

KỸ THUẬT TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BÃI BIỂN NHÂN TẠO PROCEDURE FOR DESIGNING ARTIFICIAL SEASHORE

Trần Thu Tâm* ; Vũ Văn Nghi**

*Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, ĐHBK TP. HCM.

**Khoa Công Trình, Đại học Giao Thông Vận Tải TP. HCM.

BẢN TÓM TẮT

Báo cáo giới thiệu quy trình tính toán tạo bãi biển nhân tạo, chú trọng chủ yếu đến việc vận dụng các lời giải giải tích của lý thuyết về mặt cắt ngang bãi biển cân bằng, lời giải của mô hình diễn biến đường bờ để tính toán khả năng chịu bão của bãi nhân tạo, đánh giá tốc độ xói lở của bãi để xác định chu kỳ bảo dưỡng bãi. Các kết quả tổng hợp bước đầu này có thể giúp chọn lựa kích thước bãi, tính toán sơ bộ tính khả thi về mặt kỹ thuật của việc xây dựng bãi biển nhân tạo, đồng thời là cơ sở để phát triển các mô hình số có khả năng giải quyết chính xác hơn những bài toán phức tạp thực tế.

I.- GIỚI THIỆU CHUNG

Bãi biển nhân tạo là loại công trình tạo nên một đệm “mềm” để bảo vệ bờ, bảo vệ chân kè biển chống xói, chống ngập ven bờ, đặc biệt hơn là tạo ra một bãi tắm để phục vụ du lịch ở những vùng không có bãi tự nhiên hay bãi tự nhiên không đạt yêu cầu vui chơi, giải trí.

Những bãi nhân tạo đầu tiên được xây dựng từ những năm 1950, nhưng từ sau 1970 mới được xây dựng nhiều và các lý thuyết tính toán có liên quan mới được nghiên cứu một cách có hệ thống cùng với sự phát triển của lĩnh vực động lực học hình thái vùng ven biển. Qui mô của những dự án tạo bãi nhỏ sử dụng khoảng 100.000 – 150.000 m³ cát sỏi, trên chiều dài khoảng vài trăm mét, các dự án lớn có thể kéo dài hàng chục km với khối lượng vật liệu sử dụng lên đến 8-10 triệu m³. Bãi nhân tạo là một dạng công trình “mềm” chịu tác động xói lở của sóng nên phải thường xuyên được duy tu bảo dưỡng, bổ sung thêm vật liệu bị tổn thất theo thời gian. Tuổi thọ tính toán của bãi thường là khoảng chục năm, chu kỳ bảo dưỡng bổ sung cát định kỳ khoảng 3-5 năm, ngoài ra có thể phải bổ sung vật liệu ngay sau các cơn bão hoặc sau mùa bão từng năm.

Tại Việt Nam, trong những năm gần đây cũng xuất hiện nhiều công trình loại này phục vụ cho mục đích du lịch như ở đảo Tuần Châu, bãi biển Cà Ná...

Kỹ thuật tính toán bãi nhân tạo hiện nay vẫn dựa chủ yếu vào kinh nghiệm, thực nghiệm trên mô hình thu nhỏ và thực nghiệm tại chỗ.

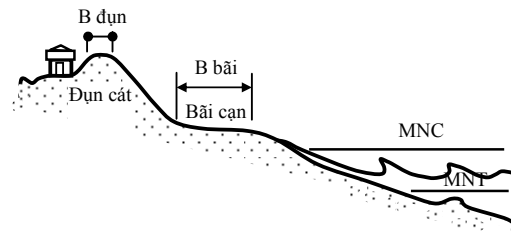
Các mô hình số tính diễn biến đường bờ, diễn biến đáy biển cũng được đã được sử dụng trong các dự án có quy mô lớn ở các nước phát triển để tính toán hiệu quả của việc tạo bãi, ảnh hưởng của bãi đến chu vực lân cận.

Báo cáo này trình bày tổng hợp các vấn đề cơ bản trong thiết kế tạo bãi, thiết lập sơ bộ quy trình tính toán, vận dụng các công thức kinh nghiệm, các lời giải giải tích của các trường hợp đơn giản để xác định kích thước bãi hợp lý, mức độ ổn định chống bão, tốc độ xói mòn và tuổi thọ của bãi.

II.- CÁC THÀNH PHẦN CƠ BẢN VÀ KÍCH THƯỚC CỦA BÃI

Một hệ thống bãi nhân tạo có thể bao gồm các thành phần sau (

Hình 1):



Hình 1: Cấu tạo chung của mặt cắt ngang bãi biển.

- **Bãi cạn ven bờ**: là thành phần chính tương tự như các bãi tự nhiên, nằm ở khu vực sóng leo sát mép nước ứng với khoảng giao

động mực nước triều bình thường. Đôi khi có các bãi ở cao độ cao hơn đợc sóng bờ trong điều kiện mực nước và gió bão đặc biệt lớn hoặc do sạt lở của các bờ vách bị xói chân.

Bãi cạn ven bờ làm nhiệm vụ của một vùng đệm chống xói. Bề rộng và cao độ bãi cạn là hai thông số quan trọng.

- Bề rộng bãi thường đợc mở rộng ra phía biển, bề rộng tăng thêm phụ thuộc vào yêu cầu bảo vệ, mục đích tạo bãi, khuynh hướng bồi xói dài hạn của khu vực, chu kỳ bảo dưỡng và thường phải đợc xác định trên cơ sở phân tích kinh tế, cân đối hiệu quả và chi phí. Theo kinh nghiệm của Tây Ban Nha thì bề rộng bãi khô phải > 60 m ở mọi mùa trong năm để phục vụ du lịch có hiệu quả. Về mặt kỹ thuật bề rộng bãi tùy thuộc vào yêu cầu chống xói do bão và đợc tính toán trong phần sau.

- Cao độ bãi cạn thường lấy bằng cao độ bãi tự nhiên hoặc cao hơn một chút, mặt bãi thường có độ dốc nhẹ (1/100-1/150) xuôi ra phía biển. Khi bờ tự nhiên không có bãi hoặc bãi đã bị xói mất hoàn toàn (sau đập đỉnh hoặc trước kè biển), phải tham khảo các bãi lân cận có điều kiện tương tự. Khi không có số liệu gì có thể lấy cao độ bãi bằng giới hạn chiều cao sóng leo trong điều kiện sóng và mực nước trung bình.

