đã thay đổi.

Ảnh hàng không cho thấy đoạn đường bờ "dạng hình túi" ở phía ngoài mỏ hàn phía Đông đã thoái lui một đoạn gần bằng hai lần khoảng cách từ đường bờ đến đầu mỏ hàn phía Đông, trong khoảng thời gian từ 1978 đến 1979. Do vậy, giá trị YG1 được tăng từ 21,3 m trong khâu kiểm định lên thành 39,0 m trong khâu thẩm định, như được đo trên ảnh hàng không.

Mô hình được chạy thẩm định bằng cách sử dụng trường sóng 1 năm và thu được đường bờ tính toán phù hợp với thực đo. Các phép tính độ nhạy cho ta thấy có thể có kết quả tốt hơn nếu như chiều cao sóng tăng 10%. Do đó giá trị HCNGF = 1,1 được nhập vào dòng B.1 trong file START. Ở đây ta chỉ thay đổi YG1 và HCNGF đồng thời giữ nguyên các thông số khác. Kết quả thẩm định cho trên Hình 5.7. Cũng giống như khâu kiểm định, vị trí đường bờ tính toán rất phù hợp với thực đo. Chênh lệch trung bình giữa hai đường bờ là 1,2 m; và thay đổi thể tích tính toán là 238 m^3 so với 256 m^3 của thực đo.



Hình 5.7: Kết quả thẩm định mô hình

5.3.3 Phân tích độ nhạy

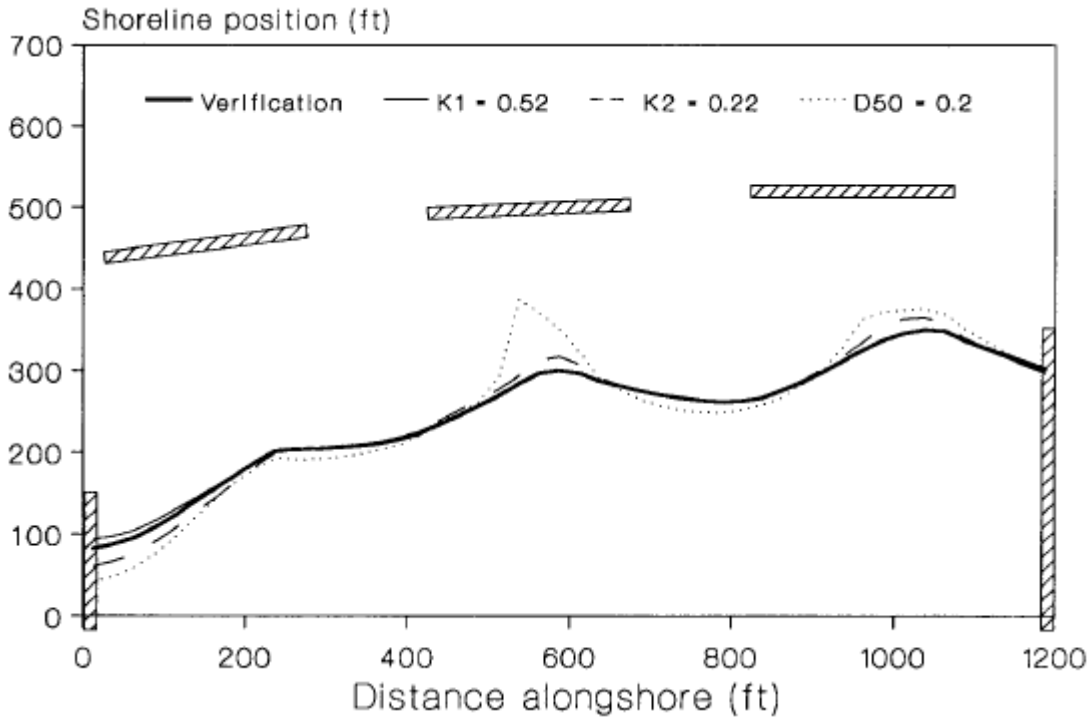
Trước khi dùng một mô hình đã kiểm định phục vụ dự báo diễn biến đường bờ theo các thiết kế khác nhau, cần kiểm tra một cách hệ thống độ nhạy của diễn biến đường bờ khi ta thay đổi các tham số đầu vào quan trọng. Mặc dù ở đây ta chỉ xét với một số đoạn chọn lọc, người dùng cũng như thử với các tham số khác để hiểu được ảnh hưởng của chúng đến kết quả đường bờ tính được.

K1, K2 và D50

Hình 5.8 cho thấy kết quả kiểm tra độ nhạy khi thay đổi các tham số K1, K2 và D50. Khi tăng K1 từ 0,42 lên 0,52, thể tích cát trong vùng có tăng thêm một chút, nhưng hình dạng đường bờ vẫn giống như trong khâu thẩm định. Với K2 tăng từ 0,12 lên 0,22 các salient trở nên rõ ràng hơn, đồng thời cũng có xu hướng mất nhiều cát hơn so với trường hợp thẩm định. Cả hai lần thứ hai đều cho thấy đường bờ được mô phỏng chỉ tương đối nhạy với thay đổi hợp lý của các hệ số.

Phần lớn lượng cát bị mất đều ở sát mỏ hàn phía Tây. Một giải thích khả dĩ cho sự mất mát cục bộ này là chênh lệch vận chuyển cát từ hướng Tây sang Đông do ảnh hưởng chắn của Cảng Lorain hiện tượng "xói hạ lưu".

Ta đã biết đổ cát với đường kính trung vị nhỏ hơn cát địa phương, cần phải cung cấp lượng cát nhiều hơn so với đổ cát thô nếu muốn duy trì cùng một bãi ổn định. Tuy



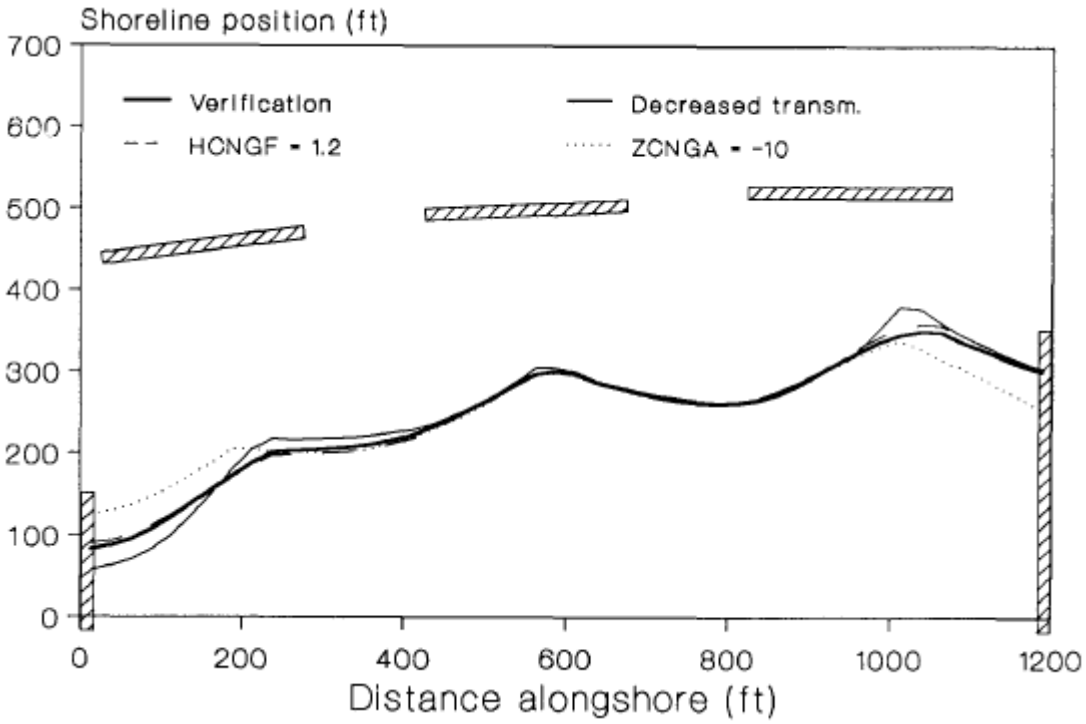
Hình 5.8: Độ nhạy của mô hình thay đổi K1, K2 và D50

vậy, công trình được thiết kế rất có hiệu quả trong việc ngăn chặn xói bãi. Tính toán với $D_{50} = 0,2$ mm (đường kính giảm đi một nửa) cho thấy hai salient nhô ra rất rõ rệt cùng với lượng tăng thể tích 596 m^3, so với lượng mất đi 260 m^3 với cát thô (0,4 mm) ban đầu. Cát mịn tương ứng với mặt cắt cân bằng thoải hơn và đẩy đường sóng vỡ ra phía xa bờ. Tuy vậy vị trí các công trình so với đường bờ vẫn giữ nguyên (không thay đổi trong file START), làm cho ví dụ này có phần phi thực tế.

Cần lưu ý lại rằng GENESIS không có tính đến chuyển cát ra khỏi bờ theo phương ngang, điều dễ xảy ra hơn đối với cát mịn; do đó tác dụng của cát mịn đã bị dự báo theo hướng thiên vị.

Sóng ngoài khơi và sự truyền sóng

Hình 5.9 cho thấy độ nhạy của mô hình khi thay đổi hệ số truyền sóng qua đê chắn sóng và qua các đặc trưng sóng ngoài khơi. Đường liền nét biểu diễn trường hợp các K_T của ba đê chắn sóng từ Tây sang Đông, từ giá trị ban đầu 0,5; 0,22; và 0,3; được giảm xuống thành 0,3; 0,02; và 0,1. Các đê chắn sóng được xây dựng cùng đợt và có từng hình dạng mặt cắt ngang. Do đó, hệ số truyền sóng xét trên lý thuyết thì phải bằng nhau. Một giá trị chung K_T gần bằng trung bình cộng ba giá trị trên cũng cho kết quả tốt, nhưng việc kiểm định sẽ tốt hơn nếu chọn các giá trị K_T khác nhau. Và miễn là sự thay đổi K_T nằm trong phạm vi xác định, việc các giá trị K_T khác nhau có thể được chấp nhận nhằm mô phỏng sát với diễn biến đường bờ thực tế.



