

MÔ HÌNH TOÁN MÔ PHỎNG SỰ THAY ĐỔI MÁI ĐỐC BỜ BIỂN DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG THĂNG GÓC VỚI BỜ NUMERICAL MODEL FOR THE SIMULATION ON THE BEACH CHANGE UNDER THE ACTION OF CROSS-SHORE WAVES

Huỳnh công Hoài

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách khoa Tp.Hồ chí Minh, Việt nam

BẢN TÓM TẮT

Ba mô hình bao gồm mô hình sóng, mô hình vận chuyển bùn cát và mô hình diễn biến đáy được kết hợp để mô phỏng sự thay đổi mái dốc bờ biển dưới tác động của sóng thăng góc với bờ. Mô hình được áp dụng tính toán thử nghiệm cho 2 trường hợp. Trường hợp thứ nhất là mô phỏng sự chuyển dịch và biến dạng của một mô cát dưới tác dụng của sóng. Trường hợp thứ hai là áp dụng mô phỏng sự thay đổi mái dốc bờ biển có kích thước thực tế được xây dựng trong phòng thí nghiệm. Kết quả do đạc thực nghiệm được so sánh với kết quả tính toán để đánh giá mức độ chính xác của mô hình.

ABSTRACT

Three models including the wave model, the sediment transport model and the bottom evolution model are coupled together to simulate the bottom change under the action of cross-shore waves. Two applications for the coupled model are carried. The first application is to simulate the movement and deformation of a sand bar under the action of waves. The second one is to predict the profile change of a model beach with the real size in laboratory. The experimental data and model results are compared to evaluate the accuracy of the model prediction.

1. GIỚI THIỆU

Một trong những nguyên nhân gây ra sự xói lở bờ biển là do tác động của sóng. Sóng truyền từ miền nước sâu vào bờ, khi tiến gần bờ, độ sâu nước giảm dần làm chiều cao sóng gia tăng. Khi tăng đến một chiều cao giới hạn thì sóng mất ổn định và vỡ ra. Tại khu vực sóng vỡ, dòng chảy dao động mạnh và tác động trực tiếp lên mái dốc bờ biển gây ra xói lở.

Để mô phỏng hiện tượng xói lở trong khu vực trong và ngoài sóng vỡ đòi hỏi cần phải xác định các yếu tố sóng như chiều cao sóng, vị trí sóng vỡ, dòng chảy do sóng vỡ, ứng suất do sóng tác dụng trên đáy và từ đó xác định sự chuyển dịch bùn cát.

Quá trình diễn biến xói lở bờ biển là một quá trình khá phức tạp nên đã có nhiều cách tiếp cận khác nhau. Trong nghiên cứu này, mô hình hoá quá trình xói lở chỉ xem xét trường hợp sóng tác động thăng góc với bờ là chính yếu.

Mô hình hóa quá trình thay đổi mái dốc bờ biển được kết hợp trên 3 mô hình cơ bản như sau :

- + Mô hình sóng khu vực nước nông có xét đến sự phi tuyến của hằng số sóng do ảnh hưởng độ sâu nước nông
- + Mô hình chuyển tải bùn cát khi sóng vỡ và lúc chưa vỡ
- + Mô hình mô phỏng sự diễn biến đáy

Ba mô hình trên được áp dụng luân phiên để mô phỏng sự tương tác giữa các yếu tố với nhau. Mô hình được đánh giá bằng việc tính toán diễn biến của một mô cát dưới tác động của sóng và mô phỏng sự sạt lở của một mái dốc bờ biển dưới tác động của sóng trong phòng thí nghiệm.

2. CÁC MÔ HÌNH KẾT HỢP :

2.1 Mô hình sóng :

Mô hình RefDif được phát triển bởi Kirby và Dalrymble (1994) được sử dụng để mô phỏng sự thay đổi chiều cao sóng và vị trí sóng vỡ trong khu vực nước nông. Mô hình RefDif sử dụng phương trình truyền sóng trên mái dốc lài

(mild slope equation) của Berkhoff (1972) đã được chuyển đổi dưới dạng parabol bởi Kirby (1986) và số tán xạ sóng (dispersion relation) phi tuyến theo Huges (1976). Với sự cải tiến này mô hình cho phép xác định được chiều cao sóng khá chính xác trong vùng nước nông khi chiều sâu nước khá nhỏ làm cho sóng không còn là sóng tuyến tính nữa. Các chi tiết về mô hình RefDif cũng như các kiểm chứng mô hình có thể xem trong [2], [4], [6], [7].

