

NGHIÊN CỨU BỐ TRÍ KHE HỖ TỐI ƯU CHO DẠNG ĐÊ GIẢM SÓNG CỌC LY TÂM ĐÁ ĐỒ Ở VÙNG BIỂN CHÂU THỔ BẰNG MÔ HÌNH TOÁN VÀ MÔ HÌNH VẬT LÝ

Nguyễn Nguyệt Minh^{1,*}, Đinh Công Sản¹,
Lê Duy Tú¹, Đỗ Văn Dương¹, Trương Ngọc Đạt¹

TÓM TẮT

Đê giảm sóng dạng cọc ly tâm đá đồ đã được xây dựng theo một tuyến liên tục dọc theo biển phía Tây ở đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Việc bố trí khe hở của dạng đê này có thể ảnh hưởng đến trường vận tốc, phân bố trầm tích và do đó ảnh hưởng tới hình thái bờ biển. Trong nghiên cứu này, mô hình toán và mô hình vật lý đã được thực hiện để nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng hở đối với sự vận chuyển trầm tích đáy và hình thái khu vực ven bờ. Qua các điều kiện thủy động lực học khác nhau, độ rộng của khoảng hở được phát hiện là có tác động đáng kể đến sự vận chuyển trầm tích đáy và hình thái gần bờ. Nghiên cứu cho thấy, các khe hở của đê giảm sóng tạo ra sự gia tăng vận tốc dòng chảy và hiện tượng nhiễu xạ sóng, đẩy nhanh quá trình xói lở bờ biển, tuy nhiên cũng có tác động tích cực, tạo điều kiện thuận lợi cho việc cung cấp trầm tích phía sau đê.

Từ khóa: *Mô hình vật lý, XBeach, đê giảm sóng cọc ly tâm đá đồ, đồng bằng sông Cửu Long.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những giải pháp công trình chống xói lở, bảo vệ bờ biển, tạo điều kiện khôi phục rừng ngập mặn phía sau công trình có hiệu quả cao và được áp dụng khá phổ biến ở ĐBSCL là đê giảm sóng bằng 2 hàng cọc ly tâm đóng sát nhau, giữa 2 hàng cọc có lõi chèn đá hộc (gọi tắt là đê giảm sóng cọc ly tâm đá đồ). Đây cũng là một trong những công trình được đánh giá là phù hợp nhờ độ ổn định cao trên nền đất yếu, khả năng triết giảm sóng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc trao đổi môi trường, trầm tích lơ lửng, tích tụ bùn cát phía sau công trình do thân đê có cấu tạo bằng đá hộc có độ rỗng khá lớn (40%). Trên thực tế thì tuyến đê giảm sóng gần như bố trí dài liên tục mà không thiết kế các khoảng hở do các lo ngại về việc không đảm bảo giảm sóng và chống xói cho đường bờ phía sau đê. Việc bố trí khoảng hở giữa các đê là cần thiết để tạo điều kiện tăng mức độ trao đổi môi trường và bùn cát giữa bên trong và

bên ngoài công trình, đồng thời tạo lối giao thông thủy cho người dân địa phương di chuyển bằng ghe xuồng nhỏ.

Nghiên cứu này chỉ ra sự cần thiết trong việc bố trí khoảng hở đối với loại đê xấp xỉ thông qua thí nghiệm lòng động trong bể sóng kết hợp với mô hình toán nhằm xem xét tác động của sóng, dòng chảy và đặc biệt là trao đổi bùn cát đáy trước và sau công trình. Mô hình toán sau khi được kiểm định nhờ kết quả thí nghiệm vật lý được ứng dụng để tối ưu kích thước khoảng hở.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu bằng thí nghiệm vật lý trong bể sóng nhằm xác định sự thay đổi của các đặc trưng truyền sóng, dòng chảy và biến đổi địa hình bãi phía sau công trình kết hợp với mô hình số được hiệu chỉnh và kiểm định bằng thí nghiệm vật lý nhằm xem xét bề rộng hợp lý cho khoảng hở giữa các đoạn đê.

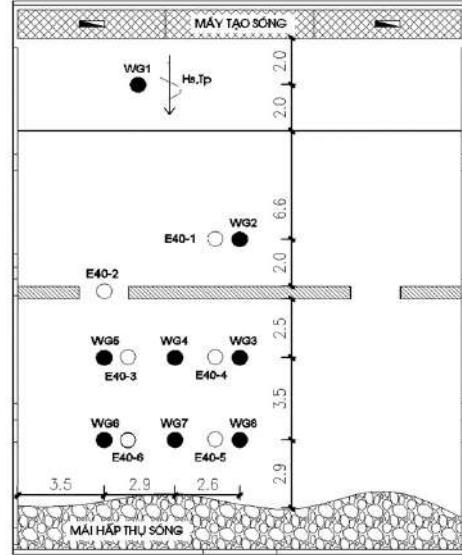
2.1. Thiết kế mô hình thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trong bể sóng của Phòng thí nghiệm Thủy động lực sông biển - Viện

¹ Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam
* Email: minh.nguyen.hus@gmail.com

Khoa học Thủy lợi miền Nam (Hình 1). Thiết bị tạo sóng và kim đo sóng được cung cấp bởi HR Wallingford. Bể sóng có thông số như sau: Chiều dài 35 m, chiều rộng 18 m, chiều cao thành bể 1,1 m. Hệ thống máy tạo sóng được trang bị khả năng

hấp thụ sóng phản xạ (Active Reflection Compensation), có thể tạo ra sóng ngẫu nhiên hoặc sóng đều với chiều cao lên đến 0,4 m và chu kỳ đỉnh 3,0 s, sóng được đo với tần số 100 Hz (độ chính xác $\pm 0,1$ mm).



Hình 1. Bể sóng thí nghiệm và bố trí các kim đo sóng và dòng chảy tại Phòng thí nghiệm Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

Bảng 1. Phân tích lựa chọn tỷ lệ mô hình

Yếu tố	Điều kiện biên đầu vào (1)	Năng lực bể sóng (2)	(1)/(2)	Tỷ lệ dài λ_1
Độ sâu nước lớn nhất tại công trình (m)	2	$\leq 0,4$	2/0,4	≥ 5
Độ sâu nước nhỏ nhất (m)	1,4	$\geq 0,1$	1,4/0,1	≤ 14
Chiều cao sóng lớn nhất trước công trình (m)	1,0	$\leq 0,15$	1,0/0,15	$\geq 6,67$
Chu kỳ sóng nhỏ nhất (s)	5	$\leq 2,0$	5/2	$\geq 2,5$
Chiều cao công trình (m)	2,8	$\leq 0,6$	2,8/0,6	$\geq 5,8$
Chiều dài tuyến đê L mô phỏng (m). Khoảng hở G mô phỏng (m)	L = 90; G = 0	$1,5L + 2G \leq 18$	135/18	$\geq 7,5$
	L = 90; G = 10	$1,5L + 2G \leq 18$	155/18	$\geq 8,6$

Thí nghiệm được tiến hành cho dạng đê giảm sóng cọc ly tâm đá đổ, loại đê này đã được xây dựng ngoài thực tế ở biển phía Tây ĐBSCL trên phạm vi hơn 65 km có chiều rộng đỉnh đê dao động trong khoảng 1,3 m - 2,7 m - 3,6 m; kích thước đá học sử dụng với cấp phối $D_{n50} = 35 - 45$ cm và chiều cao công trình khoảng 2 - 2,5 m. Thí nghiệm lựa chọn cấu kiện có chiều rộng 2,8 m, là chiều rộng tương đối hợp lý đã được thí nghiệm

trong mô hình máng sóng và đánh giá từ các chiều rộng khác nhau [1]. Chiều cao lưu không đỉnh đê so với mực nước được lựa chọn thay đổi từ $-H_s$ đến $+H_s$ (m), độ sâu nước thiết kế trước công trình dao động từ 1,4 - 2,0 m, độ sâu tối thiểu của bể giúp đảm bảo độ tin cậy của số liệu kim đo sóng là 0,1 m và độ sâu nước tối đa trong bể sóng là 0,4 m. Sóng đặc trưng cho khu vực biển phía Tây có chiều cao biến đổi từ 0,25 - 1 m, chu kỳ sóng từ 2 -

