

CƠ SỞ KHOA HỌC ĐỀ XUẤT MẶT CẮT ĐÊ BIỂN CÓ KẾT CẤU 1/4 TRỤ RỒNG TRÊN ĐỈNH ÁP DỤNG ĐÊ BIỂN ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Phan Đình Tuấn, Trần Đình Hòa

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Từ kết quả số liệu đo đạc lưu lượng tràn trên thí nghiệm mô hình vật lý, tác giả đã đánh giá sóng tràn, sóng phản xạ qua 3 dạng mặt cắt đê biển (1) mặt cắt mái nghiêng (2) mặt cắt mái nghiêng kết hợp tường đỉnh (3) mặt cắt có kết cấu 1/4 hình trụ rồng trên đỉnh (TSD) với cùng cao trình đỉnh. Qua đó đánh giá hiệu quả sóng tràn của mặt cắt đê biển có kết cấu 1/4 hình trụ rồng trên đỉnh là tương đương mặt cắt đê mái nghiêng kết hợp tường đỉnh. Đồng thời, hệ số sóng phản xạ $K_r = 0,37 \div 0,6$ có giá trị tương đương với đê mái nghiêng với $K_r = 0,37 \div 0,66$ và tốt hơn đê mái nghiêng kết hợp tường đỉnh $K_r = 0,52 \div 0,71$.

Từ khóa: Cấu kiện 1/4 trụ rồng; sóng tràn; sóng phản xạ; tỷ lệ lỗ rồng; mô hình vật lý

Summary: From experiment data, the overtopping discharges were analyzed with 3 type of sea dike cross sections: (1) sloping dike, (2) sloping dike combined with vertical wall (3) sloping dike combined with perforated quarter circular breakwater on the top in case of the same crest elevation. The result shows that there is a equivalent of overtopping discharge between (1) and (2). Besides, the reflection coefficient of (3) ($K_r = 0.37-0.6$), which is nearly same (2) ($K_r = 0.37-0.66$) and better than (2) with $K_r = 0.52-0.71$

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam có hệ thống đê biển rất lớn, trải dài từ Bắc xuống Nam, góp phần quan trọng trong việc bảo vệ tính mạng, tài sản cho người dân, và phục vụ sản xuất, phát triển đất nước. Trong những năm gần đây, biến đổi khí hậu ngày càng diễn biến phức tạp, khó lường, đã tác động rất lớn đến đời sống và sản xuất. Vấn đề sạt lở bờ biển đã và đang diễn ra rất phức tạp, có xu thế gia tăng, đặc biệt là vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Đã có nhiều đề tài nghiên cứu đề xuất nhiều giải pháp, công nghệ nhằm tăng cường ổn định cho đê biển. Trong đó, giải pháp công trình giảm sóng tác động vào đê và giảm sóng tràn qua đê được nghiên cứu, ứng dụng khá nhiều.

Hệ thống công trình đê, tường biển được xây dựng nhằm bảo vệ vùng đất phía sau khỏi ngập lụt, biển lấn, ... dưới sự tác động của các yếu tố

thủy động lực học như sóng, nước dâng, dòng chảy. Để đảm bảo được các chức năng theo yêu cầu thì độ cao của đỉnh công trình phía trên mực nước biển tính toán (còn gọi là độ lưu không) phải đảm bảo theo tiêu chuẩn sóng tràn. Lượng sóng tràn cho phép qua đê có tính quyết định đến quy mô, giải pháp thiết kế và cũng như là quy hoạch bảo vệ của một hệ thống đê biển. Lượng sóng tràn cho phép được quy định khác nhau đối với từng nhiệm vụ công trình và kết cấu mặt cắt. Nghiên cứu sóng tràn do vậy có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong việc thiết kế các chi tiết cấu tạo hình học và kết cấu của đê, tường biển;

Đối với khu vực đồng bằng sông Cửu Long khu vực bị tác động biến đổi khí hậu nước biển dâng nghiêm trọng. Các đê biển hiện trạng được thiết kế với tần suất trước kia và điều kiện biên chưa xét tới nước biển dâng, biến đổi khí hậu, đến