2.2 Mô hình chuyển tải bùn cát:

Sự vận chuyển bùn cát là yếu tố quan trọng cho sự thay đổi mái dốc bờ biển. Do cấu trúc dòng chảy trong khu vực sóng vỡ khá phức tạp, nên để xác định sự chuyển tải bùn cát trong khu vực này nhiều mô hình vì mô đã được nghiên cứu để xác định sức tải cát. Các mô hình tính toán sức tải cát đã được Maruyama thống kê khá đầy đủ trong [5]. Trong bài báo này sử dụng mô hình của Watanabe (1986) để xác định sức tải cát trong và ngoài vùng sóng vỡ. Mô hình của Watanabe dựa khái niệm năng lượng (energetic concept) và chấp nhận rằng sức tải cát có thể được xác định theo ứng suất đáy của sóng khi giá trị của nó vượt qua một giá trị phân giới nào đó.

Sức tải cát toàn phần dưới tác dụng của sóng theo Watanabe và cải tiến bởi Horikawa (1988) có thể được mô tả như sau:

$$q_w = F_D \frac{A_w}{\rho g} (\tau_{b,w} - \tau_{cr}) \hat{u}_s \quad (1)$$

Trong đó

- q_w : sức tải cát do sóng
- ρ : Khối lượng riêng của nước biển
- g : gia tốc trọng trường
- \hat{u}_s : Vận tốc tại lớp biên sóng

Các thông số khác được xác định như sau:

- Thông số A_w :

$$A_w = \frac{B_w w_s}{(1-\lambda)(s-1)\sqrt{(s-1)gd}} \sqrt{\frac{f_w}{2}} \quad (2)$$

với:

- B_w : hệ số vô thứ nguyên
- λ : độ rỗng
- w_s : vận tốc lắng hạt bùn cát
- d : đường kính hạt bùn cát
- s : tỉ trọng hạt bùn cát $s = \rho_s / \rho$
- ρ_s : khối lượng riêng bùn cát
- Hệ số ma sát (f_w) (Nielson, 1994)

$$f_w = \exp \left[5.5 \left(\frac{k_{s,w}}{\hat{A}_s} \right)^{0.2} - 6.3 \right] \quad (3)$$

với:

$k_{s,w}$: Hệ số ma sát biểu kiến do sóng

\hat{A}_s : Độ lệch của quỹ đạo sóng (bottom peak orbital excursion),

$$\hat{A}_s = \frac{H}{2 \sinh kh}$$

H : chiều cao sóng

k : số sóng

h : chiều sâu nước

- Ứng suất đáy do sóng ($\tau_{b,w}$)

Ứng suất đáy do sóng trung bình theo thời gian được xác định theo Van Rijn (1989)

$$\tau_{b,w} = \frac{1}{4} \rho f_w \hat{u}_s^2 \quad (4)$$

Trong đó:

\hat{u}_s : Vận tốc tại lớp biên sóng (pick orbital velocity)

$$\hat{u}_s = \frac{\pi H}{T \sinh(kh)} \quad (5)$$

T : Chu kỳ sóng

- Ứng suất đáy phân giới do sóng (τ_{cr})

Trong nghiên cứu của Van Rijn (1993), các kết quả thí nghiệm ứng suất phân giới của chuyển động sóng được so sánh với giá trị của đường cong Shields cho thấy đường cong Shields cũng khá thích hợp với chuyển động sóng. Do đó trong mô hình này sử dụng chỉ tiêu phân giới của Shields để xác định ứng suất đáy phân giới

- Hàm chỉ hướng (F_d):

Hàm chỉ hướng dựa trên thông số Ursell chỉ mức độ phi tuyến của chuyển động, phụ thuộc vào vận tốc dao tuần hoàn của các phần tử chất lỏng do sóng và dòng chảy do sóng. Hàm F_d được dùng để xác định chiều chuyển động và mức độ tập trung của dòng bùn cát.