5 s. Tỷ lệ mô hình phải được chọn sao cho đảm bảo tương tự về kích thước và thủy động lực học. Nó được lựa chọn dựa trên năng lực bề sóng và điều kiện biên (sóng, dòng chảy, mực nước, kích thước cấu kiện được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1 cho thấy, tỉ lệ mô hình được chọn là $N_L = 10$ (tỷ lệ dài, tỷ lệ cao), $N_t = \sqrt{N_L} = 3,16$ (tỷ lệ thời gian), $N_v = \sqrt{N_L} = 3,16$ (tỷ lệ vận tốc), $N_m = N_L^3 = 1.000$ (tỷ lệ khối lượng). Tương tự mô hình được tuân theo quy luật số Froude $F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ đảm

bảo tính tương đồng về độ lớn vận tốc V và kích thước L (bao gồm chiều dài và độ cao) giữa mô hình (m) và nguyên mẫu (n). Việc lựa chọn tuân theo phân tích phi thứ nguyên và định luật Buckingham Π , $F_m = F_n$ (giữa mô hình và nguyên mẫu). Kích thước đá của kết cấu cọc ly tâm đá đổ được kiểm tra thông qua điều kiện tương tự số Reynolds để đảm bảo dòng chảy qua lớp đá là dòng chảy rối, ($[Re_c] > 10^4$). Để tối ưu bố trí không gian thí nghiệm đảm bảo đánh giá đầy đủ ảnh hưởng của khoảng hở đối với 1 phân đoạn đê giảm sóng có chiều dài (L) thực tế là 90 m và khoảng hở (G) ngoài thực tế thường được thiết kế bằng 10 m, đê giảm sóng được bố trí 1 đoạn đê ở giữa bể, 2 khoảng hở hai bên và 2 phân đoạn đê sát thành bể (Hình 2), cách bố trí này vẫn đảm bảo $2L + 2G \leq 18$ m là kích thước chiều rộng bể và đủ điều kiện để đánh giá 1 đoạn đê đầy đủ. Khoảng cách từ đê giảm sóng tới mái hấp thụ bằng đá đổ là 9 m (ngoài thực tế là 90 m).

Trong thí nghiệm này, các thông số sóng trước và sau công trình được đo bằng 8 kim đo (WG). WG1 dùng để xác định chiều cao sóng nước sâu, WG2 được bố trí để tách sóng phản xạ và sóng tới trước công trình. Chiều cao sóng phía sau công trình được xác định qua WG3, 4, 5, 6, 7, 8. Vị trí giữa các WG được bố trí như trong sơ đồ hình 1. Sóng tới và sóng phản xạ được phân tách sử dụng đầu kim đo tích hợp phần mềm xử lý trong mô hình đo sóng của HR-Wallingford.

Bên cạnh đó, 2 đầu đo vận tốc dòng chảy được bố trí và được luân chuyển giữa các vị trí E40-1 - E40-6 sau mỗi 5 phút đo tại một vị trí đảm bảo đủ 6

vị trí được đo trong mỗi trường hợp thí nghiệm (Hình 1). Đầu đo E40-1 được bố trí ngay cạnh đầu đo sóng WG1 nhằm xác định vận tốc trước công trình, đầu đo E40-2 được bố trí ngay khoảng hở (G), các đầu đo còn lại E40-3 - E40-6 được bố trí sau công trình và ngay cạnh đầu đo sóng, dùng để xác định vận tốc sau khi qua công trình. Đầu đo dòng chảy E40 được bố trí đặt cách đáy 5 cm.

Giả định rằng quá trình vận chuyển trầm tích nơi khu vực xây dựng công trình được chi phối bởi sóng và hình thức vận chuyển chiếm ưu thế là truyền tải lơ lửng. Ire và Nadaoka (1984) [2] đã làm thí nghiệm vận chuyển trầm tích phía trước của tường chắn sóng thẳng đứng và xây dựng tiêu chí để cát ở trạng thái lơ lửng: $U_w/W_s \geq 10$. Trong đó: U_w là biên độ vận tốc quỹ đạo hạt tại đáy, W_s là vận tốc chìm lắng. Oumeraci (1994) [3] cho rằng tỉ lệ số Froude cần được đảm bảo cho tất cả các quá trình thủy động lực học nhưng đặc tính của trầm tích nên được đảm bảo theo hình thức vận chuyển chiếm ưu thế, xác định vận tốc chìm lắng W_s như một tham số chính quyết định hình thức vận chuyển vì nó kết hợp cả mật độ, kích cỡ, hình dáng và độ nhớt, tỉ lệ mô hình của vận tốc chìm lắng N_w nên được lựa chọn theo tỉ lệ vận tốc của hệ số Froude tức là $N_w = N_L^{1/2}$. Vận tốc chìm lắng được tính toán theo Soulsby (1997) [4]:

$$W_s = \frac{v}{d} [(10.36^2 + 1.049D_*^3)^{1/2} - 10.36]$$

Trong đó: $D_* = \left[\frac{g(s-1)}{v^2} \right]^{1/3} d$

v là hệ số nhớt động học, d là đường kính hạt, g là gia tốc trọng trường, $s = \rho_s/\rho$ là tỉ trọng tương đối trong đó ρ_s là tỉ trọng của trầm tích và ρ là tỉ trọng của nước.

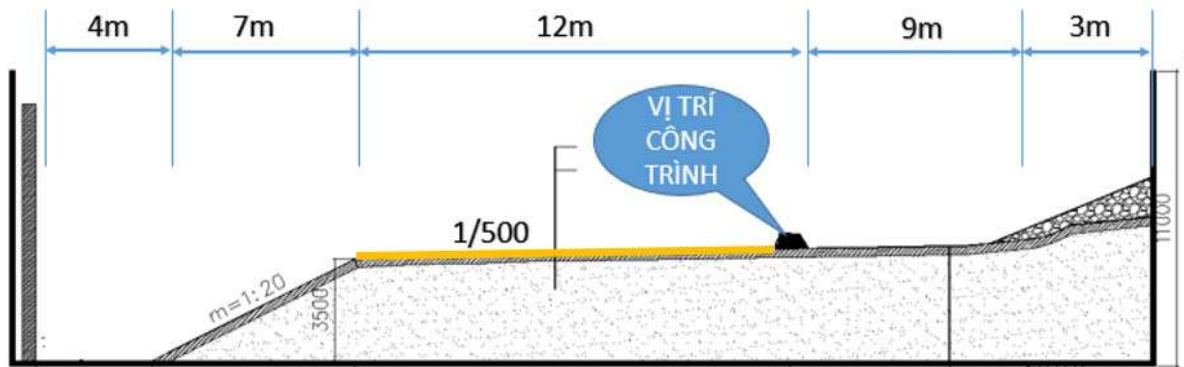
Kích thước hạt cát ở đáy khu vực ĐBSCL quan trắc được chủ yếu có đường kính 200 micrometer và vận tốc chìm lắng lớn hơn 0,1 m/s [5]. Với loại cát thạch anh có đường kính hạt $d_{50} = 80$ micrometer tìm được ở Việt Nam phù hợp tốt nhất với tỉ lệ mô hình của vận tốc chìm lắng.

2.2. Địa hình thí nghiệm

Để đảm bảo với điều kiện thực tế về độ dốc địa hình vùng ven biển phía Tây ĐBSCL, mô hình thí nghiệm sử dụng mái chuyển tiếp có độ dốc 1/20

cách máy tạo sóng 4 m về hướng đặt công trình nhằm tạo ra vùng chuyển tiếp từ sóng nước sâu về đặc trưng sóng nước nông của khu vực ĐBSCL

trước khi tương tác với công trình. Độ dốc bãi sóng lan truyền đến công trình được xây dựng với tỷ lệ 1/500 đảm bảo tương tự địa hình ngoài thực tế.