Ngày nhận bài: 05/7/2022

Ngày thông qua phản biện: 02/8/2022

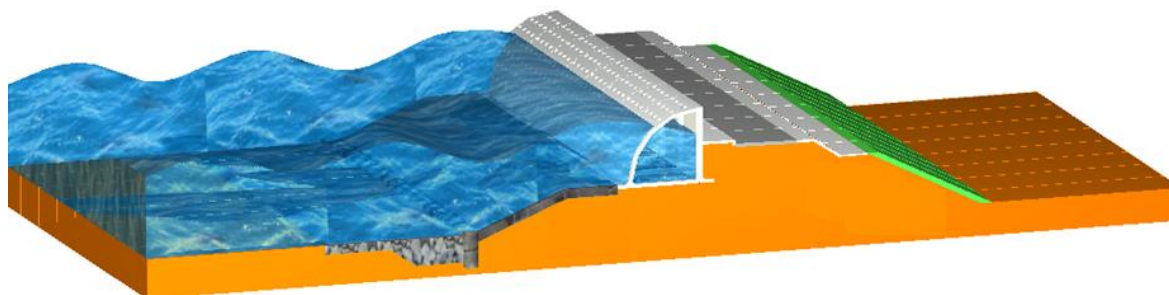
Ngày duyệt đăng: 12/8/2022

nay đã bộc lộ nhiều mặt hạn chế. Với tiêu chuẩn thiết kế đê biển hiện nay, đê cấp III, IV (cấp đê phổ biến ĐBSCL) với tần suất thiết kế lần lượt là 2% và 3,33% đã được nâng cao so với quy định trước kia trong 14 TCN 130-202, tần suất thiết kế là 5% cho cấp đê III và IV. Cùng với đó, tham số mực nước và sóng thiết kế tính toán đều cao hơn do tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Vì vậy, vấn đề đặt ra trong quản lý và thiết kế mới hoặc sửa chữa đê biển nhằm đảm bảo điều kiện làm việc là nâng cao trình đỉnh.

Trong điều kiện địa chất nền mềm yếu ở ĐBSCL, để nâng cao trình đỉnh cần có mặt cắt nhỏ gọn, tải trọng bản thân thấp, hạn chế sụt lún nền. Giải pháp phổ biến hiện nay đang xây dựng tường đỉnh trên đê và bước đầu cho hiệu quả về khả năng giảm sóng tràn, do nâng được chiều cao đỉnh và giảm được chiều cao đắp đê so với

nâng cao toàn bộ mặt cắt đê. Tuy nhiên, với kết cấu tường đỉnh thường hạn chế bởi chiều cao tường thấp dẫn tới mặt cắt vẫn còn lớn và hiện tượng sụt lún vẫn xảy ra. Bên cạnh đó tường đỉnh tạo sóng phản xạ cao và gia tăng khi tường được nâng lên ($kr = 0.7 \div 1$) [1], do đó áp lực trực tiếp lên công trình lớn, đồng thời gây xói chân, mất ổn định chân tường.

Từ nhu cầu thực tế như đã phân tích ở trên, việc nghiên cứu về mặt cắt đê biển mới đáp ứng được yêu cầu về cao trình đỉnh an toàn khi sóng tràn, giảm sóng phản xạ và giảm tải trọng mặt cắt là cần thiết. Chính vì vậy, tác giả đã đề xuất mặt cắt đê biển có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng trên đỉnh (Hình 1), nhằm cải thiện các hạn chế về tải trọng mặt cắt, sóng phản xạ, sóng tràn... Để có cơ sở đề xuất mặt cắt trên tác giả tiến hành thí nghiệm máng sóng và đánh giá hiệu quả giảm sóng tràn, sóng phản xạ, so với mặt cắt hiện trạng.