- **Đụn cát ven bờ:** làm nhiệm vụ như một đê bao ven bờ để chống tràn, chống ngập phía sau đê, đồng thời cũng là nguồn dự trữ cát cho bãi khi có bão lớn.

Chiều cao, bề rộng đỉnh và mái dốc đụn cát là các thông số cần xác định trên cơ sở tham khảo các đụn cát tự nhiên ven bờ và cân đối chi phí-hiệu quả bảo vệ. Thông thường đỉnh đụn cát cao khoảng 5m trên mực nước biển trung bình, bề rộng đỉnh khoảng 10 m và mái dốc đụn tùy vào vật liệu đụn và điều kiện xây dựng, thường lấy $m = 5$. Trồng cỏ trên đụn có thể giúp duy trì đụn đụn và gây bồi nhờ giữ đợc cát do gió thổi đến.

- **Bãi ngầm gắn bờ:** Làm nhiệm vụ như một ngưỡng cát ngầm tự nhiên do sóng tạo ra khi có bão ngoài khu vực bờ.

Nếu ngưỡng ngầm đặt ở vùng nước cạn hơn chiều sâu giới hạn bồi xói thì vật liệu của ngưỡng sẽ có khuynh hướng di chuyển vào bờ tạo thành một bộ phận của bãi cạn, tuy nhiên vật liệu đổ vào ngưỡng không bảo vệ trực tiếp phần trên cạn, kinh nghiệm thực tế và trên mô hình tỷ lệ lớn cho thấy hiệu quả này không rõ ràng. Thông thường phương án tạo bãi ngầm gắn bờ để tiêu hao bớt năng lượng sóng đợc sử dụng

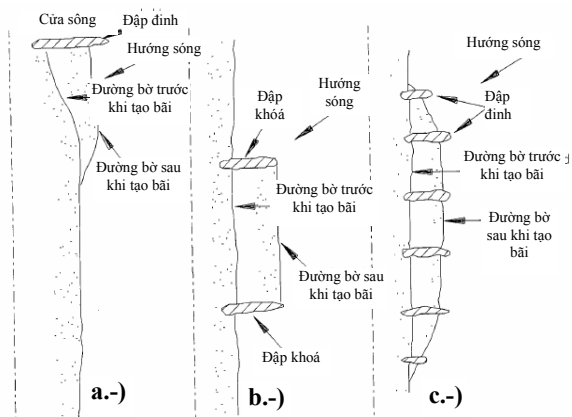
để giảm chi phí hoặc do thiếu thiết bị thi công, không thể đổ cát trực tiếp lên bờ (khi lấy vật liệu từ ngoài khơi vào bằng xà lan chẳng hạn).

- **Bãi nguồn:** Vật liệu tạo bãi đợc đổ ở khu vực thượng lưu của dự án, dòng dọc bờ sẽ chuyển dần vật liệu vào bồi cho khu vực dự án.

Bãi nguồn đợc đặt ở những nơi đợc xem như là nguồn của dòng bùn cát ven bờ, có hướng vận chuyển bùn cát dọc bờ dự báo đợc với lưu lượng bùn cát dọc bờ lớn hơn hẳn theo một hướng chủ đạo: những vùng bị xói mạnh do mất cân bằng bùn cát dọc bờ, vùng ngay hạ lưu của cửa sông, cửa lạch hoặc vùng ngay sau một đập đỉnh, mũi đất chắn ngang dòng bùn cát dọc bờ.

- **Các công trình liên hợp với bãi nhân tạo:** Chủ yếu là hệ thống đập đỉnh để cải thiện hiệu quả tạo bãi. (

Hình 2)



Hình 2: Công trình hỗ trợ bãi nhân tạo: a.-) Bãi nhân tạo sau mũi đất hoặc đập chắn ngang dòng dọc bờ. b.-) Bãi nhân tạo ổn định nhờ đập khoá hai đầu. c.-) Bãi nhân tạo ổn định nhờ hệ thống đập đỉnh.

Khi khu vực dự án ngăn hoặc bị ảnh hưởng bởi cửa sông có thể hạn chế tồn thất vật liệu tạo bãi bằng đập khoá ở một hoặc cả hai đầu khu vực dự án. (hình 2a và b). Các đập đỉnh có thể phân bố đều trong khu vực dự án để tăng tuổi thọ bãi, hạn chế chuyển động bùn cát dọc bờ, giảm tồn thất vật liệu ở hai đầu. (hình 2 c).

Các đập đỉnh có thể chỉ đặt ở một phần khu vực dự án để phân vùng dự án, tăng cường ổn định cho khu vực bị xói nặng.

Các đập đỉnh không tạo ra bùn cát mà chỉ điều chỉnh lại sự vận chuyển bùn cát, vì vậy nếu không có nguồn bùn cát thì hiệu quả bồi chỗ này

phải trả giá bằng khả năng xói ở chỗ khác và có thể tạo ra những kết quả nghịch không muốn có. Do vậy thông thường khu vực ở khoảng giữa các đập đỉnh và khu vực ngay sau hoặc ngay trước công trình phải được bồi lấp tạo bãi trực tiếp để tránh hiệu ứng xói lở cho khu vực lân cận. Để tránh hiệu ứng ngược cho khu vực lân cận, các đập đỉnh ở hai đầu dự án có thể bố trí ngắn hơn và bổ sung cát phía hạ lưu dự án. Thông thường cần có một vùng chuyển tiếp đủ dài để giảm thiểu tác động mất cát ở hai đầu lên khu vực trung tâm dự án.

III. DẠNG CỦA MẶT CẮT NGANG BÃI NHÂN TẠO

Để tạo được đụn cát và bãi cạn theo thiết kế cần phải đổ vật liệu đủ để tạo thành toàn bộ mặt cắt ngang ra đến độ sâu giới hạn bồi xói. Trong khi kích thước phần trên cạn phụ thuộc vào yêu cầu bảo vệ (sóng do bão, mực nước lũ) và điều kiện kinh tế, thì mặt cắt ngang thiết kế bên dưới bãi cạn phụ thuộc vào địa mạo tại chỗ và cỡ hạt của vật liệu đắp.