$$F_d = \tanh \left(K_d \frac{\Pi_c - \Pi}{\Pi_c} \right) \quad (6)$$

Với:

$$\Pi = \frac{\hat{u}_s^2}{sgd L_0} \quad (7)$$

F_d : Hàm chỉ hướng

L_0 : Chiều dài sóng nước sâu

K_d : Hệ số kiểm soát mức độ thay đổi sức tải cát quanh điểm không (null point)

Π_c : giá trị phân giới của Π tại điểm nơi sức tải cát bằng không. Giá trị của Π_o có thể lấy bằng 1 hoặc có thể xác định qua thử nghiệm của mô hình. Khi Π nhỏ hơn Π_o ($F_d > 0$) dòng bùn cát di chuyển theo phương truyền sóng và khi Π lớn hơn Π_o thì dòng bùn cát theo chiều nghịch lại.

2.3 Mô hình diễn biến đáy:

Phương pháp sai phân hữu hạn được dùng để giải (8). Sơ đồ sai phân tiến (upwind) hay sai phân lùi (backwind) được áp dụng tùy theo chiều chuyển tải bùn cát, do đó trong mô hình có thể cần hoặc không cần điều kiện biên [4].

III. ÁP DỤNG TÍNH TOÁN:

Hai trường hợp tính toán được áp dụng là (i) mô phỏng sự chuyển dịch của một mô cát dưới ảnh hưởng của sóng và (ii) mô phỏng sự diễn biến của một mái dốc bờ biển do tác động của sóng thẳng góc. Trường hợp tính toán (i) dùng để kiểm tra sự tương tác hợp lý giữa các mô hình và trường hợp tính toán (ii) dùng để đánh giá mức độ chính xác của mô hình.

3.1 Sự chuyển dịch của mô cát dưới tác dụng của sóng:

3.1.1 Mô tả miền tính toán:

Một mô cát có đường kính hạt $d = 0,27$ mm có dạng là một phần của cung tròn cao 1m (hình 1). Mô cát đặt trong kênh chữ nhật có kích thước 100m dài và rộng 9m (hình 2). Phương trình dạng mặt cong của mô cát theo biểu thức

Dưới sự tác động ứng suất sóng, bùn cát sẽ bị chuyển dịch. Phương trình bảo toàn khối lượng cho :

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(q_x - \varepsilon_s |q_x| \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(q_y - \varepsilon_s |q_y| \frac{\partial z_b}{\partial y} \right) \quad (8)$$

Với :

z_b : cao trình đáy

q_x, q_y : sức tải cát theo phương x, y

ε_s : hệ số ổn định mái dốc được xác định bằng thực nghiệm.

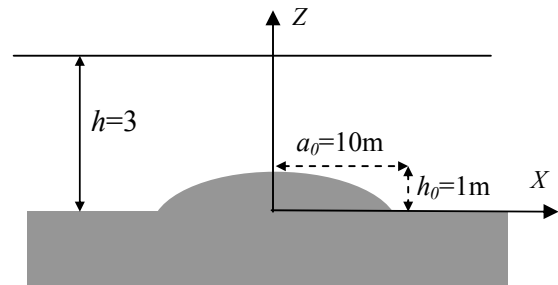
$$Z = \sqrt{\left(\frac{h_0}{2} + \frac{a_0^2}{2h_0} \right)^2 - X^2} - \left(\frac{a_0^2}{2h_0} - \frac{h_0}{2} \right) \quad -a_0 < X < a_0$$