Hình 1: Mặt cắt đê biển có kết cấu rỗng

2. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

Các tuyến đê hiện trạng từ Tiền Giang tới Kiên Giang hiện nay sử dụng đê mái nghiêng hoặc đê mái nghiêng kết hợp tường đỉnh. Với giải pháp xây thêm các tường đứng (có hoặc không mũi hắt sóng) trên đỉnh khá phù hợp để khắc phục nhược điểm địa chất nền khi muốn nâng cao trình đỉnh đê. Mái nghiêng là giải pháp ưu điểm trong giảm sóng phản xạ, sóng leo nhưng lại có diện tích mặt cắt lớn, tải trọng bản thân cao, hiệu quả giảm sóng tràn còn hạn chế. Còn về mái nghiêng kết hợp tường đỉnh ưu điểm là mặt cắt nhỏ gọn, tải trọng thấp, giảm sóng tràn, hạn chế là tạo sóng phản xạ lớn, gây hư hỏng kết

cấu tường, mái và chân đê.

Đối với kết cấu rỗng có mặt tiếp sóng được đục lỗ, với kết quả nghiên cứu cho giải pháp giảm sóng xa bờ của Dhinakaran (2009-2012), Lê Thanh Chương 2020 thì hệ số phản xạ kết cấu rỗng trong khoảng $kr = 0,25 \sim 0.7$. Mặt khác, Franco, Claudio và Fraco, Leopoldo 1999 đã thí nghiệm mô hình vật lý với kết cấu tường đứng với mặt tiếp sóng dạng rãnh hình chữ nhật đứng, ngang và lỗ dạng tròn, bước đầu đã đưa ra được hệ số giảm sóng tràn tương ứng là 0.79, 0.72 và 0.58. So với các hệ số kết cấu lát mái và tường đỉnh từ 0,55 tới 0,95 là tương đối tốt.

Chính vì vậy, cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu là tiến hành thí nghiệm trong máng sóng thí nghiệm, đánh giá so sánh hệ số phản xạ, lưu lượng tràn qua mặt cắt đề xuất với 2 mặt cắt hiện trạng với cùng điều kiện sóng, mực nước thiết kế đê biển Đồng bằng sông Cửu Long. Hiệu quả giảm sóng phản xạ và sóng tràn qua các mặt cắt làm cơ sở khoa học để đề xuất áp dụng mặt cắt đê biển có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng trên đỉnh áp dụng đê biển Đồng bằng sông Cửu Long

3. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

Kịch bản thí nghiệm được xây dựng dựa trên các yếu tố ảnh hưởng tới xác định sóng tràn như độ cao lưu không R_c , độ rỗng kết cấu, thông số sóng, hiện trạng về giải pháp bảo vệ, thông số hải văn;

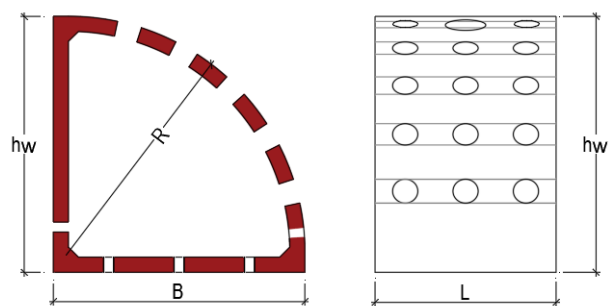
Các phương án thí nghiệm được thực hiện trong máng sóng có chiều dài 37m, rộng 2m, sâu 1,5m tại phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển. Máng được chia thành 2 phần: phần bê tông là phần để máy tạo sóng có chiều dài 15m, thường được sử dụng ở phần nước sâu nơi có độ sâu nước lớn; phần còn lại có chiều dài 22m được làm bằng kính 8mm, thường được sử dụng để bố trí công trình để dễ quan sát các hiện tượng tương tác giữa sóng và công trình.

Máy tạo sóng có thể tạo ra sóng đều, sóng ngẫu nhiên theo một dạng phổ Jonswap, Jonswap Par, Moskowitz, Moskowitz Par và Sin ở độ sâu nước tối đa trước máy tạo sóng 1,4m. Chiều cao sóng lớn nhất có thể tạo trong máng là $H_{\max} = 0,4\text{m}$ và chu kỳ từ $T_p = 0,5\text{s} \div 5,0\text{s}$.