Mặt cắt ngang tự nhiên thường có một dải cát ngầm dọc bờ bên ngoài vùng sóng vỡ. Tuy nhiên trong điều kiện sóng lớn, xói mạnh, dải cát ngầm này có thể bị quét sạch, bãi cạn tự nhiên cũng có thể bị xói mất hoặc bị hạ thấp cao độ, hoặc có độ dốc quá lớn... Đây là những dấu hiệu chứng tỏ mặt cắt ngang hiện hữu không ổn định, bờ thiếu cát. Khi được tôn tạo lại, hệ thống dải cát ngầm dọc bờ sẽ được tái tạo và mặt cắt ngang sẽ có dạng ổn định.

Để xác định dạng của mặt cắt ngang ổn định này, có thể căn cứ vào các mặt cắt ngang thực tế trong khu vực dự án ở những vị trí tương đối ổn định hơn, không bị xói mạnh, có đủ nguồn cung cấp cát. Hoặc có thể căn cứ vào các mặt cắt có tính ổn định bên ngoài khu vực dự án, nhưng có điều kiện thủy văn, bùn cát tương tự. Các mặt cắt được đánh giá là ổn định này được đo ở nhiều vị trí dọc bờ và ở các mùa khác nhau trong năm, sau đó đặt chồng lên nhau và lấy trung bình để loại trừ các yếu tố bất thường trong mặt cắt ngang thiết kế.

Mặt cắt ổn định trung bình này được tịnh tiến về phía biển để tạo bề rộng bãi cạn theo thiết kế. Khi vật liệu đắp khác với vật liệu bãi tự nhiên phải điều chỉnh mặt cắt thiết kế theo nguyên lý mặt cắt ngang cân bằng (hình 3), phương pháp xác định mặt cắt ngang thiết kế theo mặt cắt bờ ổn định này thường được gọi là phương pháp tịnh tiến mặt cắt.

Khi không có điều kiện đo đạc mặt cắt thực tế hoặc trong tính toán sơ bộ có thể giả định dạng của mặt cắt ngang bờ có dạng cân bằng lý thuyết theo Dean (1977). Theo đó dạng của mặt cắt ngang chỉ phụ thuộc vào vật liệu đáy. Phương trình này thường được viết dưới dạng:

$$(1) \quad h = A \cdot y^{2/3}$$

h là chiều sâu nước và y là khoảng cách trên mặt cắt ngang tính từ mép nước.

A là thông số hình dạng mặt cắt, chỉ phụ thuộc vào đặc trưng vật liệu đáy.

Đây là một mô hình lý thuyết đơn giản và chỉ cho dạng chung của mặt cắt ngang bãi biển, biến thiên đơn điệu, không thể hiện được các chi tiết như dải cát ngầm ven bờ. Số mũ $2/3$ trong phương trình (1) đã được kiểm chứng với các mặt cắt thực tế khác nhau và đã chứng tỏ là giá trị thích hợp nhất. Thông số A cũng được Dean lập thành bảng tra theo đường kính trung bình d_{50} của vật liệu đáy, nhiều tác giả đã thiết lập quan hệ thực nghiệm giữa A và độ thô thủy lực w_s . Để tiện sử dụng có thể dùng công thức của Hanson và Kraus (1989) dựa trên các thực nghiệm của Moore (1982):

$$(2) \quad A = 0,41(d_{50})^{0,94} \text{ khi } d_{50} < 0,4 \text{ mm}$$

$$A = 0,23(d_{50})^{0,32} \text{ khi } 0,4 \text{ mm} \leq d_{50} < 10,0 \text{ mm}$$

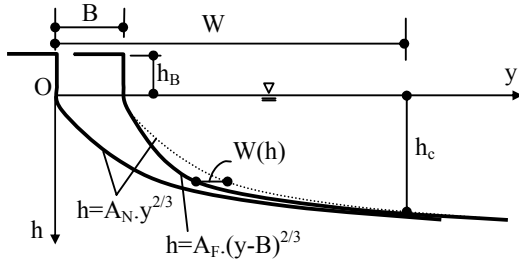
$$A = 0,23(d_{50})^{0,28} \text{ khi } 10,0 \text{ mm} \leq d_{50} < 40,0 \text{ mm}$$

$$A = 0,46(d_{50})^{0,11} \text{ khi } 40,0 \text{ mm} \leq d_{50}$$

Trong đó d_{50} tính bằng mm. A là một đại lượng có đơn vị, các giá trị bằng số trong các công thức trên ứng với A tính bằng $m^{1/3}$, h và y tính bằng m.

Gọi A_N là giá trị thông số A ứng với cát đáy tự nhiên và A_F là giá trị ứng với cát đắp, khi dùng phương pháp tịnh tiến mặt cắt, do cát đắp khác cát tự nhiên, mặt cắt ngang thiết kế theo mặt cắt bờ ổn định trung bình phải điều chỉnh hoành độ y một đoạn $W(h)$ tính theo: (hình 3)

$$(3) \quad W(h) = h^{3/2} \left[\left(\frac{1}{A_F} \right)^{3/2} - \left(\frac{1}{A_N} \right)^{3/2} \right]$$



Hình 3: Sơ đồ xác định mặt cắt ngang thiết kế của bãi nhân tạo.

IV. KHỐI LƯỢNG CÁT TẠO BÃI

Để xác định khối lượng cát tạo bãi cần xác định bề rộng tính toán hay bề rộng hoạt động W của vùng ven bờ. Chuyển động bùn cát ven bờ chỉ đáng kể trong phạm vi từ bờ ra đến một độ sâu nhất định, gọi là độ sâu giới hạn bồi xói h_c . Bên ngoài độ sâu này chuyển động bùn cát vẫn tồn tại nhưng không gây ra bồi xói đáng kể nên đáy được xem như ổn định. Có thể dùng công thức kinh nghiệm sau đây của Hallermeier (1983) để xác định h_c :

$$(4) \quad h_c = \frac{2,9H_0}{\sqrt{s-1}} - \frac{110H_0^2}{(s-1)gT^2}$$

H_0 là chiều cao sóng nước sâu có nghĩa hiệu dụng, T là chu kỳ sóng hiệu dụng, ứng với tần suất vượt là 12 giờ/năm hay 0,137% trên chuỗi đo sóng có nghĩa H_s , T_s theo giờ. s là tỷ trọng hạt bùn cát. Giá trị h_c này vào khoảng $2H_s$ hay $3,2$ lần chiều cao sóng nước sâu trung bình.