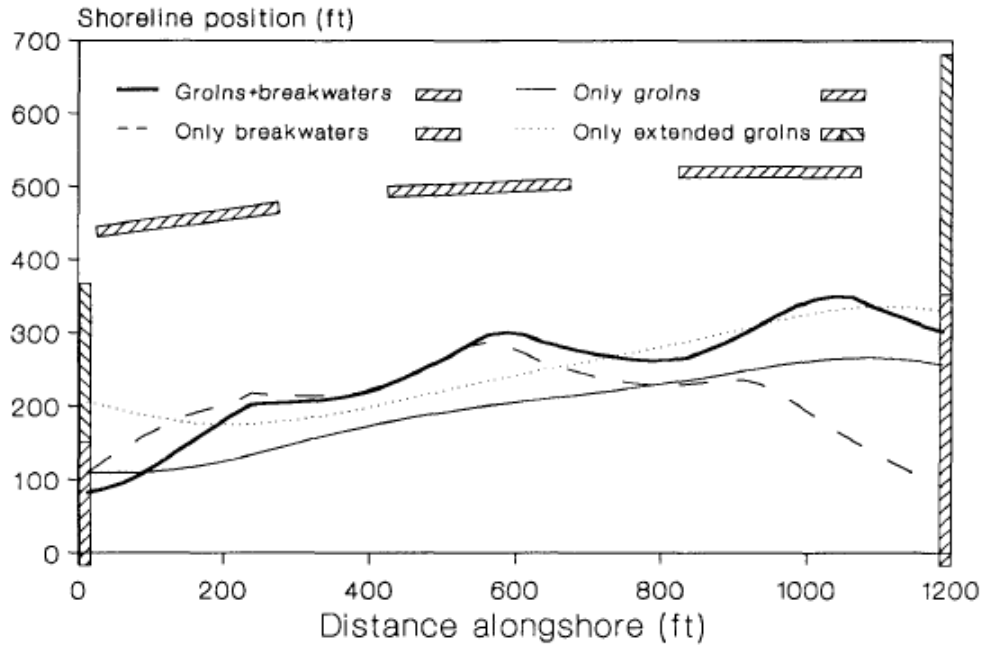
Hình 5.9: Độ nhạy của mô hình khi thay đổi K_T, HCNGF và ZCNGA

Ngoại trừ phần bãi phía Tây, phần lớn đường bờ sẽ hình thành các salient lớn hơn cùng với sự thoái lui của các đoạn đường bờ tương ứng với các khoảng cách giữa hai đê chắn sóng kế tiếp khi giảm các hệ số truyền sóng qua đê. Về tổng thể, sẽ có tăng thể tích trong vùng.

Việc tăng chiều cao sóng khoảng 10% (tương ứng với thay đổi giá trị HCNGF từ 1,1 (trong thẩm định) sang 1,2 có kết quả gần giống như tăng K_1, nghĩa là một lượng tăng nhỏ về thể tích bãi trong khu vực. nhưng vị trí đường bờ rất ít khác biệt so với khâu thẩm định. Đặt ZCNGA $= -10$ có điều kiện sóng ngoài khơi được quay đi 10° về hướng Đông. Kết quả tính toán khẳng định lại hình ảnh trực quan rằng xói lở giảm đi ở biên phía Tây và tăng cường ở biên phía Đông của khu vực dự án. Một lần nữa, kết quả tính toán cho thấy độ nhạy của mô hình là ở mức độ thấp hoặc trung bình đối với thay đổi của các tham số đầu vào.

5.3.4 Các cách bố trí công trình khác nhau

Sau khi kiểm định, thẩm định và kiểm tra độ nhạy của mô hình, có thể nghiên cứu các giải pháp khác nhau nằm giữ lượng đổ bãi trong khu vực. Walker và nnk. (1980) cũng cân nhắc các giải pháp khác để đi đến lựa chọn cuối cùng là dùng đê chắn sóng. Các phương pháp khác nhau hiển nhiên cần xét đến là không có đê chắn sóng hoặc mỏ hàn để đánh giá mức độ cần thiết của công trình này. Ngoài ra, kết quả tính toán nói trên còn có ích nếu có một dự án trên bờ biển tương tự. Tuy vậy, cách làm này còn có hạn chế là không



Hình 5.10: Biến đổi đường bờ tính theo các phương án bố trí công trình khác nhau

xét đến vai trò của đê chắn sóng trong việc ngăn cản bùn cát chuyển ra xa bờ, như một điểm yếu có hữu của GENESIS.

Xét sự thay đổi đường bờ trong khoảng thời gian từ 09/10/1978 đến 17/11/1979 theo ba cách bố trí công trình như sau:

a) Giữ nguyên các mỏ hàn, không có đê chắn sóng

b) Giữ nguyên đê chắn sóng, không có mỏ hàn

c) Kéo dài các mỏ hàn, không có đê chắn sóng

Với trường hợp c, bằng cách thử sai, các mỏ hàn được kéo dài đến khi kết quả thay đổi thể tích bãi bằng với trường hợp thiết kế gốc (các đê chắn sóng và mỏ hàn ngắn). Kết quả của trường hợp tính toán được cho trên Hình 5.10. Với trường hợp chỉ có mỏ hàn, không xuất hiện các salient. Và trường hợp quan trọng hơn là sự mất mát 43600 m^3 cát để nuôi bãi, khoảng một nửa lượng cát đổ ban đầu 84100 m^3.

Để mô phỏng trường hợp bỏ hai mỏ hàn, ta thêm vào mỗi phía của mô hình cũ 20 đoạn lưới tính toán. Đoạn đường bờ/tường biển bổ sung được định vị căn cứ vào ảnh hàng không, ngoại trừ một số đoạn lưới ngoài cùng cần được ngoại suy. Như vậy, trong trường hợp này, mô hình gồm có 89 đoạn lưới. Giá trị NN trên dòng A.3 trong file START được đặt bằng 89, và vị trí các đoạn lưới có đầu đê chắn sóng trên dòng G.6 đều được tăng thêm 20. Như trên Hình 5.10, lượng cát đổ rất có tác dụng ở phía thượng lưu (Tây). Trên thực tế, thậm chí ở phía Tây còn có một chút bồi lắng ngay cả khi tháo bỏ mỏ hàn này. Như vậy, rõ ràng là mỏ hàn này không chỉ ngăn không cho cát tháo khỏi khu vực, nó còn ngăn không cho cát di chuyển vào.

Về phía hạ lưu (Đông), mô phỏng cho thấy mỏ hàn ở đó có vai trò thiết yếu để giữ bãi. Sau khi dỡ ỏ mỏ hàn phía Đông đường bờ biển phía Đông thoái lui khoảng 64 m, đồng thời thể tích bãi mất đi là 38200 m^3, chỉ đỏ hơn một chút so với phương án không có đê chắn sóng.

Một phương án giả thiết thứ ba là mô phỏng để tìm ra chiều dài cần thiết của hai mỏ hàn đủ để giữ bãi với mức độ tương đương với phương án ban đầu có cả mỏ hàn và đê chắn sóng. (Một lần nữa cần nhấn mạnh rằng ở đây ta chưa xét đến vận chuyển cát ngang bờ; thực ra xu hướng cát đổ bãi bị cuốn ra xa bờ là đáng kể). Như trên Hình 5.11, mỏ hàn phía Tây cần được kéo dài thêm 64 m và mỏ hàn phía Đông thêm 95 m để đảm bảo được lượng thất thoát là 218 m^3 (ít hơn 38 m^3 so với trường hợp thiết kế). Như vậy, theo tính toán với giả thiết bỏ qua vận chuyển cát ngang bờ, ta có thể xây thêm 162 m mỏ hàn thay vì 229 m đê chắn sóng mà vẫn có thể giữ cát đổ. Vì mỏ hàn được thi công từ phía bờ, các mỏ hàn sẽ được đặt ở vùng nước nông hơn so với đê chắn sóng và cần ít đá xây hơn, dẫn đến giảm giá thành. Tuy nhiên với trường hợp mỏ hàn dài, rất có thể những con sóng dốc và dòng tiêu hình thành tại các mỏ hàn làm trôi cát xa bờ và hiệu quả của phương án mỏ hàn dài sẽ kém hơn nhiều so với phương án đê chắn sóng. Thực tế phương án mỏ hàn dài đã bị Hiệp hội kĩ sư Hoa kỳ không chấp nhận (USAED, 1975) do các tác động tiềm tàng đến vùng bờ kế bên.

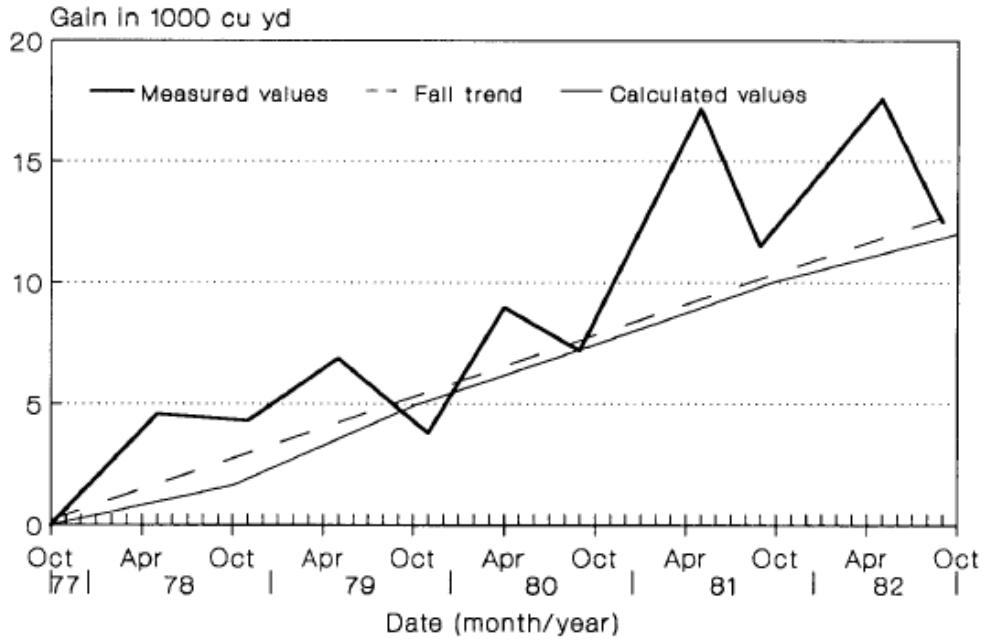
Tóm lại, các mô phỏng xác nhận rằng phương án kết hợp đê chắn sóng–mỏ hàn ưu việt hơn so với các phương án đơn giản về khả năng giữ bãi. Cả hai phương án chỉ có mỏ hàn và chỉ có đê chắn sóng đều không tốt, làm thất thoát một nửa cát đổ trong vòng một năm và do đó không chấp nhận được.