Đặc điểm thủy văn nguyên mẫu khu vực như sau:

- + Thông số sóng: chiều cao sóng khu vực $H_s = 1 \div 1,5\text{ m}$ chu kỳ sóng $T_p = 4 \div 6\text{ s}$
- + Độ sâu nước: $d = 2,5 \div 4\text{ m}$

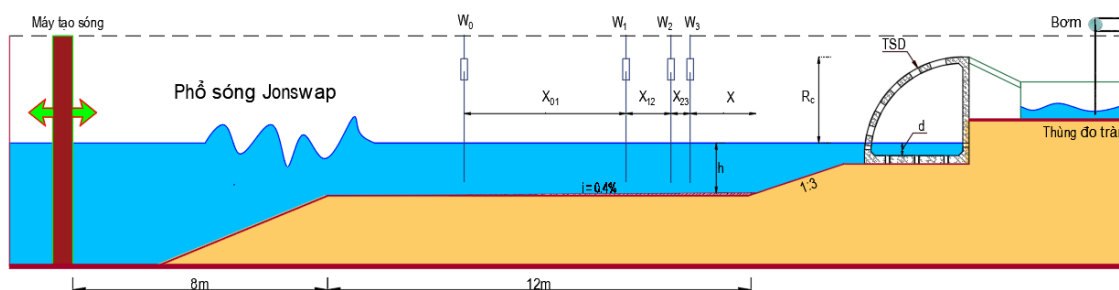
Kịch bản thí nghiệm được thiết kế với ba tỷ lệ lỗ rỗng của kết cấu 10%; 15% và 20%. Chiều cao sóng được lựa chọn tối thiểu 0,10 m, để có thể tạo ra số Reynolds đủ lớn ($Re > 3 \times 10^4$) nhằm hạn chế ảnh hưởng của lực nhớt trong tất cả các thí nghiệm. Trên cơ sở về năng lực tạo sóng, chiều dài máng phòng thí nghiệm và thông số mặt cắt, điều kiện sóng, tỷ lệ mô hình được lựa chọn 1/10. Biên sóng được tạo ra bởi máy tạo sóng tuân theo phổ JONSWAP có chiều cao (H) tương ứng: 0,1m; 0,125m; và 0,15m; chu kỳ đỉnh phổ (T_p): 1,3s; 1,7s và 2,1s.



Hình 2: Cắt ngang và chính diện mặt tiếp sóng có lỗ rỗng kết cấu $\frac{1}{4}$ hình trụ rỗng (TSD)

Mục tiêu bố trí thiết bị và thí nghiệm để đạt được bộ số liệu về lưu lượng tràn trung bình, sóng phản xạ của kết cấu. Xác định lưu lượng tràn bằng hệ thống thu nước tràn qua đê thông qua máng vào thùng chứa nước. Tuy nhiên, nước chỉ được thu sau khi sóng đã ổn định và đến hết thời gian thử nghiệm. Lưu lượng tràn trung bình được xác định qua tổng lượng nước tràn qua công trình và thời gian lấy mẫu.

Để thu và tách sóng tới, sóng phản xạ, các đầu đo sóng được bố trí theo phương pháp tách sóng phản xạ của Mansard and Funke (Hình 3). Khoảng cách các đầu đo được xác định nguyên lý Mansard and Funke. Với L – chiều dài sóng nước sâu; $X_{12} = L/10$; $L/6 < X_{13} < L/3$ và $X_{13} \neq L/5$ và $X_{13} \neq 3L/10$; $X_{12} \neq n.L_p/2$, với $n=1,2,\dots$; $X_{13} \neq X_{12}$, với $n=1,2,\dots$;