Hình 2. Địa hình thí nghiệm trong bể sóng

Trong thí nghiệm này, mái hấp thụ sóng được bố trí cuối bể sóng, sử dụng vật liệu là đá đỏ. Kết quả kiểm định khả năng hấp thụ sóng và làm việc của mái hấp thụ ứng với tất cả các trường hợp thí nghiệm (thay đổi mực nước, tham số sóng) đều cho hệ số sóng phản xạ từ mái hấp thụ sóng nhỏ hơn 10% đảm bảo yêu cầu làm việc của bể sóng.

2.3. Kịch bản và các trường hợp thí nghiệm

Thí nghiệm thay đổi bố trí không gian kết cấu thực hiện trong bể sóng với 96 kịch bản bao gồm 8 tham số sóng, 4 mực nước, 2 kịch bản bố trí không gian, 1 kịch bản không có công trình, cụ thể như sau:

1 kịch bản không công trình; 2 kịch bản thay đổi bố trí không gian: có khoảng hở với kích thước 1m ($G = 1$) và không có khoảng hở ($G = 0$)

4 kịch bản thay đổi giá trị mực nước; 8 kịch bản tham số sóng.

Bảng 2. Kịch bản thí nghiệm lòng cứng

Kịch bản	Độ sâu d (cm) tương ứng với chiều cao lưu không R_c (cm)	Tham số sóng
Không công trình $G = 0$ m $G = 1$ m	D = 50 cm ($d = 14$ cm/ $R_c = +12$ cm) D = 54 cm ($d = 18$ cm/ $R_c = +8$ cm) D = 58 cm ($d = 22$ cm/ $R_c = +4$ cm) D = 62 cm ($d = 26$ cm/ $R_c = +0$ cm)	$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,20$ s
		$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,45$ s
		$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,71$ s
		$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,96$ s
		$H_s = 14$ cm; $T_p = 1,45$ s
		$H_s = 14$ cm; $T_p = 1,71$ s
		$H_s = 14$ cm; $T_p = 1,96$ s
		$H_s = 18$ cm; $T_p = 1,96$ s

Đối với thí nghiệm với cát, 48 kịch bản được thiết lập với 2 mực nước đặc trưng $D = 50$ cm (mực nước thấp) và $D = 58$ cm (mực nước cao) (Bảng 3). Trình tự thí nghiệm được tiến hành như sau: Xây dựng địa hình, thiết lập điều kiện mực nước, tiến hành thí nghiệm liên tục theo 8 kịch bản về sóng, bắt đầu từ tham số sóng nhỏ đến tham số sóng

lớn, mỗi tham số sóng được thí nghiệm trong 30 phút (tối thiểu là 500 con sóng), tổng thời gian thí nghiệm là 4 giờ. Sau đó tiến hành tháo nước và đo đạc địa hình sau thí nghiệm. Quan trắc biến đổi trầm tích đáy được tiến hành theo 2 phương pháp: quan trắc bằng camera độ phân giải cao kết hợp với các điểm khống chế cố định trên thành bể và

nền đáy với kích thước 1 m x 1 m và đo đặc thủ công bằng lazer dựa trên lưới mặt bằng khống chế với độ chính xác ± 1 mm. Quan trắc bằng camera có ưu điểm bao quát mặt rộng không gian thí nghiệm và theo dõi liên tục trong cả quá trình diễn

biến nhưng hạn chế về độ chính xác của độ dày lớp phân bố trầm tích đáy. Quan trắc bằng đo đặc thủ công chỉ được thực hiện ở thời điểm cuối cùng khi kết thúc thí nghiệm nhưng cho kết quả chính xác hơn về độ dày lớp phân bố trầm tích đáy.

Bảng 3. Kích bản thí nghiệm thí nghiệm biến đổi trầm tích đáy

Kịch bản	Độ sâu d (cm) tương ứng với chiều cao lưu không R_c (cm)	Tham số sóng
Không công trình $G = 0$ m $G = 1$ m	$D = 50$ cm ($d = 14$ cm/ $R_c = +12$ cm) $D = 58$ cm ($d = 22$ cm/ $R_c = +4$ cm)	$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,20$ s
		$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,45$ s
		$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,71$ s
		$H_s = 10$ cm; $T_p = 1,96$ s
		$H_s = 14$ cm; $T_p = 1,45$ s
		$H_s = 14$ cm; $T_p = 1,71$ s
		$H_s = 14$ cm; $T_p = 1,96$ s
		$H_s = 18$ cm; $T_p = 1,96$ s

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Biến đổi các đặc trưng thủy động lực học

3.1.1. Thay đổi của sóng

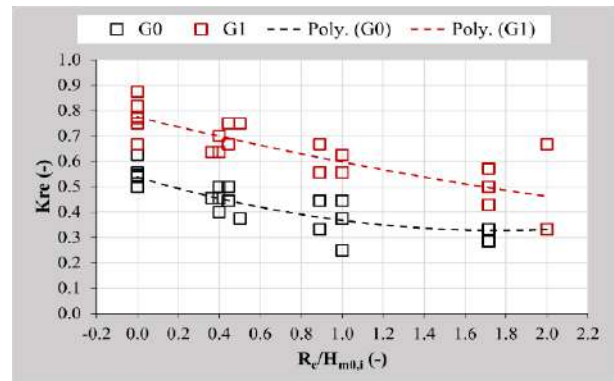
Để đánh giá ảnh hưởng của khoảng hở tới khả năng truyền sóng tại các vị trí phía sau đê, các hệ số triết giảm sóng K_{re} được so sánh chiều cao sóng giữa kịch bản có và không công trình.

$$K_{re} = \frac{H_{m0,af}}{H_{m0,bef}}$$

Trong đó: $H_{m0,af}$ là chiều cao sóng sau khi có công trình và $H_{m0,bef}$ là chiều cao sóng trước khi có công trình xét tại cùng một vị trí. Kích bản có công trình bao gồm không có khoảng hở và có khoảng hở. Hệ số K_{re} được tính theo chiều cao lưu không tương đối đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$).

Khi có khoảng hở, vị trí WG5 là vị trí ảnh hưởng nhiều nhất do tác động trực tiếp của sóng tới (Hình 3). Khi công trình chưa có khoảng hở (G0), chiều cao sóng tại WG5 suy giảm so với chưa có công trình (K_{re}) còn từ 0,25 - 0,63 với mức độ suy giảm càng lớn khi chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$) càng lớn. Khi có khoảng hở (G1) thì do ảnh hưởng của sóng nhiễu xạ đầu đê ở khoảng hở, chiều cao sóng ở WG5 tăng lên và hệ số triết giảm sóng cũng tăng lên từ 0,33 - 0,87

và mức độ suy giảm sóng cũng tỷ lệ thuận với chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê.



Hình 3. Ảnh hưởng của sự thay đổi khoảng hở đến hệ số triết giảm sóng K_{re} tại vị trí WG5

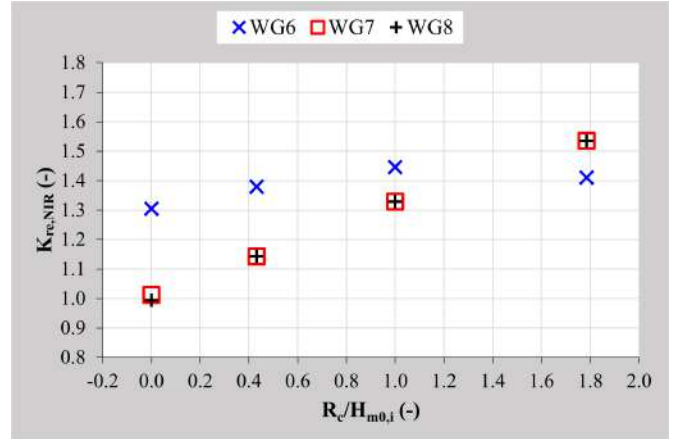
Để đánh giá mức độ gia tăng chiều cao sóng trong trường hợp có khoảng hở $G = 1$ m so với trường hợp không có khoảng hở, sử dụng hệ số $K_{re,NIR}$ như sau:

$$K_{re,NIR} = \frac{\left[\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 H_{m0,n} \right]_{G1}}{\left[\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 H_{m0,n} \right]_{G0}}$$

Trong đó: $K_{re,NIR}$ là chỉ số gia tăng chiều cao sóng giữa G1/G0.