5.3.5 Mô phỏng với thời đoạn 5 năm

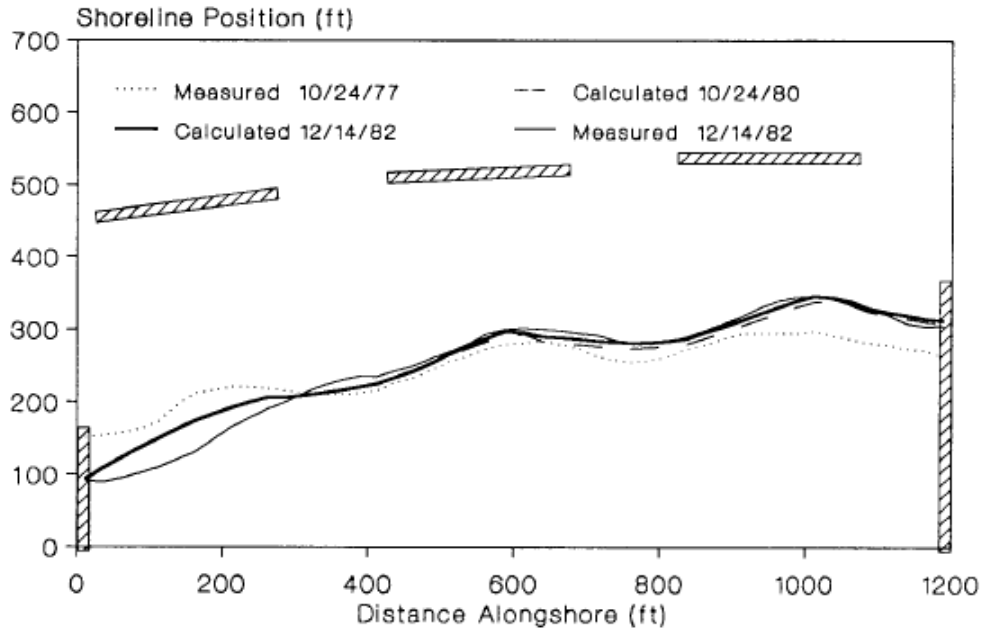
Với mô hình đã được kiểm định, việc mô phỏng với thời đoạn 5 năm có số liệu đường bờ là thích hợp. Thông thường, một số dự án dài hạn như vậy chỉ có thể là một trong những mục tiêu của nghiên cứu thiết kế, những với trường hợp này thì mô phỏng đóng vai trò tiếp tục kiểm chứng mô hình. Trong nghiên cứu cụ thể có tính minh hoạ này, số liệu sóng chỉ có sẵn trong vòng 1 năm, làm cho việc dự đoán vị trí đường bờ coi rằng chế độ sóng đồng nhất với một năm có số liệu là gần như không thể được. Mặc khác, giá trị biến đổi của YG1 gắn với bãi biển dạng túi ở phía Tây khu vực dự án cũng không biết được. Trong mô hình kiểm định đã lấy YG1 = 27 m để biểu diễn một xu hướng bình quân hàng năm ứng với lượng tăng 1910 m^3.

Hình 5.11biểu diễn lượng biến đổi bùn cát "tịnh" tính được trong mô phỏng 5 năm tháng kể từ 24/10/1977 đến 14/12/1982. Thể tích bãi tăng trung bình là 1830 m^3/năm, gần sát với xu hướng tăng đo vào các mùa thu là 1910 m^3/năm. Số liệu đo đạc cho thấy trong năm thứ hai đã có sự tăng thêm 1520 m^3, những đến năm thứ ba và thứ tư lượng tăng thêm chỉ còn 1910 m^3, và đến năm thứ năm thì chỉ tăng thêm 1530 m^3. Đo đạc cho thấy các lượng tăng nhỏ dần trong quá trình hệ thống đang tiến tới trạng thái cân bằng động của nó.

Hình 5.12 vẽ các vị trí đường bờ tính toán và thực đo trong năm 1982. Tính toán được khởi đầu tháng 10/1977, so với số liệu sóng 1 năm được lặp đi lặp lại trong thời đoạn tính



Hình 5.11: Thay đổi thể tích bãi từ 10/1977 đến 12/1982



Hình 5.12: Thay đổi đường bờ từ 10/1977 đến 12/1982

toán. GENESIS dự đoán có sự thay đổi rõ rệt trong khoảng từ 1977 đến 1980 và chỉ có một thay đổi nhỏ trong thời gian còn lại. Điều đó cho thấy dự án đã tự điều chỉnh đến trạng thái cân bằng với số liệu sóng một năm.

Đường bờ tính toán và thực đo gần như phù hợp trong khoảng 2/3 chiều dài khu vực dự án phía Đông, với sự mô phỏng rõ sàng các salient. Một đặc điểm cần quan tâm là mô hình dự đoán có thoái lui đường bờ ở vị trí mỏ hàn cách mỏ hàn phía Đông khoảng 90 m. Hiện tượng xói lở ở mỏ hàn phía Tây cũng được diễn tả định tính, nhưng với mức độ ít hơn thực đo. Có ba lí do dẫn đến điều đó:

- Thiếu số liệu sóng.
- Tán xạ sóng gây ra bởi mỏ hàn bị bỏ qua trong mô hình.
- Các ảnh hưởng cục bộ, như dòng tiêu.

Xét thấy tầm quan trọng của từng nguyên nhân cũng đúng theo thứ tự kể trên. Đặc biệt, khoảng hở giữa đầu mỏ hàn và đầu đê chắn sóng ngoài cùng phía Tây là tương đối lớn, làm cho ô năng lượng ở vùng này nhạy cảm hơn đối với các thay đổi của chế độ sóng, so với các vùng khuất khác. Có thể kiểm tra độ nhạy với mục đích cải thiện mô hình, sao cho đường bờ sát với mỏ hàn phía Tây được mô phỏng đúng hơn, đề nghị độc giả tự thực hiện điều này.

5.3.6 Kết luận

Nghiên cứu cụ thể được trình bày ở đây minh hoạ cho các công đoạn chuẩn bị số liệu, diễn giải các kết quả nhận được từ trước, kiểm định và thẩm định và cuối cùng là áp dụng mô hình tính toán và phân tích với các trường hợp bố trí công trình khác nhau. Ở đây đã lược bớt nhiều khâu tính toán trung gian và cần nhấn mạnh rằng cách làm này cũng tương tự như công việc thiết kế trong thực tiễn.

Có thể nhận thấy rằng mỗi ứng dụng mới đều bổ sung vào kho tàng nghệ thuật mô phỏng biến đổi đường bờ mà ta không thể đặt ra một quy tắc bất biến cho mọi trường hợp. Tuy vậy, các kinh nghiệm làm mô hình cũng đồng thời được tích luỹ thêm trong quá trình rất phức tạp này. Vì thế, nghiên cứu cụ thể này hi vọng sẽ dẫn những người mới học đi đúng hướng trong việc phân tích các bài toán bảo vệ bờ biển.

Nghiên cứu cụ thể này thấy mô hình GENESIS cùng với chương trình tính rất phù hợp với việc mô phỏng ảnh hưởng của sóng và công trình ven bờ biển đến biến đổi dài hạn của các bãi biển cát và cũng cho thấy mô hình là một công cụ kĩ thuật hỗ trợ đánh giá các dự án bảo vệ bờ. Nghiên cứu cụ thể còn nhấn mạnh tầm quan trọng của việc phân tích và hiểu được số liệu đầu vào và các quá trình ven bờ trong vùng và tại vị trí dự án. Trong số các nhân tố đầu vào mô hình, cần làm mọi cách để có được quá trình sóng và điều kiện biên chính xác. Một bài học được rút ra là mô hình rất dễ đổ vỡ nếu số liệu bị sai.

Phụ lục A

Các lỗi và cảnh báo khi chạy GENESIS

1. ERROR. BAD BALANCE IN WAVE INPUT PARAMETERS CAUSING DLTZ TO BE NEGATIVE (Các thông số sóng mất cân đối dẫn đến DLTZ bị âm). Cần chỉnh lại các thông số sóng (chiều cao và/hoặc chu kì) để độ sâu vận chuyển cát $D_{LTo} > 0$.
2. ERROR. BEACH FILL IS OUTSIDE CALCULATION GRID (Phạm vi đổ bãi vượt ra ngoài lưới tính toán)
3. ERROR. BOTH SEMI-INFINITE DETACHED BREAKWATER AND A DIFFRACTING GROIN ON LEFT/RIGHT-HAND BOUNDARY NOT ALLOWED (Không cho phép đồng thời có đê chắn sóng vắt qua biên và mỏ hàn nhiễu xạ trên cùng một biên trái/phải)
4. ERROR. DETACHED BREAKWATER CAN ONLY CONNECT TO A GROIN AT THE GROIN TIP (Đê chắn sóng chỉ được nối liền với mỏ hàn tại đầu mỏ hàn)
5. ERROR. DETACHED BREAKWATER ENDING ON LEFT/RIGHT-HAND BOUNDARY NOT ALLOWED (Đầu đê chắn sóng không được nằm trên biên trái/phải).
6. ERROR. DETACHED BREAKWATER TIP OUTSIDE CALCULATION GRID (Đầu đê chắn sóng ở ngoài phạm vi lưới tính toán)
7. ERROR. DIFFACTING GROIN OUTSIDE CALCULATION GRID. (Mỏ hàn nhiễu xạ nằm ngoài lưới tính toán)
8. ERROR. DETACHED BREAKWATER ENDING ON OPEN LEFT-HAND BOUNDARY NOT ALLOWED.
9. ERROR. DETACHED BREAKWATER ENDING ON OPEN RIGHT-HAND BOUNDARY NOT ALLOWED.
10. ERROR. DETACHED BREAKWATER TIP OUTSIDE CALCULATION GRID.