$$Z = 0 \quad X \leq a_0 \text{ or } X \geq a_0 \quad (9)$$

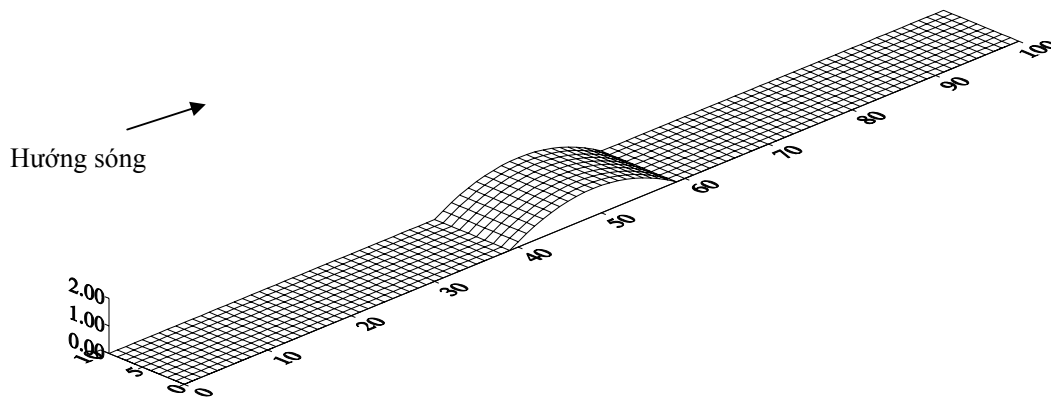
với

h_0 : chiều cao mô cát , $h_0 = 1$ m

a_0 : khoảng cách từ tâm đến mép mô cát $a_0 = 10$ m



Hình 1: Hình dạng mô cát ban đầu



Hình 2 : Vị trí mô cát ban đầu

3.1.2 Các thông số tính toán:

- Thông số sóng: Sóng truyền từ thượng lưu về hạ lưu với chiều cao sóng đến $H_0 = 0,4$ m với chu kỳ $T = 9$ s.

- Lưới tính toán $\Delta x = \Delta y = 1$ m và bước thời gian $\Delta t = 1$ giờ

- Điều kiện biên cho mô hình diễn biến đáy là xem đáy thượng và hạ lưu không đổi .

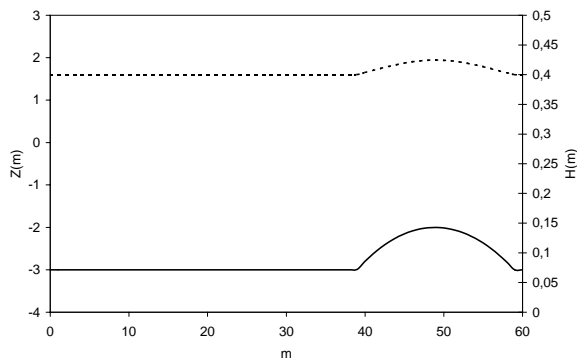
- Các thông số cho mô hình sức tải cát:

- Hệ số không thứ nguyên $B_w = 7$
- Độ rỗng: $\lambda = 0,4$
- Hệ số ma sát biểu kiến do sóng $K_{s,w} = 0,1$ m
- Tỷ trọng bùn cát: $s = 2,65$
- Hệ số kiểm soát mức độ thay đổi sức tải cát quanh điểm không (null point) $K_d = 1$
- Giá trị phân giới $\Pi_c = 1$
- Hệ số ảnh hưởng độ dốc $\varepsilon_s = 0$

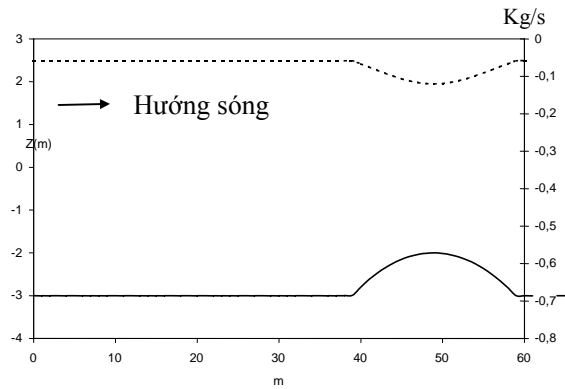
3.1.3 Kết quả tính toán:

Mô hình được áp dụng mô phỏng sự chuyển dịch của mô cát trong thời gian 400 giờ. Hình 3 mô tả hình dạng, vị trí mô cát và kết quả tính toán chiều cao sóng ở thời điểm