Ảnh hưởng của nhiễu xạ đầu đê khi sóng lan truyền qua khoảng hở có thể làm tăng chiều cao sóng ở những điểm WG6, 7, 8 là những điểm sát

bờ (3 m trên mô hình, tương đương 30 m thực tế) và đã được che chắn bởi đê. Tại vị trí giữa khoảng hở (WG6), ảnh hưởng gia tăng chiều cao sóng so với không có khoảng hở là lớn nhất, mức độ ảnh hưởng lớn nhất vào khoảng 1,3 - 1,5 lần và mức độ gia tăng càng lớn khi $R_c/H_{m0,i}$ càng lớn. Tuy nhiên, $R_c/H_{m0,i}$ càng lớn thì mực nước càng thấp và sóng tới có chiều cao càng nhỏ, không phải là trường hợp cực đoan nguy hiểm. Tại vị trí cách xa khoảng hở hơn (WG7, 8), mức gia tăng chiều cao sóng so với trường hợp không có khoảng hở cũng giảm đi, với mức độ giảm từ 1,0 - 1,6 lần và cũng tỷ lệ thuận với chiều cao lưu không tương đối đỉnh đê (Hình 4, bảng 4).



Hình 4. Biểu đồ so sánh sự gia tăng chiều cao sóng giữa các kịch bản $G = 0$ và $G = 1$ m tại vị trí WG6, 7, 8

Bảng 4. Chỉ số gia tăng chiều cao sóng tương đối giữa các kịch bản $G = 0$ và $G = 1$ m tại các vị trí WG6, 7, 8

Vị trí	R_c/H_{m0}				
	0	0,5	1	1,5	2
WG6 (cách bờ 3m, chính giữa tim khoảng hở)	1,3	1,39	1,45	1,53	1,62
WG7 (cách bờ 3 m, khu vực đầu đê)	1,01	1,17	1,35	1,49	1,54
WG8 (cách bờ 3 m, chính giữa tim đê)	1,04	1,11	1,21	1,30	1,35

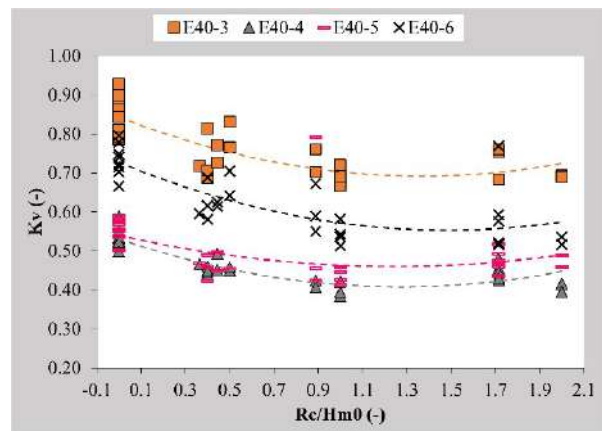
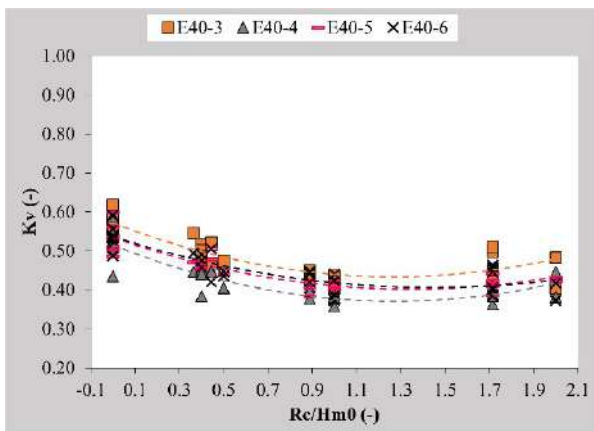
3.1.2. Thay đổi dòng chảy

Để đánh giá sự thay đổi dòng chảy dưới tác động của công trình tại một vị trí, sử dụng hệ số K_v như sau:

$$K_v = \frac{V_{1/3, aft}}{V_{1/3, bef}}$$

Trong đó: $V_{1/3, aft}$ là độ lớn trung bình của 1/3 giá trị dòng chảy lớn nhất trước khi có công trình; $V_{1/3, bef}$ là độ lớn trung bình của 1/3 giá trị dòng chảy lớn nhất sau khi có công trình.

Kết quả thí nghiệm và đo đạc hiện trường ngoài thực tế cho thấy, đê giảm sóng cục bộ tâm đã có khả năng giảm sóng trung bình 60% sóng tới, hệ số truyền sóng K_t trung bình = $0,43 \pm 0,14$ [6].



Hình 5. Hệ số suy giảm vận tốc trung bình K_v so sánh với trường hợp không có công trình tại các vị trí sau công trình cho trường hợp $G = 0$ (Hình trái) và $G = 1$ (Hình phải)

Đồng thời với sóng, dòng chảy do sóng ở các vị trí phía sau công trình cũng giảm theo. Hình 5 thể hiện tương quan giữa hệ số suy giảm vận tốc và chiều cao lưu không tương đối đỉnh đê tại 4 vị trí phía sau công trình. K_v càng nhỏ thể hiện mức độ suy giảm vận tốc càng lớn và ngược lại. Khi không có khoảng hở, hệ số suy giảm vận tốc K_v giữa các vị trí E40-3, 4, 5, 6 không có nhiều khác biệt, trong khoảng từ 0,35 - 0,55 khi $R_c/H_{m0} > 0,3$. Ở điều kiện mực nước ngang mặt với đỉnh đê ($R_c/H_{m0} = 0$) thì K_v dao động từ 0,43 - 0,6. Trong điều kiện có khoảng hở $G = 1$ m, dòng chảy tại 2 vị trí chính giữa cửa đê E40-3 và 6 tuy có tăng lên so với trường hợp $G = 0$ nhưng $K_v < 1$ cho thấy khi có công trình, dòng chảy tại khu vực này đã giảm đi so với trường hợp không có công trình. Ở các vị trí xa so với khoảng hở, hệ số K_v so với trường hợp không có khoảng hở là khá giống nhau, tức là ngoài vị trí ở tâm khoảng hở vào bờ, dòng chảy gia tăng bởi tác động của sóng qua khoảng hở. Còn các vị trí khác (như giữa tim của đoạn đê chắn sóng WG4, WG5), tác động của khoảng hở đến sóng và dòng chảy sau công trình không đáng kể.

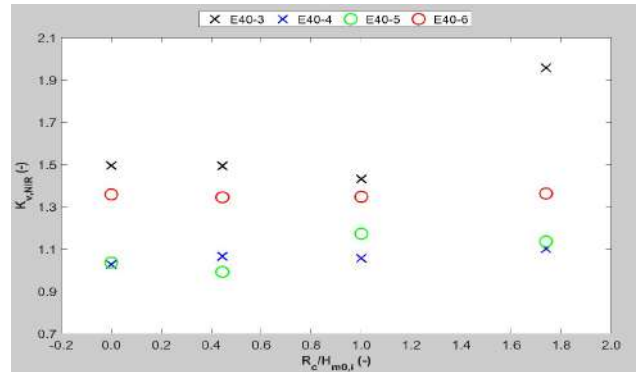
Để xem xét mức độ gia tăng của dòng chảy trong trường hợp có bố trí khoảng hở và không bố trí khoảng hở, sử dụng hệ số $K_{v,NIR}$ được xác định bằng tỷ số vận tốc trung bình của dòng chảy tại cùng 1 vị trí trong trường hợp có (G1) và không có khoảng hở (G0) thực hiện trên 8 kịch bản sóng như sau:

$$K_{v,NIR} = \frac{[\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 V_{1/3,n}]_{G1}}{[\frac{1}{8} \sum_{n=1}^8 V_{1/3,n}]_{G0}}$$

Trong đó, $V_{1/3}$ là giá trị trung bình của 1/3 giá trị vận tốc lớn nhất của dòng chảy do sóng.