11. ERROR. DIFFRACTING GROIN OUTSIDE CALCULATION GRID.
12. ERROR. DIFFRACTING STRUCTURES OVERLAP.
13. ERROR. END X-COORDINATE OF SEAWALL MUST BE GREATER THAN THE START X-COORDINATE.
14. ERROR FOUND IN DEPIN. FILES DEPTH (AND WAVES) CONTAIN TOO FEW VALUES.
15. ERROR FOUND IN KDGODA. KD CALCULATION DID NOT CONVERGE.
16. ERROR FOUND IN SHOIN. FILE SHORM CONTAINS TOO FEW VALUES.
17. ERROR FOUND IN SHOIN. LAST SHORELINE BLOCK(S) OUTSIDE THE CALCULATION GRID.

Phụ lục B

Nội dung các file số liệu của dự án Lakeview

Dưới đây là nội dung các file số liệu của chương trình khi chạy dự án tại Lakeview (Chương 5). Các số liệu theo bản thảo gốc (dùng hệ đơn vị Anh). Chú ý: 1 ft = 0,3048 m; 1 yard = 3 ft = 0,9144 m; 1 m^3 = 35,3147 ft^3 = 1,3080 $yard^3$.

File START

File START_INIT chứa các số liệu theo thiết kế ban đầu, chính là phiên bản thứ nhất của file START.

```
A------------------------- MODEL SETUP  -----------------------------A
A.1  RUN TITLE
     LAKEVIEW PARK CASE STUDY, MAY-JUNE 1989, PRELIMINARY RUN
A.2  INPUT UNITS (METERS=1; FEET=2): ICONV
     2
A.3  TOTAL NUMBER OF CALCULATION CELLS AND CELL LENGTH: NN, DX
     49 25
A.4  GRID CELL NUMBER WHERE SIMULATION STARTS AND NUMBER OF CALCULATION
     CELLS (N = -1 MEANS N = NN): ISSTART, N
     1    -1
A.5  VALUE OF TIME STEP IN HOURS: DT
     6
A.6  DATE WHEN SHORELINE SIMULATION STARTS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): SIMDATS
     771001
A.7  DATE WHEN SHORELINE SIMULATION ENDS OR TOTAL NUMBER OF TIME STEPS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): SIMDATE
     771024
A.8  NUMBER OF INTERMEDIATE PRINT-OUTS WANTED: NOUT
     0
```

```
A.9  DATES  OR  TIME STEPS OF INTERMEDIATE PRINT-OUTS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501, NOUT VALUES): TOUT(I)

A.10 NUMBER OF CALCULATION CELLS IN OFFSHORE CONTOUR SMOOTHING WINDOW
     (ISMOOTH = 0 MEANS NO SMOOTHING, ISMOOTH = NMEANS  STRAIGHT LINE.
     RECOMMENDED VALUE = 11): ISMOOTH
     11
A.11 REPEATED WARNING MESSAGES (YES=1; NO=0): IRWM
     1
A.12 LONGSHORE SAND TRANSPORT CALIBIUITION COEFFICIENTS: K1, K2
     .77 .0
A.13 PRINT-OUT OF TIME STEP NUMBERS? (YES=1; NO=0): IPRINT
     0
B------------------------------  WAVES  -----------------------------B
B.1  WAVE HEIGHT CHANGE FACTOR. WAVE ANGLE CHANGE FACTOR AND AMOUNT (DEG)
(NO CHANGE: HCNGF=1, ZCNGF=1, ZCNGA=0): HCNGF, ZCNGF, ZCNGA
     1 1 0
B.2  DEPTH OF OFFSHORE WAVE INPUT: DZ
     30
B.3  IS AN EXTERNAL WAVE MODEL BEING USED (YES=1; NO=0): NWD
     0
B.4  COMMENT: IF AN EXTERNAL WAVE MODEL IS NOT BEING USED, CONTINUE TO B.6
B.5  NUMBER OF SHORELINE CALCULATION CELLS PER WAVE MODEL ELEMENT: ISPW

B.6  VALUE OF TIME STEP IN WAVE DATA FILE IN HOURS (MUST BE AN EVEN MULTIPLE
     OF, OR EQUAL TO DT): DTW
     6
B.7  NUMBER OF WAVE COMPONENTS PER TIME STEP: NWAVES
     1
B.8  DATE WHEN WAVE FILE STARTS (FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): WDATS
     770101
C------------------------ -------  BEACH  ---------------------------------C
C.1  EFFECTIVE GRAIN SIZE DIAMETER IN MILLIMETERS: D50
     0.4
C.2  AVERAGE BERM HEIGHT FROM MEAN WATER LEVEL: ABH
     8
C.3  CLOSURE DEPTH: DCLOS
     16
D----------------------- - NONDIFFRACTING GROINS ------------------------ -D
D.1  ANY NONDIFFRACTING  GROINS? (NO=0, YES=1): INDG
     1
D.2  COMMENT: IF NO NONDIFFRACTING  GROINS, CONTINUE TO E.
D.3  NUMBER OF NONDIFFRACTING  GROINS: NNDG
     2
D.4  GRID CELL NUMBERS OF NONDIFFRACTING GROINS (NNDG VALUES): IXNDG(I)
```

```
     1 50
D.5  LENGTHS OF NONDIFFRACTING  GROINS FROM X-AXIS (NNDG VALUES): YNDG(I)
     164 360
E----------------- DIFFRACTING  (LONG) GROINS AND JETTIES -----------------E
E.1  ANY DIFFRACTING GROINS OR JETTIES? (NO=0, YES=1): IDG
     0
E.2  COMMENT: IF NO DIFFRACTING GROINS, CONTINUE TO F.

E.3  NUMBER OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES: NDG

E.4  GRID CELL NUMBERS OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES  (NDG VALUES): IXDG(I)

E.5  LENGTHS OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES FROM X-AXIS (NDG VALUES): YDG(I)

E.6  DEPTHS AT SEAWARD END OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES(NDG  VALUES): DDG(I)
F----------------------  ALLGROINS/JETTIES   ------------------------ -----F
F.1  COMMENT: IF NO GROINS OR JETTIES, CONTINUE TO G.
F.2  REPRESENTATIVE  BOTTOM SLOPE NEAR GROINS: SLOPE2
     0.056 (1:18)
F.3  PERMEABILITIES OF ALL GROINS AND JETTIES (NNDG+NDG VALUES): PERM(I)
     0.0 0.0
F.4  IF GROIN OR JETTY ON LEFT-HAND BOUNDARY, DISTANCE FROM SHORELINE
     OUTSIDE GRID TO SEAWARD END OF GROIN OR JETTY: YG1
     35
F.5  IF GROIN OR JETTY ON RIGHT-HAND BOUNDARY, DISTANCE FROM SHORELINE
     OUTSIDE GRID TO SEAWARD END OF GROIN OR JETTY: YGN
     240
G.----------------------- DETACHED BREAKWATERS  -------------------------G
G.1  ANY DETACHED BREAKWATERS?  (NO-0, YES=1): IDB
     1
G.2  COMMENT: IF NO DETACHED BREAKWATERS, CONTINUE TO H.
G.3  NUMBER OF DETACHED BREAKWATERS: NDB
     3
G.4  ANY DETACHED BREAKWATER ACROSS
     (NO=0, YES=1): IDB1
     0
G.5  ANY DETACHED BREAKWATER ACROSS
     (NO=0, YES=1): IDBN
     0
G.6  LEFT-HAND CALCULATION BOUNDARY
     RIGHT-HAND CALCULATION BOUNDARY
     GRID CELL NUMBERS OF TIPS OF DETACHED BREAKWATERS
G.7  (2 *NDB - (IDB1+IDBN) VALUES): IXDB(I)
     2 12      18 28     34 44
G.8  DISTANCES FROM X-AXIS TO TIPS OF DETACHED BREAKWATERS
```

```
     (1 VALUE FOR EACH TIP SPECIFIED IN G.6): YDB(I)
     445 477   498 509   525 525
G.9  DEPTHS AT DETACHED BREAKWATER TIPS (1 VALUE FOR EACH TIP
     SPECIFIED IN G.6): DDB(I)
     10 10.5   11 11.5   11.7 11.7
     DETACHED BREAKWATER TRANSMISSION cOEFFICIENTS  (NDB VALUES: TWDB(I)
     0         0         0
H--- -------------------- -------  SEAWALLS  ------------------------ -------H
H.1  ANY SEAWALL ALONG THE SIMULATED SHORELINE? (YES=1; NO=0): ISW
     1
H.2  COMMENT: IF NO SEAWALL, CONTINUE TO I.
H.3  GRID CELL NUMBERS OF START AND END OF SEAWALL (ISWEND = -1 MEANS
     ISWEND = N): ISWBEG, ISWEND
     1 -1
I---------------------- ------  BEACH FILLS  ------------------------ -----I
1.1  ANY BEACH FILLS DURING SIMULATION PERIOD? (NO=0, YES=1): IBF
     0
1.2  COMMENT: IF NO BEACH FILLS, CONTINUE TO K.
1.3  NUMBER OF BEACH FILLS DURING SIMULATION PERIOD: NBF
1.4  DATES OR TIME STEPS WHEN THE RESPECTIVE FILLS START
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY  1992 = 920501, NBF VALUES): BFDATS(I)
1.5  DATES OR TIME STEPS WHEN THE RESPECTIVE FILLS END
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY  1992 = 920501, NBF VALUES): BFDATE(I)
1.6  GRID CELL NUMBERS OF START OF RESPECTIVE FILLS (NBF VALUES): IBFS(I)
1.7  GRID CELL NUMBERS OF END OF RESPECTIVE FILLS (NBF VALUES): IBFE(I)
1.8  ADDED BERM WIDTHS AFTER ADJUSTMENT TO EQUILIBRIUM CONDITIONS
     (NBF VALUES): YADD(I)
--------------------------------  END  ------------------------ ------------
```