Hình 3: Bố trí đầu đo và hệ thống thu dữ liệu

Bảng 1: Tổ hợp các phương án thí nghiệm

Mặt cắt đề thí nghiệm	Thông số sóng	Độ cao lưu không	Số kịch bản
Mái nghiêng (Hình 4.a)	$H_{m0} = 0,10\text{m}; T_p = 1,3\text{s}$ $H_{m0} = 0,125\text{m}; T_p = 1,7\text{s}$ $H_{m0} = 0,15\text{m}; T_p = 2,1\text{s}$	$R_c = 0,10\text{m}$ $R_c = 0,15\text{m}$ $R_c = 0,20\text{m}$	9 kịch bản kết hợp từ 3 thông số sóng x 3 độ cao lưu không
Mái nghiêng có tường đỉnh 1m (Hình 4. b)	$H_{m0} = 0,10\text{m}; T_p = 1,3\text{s}$ $H_{m0} = 0,125\text{m}; T_p = 1,7\text{s}$ $H_{m0} = 0,15\text{m}; T_p = 2,1\text{s}$	$R_c = 0,10\text{m}$ $R_c = 0,15\text{m}$ $R_c = 0,20\text{m}$	9 kịch bản kết hợp từ 3 thông số sóng x 3 độ cao lưu không
Kết cấu tiêu sóng tại đỉnh, hệ số rỗng bề mặt $\varepsilon=10\%$; $\varepsilon=15\%$; $\varepsilon=20\%$ (Hình 4. c)	$H_{m0} = 0,10\text{m}; T_p = 1,3\text{s}$ $H_{m0} = 0,125\text{m}; T_p = 1,7\text{s}$ $H_{m0} = 0,15\text{m}; T_p = 2,1\text{s}$	$R_c = 0,10\text{m}$ $R_c = 0,15\text{m}$ $R_c = 0,20\text{m}$	27 kịch bản kết hợp từ 3 hệ số rỗng x 3 thông số sóng x 3 độ cao lưu không

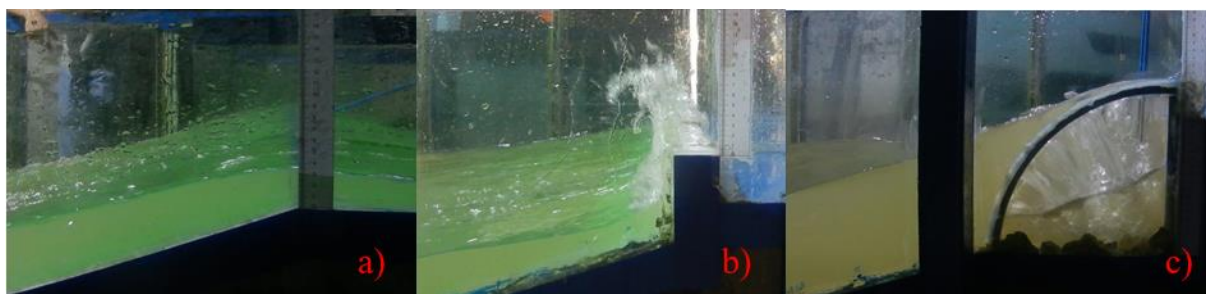
Tổng hợp số lượng kịch bản thí nghiệm cho 3 loại mặt cắt là 45 kịch bản.

4. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG TRÀN

Hình 4 phản ánh kết quả hình dạng kết cấu được tương tác giữa sóng và kết cấu công trình. Đối với đề có mặt cắt mái nghiêng, khi sóng tác động gây ra quá trình sóng leo trên mái và tràn qua công trình. Mái nghiêng tạo đà sóng leo dễ dàng khi sinh ra dòng chảy tràn với chiều cao lớn (Hình 4a) và là nguyên nhân lưu lượng tràn qua mặt cắt thiên lớn so với mặt cắt đề có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng (TSD) trên đỉnh (Hình 4). Với mặt cắt đề mái nghiêng kết hợp tường đỉnh sau khi

sóng leo trên mái nghiêng đã bị cản lại bởi tường đỉnh. Sóng tới tương tác với tường tạo thành sóng đứng cao (Hình 4b), lưu lượng tràn qua đó được giảm đáng kể. Tuy nhiên, sóng đứng lớn tạo ra sóng phản xạ trước tường gây bất lợi cho kết cấu mái nghiêng và tường đỉnh.