Hình 6 thể hiện tương quan giữa hệ số gia tăng vận tốc dòng chảy trung bình do sóng và chiều cao lưu không tương đối đỉnh đê. Vị trí bị ảnh hưởng nhiều nhất khi $G = 1$ m là vị trí E40-3 ở giữa cửa đê, sóng tác động trực diện, độ lớn vận tốc có thể tăng lên 2 lần trong điều kiện mực nước thấp và sóng nhỏ ($R_c/H_{m0,i} > 1,8$). Với điều kiện như vậy thì sự gia tăng độ lớn vận tốc ở vị trí này không phải là vấn đề nguy hiểm, bởi vì khi đó mực nước khá thấp, chiều cao sóng cũng khá thấp và

giá trị vận tốc dòng chảy cũng không lớn. Ở giữa khoảng hở/cửa đê và gần bờ (E40-6), tác động của khoảng hở làm vận tốc gia tăng khoảng 1,3 - 1,4 lần so với không có khoảng hở. Ở những điểm xa khoảng hở, vận tốc gia tăng không đáng kể (1 - 1,2 lần).



Hình 6. Biểu đồ so sánh sự gia tăng độ lớn vận tốc dòng chảy khi $G = 1$ so kịch bản $G = 0$ tại các vị trí E40-2, E40-3, E40-4, E40-5, E40-6

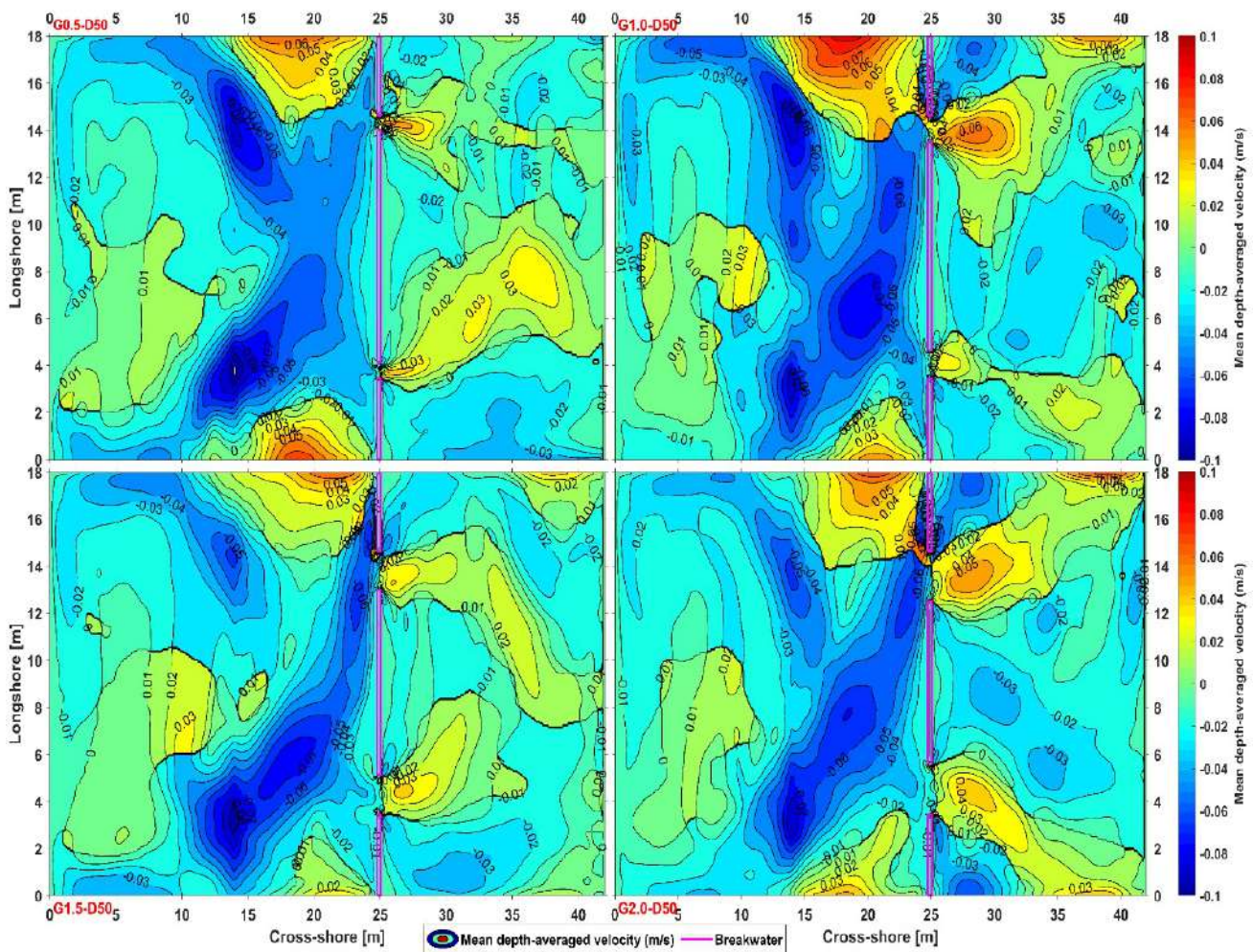
Thí nghiệm được thiết kế xem xét vai trò của vận chuyển vuông góc với bờ chiếm ưu thế với yếu tố thủy động lực là sóng tác động trực diện với hướng đường bờ. Sóng có vai trò khuấy động bùn cát đáy chủ yếu nhờ vào quá trình giải phóng năng lượng tạo ra bởi hiện tượng sóng vỡ, dòng chảy tiếp tục vận chuyển và phân bố lại trầm tích, đủ điều kiện trầm tích sẽ lắng đọng lại tạo ra sự thay đổi về địa hình. Biến đổi địa hình ở mỗi kịch bản thí nghiệm có và không có khoảng hở được thực hiện qua chuỗi 8 kịch bản thay đổi về sóng (H_s, T_p) và 2 mực nước D50, D58. Đê giảm sóng cọc ly tâm ngoài thực tế tại ĐBSCL được thiết kế làm việc ở trạng thái đê nhỏ, do đó trong thí nghiệm đối với biến đổi trầm tích đáy hai mực nước thực hiện thí nghiệm đều đảm bảo $R_c/H_{m0} > 0$.

Hai dòng chảy trung bình ở các kịch bản G0 và G1 của mực nước D58 đều phản ánh vận tốc có giá trị lớn hơn so với cùng loại kịch bản thực hiện ở mực nước thấp (D50), sóng chưa tới giới hạn vỡ tiếp tục truyền về phía bờ, năng lượng sóng vẫn còn được duy trì. Trong trường hợp có khoảng hở, tại các vị trí E40-3, E40-6 ngoài sự gia tăng độ lớn vận tốc dòng chảy do sóng tác động trực diện thì hướng dòng chảy có sự phân hóa giữa 2 trường hợp mực nước thí nghiệm. Ở mực nước thấp dòng chảy tiến về phía bờ (on-shore) chiếm ưu thế;

ngược lại ở mực nước cao, dòng chảy ra ngoài khơi (off-shore) chiếm chủ đạo. Điều này đến từ tính chất bất đối xứng của sóng bị ảnh hưởng bởi ma sát đáy, đỉnh sóng nhọn hơn và bụng sóng rộng hơn, dẫn đến thành phần hướng vào bờ nhờ đỉnh sóng tăng lên và thành phần hướng ra khơi phía bụng sóng nhỏ đi khi mực nước thấp nhờ đó bùn cát được đưa vào bờ nhiều hơn. Sự bất đối xứng này tăng lên khi chiều cao sóng tương đối (tỷ số giữa chiều cao sóng và độ sâu nước) tăng lên, làm cho dòng chảy hướng ra khơi tăng lên [7 - 9].