File START_CAL chứa các số liệu phục vụ cho khâu thẩm định.

```
A--- -------------------- -----  MODEL SETUP  ------------------------ ------A
A.1  RUN TITLE
     LAKEVIEW PARK CASE STUDY, MAY-JUNE 1989, CALIBRATION
A.2  INPUT UNITS (METERS=1;FEET=2): ICONV
     2
A.3  TOTAL NUMBER OF CALCULATION CELLS AND CELL LENGTH: NN, DX
     49 25
A.4  GRID CELL NUMBER WHERE SIMULATION STARTS AND NUMBER OF CALCULATION
     CELLS (N = -1 MEANS N = NN): ISSTART, N
     1 -1
A.5  VALUE OF TIME STEP IN HOURS: DT
     0.3
A.6  DATE WHEN SHORELINE SIMULATION STARTS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): SIMDATS
     771024
```

```
A.7  DATE WHEN SHORELINE SIMULATION ENDS OR TOTAL NUMBER OF TIME STEPS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): SIMDATE
     781009
A.8  NUMBER OF INTERMEDIATE PRINT-OUTS WANTED: NOUT
     0
A.9  DATES  OR  TIME STEPS  OF INTERMEDIATE PRINT-OUTS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501, NOUT VALUES): TOUT(I)

A.10 NUMBER OF CALCULATION CELLS IN OFFSHORE CONTOUR SMOOTHING WINDOW
     (ISMOOTH = 1 MEANS NO SMOOTHING, ISMOOTH - N MEANS STRAIGHT LINE.
     RECOMMENDED VALUE = 11): ISMOOTH
     11
A.11 REPEATED WARNING MESSAGES (YES=1; NO=0): IRWM
     1
A.12 LONGSHORE SAND TIUNSPORT CALIBRATION COEFFICIENTS: K1, K2
     .42 .12
A.13 PRINT-OUT OF TIME STEP NUMBERS? (YES=1, NO=0): IPRINT
     0
B----------------------- --------  WAVES  ------------------------- -------B
B.1  WAVE HEIGHT CHANGE FACTOR. WAVE ANGLE CHANGE FACTOR AND AMOUNT (DEG)
     (NO CHANGE: HCNGF=1, ZCNGF=1, ZCNGA=0): HCNGF, ZCNGF, ZCNGA
     1 1 0
B.2  DEPTH OF OFFSHORE WAVE INPUT: DZ
     30
B.3  IS AN EXTERNAL WAVE MODEL BEING USED (YES=1; NO=0): NWD
     0
B.4  COMMENT: IF AN EXTERNAL WAVE MODEL IS NOT BEING USED, CONTINUE TO B.6
B.5  NUMBER OF SHORELINE CALCULATION CELLS PER WAVE MODEL ELEMENT: ISPW
     VALUE OF TIME STEP IN WAVE DATA FILE IN HOURS (MUST BE AN EVEN MULTIPLE
B.6  OF, OR EQUAL TO DT): DTW
     6
     NUMBER OF WAVE COMPONENTS PER TIME STEP: NWAVES
B.7  1
B.8  DATE WHEN WAVE FILE STARTS (FORMAT WMMDD:  1 MAY 1992 = 920501): WDATS
     770101
C----------------------- -------  BEACH  --....--------------------------c
C.1  EFFECTIVE GRAIN SIZE DIAMETER IN MILLIMETERS: D50
     0.4
C.2  AVERAGE BERM HEIGHT FROM MEAN WATER LEVEL: ABH
     8
C.3  CLOSURE DEPTH: DCLOS
     16
D-----------------------  NONDIFFRACTING GROINS -------------------------D
D.1  ANY NONDIFFIWCTING  GROINS? (NO=0, YES=l): INDG
     1
```

```
D.2  COMMENT: IF NO NONDIFFRACTING GROINS, CONTINUE TO E.
D.3  NUMBER OF NONDIFFRACTING  GROINS: NNDG
     2
D.4  GRID CELL NUMBERS OF NONDIFFRACTING  GROINS (NNDG VALUES): IXNDG(I)
     1 50
D.5  LENGTHS OF NONDIFFMCTING   GROINS FROM X-AXIS (NNDG VALUES): YNDG(I)
     164 360
E----------------- DIFFRACTING  (LONG) GROINS AND JETTIES -----------------E
E.1  ANY DIFFRACTING GROINS OR JETTIES? (NO-O, YES=l): IDG
     0
E.2  COMMENT: IF NO DIFFRACTING GROINS, CONTINUE TO F.

E.3  NUMBER OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES: NDG

E.4  GRID CELL NUMBERS OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES  (NDG VALUES): IXDG(I)

E.5  LENGTHS OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES FROM X-AXIS (NDG VALUES): YDG(I)

E.6  DEPTHS AT SEAWARD END OF DIFFRACTING GROINS/JETTIES(NDG  VALUES): DDG(I)

F-----------------------  ALL GROINS/JETTIES  ------------------------ -----F
F.1  COMMENT: IF NO GROINS OR JETTIES, CONTINUE TO G.
F.2  REPRESENTATIVE  BOTTOM SLOPE NEAR GROINS: SLOPE2
     0.056  (1:18)
F.3  PERMEABILITIES OF ALL GROINS AND JETTIES (NNDG+NDG VALUES): PERM(I)
     0.0 0.0
F.4  IF GROIN OR JETTY ON LEFT-HAND BOUNDARY, DISTANCE FROM SHORELINE
     OUTSIDE GRID TO SEAWARD END OF GROIN OR JETTY: YG1
     70
F.5  IF GROIN OR JETTY ON RIGHT-HAND BOUNDARY, DISTANCE FROM SHORELINE
     OUTSIDE GRID TO SEAWARD END OF GROIN OR JETTY: YGN
     180
G------------------------ - DETACHED BREAKWATERS  ------------------------ -G
G.1  ANY DETACHED BREAKWATERS?  (NO=O, YES=1): IDB
     1
G.2  COMMENT: IF NO DETACHED BREAKWATERS, CONTINUE TO H.
G.3  NUMBER OF DETACHED BREAKWATERS: NDB
     3
G.4  ANY DETACHED BREAKWATER ACROSS LEFT-HAND CALCULATION BOUNDARY
     (NO=O, YES=1): IDB1
     0
G.5  ANY DETACHED BREAKWATER ACROSS RIGHT-HAND CALCULATION BOUNDARY
     (NO=O, YES-l): IDBN
     0
G.6  GRID CELL NUMBERS OF TIPS OF DETACHED BREAKWATERS
```

```
     (2 *NDB - (IDB1+IDBN) VALUES): IXDB(I)
     2 12      18 28     36 46
G.7  DISTANCES FROM X-AXIS TO TIPS OF DETACHED BREAKWATERS
     (1 VALUE FOR EACH TIP SPECIFIED IN G.6):  YDB(I)
     445 477   498 509   525 525
G.8  DEPTHS AT DETACHED BREAKWATER TIPS (1 VALUE FOR EACH TIP
     SPECIFIED IN G.6): DDB(I)
     10 10.5   11 11.5   11.7 11.7
G.9  DETACHED BREAKWATER TRANSMISSION COEFFICIENTS  (NDB VALUES): TRANDB(I)
     0.5         0.22         0.3
H--- -------------------- -------  SEAWALLS  ------------------------ ------H
H.1  ANY SEAWALL ALONG THE SIMULATED SHORELINE? (YES-1; NO==0): ISW
     1
H.2  COMMENT: IF NO SEAWALL, CONTINUE TO I.
H.3  GRID CELL NUMBERS OF START AND END OF sEAwALL (ISWEND = -1 MEANS
     ISWEND = N): ISWBEG, ISWEND
     1 -1
I--------------------------  BEACH FILLS  ----------------------------I
1.1  ANY BEACH FILLS DURING SIMULATION PERIOD? (NO=0, YES=1): IBF
     0
1.2  COMMENT: IF NO BEACH FILLS, CONTINUE TO K.
1.3  NUMBER OF BEACH FILLS DURING SIMULATION PERIOD: NBF

1.4  DATES OR TIME STEPS WHEN THE RESPECTIVE FILLS START
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY  1992 = 920501, NBF VALUES): BFDATS(I)

1.5  DATES OR TIME STEPS WHEN THE RESPECTIVE FILLS END
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501, NBF VALUES): BFDATE(I)

1.6  GRID CELL NUMBERS OF START OF RESPECTIVE FILLS (NBF VALUES): IBFS(I)

1.7  GRID CELL NUMBERS OF END OF RESPECTIVE FILLS (NBF VALUES): IBFE(I)

1.8  ADDED BERM WIDTHS AFTER ADJUSTMENT TO EQUILIBRIUM CONDITIONS
     (NBF VALUES): YADD(I)

--------------------------------  END  ----------------------------------
```

File START_VER là số liệu dùng cho khâu kiểm định mô hình. Ở đây chỉ liệt kê những chỗ khác với file START_CAL.

```
A---------------------- -----  MODEL SETUP  ----------------------- ------A
A.1  RUN TITLE
     LAKEVIEW PARK CASE STUDY, MAY-JUNE 1989, VERIFICATION
A.6  DATE WHEN SHORELINE SIMULATION STARTS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): SIMDATS
```

```
     781009
A.7  DATE WHEN SHORELINE SIMULATION ENDS OR TOTAL NUMBER OF TIME STEPS
     (DATE FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): SIMDATE
     791117
B---------------------- ---------  WAVES  --------------------------------B
B.8  DATE WHEN WAVE FILE STARTS (FORMAT YYMMDD: 1 MAY 1992 = 920501): WDATS
     780101
F-----------------------  ALL GROINS/JETTIES  ----------------------------F
F.4  IF GROIN OR JETTY ON LEFT-HAND BOUNDARY, DISTANCE FROM SHORELINE
     OUTSIDE GRID TO SEAWARD END OF GROIN OR JETTY: YG1
     128
--------------------------------  END  ----------------------- ------------
```

File SHORL

File SHORL_771024 chứa vị trí của đường bờ ngày 24/10/1977, chiều dài mỗi đoạn lưới là DX = 25 ft.

```
*********************************************************************
SHORL.DAT HOLDS SHORELINE POSITIONS. MUST CONTAIN NN VALUES.
EXACTLY 10 ENTRIES ON EACH LINE! LVP, 771024
****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ******
151.2  154.2  157.2  162.2  173.2  194.2  212.2  215.2  220.2  220.2
218.2  215.2  212.2  210.2  210.2  212.2  215.2  226.2  233.2  244.2
255.2  263.2  273.2  279.2  281.2  284.2  279.2  273.2  263.2  257.2
255.2  257.2  263.2  273.2  279.2  287.2  295.2  295.2  295.2  295.2
297.2  292.2  287.2  281.2  279.2  273.2  271.2  263.2  252.2
```