Có h_c sẽ xác định được bề rộng hoạt động W trên mặt cắt ngang thiết kế. Khi dùng mặt cắt ngang cân bằng, W được xác định theo vật liệu đáy tự nhiên tại chỗ:

$$(5) \quad W = \left(\frac{h_c}{A_N} \right)^{3/2}$$

Khối lượng cát tạo bãi trên một đơn vị dài dọc đường bờ được xác định bằng diện tích giới hạn bồi mặt cắt bờ hiện hữu và mặt cắt thiết kế. Khi giả định các mặt cắt này có dạng mặt cắt cân bằng theo (1), có thể ước tính khối lượng theo các công thức giải tích sau đây.

Do dạng của mặt cắt cân bằng tùy thuộc vào vật liệu đáy, mặt cắt hiện hữu và mặt cắt cát đắp có độ dốc khác nhau, do vậy các mặt cắt này có thể giao nhau hoặc không giao nhau trong phạm vi bề rộng tính toán W .

Khi cát đắp có cỡ hạt lớn hơn cát tự nhiên tại chỗ, $A_F > A_N$, mặt cắt bãi đắp có độ dốc lớn hơn nên sẽ có giao điểm với mặt cắt tự nhiên tại vị trí có khoảng cách đến mép nước cũ W_1 tính theo:

$$(6) \quad W_1 = \frac{B}{1 - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2}}$$

Điều kiện để có mặt cắt giao nhau trong phạm vi bề rộng tính toán W là $W_1 \leq W$, hay:

$$(7) \quad B \left(\frac{A_N}{h_c} \right)^{3/2} + \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \leq 1$$

Thể tích cát đắp khi có mặt cắt giao nhau tính theo (hình 4 a):

$$(8) \quad V_1 = B \cdot h_B + \frac{3}{5} \frac{B^{5/3} A_N A_F}{\left(A_F^{3/2} - A_N^{3/2} \right)^{2/3}}$$

Khi $W_1 = W$, ta có giá trị giới hạn V_{1c} của V_1 tính theo:

$$(9) \quad V_{1c} = W \left(h_b + \frac{3}{5} h_c \right) \left[1 - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right]$$

V_{1c} ứng với một bề rộng bãi cạn $B = B_{1c}$, tính theo:

$$(10) \quad B_{1c} = W \left[1 - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right]$$

Khi đồ vật liệu nhiều hơn V_{1c} ta được bề rộng bãi cạn B lớn hơn B_{1c} , nhưng mặt cắt ngang bãi bồi không giao với mặt cắt đáy tự nhiên trong phạm vi W (hình 4 b). Điều kiện (7) không thỏa, ta có dạng mặt cắt được gọi là mặt cắt không giao nhau. Vật liệu đắp cũng sẽ tràn ra đến độ sâu h_c nhưng theo mặt cắt cân bằng của cát đắp. Bề rộng tính toán tăng lên đến W_F tính theo:

$$(11) \quad W_F = B + \left(\frac{h_c}{A_F} \right)^{3/2}$$

Thể tích cát bồi V_2 trên bề rộng W_F tính theo:

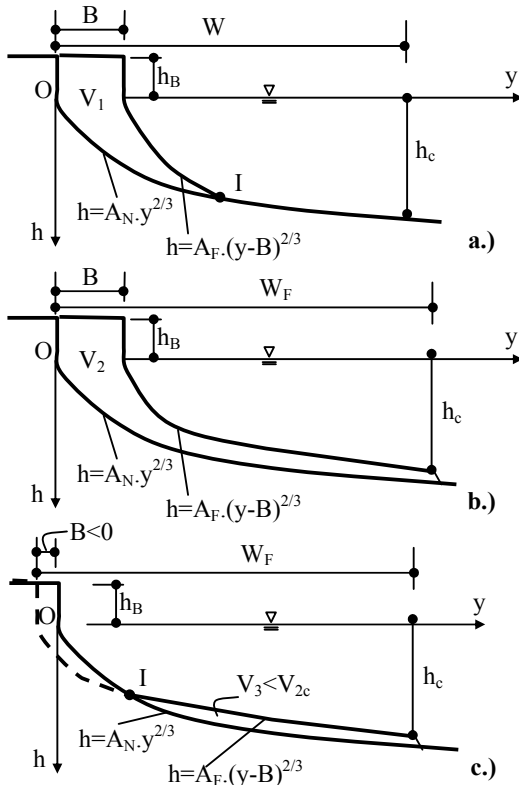
$$(12) \quad V_2 = B \cdot h_B + \frac{3}{5} \left(\frac{h_c}{A_F} \right)^{5/2} \left[A_N \left(1 + B \left(\frac{A_F}{h_c} \right)^{3/2} \right)^{5/3} - A_F \right]$$

Khi cát đắp có cỡ hạt nhỏ mịn hơn cát đáy tự nhiên, $A_F \leq A_N$, ta cũng có dạng mặt cắt không giao nhau (hình 4 b), điều kiện (7) không

thoả, thể tích cát bồi tính trên bề rộng W_F cũng theo công thức tính V_2 trên đây.

Khi $A_F \leq A_N$, lượng cát tối thiểu để tạo nên mặt cắt cân bằng mới mà không mở rộng bề rộng bãi cạn, $B = 0$, là V_{2c} tính theo:

$$(13) \quad V_{2c} = \frac{3}{5} \left(\frac{h_c}{A_F} \right)^{5/2} (A_N - A_F)$$



Hình 4: Các dạng mặt cắt bãi nhân tạo: a.) Mặt cắt giao nhau. b.) Mặt cắt không giao nhau. c.) Mặt cắt ngập nước.