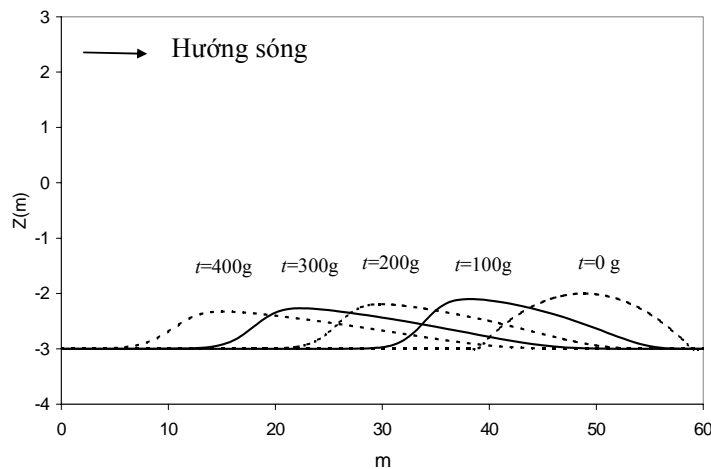
ban đầu ($t = 0$ giờ). Sóng trong khu vực trước mô cát có chiều cao là 0,4 m, khi sóng di chuyển đến gần đỉnh mô cát do độ sâu nước bị giảm làm tăng chiều cao sóng. Sau khi sóng di chuyển qua khối mô cát chiều cao sóng trở lại bình thường. Kết quả tính toán cho thấy mô hình sóng mô phỏng diễn biến sóng khá tốt. Hình 4 trình bày diễn biến của sức tải cát khi sóng truyền qua mô cát. Ta thấy sức tải cát trước, trên và sau mô cát đều có giá âm, điều này cho thấy phương chuyển động của dòng bùn cát ngược chiều với chiều truyền sóng. Trong khu vực trước và sau mô cát sức tải cát có giá trị không đổi. Nhưng trong khu vực mô cát, từ chân đến đỉnh mô cát phía thượng lưu, giá trị sức tải cát tăng dần theo phương truyền sóng hay nói cách khác là giảm dần theo phương chuyển động dòng bùn cát, do đó trong khu vực này sẽ sinh ra bồi lắng. Ngược lại trong khu vực từ đỉnh mô cát đến chân phía hạ lưu, giá trị sức tải cát giảm dần theo phương truyền sóng hay theo phương dòng bùn cát thì giá trị sức tải cát tăng dần. Điều này cho thấy khu vực này sẽ sinh ra xói lở.



Hình 3. Profile của mô cát (—) và chiều cao sóng (----) lúc $t = 0$ giờ



Hình 4. Profile của mô cát (—) và sức tải cát lúc $t = 0$ hr



Hình.5 Sự biến dạng và vị trí mô cát tại các thời điểm khác nhau

Hình 5 mô tả sự biến dạng và vị trí mô cát tại các thời điểm $t = 0$ g, 100g, 200g, 300g và 400g. Kết quả tính toán cho thấy mô cát dịch chuyển dần về hướng ngược chiều với phương truyền sóng. Hình dạng mô cát không còn đối xứng, mặt phía thượng lưu khá dốc và mặt phía hạ lưu thoải dần. Chiều cao mô cát giảm dần theo chiều chuyển động.

Quá trình diễn biến của mô cát cho thấy việc kết hợp các mô hình sóng, mô hình chuyển tải bùn cát, mô hình diễn biến đáy đã có sự tương tác khá tốt. Kết mô phỏng khá phù hợp với bản chất vật lý hiện tượng chuyển dịch của các mô cát dưới ảnh hưởng của sóng.

3.2. Sự thay đổi mái dốc bờ do tác động của sóng:

3.2.1 Mô tả miền tính toán:

Mô hình được áp dụng để mô phỏng sự sạt lở một mái dốc bờ biển nhân tạo có kích thước bằng kích thước thực tế được xây dựng tại phòng thí nghiệm CRIEP (Center Research Institute of Electric Power Industry in Japan). Mô hình được đặt trong một máng dài 205 m, rộng 3,4 m. Mái dốc bờ biển có độ dốc 3/10 (hình 6) và cát có đường kính 0,27 m (Horikawa, 1988).