File SHORL_781009 chứa vị trí của đường bờ ngày 09/10/1978, chiều dài mỗi đoạn lưới là DX = 25 ft.

```
*********************************************************************
SHORL.DAT HOLDS SHORELINE POSITIONS. MUST CONTAIN NN VALUES.
EXACTLY 10 ENTRIES ON EACH LINE! LVP, 781009
****** ****** ****** ****** ****** ******k ****** ****** ****** ******
131.4  139.4  148.4  158.4  168.4  183.4  191.4  202.4  208.4  208.4
207.4  208.4  209.4  213.4  217.4  216.4  219.4  227.4  238.4  249.4
264.4  277.4  283.4  279.4  275.4  272.4  273.4  278.4  275.4  273.4
272.4  269.4  270.4  272.4  277.4  282.4  289.4  299.4  310.4  320.4
325.4  318.4  307.4  301.4  296.4  294.4  285.4  281.4  276.4
```

File SHORL_791117 chứa vị trí của đường bờ ngày 17/11/1979, chiều dài mỗi đoạn lưới là DX = 25 ft.

```
*****************************************************************
SHORL.DAT HOLDS SHORELINE POSITIONS. MUST CONTAIN NN VALUES.
EXACTLY 10 ENTRIES ON EACH LINE! LVP, 791117
****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ******
86.5   92.5  101.5  109.5  127.5  144.5  161.5  172.5  184.5  198.5
202.5  203.5  205.5  204.5  205.5  211.5  219.5  229.5  238.5  250.5
263.5  277.5  297.5  305.5  303.5  292.5  283.5  272.5  268.5  269.5
268.5  267.5  270.5  272.5  279.5  290.5  305.5  318.5  330.5  339.5
345.5  349.5  349.5  334.5  325.5  315.5  304.5  294.5  289.5
```

File SEAWL

Số liệu về tường biển trên lưới tính toán với chiều dài đoạn lưới DX = 25 ft.

```
*****************************************************************
SEAWL.DAT HOLDS SEAWALL POSITIONS. MUST CONTAIN NN VALUES.
EXACTLY 10 ENTRIES ON EACH LINE! LAKEVIEW PARK. DX = 25 FT.
****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ****** ******
-84.0  -45.0  -39.0  -41.0  -41.9  -42.8  -43.7  -44.6  -45.5  -46.4
-47.3  -48.2  -49.0  -49.9  -50.8  -51.7  -52.6  -53.5  -54.4  -55.3
-56.2  -57.1  -58.0  -58.9  -27.0  -27.0  -27.0  -27.0  -27.0  -76.0
-68.0  -63.0  -57.0  -53.0  -50.0  -48.0  -47.0  -49.0  -52.0  -54.0
-57.0  -60.0  -62.0  -63.0 -120.5 -178.0 -180.0 -182.0 -184.0
```

File WAVES

Định dạng của file số liệu sóng là: chu kì (T), chiều cao (H), hướng sóng (α) trên cùng một dòng (ví dụ về số liệu sóng như ở bảng dưới).

```
*****************************************************************
WAVES FOR LAKEVIEW PARK. PRODUCED USING TM 37, SAVILLE, 1953.
SHADOWING FROM THE HARBOR & ICE FROM DECEMBER TO MARCH ACCOUNTED FOR.
*****************************************************************
-0.00   0.00   0.00 JAN
-0.00   0.00   0.00
-0.00   0.00   0.00
-0.00   0.00   0.00
.           .           .
.           .           .
(wave data are given
in tabular form below)
.           .           .
.           .           .
-0.00   0.00   0.00
```

Ví dụ về một vài dòng số liệu sóng như sau (để cho gọn đã trình bày 3 cột) :

```
5.00  1.70  15.00 N
4.00  0.86 -10.00 O
4.00  0.86 -10.00 V
4.00  0.86 -10.00
4.00  0.86 -10.00
6.00  2.36  38.00
4.00  0.86 -10.00
4.00  0.86 -10.00
4.00  0.86 -10.00
6.00  1.97  38.00
4.00  0.86 -10.00
```

File OUTPT

File OUTPT_CAL chứa kết quả kiểm định mô hình:

```
RUN :   LAKEVIEW PARK CASE STUDY, MAY-JUNE 1989, CALIBRATION
INITIAL SHORELINE
151.2  154.2  157.2  162.2  173.2  194.2  212.2  215.2  220.2  220.2
218.2  215.2  212.2  210.2  210.2  212.2  215.2  226.2  233.2  244.2
255.2  263.2  273.2  279.2  281.2  284.2  279.2  273.2  263.2  257.2
255.2  257.2  263.2  273.2  279.2  287.2  295.2  295.2  295.2  295.2
297.2  292.2  287.2  281.2  279.2  273.2  271.2  263.2  252.2

LAST TIME STEP.  WAVES ORIGINATING FROM ENERGY WINDOW NO.  1

BREAKING WAVE HEIGHT
0.91   0.34   0.29   0.24   0.19   0.15   0.12   0.09   0.07   0.06
0.05   0.04   0.03   0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.

BREAKING WAVE ANGLE TO X-AXIS
11.31  11.27  18.12  22.58  24.79  25.87  23.82  22.38  16.36  10.18
 7.83   7.57   7.21   0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
 0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
 0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
 0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
```

...
(bỏ qua kết quả tính sóng trong 6 ô năng lượng khác)
...

```
GROSS TRANSPORT VOLUME (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
 36310  45967  48287  49323  47485  44151  40880  35693  31864  30314
 28894  28696  27242  24888  23349  21664  19094  17224  16488  16620
 17086  17966  18560  17964  16192  15805  19627  20727  22050  22664
 23225  23226  24940  25258  22169  21343  21325  21280  21442  20334
 18728  16679  16973  17843  21430  22789  22271  22319  19340   1501

NET TRANSPORT VOLUME (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
  4228   4780   5253   5570   5729   5850   6156   6621   6938   7226
  7446   7576   7596   7511   7340   7122   6893   6648   6495   6297
  6130   5961   5725   5480   5354   5348   5525   5647   5694   5573
  5361   5135   4967   4924   5078   5253   5420   5557   5490   5203
  4727   4193   3604   3012   2429   1924   1411    976    480   -154

TRANSPORT VOLUME TO THE LEFT (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
-16040 -20592 -21516 -21876 -20877 -19149 -17368 -14436 -12461 -11543
-10724 -10559  -9822  -8689  -8001  -7271  -6098  -5287  -4996  -5161
 -5478  -6002  -6417  -6241  -5419  -5228  -7051  -7540  -8178  -8544
 -8933  -9045  -9986 -10166  -8545  -8044  -7952  -7861  -7975  -7565
 -7000  -6243  -6684  -7415  -9500 -10432 -10429 -10670  -9429   -828

TRANSPORT VOLUME TO THE RIGHT (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
 20269  25373  26770  27446  26607  25001  23510  21253  19400  18768
 18169  18136  17419  16199  15348  14393  12995  11936  11492  11458
 11608  11964  12144  11722  10773  10577  12576  13187  13872  14119
 14293  14180  14953  15090  13623  13298  13373  13419  13466  12768
 11727  10438  10288  10427  11929  12356  11841  11648   9910    673

OUTPUT OF BREAKING WAVE STATISTICS FOR SELECTED LOCATIONS
N.B. WAVE DIFFRACTION IS NOT ACCOUNTED FOR!
GRID CELL NUMBERS
     1      2      3      4      5      6      7      8      9     10
    11     12     13     14     15     16     17     18     19     20
    21     22     23     24     25     26     27     28     29     30
    31     32     33     34     35     36     37     38     39     40
    41     42     43     44     45     46     47     48     49
AVERAGE UNDIFFRACTED BREAKING WAVE HEIGHT
   1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0
   1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0
   1.0    1.0    1.0    1.0    1.1    1.1    1.1    1.1    1.1    1.1
   1.1    1.1    1.1    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0    1.0
   1.1    1.1    1.1    1.1    1.1    1.1    1.1    1.1    1.1
AVERAGE UNDIFFRACTED BREAKING WAVE ANGLE TO SHORELINE (DEG)
  -5.7   -4.4   -7.4   -8.7   -9.6  -10.4   -9.5   -7.0   -4.2    0.7
   2.7    2.4    2.1    1.6    0.4   -1.2   -3.9   -7.5   -9.4  -11.1
```

```
 -13.9  -13.7  -11.1   -2.0    6.0   11.3    6.1    5.3    4.6    3.1
   2.1    1.0   -1.6   -2.9   -6.7   -9.7  -11.0  -12.9  -13.6  -11.7
  -8.2   -0.3    7.6    9.4    4.5    3.9    3.0    1.8    1.0

AVERAGE LONGSHORE TRANSPORT RATE WITHOUT DIFFRACTION   (FT3/SEC)
 -0.034 -0.033 -0.064 -0.077 -0.087 -0.102 -0.089 -0.042 -0.017  0.047
  0.075  0.088  0.086  0.077  0.054  0.031 -0.009 -0.055 -0.085 -1.010
  0.148 -0.150 -0.117  0.009  0.130  0.179  0.142  0.127  0.117  0.086
  0.072  0.053  0.016 -0.006 -0.047 -0.090 -0.107 -0.137 -0.146 -0.114
 -0.074  0.038  0.137  0.162  0.113  0.101  0.084  0.059  0.045  0.0

LONGSHORE TRANSPORT (FT3/SEC)
  0.    -0.002 -0.004 -0.005 -0.006 -0.006 -0.005 -0.005 -0.003 -0.001
  0.000  0.001  0.001  0.001  0.000 -0.002 -0.003 -0.002 -0.001 -0.001
 -0.01  -0.001 -0.002 -0.001 -0.001  0.000  0.005  0.007  0.007  0.006
  0.04   0.002 -0.002 -0.003 -0.003 -0.003 -0.002 -0.002 -0.002 -0.002
 -0.02   0.000  0.000  0.001  0.006  0.009  0.010  0.009  0.006  0.0

CALCULATED SHORELINE
 126.4  132.9  143.0  155.0  167.8  180.4  191.3  201.0  207.2  210.4
 212.4  214.3  216.0  217.9  220.0  222.5  226.2  233.1  242.1  251.7
 262.8  273.8  284.2  284.9  281.5  276.3  273.7  271.1  268.7  266.7
 265.4  264.8  265.1  266.3  271.4  279.7  289.0  298.2  308.1  316.6
 321.2  318.7  313.8  307.4  301.9  296.2  290.7  285.5  280.8

CALCULATED SEAWARDMOST SHORELINE POSITION
 151.2  159.3  171.2  189.3  211.3  236.3  271.6  273.8  237.5  236.5
 227.9  221.8  222.2  223.4  225.2  228.5  234.3  241.2  250.3  261.3
 276.0  287.8  298.5  303.1  296.1  286.2  279.2  273.8  269.9  267.0
 265.4  266.1  267.9  273.2  279.2  287.2  295.2  301.2  315.1  326.0
 344.7  332.5  328.8  320.0  310.7  303.5  298.5  295.7  295.6

CALCULATED LANDWARDMOST  SHORELINE POSITION
  91.9  106.4  122.6  139.9  152.5  167.9  179.2  186.7  195.6  197.2
 206.0  207.5  208.4  207.2  208.1  211.4  215.2  214.5  224.6  237.5
 253.6  263.2  272.5  279.2  278.7  271.1  264.7  258.8  251.4  247.0
 241.2  243.9  247.4  243.8  250.9  259.8  271.1  284.9  295.2  295.2
 296.5  292.2  287.2  281.2  278.4  273.1  267.4  261.7  252.2

CALCULATED REPRESENTATIVE  OFFSHORE CONTOUR
 1110.6 1119.7 1128.7 1137.8 1146.9 1155.9 1163.8 1171.1 1177.8 1184.1
 1189.8 1195.2 1200.5 1205.6 1210.6 1215.6 1220.5 1225.5 1230.3 1235.1
 1239.5 1243.6 1247.1 1249.9 1251.9 1253.5 1254.7 1255.6 1256.5 1257.5
 1258.7 1260.3 1262.3 1264.7 1267.5 1270.6 1273.9 1277.0 1279.8 1281.8
 1283.0 1283.4 1282.9 1281.6 1278.3 1274.9 1271.6 1268.3 1265.0
```

```
CALIBRATION/VERIFICATION  ERROR =    4.03645
```