Khi lượng cát đắp bồi nhỏ hơn V_{2c} bãi mới sẽ không nhô lên khỏi mặt nước, ta có trường hợp mặt cắt ngập nước (hình 4 c). Có thể tìm được quan hệ giữa thể tích cát bồi và vị trí giao điểm của mái dốc tự nhiên với phần mới được bồi.

Thể tích vật liệu theo các công thức trên chưa tính đến thể tích đụn cát nếu có, thể tích cát bồi để điều chỉnh mặt cắt tự nhiên về dạng mặt cắt cân bằng và thể tích cát bồi trước để dự phòng xói cho đến kỳ bão dưỡng đầu tiên.

V. ĐỘ LÙI BÃI BIÊN DO BÃO

Để xác định khả năng bảo vệ chống bão phải xác định được độ lùi của đường bờ do một cơn bão thiết kế. Bề rộng bãi cạn, ngoài các yêu cầu phục vụ du lịch, vui chơi, phải đảm bảo lớn hơn độ lùi tính toán này.

Việc tính toán tác động của bão dựa vào giả thiết mặt cắt ngang bãi biển cân bằng khi chịu sóng và nước dâng do bão sẽ chuyển sang dạng cân bằng mới sau một thời gian nhất định gọi là thời gian đáp ứng của bãi T_s .

Các thông số của cơn bão tính toán gồm tốc độ gió U_w , đà gió F và thời gian gió thổi t_w .

Tốc độ gió lấy theo số liệu thực tế ứng với tần suất vượt hay mức độ rủi ro chấp nhận được. Đà gió được đo theo thực tế địa hình hoặc có thể lấy đà gió trung bình theo 22TCN222-95:

$$(14) \quad F = \frac{k \cdot v}{U_w}$$

Trong đó F là đà gió trung bình (m); $k = 5 \cdot 10^{11}$ là một hệ số kinh nghiệm. $v = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ là độ nhớt động học của không khí. U_w là vận tốc gió (m/s).

Thời gian gió thổi t_w lấy theo thực tế hoặc có thể tham khảo thời gian gió thổi tối thiểu để sóng phát triển hoàn toàn khi đà gió cho trước. Đại lượng này có thể tính theo CEM2002 hay các công thức tương tự:

$$(15) \quad t_w = 77,23 \frac{F^{0,67}}{U_w^{0,34} \cdot g^{0,33}}$$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ là gia tốc trọng trường.

Chiều cao nước dâng do bão S có thể lấy số liệu thực tế ven bờ biển Việt Nam theo 14TCN130-2002, hoặc xem nước dâng chỉ do gió gây ra và tính theo các công thức kinh nghiệm. Ví dụ công thức của 22TCN222-95 như sau:

$$(16) \quad S = k_w \frac{U_w^2 F}{g(h + 0,5 \cdot S)} \cos \alpha_w$$

α_w là góc giữa hướng gió và pháp tuyến đường bờ. h là chiều sâu nước trung bình trên đà gió. k_w là hệ số kinh nghiệm tra theo tốc độ gió, có giá trị từ $2,1 \cdot 10^{-6}$ đến $4,8 \cdot 10^{-6}$.

Sóng do gió bão có thể dự báo bằng các biểu đồ hoặc công thức cho trong các tiêu chuẩn ngành 22TCN222-95 hoặc 14TCN130-2002 hoặc các tài liệu khác. Gọi H_o , L_o và α_w là chiều cao sóng, chiều dài sóng và góc tới của sóng dự báo ở nước sâu hoặc ở độ sâu h ở ngoài khơi ven

bờ. Sóng được truyền vào bờ theo các phương pháp thông thường cho đến khi sóng vỡ ở một độ sâu h_b với chiều cao sóng vỡ là H_b và góc tới của hướng sóng khi vỡ so với pháp tuyến đường bờ là α_b . Quá trình truyền sóng chủ yếu kể đến biến dạng sóng và khúc xạ do địa hình đáy biển. Sóng vỡ được có thể được xác định theo tiêu chuẩn độ sâu giới hạn sóng vỡ, theo tiêu chuẩn này sóng vỡ khi tỷ lệ chiều cao sóng trên độ sâu vượt quá một giá trị k_b gọi là chỉ số sóng vỡ theo độ sâu :

$$(17) \quad H_b = k_b \cdot h_b$$

Thường lấy $k_b = 0,78$ theo Munk (1949).

Khi giả định đường bờ thẳng, đường đồng sâu song song với bờ, chỉ xét biến dạng và khúc xạ sóng, có thể tính lập để tìm chiều cao sóng vỡ H_b theo biểu thức lý thuyết sau:

$$(18) \quad H_b = H_o^{4/5} (C_{go} \cos \alpha_w)^{2/5} x \left[\frac{g}{k_b} - \frac{g^2 H_b \sin^2 \alpha_w}{k_b^2 C_o} \right]^{-1/5}$$

C_{go} là vận tốc nhóm sóng và C_o là vận tốc truyền sóng ở độ sâu dự báo sóng h .

Góc tới của sóng tại vị trí sóng vỡ được xác định theo:

$$(19) \quad \sin \alpha_b = \sqrt{g \frac{H_b}{k_b} \frac{\sin \alpha_w}{C_o}}$$

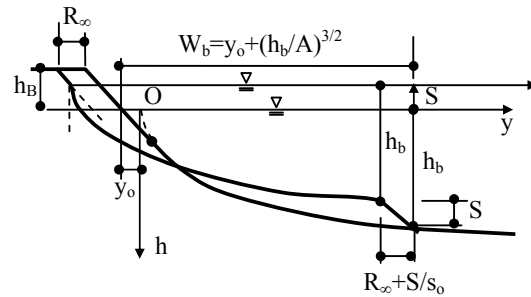
Trường hợp đơn giản, sóng H_o , L_o được dự báo ở nước sâu, bỏ qua khúc xạ, có thể dùng công thức bán kính nghiệm của Komar và Gaughan (1973) sau đây để tính H_b :

$$(20) \quad \frac{H_b}{H_o} = 0,563 \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-1/5}$$

Khi tính toán diễn biến tức thời của bãi biển chịu bão, theo Edelman (1972), bề rộng vùng tính toán thường chỉ giới hạn đến độ sâu sóng vỡ h_b ứng với sóng tính toán, độ sâu này được xác định theo (17).