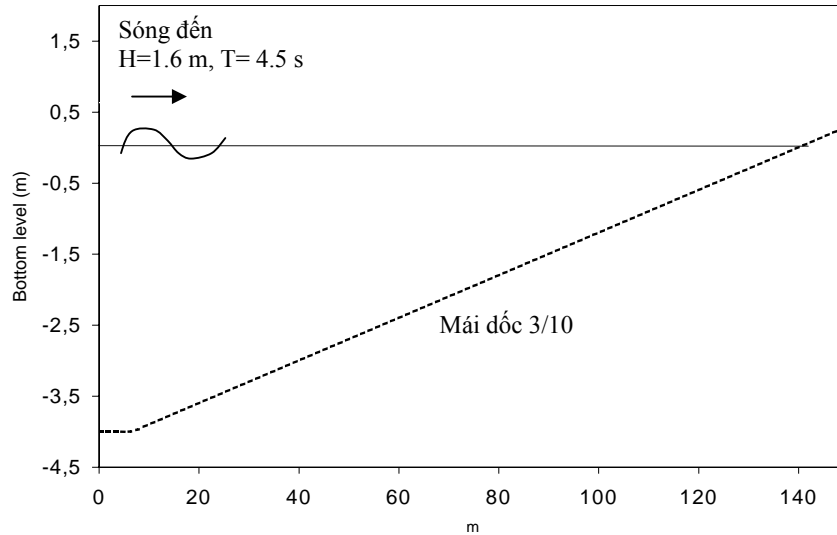
3.2.2 Thông số tính toán:

- Thông số sóng :

- Sóng đến ở độ sâu 4 m với chiều cao sóng $H_0 = 1,06$ m
- Chu kỳ sóng $T = 4,5$ s

- Chiều dài sóng (nước sâu): $L = 25,48$ m
- Lưới tính toán : $\Delta x = 1,5$ m và $\Delta y = 1$ m (100 x10 nút)
- Điều kiện biên xem đáy ở biên đầu và cuối cố định
- Thông số mô hình sức tải cát:
 - Hệ số ma sát biểu kiến do sóng $k_{s,w} = 0.02$ m.

- Hệ số ảnh hưởng mái dốc: $\varepsilon_s = 1$
- Độ rỗng : $\lambda = 0.4$.
- Tỷ trọng cát: $s = 2.65$.
- Hệ số vô thứ nguyên : $B_w = 3$.
- Giá trị phân giới $\Pi_c = 1$
- Hệ số kiểm soát sự thay đổi sức tải cát quanh điểm không: $K_d = 1$



Hình.6 Mái dốc bờ biển tại thời điểm $t = 0$

3.2.3 Kết quả tính toán:

Mô hình được áp dụng mô phỏng sự thay đổi mái dốc trong thời gian 78 giờ với bước thời gian $\Delta t = 1800$ s.

Để khảo sát các yếu tố tác động đến diễn biến mái dốc, hình 7 trình bày chiều cao sóng, giá trị sức tải cát và profile mái dốc tại các thời điểm $t = 0$ g (---), $t = 40$ g (x x x) và $t = 78$ g (—).

Đường biểu diễn trên cùng (hình 7) chỉ chiều cao sóng, ta nhận thấy chiều cao sóng đến $H_0 = 1,06$ m tăng dần khi sóng đi vào bờ, đến một độ cao cực đại và rồi nhanh chóng giảm dần đến không. Vị trí có chiều cao sóng cực đại đó là vị trí sóng vỡ.

Đường biểu diễn ở giữa chỉ giá trị của sức tải cát. Ta thấy hầu hết trên toàn bộ mái dốc bờ biển sức tải cát mang giá trị âm, cho thấy hướng di chuyển dòng bùn cát ngược chiều sóng đến. Như vậy hầu hết dưới tác động của sóng thẳng góc với bờ, bùn cát bị di chuyển ra hướng biển. Trên mái dốc bờ biển, từ vị trí sóng vỡ đi ra hướng biển, giá trị sức tải cát có

khuynh hướng giảm dần, điều này cho thấy khu vực này sẽ có khuynh hướng bị bồi. Trong khi đó từ đường bờ (vị trí cao nhất của mái dốc) đến vị trí sóng vỡ, giá trị sức tải cát tăng dần cho thấy khu vực này (surfzone) có khuynh hướng bị xói. Trên mặt mái dốc có một khu vực gần giữa mái dốc (điểm I), giá trị sức tải cát không đổi, đường biểu diễn sức tải cát nằm ngang. Đây là khu vực không bị bồi hoặc xói, trong mô hình được gọi là null point.