File OUTPT_VER chứa kết quả thẩm định mô hình (YEAR 1 là chỉ năm tính toán từ 9/10/1978 đến 8/10/1979, YEAR 2 là thời gian từ 9/10/1979 đến hết thời đoạn tính toán):

```
RUN :   LAKEVIEW PARK CASE STUDY, MAY-JUNE 1989, VERIFICATION
INITIAL SHORELINE
 131.4  139.4  148.4  158.4  168.4  183.4  191.4  202.4  208.4  208.4
 207.4  208.4  209.4  213.4  217.4  216.4  219.4  227.4  238.4  249.4
 264.4  277.4  283.4  279.4  275.4  272.4  273.4  278.4  275.4  273.4
 272.4  269.4  270.4  272.4  277.4  282.4  289.4  299.4  310.4  320.4
 325.4  318.4  307.4  301.4  296.4  294.4  285.4  281.4  276.4

GROSS TRANSPORT VOLUME (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
 21131  44696  54797  59264  61894  60843  58831  54605  48872  45301
 42159  40481  38028  34870  31417  28324  25605  21766  20514  20193
 21028  22150  22910  22744  21335  21105  27188  28573  29633  30039
 30478  30148  32153  32072  28076  26760  26519  26352  26282  24090
 21536  19155  20025  22020  28047  29819  29210  29023  29061   4254

NET TRANSPORT VOLUME (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
 -1540   -563    444   1441   2373   3190   3987   4643   5244   5709
  6036   6235   6370   6445   6528   6618   6600   6559   6529   6532
  6542   6614   6698   6635   6404   6174   5979   5846   5871   5872
  5862   5853   5785   5728   5689   5643   5517   5317   5100   4893
  4707   4527   4241   3826   3437   3061   2769   2402   2063   1719

TRANSPORT VOLUME TO THE LEFT (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
-11335 -22629 -27175 -28911 -29759 -28826 -27422 -24981 -21813 -19795
-18061 -17123 -15828 -14213 -12439 -10852  -9502  -7600  -6992  -6829
 -7243  -7768  -8106  -8054  -7465  -7464 -10604 -11361 -11882 -12083
-12308 -12146 -13184 -13172 -11194 -10557 -10500 -10517 -10591  -9598
 -8414  -7313  -7891  -9096 -12304 -13378 -13219 -13308 -13493  -1267

TRANSPORT VOLUME TO THE RIGHT (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 1
  9795  22066  27620  30353  32133  32016  31409  29622  27055  25501
 24096  23357  22199  20657  18976  17471  16102  14165  13522  13363
 13785  14381  14804  14689  13869  13639  16584  17210  17752  17956
 18170  18000  18968  18899  16881  16202  16019  15835  15691  14491
 13120  11841  12133  12923  15742  16440  15990  15714  15566   2987

LAST TIME STEP.  WAVES ORIGINATING FROM ENERGY WINDOW NO.  1
BREAKING WAVE HEIGHT
0.99   0.38   0.34   0.29   0.24   0.19   0.15   0.12   0.09   0.07
```

```
0.06   0.05   0.04   0.04   0.     0.     0.     0.     0.     0.
0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
BREAKING WAVE ANGLE TO X-AXIS

14.24   7.68  14.51  21.57  27.32  31.06  31.41  32.26  32.86  31.58
 6.25   7.10   6.42   7.51   0.     0.     0.     0.     0.     0.
 0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
 0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.
 0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.     0.

(bỏ qua kết quả tính sóng trong 6 ô năng lượng khác)

GROSS TRANSPORT  VOLUME (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 2
  4840  12749  12402  15443  17352  15912  14307  14700  12777   9941
  8875   8667   8191   7630   7159   6720   6307   5651   5320   5186
  5363   5533   5344   5148   4766   4335   5060   5185   5354   5579
  5891   6100   7276   7359   6255   6262   6488   6476   6418   5628
  4698   4343   4332   4341   4895   4758   4267   4442   4225    423

NET TRANSPORT VOLUME (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 2
  3343   3431   3566   3735   3929   4128   4306   4442   4518   4505
  4300   4176   4102   4082   4101   4134   4127   4058   3939   3789
  3601   3397   3153   2898   2644   2376   2228   2166   2187   2277
  2423   2612   2826   3037   3206   3283   3328   3325   3260   3128
  2932   2646   2217   1699   1293    969    722    548    443    389

TRANSPORT VOLUME TO THE LEFT (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 2
  -748  -4658  -4417  -5854  -6711  -5891  -5000  -5129  -4129  -2718
 -2286  -2245  -2044  -1774  -1528  -1293  -1090   -795   -691   -698
  -881  -1068  -1095  -1124  -1060   -979  -1416  -1509  -1583  -1651
 -1734  -1743  -2225  -2160  -1524  -1489  -1580  -1575  -1578  -1250
  -883   -848  -1057  -1320  -1800  -1894  -1772  -1946  -1890    -16

TRANSPORT VOLUME TO THE RIGHT (YARDS3) FOR CALCULATED PART OF YEAR 2
  4092   8090   7984   9589  10640  10020   9307   9571   8648   7223
  6589   6422   6146   5856   5630   5427   5217   4855   4629   4488
  4482   4465   4248   4023   3705   3356   3644   3675   3771   3928
  4157   4356   5051   5198   4731   4773   4908   4900   4839   4378
  3815   3494   3275   3020   3094   2863   2494   2495   2334    406

OUTPUT OF BREAKING WAVE STATISTICS FOR SELECTED LOCATIONS
N.B. WAVE DIFFRACTION IS NOT ACCOUNTED FOR!
GRID CELL NUMBERS
```

```
 1      2      3      4      5      6      7      8      9     10
11     12     13     14     15     16     17     18     19     20
21     22     23     24     25     26     27     28     29     30
31     32     33     34     35     36     37     38     39     40
41     42     43     44     45     46     47     48     49

AVERAGE UNDIFFRACTED BREAKING WAVE HEIGHT
1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2
1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2
1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2
1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2
1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2    1.2

AVERAGE  UNDIFFRACTED BREAKING WAVE ANGLE TO SHORELINE  (DEG)
  -6.9   -3.9   -6.4   -8.4  -10.3  -11.3  -11.8  -10.7   -8.7   -3.1
  -0.1    1.7    2.1    1.7    0.5   -1.1   -2.4   -7.6  -10.1  -12.0
 -15.3  -15.6  -13.3   -3.4    6.3   13.3    6.5    5.9    5.1    3.6
   2.6    1.3   -1.3   -2.9   -7.5  -10.5  -12.2  -14.9  -15.6  -14.2
  -8.4    0.2    8.2   11.2    5.3    4.5    3.6    2.2    1.0

AVERAGE LONGSHORE TRANSPORT RATE WITHOUT DIFFRACTION  (FT3/SEC)
 -0.051 -0.035 -0.060 -0.091 -0.106 -0.126 -0.135 -0.117 -0.064 -0.003
  0.051  0.081  0.112  0.107  0.082  0.052  0.023 -0.051 -0.095 -0.133
 -0.184 -0.196 -0.162  0.003  0.168  0.240  0.188  0.173  0.161  0.122
  0.105  0.078  0.034 -0.002 -0.057 -0.109 -0.136 -0.184 -0.197 -0.172
 -0.079  0.064  0.178  0.222  0.159  0.141  0.122  0.089  0.057  0.0

LONGSHORE TRANSPORT (FT3/SEC)
  0.0    0.001 -0.002 -0.005 -0.007 -0.008 -0.009 -0.009 -0.010 -0.010
  0.003  0.012  0.014  0.011  0.003 -0.009 -0.012 -0.004 -0.002 -0.002
 -0.002 -0.002 -0.002 -0.002 -0.001  0.002  0.020  0.025  0.025  0.022
  0.017  0.010 -0.001 -0.012 -0.006 -0.004 -0.003 -0.003 -0.003 -0.003
 -0.003 -0.002 -0.001  0.003  0.022  0.028  0.031  0.030  0.020  0.0

CALCULATED SHORELINE
  83.5   88.0   96.0  107.8  122.7  139.6  155.8  172.0  188.1  202.9
 204.1  205.6  206.9  208.8  211.9  217.5  224.3  234.1  245.0  257.4
 270.4  284.5  297.7  301.2  297.7  287.9  282.1  276.3  271.3  267.3
 264.3  262.8  263.4  266.6  276.0  286.1  298.5  312.1  325.6  337.6
 346.3  350.6  349.3  337.2  327.9  318.6  309.7  301.3  294.3

CALCULATED SEAWARDMOST SHORELINE POSITION
 140.1  146.1  187.5  163.7  212.5  194.2  243.4  251.6  267.4  248.6
 243.1  233.7  226.1  226.5  228.5  233.1  238.4  244.5  252.0  264.4
 278.9  294.9  308.9  311.3  306.4  295.1  287.1  281.7  277.6  274.5
```

```
 273.3  274.0  276.1  280.2  285.6  293.4  302.5  315.0  332.9  361.6
 357.9  352.2  349.7  339.5  328.7  321.6  318.0  316.0  316.1

CALCULATED LANDWARDMOST  SHORELINE POSITION
  22.5   31.0   30.6   33.2   70.1   41.0   94.9  136.9  177.7  187.8
 191.7  194.2  196.3  198.3  200.6  208.2  213.3  216.4  224.1  238.0
 253.4  267.9  279.4  279.4  275.4  272.4  269.5  264.8  256.2  250.7
 244.6  247.4  248.8  247.6  255.9  266.8  280.9  295.2  308.5  315.2
 319.0  316.7  307.4  299.4  293.8  287.6  281.7  276.0  268.3

CALCULATED REPRESENTATIVE  OFFSHORE CONTOUR
1067.8 1079.1 1090.5 1101.8 1113.1 1124.5 1135.1 1145.2 1154.9 1164.1
1172.8 1181.2 1189.2 1197.1 1204.7 1212.2 1219.4 1226.3 1232.8 1239.0
1244.6 1249.7 1253.8 1257.0 1259.2 1260.5 1261.3 1261.8 1262.3 1263.1
1264.3 1266.1 1268.7 1272.2 1276.3 1281.1 1286.1 1291.1 1295.7 1299.2
1301.7 1302.8 1302.7 1301.3 1296.7 1292.1 1287.6 1283.0 1278.5

CALIBRATION/VERIFICATION  ERROR =    4.06798
```