Khi mực nước tĩnh dâng cao do bão, đường bờ sẽ lùi theo quy tắc Bruun (1962) về cân bằng thể tích dịch chuyển ngang và đứng của mặt cắt bờ ổn định. Độ lùi tĩnh tối đa R_∞ của đường bờ, ứng với một chiều cao nước dâng S cố định, là độ lùi có thể xảy ra khi điều kiện sóng gió, mực nước ổn định trong thời gian khá dài để mặt cắt tiến đến vị trí cân bằng mới. Các mô hình loại này được gọi là mô hình diễn biến mặt cắt ngang tĩnh. Trong nhiều mô hình khác nhau dựa trên quy tắc Bruun, có thể sử dụng kết quả của Kriebel và Dean (1993), dùng cho mặt

cắt ngang bờ có độ dốc s_o hoặc thẳng đứng tại mép nước (Hình 5):



Hình 5: Sơ đồ xác định độ lùi đường bờ R_∞ của bãi biển có độ dốc s_o theo Kriebel và Dean (1993).

$$(21) \quad R_\infty = S \frac{W_b - h_b/s_o}{h_b + h_b - S/2}$$

$$(22) \quad W_b = y_o + \left(\frac{h_b}{A} \right)^{3/2}$$

$$(23) \quad y_o = \frac{4A^3}{27s_o^3}$$

Trên thực tế độ lùi tĩnh R_∞ không thể diễn ra tức thời mà bãi biển cần có thời gian nhất định để đáp ứng với sự thay đổi của mực nước, đồng thời mỗi bước diễn biến sẽ phụ thuộc vào trạng thái của biển và bãi biển ngay trước thời điểm đó, như vậy tốc độ diễn biến sẽ tắt dần. Nếu mực nước đột ngột tăng lên đến S , thì biến thiên của độ lùi động của đường bờ theo thời gian $R(t)$ có thể viết dưới dạng:

$$(24) \quad R(t) = R_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{T_s}} \right)$$

Trong đó T_s là thông số thời gian đáp ứng của bãi biển, xác định theo thực nghiệm.

Mặt khác, nước dâng chỉ xảy ra trong thời gian tương đối ngắn t_w của cơn bão và trong thời gian đó mực nước sẽ dâng lên rồi hạ xuống. Các mô hình có tính đến biến thiên theo thời gian của nước dâng và của độ lùi đường bờ được gọi là các mô hình động. Theo Kriebel và Dean (1993) diễn biến của nước dâng theo thời gian có thể mô phỏng theo quy luật sau:

$$(25) \quad S(t) = S \cdot \sin^2(\sigma t)$$

$$(26) \quad \sigma = \frac{\pi}{t_w}$$

Từ đó Kriebel và Dean (1993) tìm được biến thiên của độ lồi động của đường bờ R(t) theo thời gian:

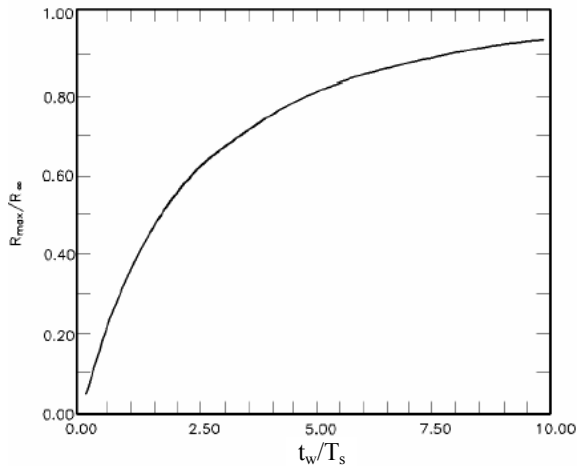
$$(27) \quad \frac{R(t)}{R_\infty} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\beta^2}{1 + \beta^2} \exp\left(-\frac{2\sigma t}{\beta}\right) - \frac{1}{1 + \beta^2} [\cos(2\sigma t) + \beta \sin(2\sigma t)] \right\}$$

Trong đó:

$$(28) \quad \beta = 2\pi \frac{T_s}{t_w}$$

Thông số thời gian đáp ứng của bãi T_s được thiết lập dựa trên các thực nghiệm số của Kriebel (1986, 1990):

$$(29) \quad T_s = 320 \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} A^3} \left[1 + \frac{h_b}{h_B} + \frac{s_o W_b}{h_b} \right]^{-1}$$



Hình 6: Đồ thị xác định độ lồi động cực đại R_{max} theo thời gian bão t_w .

Từ (27) có thể vẽ được biến thiên của độ lồi động theo thời gian R(t) và xác định được độ lồi động cực đại R_{max} do cơn bão tính toán gây ra. R_{max} thường nhỏ hơn R_∞ khá nhiều tùy thuộc vào thời gian bão t_w dài hay ngắn. Để ước lượng nhanh R_{max} có thể dùng đồ thị trên hình 6.

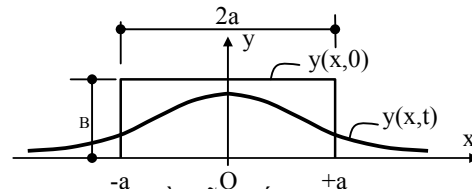
Sau khi có R_{max} có thể đánh giá mức độ phù hợp của bề rộng bãi thiết kế B và điều chỉnh nếu cần thiết.

VI. DIỄN BIẾN DÀI HẠN CỦA BÃI NHÂN TẠO

Trong điều kiện sóng gió bình thường, vật liệu của bãi biển cũng bị khuếch tán dọc theo bờ biển, bãi sẽ bị bào mòn dần và hình dạng bãi trên mặt bằng sẽ thay đổi. Vì vậy bãi cần được bảo dưỡng, bổ sung vật liệu định kỳ khoảng 2-3 năm một lần, ngoài ra cũng cần có dự trữ vật liệu cho các trường hợp bồi bổ sung khẩn cấp ngay sau các cơn bão. Việc xác định khối lượng và chu kỳ bảo dưỡng bãi được tính toán dựa vào tốc độ tổn thất cát trung bình hàng năm trong diễn biến dài hạn của bãi.