Diễn biến mái dốc bờ biển trong thời gian 75 giờ được minh họa trong hình 7 cho thấy có hai khu vực bồi xói rõ rệt, phân từ vị trí sóng vỡ hướng vào đường bờ (surfzone) bị xói, và lượng bùn cát này được di chuyển ra bồi đắp trong khu vực từ điểm sóng vỡ hướng ra biển. Xét về bản chất vật lý, hiện tượng di chuyển bùn cát từ khu vực sóng vỡ ra bồi đắp khu vực trước sóng vỡ là điều hợp lý.

Để xem xét mức độ chính xác của mô hình, hình dạng của mái dốc do sóng tác động sau 75 giờ mô phỏng bởi mô hình và kết quả thực đo trong phòng thí nghiệm được trình bày trên hình 8. Kết quả cho thấy mô hình mô

phông khá phù hợp các khu vực bồi xói trên mặt mái dốc. Tuy nhiên có một vài điểm khác biệt là mức độ bồi thực tế tập trung ngay vị trí trước sóng vỡ nên tạo ra sự bồi lắng mảnh liệt tại vị trí này, trong khi mô hình mô phỏng sự bồi lắng xuất hiện đồng đều hơn trong khu vực trước sóng vỡ. Trong khu vực sóng vỡ, diễn biến xói thực tế xảy ra ở phạm vi ngắn hơn so với mô hình.

IV. KẾT LUẬN :

Từ các kết quả trên cho thấy việc kết hợp 3 mô hình sóng, chuyên tải bùn cát và diễn biến đáy cho phép mô phỏng đúng hiện tượng bồi xói dưới tác động của sóng thẳng góc với bờ. Tuy về kết quả so sánh với số liệu thí nghiệm chưa đạt đến mức độ chính xác hoàn toàn. Lý do là trong khu vực sóng vỡ, hiện tượng dòng chảy khá phức tạp mà trong mô hình chỉ có thể mô phỏng sự chuyển dịch bùn cát theo mô hình thực nghiệm của Watanabe, dựa trên ứng suất ma sát do sóng được xác định từ yếu tố cơ bản là chiều cao sóng. Tuy vậy với kết quả tính toán cho phép có thể phát triển mô hình để dự báo khuynh hướng bồi xói khi mà tác động của sóng thẳng góc với bờ là chủ yếu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Berkhoff, J.C.W. Computation of combined refraction, diffraction. In proceedings of the 13th international coastal engineering conference. ASCE, Newyork, 1972, pp. 471-490
2. Dalrympe, R. A., Kirby, J.T. Models for very wide angle water waves and wave diffraction. Journal of Fluid Mechanics, vol 129,1988, pp.33-50
3. Hedges, T.S. An empirical modification to linear wave theory. Proc. Inst. Gr. Engrs, 61, 1976, pp. 575-579.
4. Hoai H C. Sediment transport modelling, application in Vietnamese litoral. Disertation of doctoral degree INPT, France. 180p, 2001.
5. Horikawa Kiyoshi. Nearshore dynamics and coastal processes. University of Tokyo Press, 1988, 522 p.
6. Kirby J.T and Dalrymple. Modification to propagation model for the combined refraction – diffraction of stokes waves. Shallow water, large angle and breaking wave effects. Report N^o UFL/COEL-85/001 Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida, Gainesville, FL 32611, 1985, 82 p
7. Kirby J.T, Dalrymple R.A. Combine refraction-diffraction model, version 2.5. Documentation and user's manual. CACR report No.94-22, 1994
8. Kirby, J.T. Higher-order approximation in the parabolic equation method for water waves. Journal Geophys, Research, 91, 1986, pp. 932 – 952.
9. Nielson P. Coastal bottom boundary layers and sediment transport. Publied by World Scientific. 1994, 324p.
10. Van Rijn L. C. Principle of sediment transport in river, estuaries and coastal seas. Aqua Publications, 1993.
11. Van Rijn L. C. Handbook sediment transport by currents and waves. Delft hydraulics, 1989
12. Watanabe , A. Numerical model of beach topography change - Nearshore dynamics and coastal processes. Edited by Horikawa K. University of Tokyo Press, 1988, 522 p.