■

Tài liệu tham khảo

Bruun, P. 1954. "Coast Erosion and the Development of Beach Profiles," Technical Memorandum No. 44, Beach Erosion Board, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed., Clarendon Press, Oxford, England.

Dean, R. G. 1977. "Equilibrium Beach Profiles: US Atlantic and Gulf Coasts," Ocean Engineering Report No. 12, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, DE.

Ebersole, B. A. 1985. "Refraction-Diffraction Model for Linear Water Waves," *Journal of Waterway, Port, Coastal. and Ocean Engineering*, Vol 111, No. WW6, pp 939–953.

Ebersole, B. A., Cialone, M. A., và Prater, M. D. 1986. "RCPWAVE - A Linear Wave Propagation Model for Engineering Use," Technical Report CERC-86-4, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.

Goda, Y., Takayama, T., và Suzuki, Y. 1978. "Diffraction Diagrams for Directional Random Waves," Proceeding of 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp 628–650.

Gravens, M. B., và Kraus, N. C. 1989. "Representation of the Groin Boundary Condition in Numerical Shoreline Change Models," Proceedings XXIII Coruzress, International Association of Hydraulic Research, pp C515–C522.

Hallermeier, R. J. 1983. "Sand Transport Limits in Coastal Structure Design," Proceedings of Coastal Structures '83, American Society of Civil Engineers, pp 703–716.

Hanson, H. 1987. "GENESIS, A Generalized Shoreline Change Model for Engineering Use," Report No. 1007, Department of Water Resources Engineering, University of Lund, Lund, Sweden.

Hanson, H., và Kraus, N.C., 1986a. "Forecast of Shoreline Change Behind Multiple Coastal Structures," *Coastal Engineering in Japan*, Vol 29, pp 195–213.

Hanson, H. và Kraus, N. C. 1986b. "Seawall Boundary Condition in Numerical Models of Shoreline Evolution," Technical Report CERC-86-3, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.

Hanson, H., Kraus, N. C., và Nakashima, L. D. 1989. "Shoreline Change Behind Transmissive Detached Breakwaters," Proceedings Coastal Zone '89, American Society of Civil Engineers, pp 568–582.

Hunt, J. F. 1979. "Direct Solution of the Wave Dispersion Equation," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol 105, No. WW4, pp 457–459.

Komar, P. D., and Inman, D. L. 1970. "Longshore Sand Transport on Beaches," *Journal of Geophysical Research*, Vol 73, No. 30, pp 5914–5927.

Kraus, N. C. 1981. "One-Line Development and Simulation for Oarai Beach," NERC Report No. 13, Cooperative Research of Surf Zone Dynamics, Part 3, Beaches Near Breakwaters and Rocky Coasts, Nearshore Environment Research Center, Tokyo, Japan, pp 155–192.

Kraus, N. C. 1982. "Pragmatic Calculation of the Breaking Wave Height and Wave Angle Behind Structures," Proceedings of 29th Japanese Coastal Engineering Conference, Japan Society of Civil Engineers, pp 295–299. (in Japanese)

Kraus, N.C. 1983. "Applications of a Shoreline Prediction Model," Proceedings of Coastal Structures '83, American Society of Civil Engineers, pp 632–645.

Kraus, N. C. 1984. "Estimate of Breaking Wave Height Behind Structures," *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol 110, No. 2, pp 276–282.

Kraus, N. C. 1988a. "Part IV: Prediction Models of Shoreline Change," Chapter 2, Wave Model, In: K. Horikawa, Ed., Nearshore Dynamics and Coastal Processes: Theory, Measurement, and Predictive Models, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan, pp 324–328.

Kraus, N.C., Isobe, M., Igarashi, H., Sasaki, T., and Horikawa, K. 1982. "Field Experiments on Longshore Sand Transport in the Surf Zone," Proceeding of 18th Coastal Enrineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp 969–988.

Kraus, N. C., Gingerich, K. J., và Rosati, J. D. 1988. "Toward an Improved Empirical Formula for Longshore Sand Transport," Proceedings of 21st Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp 1182–1196.

Kraus, N. C., và Harikai, S. 1983. "Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach," *Coastal Engineering*, Vol 7, No. 1, pp 1–28.

Kriebel, D., và Dean, R. G. 1985. "Numerical Simulation of Time-Dependent Beach and Dune Erosion," *Coastal Engineering*, Vol 9, pp 221–245.

Larson, M. 1988. "Quantification of Beach Profile Change," Report No. 1008, Department of Water Resources Engineering, University of Lund, Lund, Sweden.

Larson, M., và Kraus, N. C. 1989a. "Prediction of Beach Fill Response to Varying Waves and Water Level," Proceedings Coastal Zone '89, American Society of Civil Engineers, pp 607–621.

Mitchell, J. H. 1893. "On the Highest Waves in Water," Philosophic Magazine, Series 5, No. 36, pp 430–437.

Moore, B. 1982. "Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height," M.S. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, DE.

Ozasa, H., và Brampton, A. H. 1980. "Mathematical Modeling of Beaches Backed by Seawalls," *Coastal Engineering*, Vol 4, No. 1, PP 47–64.

Pelnard-Considère, R. 1956. "Essai de Theorie de I'Evolution des Forms de Rivage en Plage de Sable et de Galets," 4th Journees de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question III, No. 1, PP 289–298.

Pope, J., và Rowen, D. D. 1983. "Breakwaters for Beach Protection at Lorain, OH," Proceedings of Coastal Structures '83, American Society of Civil Engineers, pp 753–768.

Saville, T. 1953. "Wave and Water Level Statistics for Lake Erie," Technical Memorandum No. 37, Beach Erosion Board, US Army Corps of Engineers.

Smith, E. R., và Kraus, N. C. "Laboratory Study of Macrofeatures of Wave Breaking Over Bars and Reefs," Technical Report in preparation, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.

Shore Protection Manual. 1984. 4th cd., 2 Vols, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC.

US Army Engineer District, Buffalo. 1975. "Cooperative Beach Erosion US Army Engineer District, Buffalo. Control Project for lakeview Park, Lorain, Ohio," General Design Memorandum, Phase II, Project Design, Buffalo, NY.

Walker, J. R., Clark, D., và Pope, J. 1980. "A Detached Breakwater System for Beach Protection," Proceedings 17th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp 1968–1987.

Chỉ mục

Độ sâu giới hạn vận chuyển bùn cát, 14
Độ sâu vận chuyển bùn cát dọc bờ, 12
Định luật Snel
    phương trình, 17
Ô năng lượng sóng, 24

Chỉ số sóng vỡ
    phương trình, 17
Chiều cao thềm bãi
    trong P.T. biến đổi đường bờ, 10

Góc hướng sóng
    định nghĩa, 17
GENESIS
    giới thiệu, 4
    giả thiết cơ bản, 10

Hình dạng mặt cắt ngang bãi, 13
    bề rộng dải vận chuyển cát, 12
Hệ số chuyển cát dọc bờ
    định nghĩa, 12
    giá trị kinh nghiệm, 12
Hiệu chỉnh đường đồng mức, 19

Mô hình biến đổi đường bờ, 6
    mô hình 3 chiều, 6
Mô hình biến đổi bãi biển
    mô hình giải tích, 6
    mô hình xói lở mặt cắt, 6

Nguồn cấp hoặc thoát bùn cát
    ứng dụng thực tiễn, 12
    trong P.T. biến đổi đường bờ, 11

RCPWAVE, 22

Tính sóng
    chỉ số sóng vỡ, 17
    chiều cao sóng vỡ, 17
    chiều cao sóng vỡ xét đến nhiễu xạ, 18
    chiều cao sóng vỡ xét tổng hợp các yếu tố, 20
    góc truyền sóng, 17
Truyền sóng qua công trình
    hệ số, 20