Diễn biến đường bờ và tuổi thọ của bãi sẽ phụ thuộc vào lượng cát bồi ban đầu, mức độ khuếch tán do sóng dọc bờ và ảnh hưởng của các công trình ở hai đầu bãi hoặc các công trình khác trong khu vực dự án.

Trong trường hợp đơn giản, đường bờ gần như thẳng theo trục x, điều kiện sóng xem như không đổi, góc sóng tới tại vị trí sóng vỡ α_b bé, lưu lượng bùn cát dọc bờ được tính theo phương pháp năng lượng (Công thức CERC), phương trình diễn biến đường bờ theo nguyên lý của loại mô hình 1-đường (one-line model) có thể thu gọn thành dạng của một phương trình khuếch tán sau: (hình 7)



Hình 7: Sơ đồ diễn biến dài hạn của bãi nhân tạo đơn giản theo sơ đồ của mô hình diễn biến đường bờ.

$$(30) \quad \frac{dy}{dt} = \varepsilon \frac{d^2y}{dx^2}$$

y là khoảng cách từ đường bờ đến trục x.

ε là hệ số khuếch tán đường bờ (m^2/s), xác định theo:

$$(31) \quad \varepsilon = \frac{KH_b^2 C_{gb}}{8} \left(\frac{1}{s-1} \right) \left(\frac{1}{1-n} \right) \left(\frac{1}{h_B + h_c} \right)$$

H_b là chiều cao sóng vỡ, C_{gb} là vận tốc nhóm của sóng tại điểm vỡ. s là tỷ trọng hạt bùn cát và

n là độ rỗng của vật liệu đáy biển, với cát biển thông thường có thể lấy $n = 0,4$. Cao độ bãi cạn trên mức nước tĩnh được ký hiệu là h_B và chiều sâu giới hạn bồi xói là h_c .

K là một hệ số kinh nghiệm khác nhau ít nhiều tùy theo tác giả vì các số liệu thực nghiệm khá phân tán, có thể lấy giá trị $K=0,77$ của Komar và Inman (1970).

Xét trường hợp của một bãi bồi thẳng, có chiều dài $2a$, khuếch tán tự do ở hai đầu (Hình 7). Lời giải giải tích của phương trình (30) cho trường hợp này có thể viết theo Walton và Chiu (1979) như sau:

(32)

$$y(x, t) = \frac{Y_0}{2} \left\{ \text{ERF} \left[\left(\frac{a}{2\sqrt{\epsilon t}} \right) \left(1 - \frac{x}{a} \right) \right] + \text{ERF} \left[\left(\frac{a}{2\sqrt{\epsilon t}} \right) \left(1 + \frac{x}{a} \right) \right] \right\}$$

$Y_0=B$ là bề rộng bãi ban đầu, $\text{ERF}(x)$ là hàm sai số, $\text{ERF}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$.

Phương trình (27) cho phép tính được bề rộng bãi còn lại sau thời gian t . Tích phân (27) trong phạm vi dự án $[-a, +a]$, có thể tính được tỷ lệ phần trăm $p(t)$ lượng vật liệu còn lại trong phạm vi dự án ở thời điểm t :

(33)

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\sqrt{\epsilon t}}{a} \right) \left\{ \exp \left[- \left(\frac{a}{\sqrt{\epsilon t}} \right)^2 \right] - 1 \right\} + \text{ERF} \left(\frac{a}{\sqrt{\epsilon t}} \right)$$

Khi t nhỏ, $p(t) > 0,5$, có thể tính gần đúng biểu thức trên, với sai số không quá 15%, theo công thức đơn giản sau:

$$(34) \quad p(t) = 1 - \frac{\sqrt{\epsilon t}}{a\sqrt{\pi}}$$

Từ công thức (33) hoặc (34) có thể tính được lượng vật liệu bị thất thoát ra ngoài phạm vi dự án cho đến thời điểm t , từ đó xác định được khối lượng và chu kỳ bảo dưỡng cần thiết.

Thời gian cần thiết để bãi bị tiêu hao mất một nửa khối lượng vật liệu, thường được gọi là chu kỳ bán rã $t_{50\%}$, có thể xác định gần đúng khi cho $p = 50\%$ trong công thức trên:

$$(35) \quad t_{50\%} = \frac{\pi a^2}{4\epsilon}$$

$t_{50\%}$ là một thông số để đánh giá tuổi thọ của bãi. Có thể thấy tuổi thọ của bãi tỷ lệ với a^2 , các bãi dài gấp đôi sẽ có tuổi thọ tăng gấp 4.

VII. VÍ DỤ VÀ CÁC BƯỚC TÍNH

1. Các số liệu cơ bản:

Khu vực Hàm Tân, Thuận Hải, mực nước trung bình MNTB = -0,10m (50%), mực nước cao MNC = +0,95 m (5%). Tốc độ gió bão tính toán $W = 30$ m/s, độ sâu dự báo sóng $h = 20$ m. Đường kính hạt trung bình $d_{50} = 0,25$ mm. Bề rộng bãi khô dự kiến lần biển $B = 50$ m, chiều dài khu vực dự án $2a = 4.000$ m.

2. Dự báo và tính toán truyền sóng:

Đà gió $F = 166.667$ m theo (14). Dự báo sóng theo công thức Bretschneider của 14TCN130-2002 cho: $H_{1/3} = 4,09$ m; $T_p = 8,26$ s. Chiều cao nước dâng lấy theo tiêu chuẩn này là $S = 1,0$ m.

Xem $\alpha_w = 0^\circ$, tính truyền sóng theo (18) hoặc (20): Chiều cao sóng vỡ $H_b = 4,21$ m. Độ sâu sóng vỡ $h_b = 5,39$ m xác định theo (17).