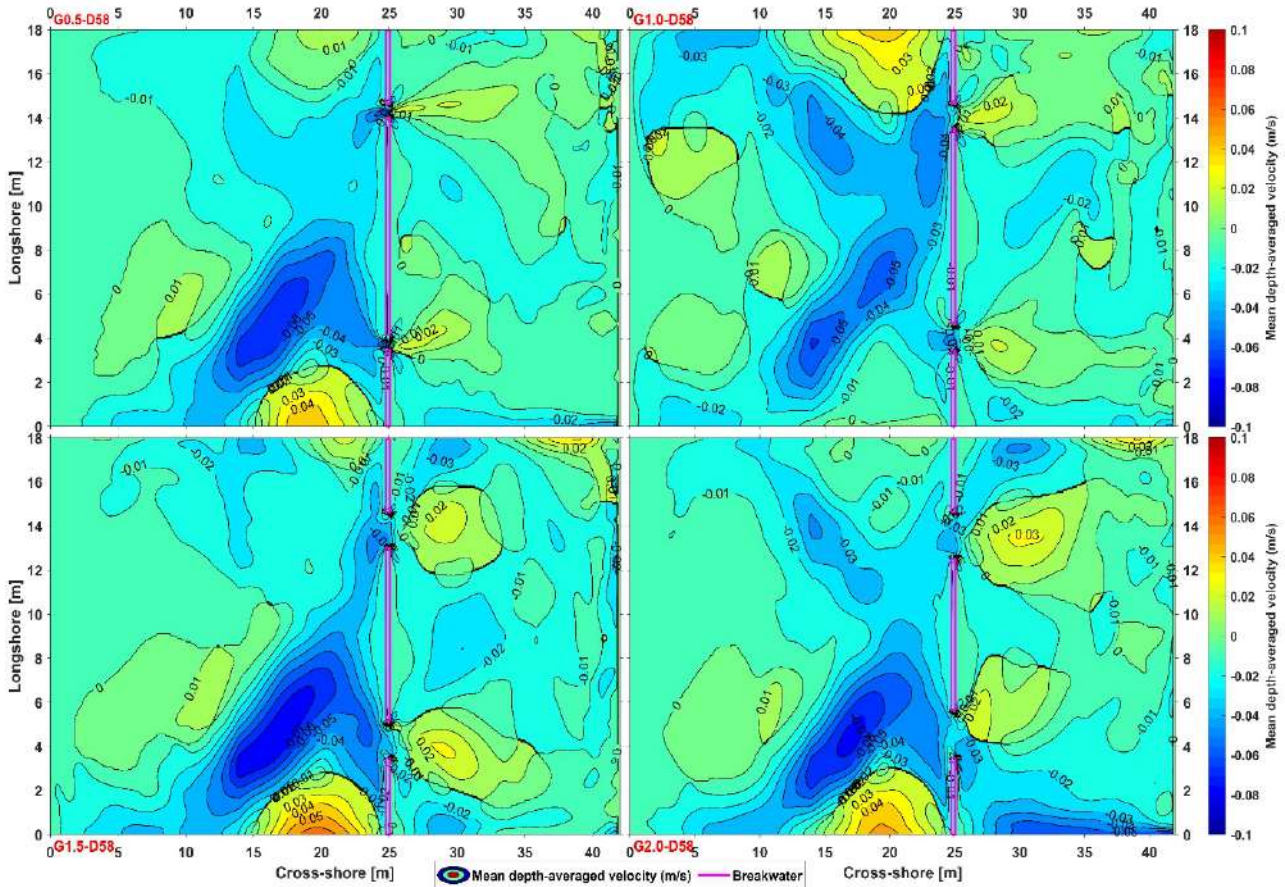
Mô hình toán XBeach (2022) [10] được xây dựng nhằm mô phỏng quá trình lan truyền và

tương tác của sóng đến công trình với kích thước của bể sóng thí nghiệm, mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu thực hiện trong thí nghiệm. Phân bố không gian của trường vận tốc trung bình với các kích thước khoảng hở khác nhau được thể hiện trên hình 7 và hình 8 tương ứng với mực nước D50, D58. Khi bề rộng khoảng hở tăng lên thì thành phần vận tốc hướng vào bờ phân bố rộng hơn và sát bờ nhiều hơn. Tuy nhiên, việc mở rộng bề rộng khe hở làm tăng vận tốc ở khu vực phía trước công trình, đặc biệt trong trường hợp mực nước thấp, khu vực xung quanh khoảng hở.



Hình 7. Trường vận tốc trung bình cho mô phỏng công trình cọc ly tâm với trường hợp bề rộng khoảng hở khác nhau, $G = 0,5; 1,0; 1,5; 2$ m tại điều kiện mực nước thấp D50. Giá trị dương thể hiện hướng dòng chảy đi về phía bờ.

Ghi chú: Trục x thể hiện phương vuông góc với bờ, trục y thể hiện phương song song với bờ. Vị trí đề giảm sóng cách bờ 25 m. Mean depth-averaged velocity: vận tốc dòng chảy trung bình theo thời gian và theo độ sâu, breakwater: đề giảm sóng, cross - shore: phương vuông góc với bờ, longshore: phương song song với bờ.



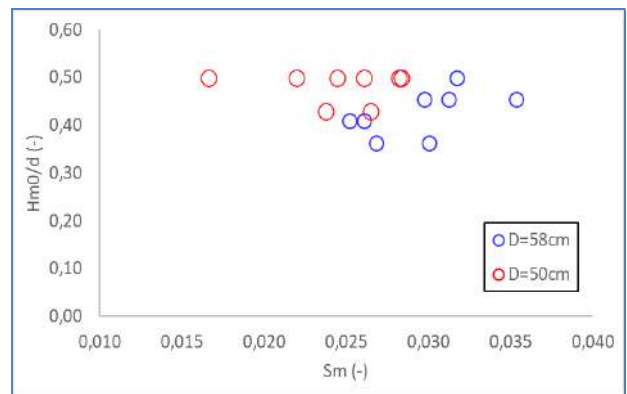
Hình 8. Trường vận tốc trung bình cho mô phỏng công trình cọc ly tâm với trường hợp bề rộng khoảng hở khác nhau, $G = 0,5; 1,0; 1,5; 2$ m tại điều kiện mực nước cao D58. Giá trị dương thể hiện hướng dòng chảy đi về phía bờ.

Ghi chú: Trục x thể hiện phương vuông góc với bờ, trục y thể hiện phương song song với bờ. Vị trí đề giảm sóng cách bờ 25 m. Mean depth-averaged velocity: vận tốc dòng chảy trung bình theo thời gian và theo độ sâu, breakwater: đề giảm sóng, cross - shore: phương vuông góc với bờ, longshore: phương song song với bờ.

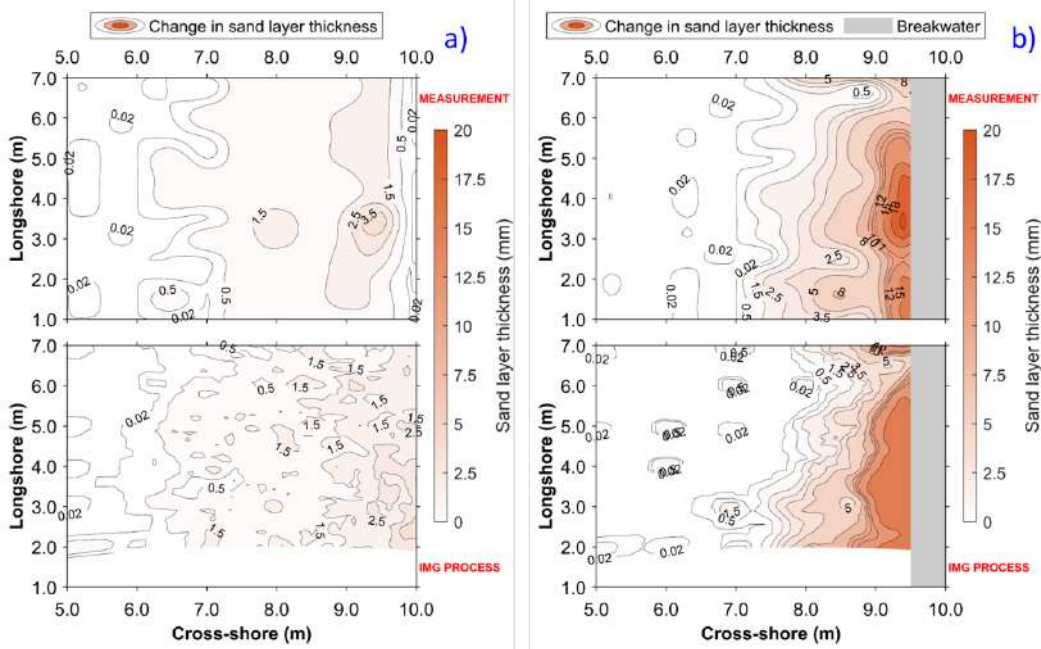
3.2. Biến đổi trầm tích đáy

Thí nghiệm về biến đổi trầm tích đáy cũng được thực hiện với 2 kích bản mực nước thấp $D = 50$ cm và cao $D = 58$ cm với 8 kích bản về sóng được thí nghiệm liên tục. Hình 9 thể hiện đặc trưng của sóng thí nghiệm trong 2 kích bản mực nước khác nhau này. Với mực nước thấp $D = 50$ cm, tỷ số chiều cao sóng trên độ sâu nước (H_{m0}/d) cho đồng nhất luôn duy trì ở mức cao = 0,5, đây là ngưỡng của sóng vỡ, do đó ở mực nước này, các sóng tiến vào có khả năng giải phóng năng lượng, khuấy động trầm tích sẽ nhiều hơn. Trong khi đó, tại mực nước $D = 58$ cm, tỷ số H_{m0}/d nằm trong khoảng từ 0,35 - 0,45, chưa đạt tới ngưỡng của sóng vỡ do đó sóng có khả năng lan truyền đều

trên bãi, ít giải phóng năng lượng hơn so với khi bị vỡ, vì thế mà khả năng khuấy động trầm tích đáy sẽ thấp hơn.



Hình 9. Đặc trưng tham số sóng (S_m) và mực nước thí nghiệm (H_{m0}/d)



Hình 10. Thay đổi địa hình đáy (sand layer thickness) tại kịch bản thí nghiệm với mực nước $D = 58$ cm bằng phương pháp đo lazer và bằng phương pháp phân tích camera
a) trường hợp không có công trình, b) trường hợp có đê giảm sóng

Ghi chú: Change in sand layer thickness: sự thay đổi độ dày lớp cát, sand layer thickness: độ dày lớp cát, breakwater: đê giảm sóng, longshore: phương song song với bờ, Cross - shore: phương vuông góc với bờ, Measurement: kết quả đo bằng phương pháp lazer, IMG Process: kết quả thu được từ phân tích camera.

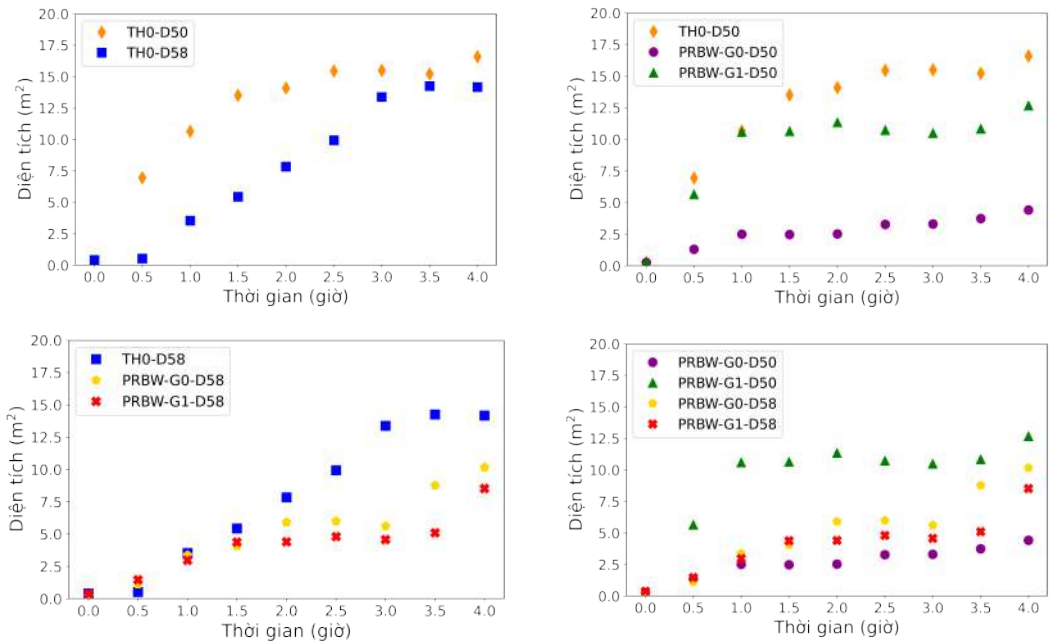
Hình 10 thể hiện sự thay đổi hình thái đáy giữa 2 kết quả thu được từ phương pháp đo lazer và phương pháp phân tích camera ở thời điểm kết thúc thí nghiệm (với 8 kịch bản sóng ở mực nước $D58$) đối với trường hợp không có công trình (Hình 10a) và trường hợp có công trình (Hình 10b). Kết quả cho thấy, xu thế phân bố trầm tích và chiều dày lớp cát khá giống nhau giữa 2 phương pháp đo đạc (phân tích camera và lazer). Đối với trường hợp không có công trình, cát phân bố tương đối mỏng nhưng đều và kéo dài về phía bờ. Trường hợp công trình không bố trí khoảng hở, trầm tích tập trung nhiều ở phía sau công trình. Kết quả phân tích bằng camera sau khi được kiểm định được sử dụng để đánh giá quá trình thay đổi hình thái đáy khu vực phía sau công trình.

Kết quả biến đổi địa hình đáy khu vực phía sau công trình cho thấy, diện tích bồi lắng tăng dần theo thời gian cho tất cả các trường hợp thí nghiệm ở mực nước thấp ($D50$) và mực nước cao ($D58$), có và không có khoảng hở ở các mức độ khác nhau. Khi không có khoảng hở, diện tích bồi

lắng ở mực nước thấp sẽ lớn hơn trường hợp mực nước cao (Hình 11a). Việc xây dựng đê giảm sóng không bố trí khoảng hở, diện tích bồi lắng tương đối nhỏ so với trường hợp có khe hở (Hình 11b). Tuy nhiên, khi xây dựng đê giảm sóng thì diện tích bồi lắng vẫn thấp hơn so với trường hợp không có công trình (TH0) (Hình 11b, 11c). Ở mực nước thấp, do sóng khuấy động trầm tích cùng với việc tính bất đối xứng của sóng tăng lên giúp cho cát được đưa về phía bờ nhiều hơn. Nếu không có khoảng hở, đê sẽ cản trở nguồn trầm tích được cho là vận chuyển từ ngoài khơi vào bờ. Đê giảm sóng tiêu tán phần lớn năng lượng sóng tới và dòng chảy phía sau đê khá nhỏ do đó khó phân phối lại trầm tích phía sau đê. Ở mực nước cao ($D58$) năng lượng sóng lớn hơn nên tốc độ vận chuyển trầm tích nhanh hơn (Hình 11d). Khi bố trí khoảng hở, ở mực nước thấp trầm tích phía sau đê tích tụ lớn gấp 2 lần so với việc không bố trí khe hở và diện tích bồi lắng tăng khoảng 25 - 35% (Hình 11b). Khi có khe hở, sóng và dòng chảy tại khu vực khe hở lớn hơn giúp trầm tích được đưa

vào sâu và phân tán rộng hơn khu vực phía sau đê giảm sóng. Ở mực nước lớn, công trình không đóng vai trò tích tụ trầm tích gần bờ mặc dù trầm

tích được cung cấp, trầm tích tập trung chủ yếu ở xung quanh khu vực chân đê, trong phạm vi < 1 m.