3. Thiết kế mặt cắt ngang và khối lượng vật liệu đắp:

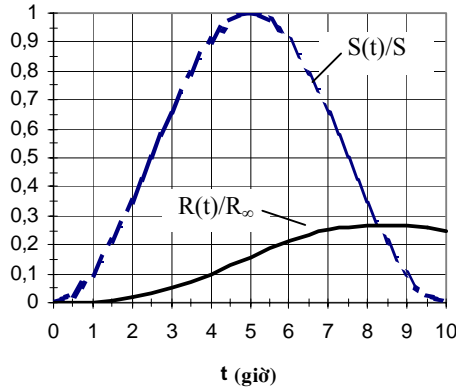
Mặt cắt ngang được tính toán theo MNTB = -0,1 m. Cao độ đỉnh bãi khô chọn là +2 m. Như vậy chiều cao bãi trên MNTB là $h_B = 2,1$ m. Chiều sâu giới hạn bồi xói $h_c = 7,57$ m, tính theo (4) với sóng hiệu dụng lấy bằng sóng do bão. Dự kiến tạo bãi bằng vật liệu tại chỗ, $A_F = A_N = 0,1114$ theo (2).

Bãi đắp có dạng như hình 4b. Khối lượng cát đắp trên một mét dài đường bờ được ước lượng theo (12): $V = 495$ m³/m. Tổng cộng khoảng 2 triệu m³ cát cho 4 km chiều dài bãi, diện tích bãi khô lần ra biển là 20 ha.

4. Tính tác động của bão:

Bãi phải chịu được cơn bão có H_b theo dự báo trên đây, cùng lúc với mức nước thủy triều cao MNC = +0,95 m và nước dâng $S = 1$ m. Độ vượt cao của bãi trên MNC chỉ còn $h_B = 1,05$ m. Giả định từ MNTB lên đến đỉnh đã bị thủy triều bào thành mái dốc có $m = 10$ (độ dốc $s_0 = 0,1$), Bãi có dạng như Hình 5, bề rộng đỉnh bãi thực tế chỉ còn khoảng $B = 29$ m. Độ lùi tính của đường bờ tính được $R_\infty = 47,64$ m theo (21).

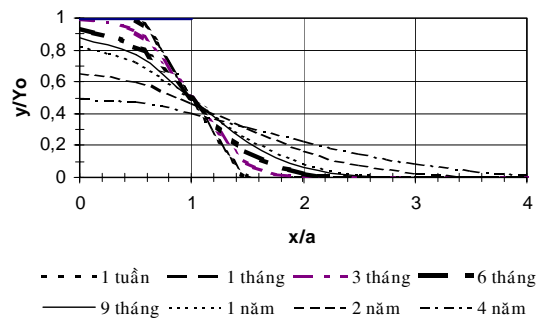
Độ dài cơn bão $t_w = 36.054 \text{ s} = 10 \text{ giờ}$ có thể ước tính theo (15). Thời gian đáp ứng của bãi $T_s = 51.486 \text{ s}$ tính theo (29). Biến thiên $R(t)/R_\infty$ được vẽ theo (27) như trên hình 8.



Hình 8: Ví dụ về biến thiên của độ lồi động $R(t)$ so sánh với biến thiên của $S(t)$.

Từ **Error! Reference source not found.** hoặc Hình 6 có thể xác định $R_{\max}/R_\infty = 27\%$; từ đó $R_{\max} = 12,8 \text{ m}$. Độ lồi do bão này bé hơn bề rộng bãi khô $B = 29 \text{ m}$, như vậy bãi không bị bão phá hủy hoàn toàn.

5. Tính tuổi thọ và chu kỳ bảo dưỡng:



Hình 9: Ví dụ về biến thiên của $1/2$ bãi bồi chữ nhật dài $2a$ theo thời gian.

Diễn biến dài hạn của bãi được tính với mực nước trung bình $-0,1 \text{ m}$; $h_B = 2,1 \text{ m}$; $h_c = 7,57 \text{ m}$. Do không có số liệu đo đầy đủ, sóng lớn nhất quan sát được là 2 m ở cách bờ 500 m , có thể ước tính giá trị sóng bình quân đại diện cho cả năm là $H_b = 1 \text{ m}$, từ đó $h_b = 1,28 \text{ m}$. Hệ số khuếch tán dọc bờ $\varepsilon = 0,03566$ theo (31), chu

kỳ bán rã $t_{50\%} = 33,98 \text{ tháng}$ theo (35).

Diễn biến của bãi theo (32) có thể được thể hiện như trên hình 9.

Từ công thức (33) hoặc (34) có thể tính được lượng vật liệu bị thất thoát sau 1 năm là 30% , tương đương 586.112 m^3 trên toàn tuyến 4 km . Bề rộng giữa bãi chỉ còn 82% theo hình 9.

Nếu chọn chu kỳ bảo dưỡng là 2 năm, khối lượng vật liệu thất thoát phải bổ sung là 41% , tương đương 808.110 m^3 , bề rộng giữa bãi còn 66% .

VIII. KẾT KUẬN

Các cơ sở lý thuyết được tổng hợp trên đây và các bước tính được trình bày trong ví dụ cho phép tính toán được sơ bộ khối lượng tạo bãi, khả năng bảo vệ chống bão của bãi, tuổi thọ cũng như khối lượng và định kỳ bảo dưỡng cần thiết để duy trì bãi. Các kết quả lý thuyết cho một số trường hợp phức tạp hơn như bãi có công trình hỗ trợ, bãi ngăn trong vùng có đường bờ đang diễn biến... cũng có thể được khai thác tương tự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. U.S. Army Corps of Engineers. 2002. *Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).
2. H. Hanson, A. Brampton, M. Capobianco, H.H. Dette, L. Hamm, C. Lastrup, A. Lechuga, R. Spanhoff. *Beach nourishment projects, practices, and objectives - a European overview*. Coastal Engineering 47 (2002) 81–111.
3. Magnus Larson, Li Erikson, Hans Hanson. *An analytical model to predict dune erosion due to wave impact*. Coastal Engineering 51 (2004) 675–696
4. Jon K. Miller, Robert G. Dean. *A simple new shoreline change model*. Coastal Engineering 51 (2004) 531–556