Hình 11. Kết quả diễn biến biến đổi trầm tích đáy phía sau công trình cọc ly tâm đá đổ (PRBW) tương ứng với các kịch bản khác nhau về mực nước (D50, D58) và bố trí không gian kết cấu (G0, G1).

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Mục tiêu chính của nghiên cứu này nhằm thực hiện nghiên cứu về ảnh hưởng của bố trí khoảng hở cho loại đê giảm sóng cọc ly tâm đá đổ đối với hình thái đường bờ bằng thí nghiệm vật lý và mô hình toán (Xbeach). Các kết quả đã cung cấp một số hiểu biết quan trọng về sự bố trí khoảng hở giữa các đoạn đê giảm sóng. Quá trình vận chuyển trầm tích qua các khe hở và sự phân bố trầm tích phía sau công trình là rất quan trọng đối với sự ổn định và phát triển của đường bờ.

Quá trình bồi lắng bị chi phối bởi điều kiện mực nước và sự sắp xếp không gian của các khoảng hở. Tác động của việc mở rộng khoảng hở giữa các đoạn đê làm cho sóng và dòng chảy thay đổi cả về hướng và cường độ của dòng chảy do sóng. Hướng sóng và dòng chảy sinh ra do sóng phía sau đê bị phân tán do hiện tượng nhiễu xạ. Tại các vị trí xung quanh khoảng hở, cường độ dòng chảy và chiều cao sóng tăng.

Xem xét về quá trình trao đổi trầm tích, trong điều kiện mực nước thấp (đê nhỏ) khả năng khuấy động bùn cát do sóng lớn thì việc bố trí khoảng hở

giúp gia tăng đáng kể lượng trầm tích trao đổi qua tuyến đê. Khi mực nước lớn, khả năng khuấy động bùn cát do sóng giảm thì vai trò của khoảng hở trong việc gia tăng trao đổi trầm tích là chưa thực sự rõ ràng. Trầm tích có trao đổi qua thân đê kết cấu xốp rộng cọc ly tâm tuy nhiên phạm vi phân bố rất hạn chế, tập trung vùng sát chân đê, do năng lượng sóng và dòng chảy khu vực phía sau đê suy giảm, khả năng tái phân bố trầm tích cho khu vực này do đó cũng bị giảm theo, quá trình di chuyển trầm tích về phía bờ rất hạn chế. Nghiên cứu đã chỉ ra việc bố trí khoảng hở $G = 1$ m giúp trầm tích được trao đổi tốt hơn, dòng chảy do sóng đi vào phía khoảng hở đủ năng lượng để đưa trầm tích vào sâu hơn về phía bờ, rút ngắn thời gian bồi lắng và tăng phạm vi bồi lắng tuy nhiên mức độ gia tăng chỉ xảy ra cục bộ tại chính giữa khoảng hở.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam trong khuôn khổ đề tài cấp quốc gia (số ĐTDL.CN-47/18), "Thí nghiệm mô hình vật lý để nghiên cứu các biện pháp bảo vệ bờ biển đồng bằng sông Cửu Long". Xin chân thành cảm ơn Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

đã cung cấp toàn bộ dữ liệu, mô hình thí nghiệm, thiết bị đo đạc và các thông tin cần thiết. Xin chân thành cảm ơn sự hợp tác của nhóm nghiên cứu KIT, Cộng hòa Liên Bang Đức. Chân thành cảm ơn ý kiến đóng góp của các chuyên gia trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đỗ Văn Dương, Nguyễn Nguyệt Minh, Lê Duy Tú, Lê Xuân Tú, Đinh Công Sản, Trần Thùy Linh (2021). Xác định ảnh hưởng của chiều rộng đỉnh đến hiệu quả giảm sóng của đê giảm sóng cọc ly tâm - đá đổ trong máng sóng. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Thủy lợi*, số 66, tr. 63 – 72.
2. Irie, I., Nadaoka, K. (1984). Laboratory reproduction of seabed scour in front of breakwaters, in: Coastal Engineering. pp. 1715 - 1731.
3. Oumeraci, H. (1994). Review and analysis of vertical breakwater failures - lessons learned. Coastal engineering, 22, 3 - 29.
4. Soulsby, R. (1997). *Dynamics of marine sands: A Manual for Practical Applications*. Publisher: Thomas Telford. ISBN 072772584X, 9780727725844, 249 pages
5. Patrick Marchesiello and Dinh Cong San (2017). “The erosion process in the Lower

Mekong Delta Coastal Zones (LMDCZ) and the measures for protecting Go-Cong and U-Minh from coastal erosion” Final Report, SIWRR (Contract No: AFD-SIWRR 2016).

6. Nguyen, N.-M., Do Van, D., Le, D.T., Pham, N.T., Nguyen, Q., Tran, B., Wright, D.P., Tanim, A.H., Anh, D.T. (2022b). Wave reduction efficiency for three classes of breakwaters on the coastal Mekong Delta. Applied Ocean Research 129, 103362.

7. Grasmeijer, B.T., Sies, E.M. (1995). Sediment concentrations and Sediment transport in case of Irregular breaking waves.

8. Houwman, K.T., Hoekstra, P. (1994). Shoreface hydrodynamics; Report part 1, field measurements near Egmond aan Zee. Imau, R94-2, Univ. of Utrecht, The Netherlands.

9. Kroon, A. (1994). Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone near Egmond, The Netherlands. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.

10. XBeach (2022). XBeach user manual. https://xbeach.readthedocs.io/en/latest/user_manual.html. Accessed in: September 9th, 2022.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL MODELING OF PILE-ROCK BREAKWATER GAP ARRANGEMENT FOR OPTIMAL COASTAL EROSION PROTECTION IN DELTAIC COASTS

Nguyen Nguyet Minh¹, Dinh Cong San¹, Le Duy Tu¹, Do Van Duong¹, Truong Ngoc Dat¹

¹*Southern Institute of Water Resources Research*

Summary

Pile-Rock breakwaters (PRBW) have been constructed as a continuous long feature in the West Sea of the Mekong Delta. Being continuous breakwaters, their gap arrangement can influence the velocity field, sediment distribution, and their spatial orientation also influences sediment distribution and shoreline morphology. In this study, experimental and numerical modeling were performed to investigate the effect of breakwater gaps on bedload sediment transport and nearshore bed morphology. Across various hydrodynamic conditions the gap width was found to have a significant impact on bedload sediment transport and nearshore bed morphology. The studies found breakwater gaps result in high current speed and flow due to wave diffraction which subsequently also accelerates the shoreline and bed erosion process. The gaps also have a positive impact, facilitating sediment supply behind the breakwaters and therefore enhancing the living shoreline.

Keywords: *Physical model, XBeach, pile-rock breakwater, Mekong Delta.*

Người phản biện: PGS.TS. Lê Văn Hùng

Ngày nhận bài: 21/7/2023

Ngày thông qua phản biện: 21/8/2023

Ngày duyệt đăng: 28/8/2023