Quá trình sóng tương tác với mặt cắt đề có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng trên đỉnh với xu thế tràn tương tự mái nghiêng, sóng leo qua mặt cong và tràn qua đỉnh công trình. Dưới tác dụng bởi lỗ rỗng bề mặt, lưu lượng được hấp thụ thông qua buồng tiêu sóng kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng nên chiều cao chảy tràn và lưu lượng tràn qua công trình đã được giảm đáng kể.



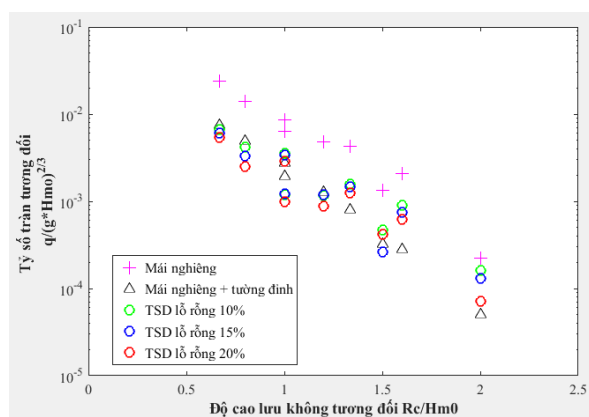
Hình 4: Hình ảnh sóng tràn trong thí nghiệm qua các mặt cắt đê biển (a) mái nghiêng, (b) mái nghiêng có tường đỉnh và (c) mặt cắt có kết cấu tiêu sóng tại đỉnh.

So sánh với cùng điều kiện biên tác dụng thì lưu lượng tràn trung bình qua mặt cắt đê mái nghiêng là lớn nhất (0). Mặt cắt đê có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng với lỗ rỗng bề mặt $\varepsilon=20\%$ cho giá trị xấp xỉ với mái nghiêng kết hợp tường đỉnh. Trong cùng một loại mặt cắt đê biển có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng trên

đỉnh, khi hệ số lỗ rỗng bề mặt tăng lên thì hiệu quả giảm sóng tràn tăng theo. Hiệu quả giảm sóng tràn qua kết cấu kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng có thể xem là một ưu điểm nổi bật của kết cấu khi được so sánh cùng điều kiện của mái nghiêng và mái nghiêng kết hợp tường đỉnh.

Bảng 2: Kết quả lưu lượng tràn qua các mặt cắt đê biển với cùng tham số sóng

Kích bản	Lưu lượng tràn trung bình qua các mặt cắt q (l/s/m)				
	Mái nghiêng	Mái nghiêng + tường đỉnh	TSD $\varepsilon=10\%$	TSD $\varepsilon=15\%$	TSD $\varepsilon=20\%$
$H_{m0}=0,10\text{m}; T_p=1,3\text{s}; R_c=0,2\text{m}$	0,022	0,005	0,016	0,013	0,007
$H_{m0}=0,125\text{m}; T_p=1,7\text{s}; R_c=0,2\text{m}$	0,286	0,039	0,124	0,104	0,086
$H_{m0}=0,15\text{m}; T_p=2,1\text{s}; R_c=0,2\text{m}$	0,779	0,146	0,289	0,264	0,229
$H_{m0}=0,10\text{m}; T_p=1,3\text{s}; R_c=0,15\text{m}$	0,133	0,032	0,046	0,026	0,041
$H_{m0}=0,125\text{m}; T_p=1,7\text{s}; R_c=0,15\text{m}$	0,670	0,175	0,161	0,164	0,122
$H_{m0}=0,15\text{m}; T_p=2,1\text{s}; R_c=0,15\text{m}$	1,564	0,498	0,650	0,612	0,527
$H_{m0}=0,10\text{m}; T_p=1,3\text{s}; R_c=0,1\text{m}$	0,631	0,193	0,119	0,121	0,097
$H_{m0}=0,125\text{m}; T_p=1,7\text{s}; R_c=0,1\text{m}$	1,918	0,681	0,576	0,463	0,348
$H_{m0}=0,15\text{m}; T_p=2,1\text{s}; R_c=0,1\text{m}$	4,309	1,368	1,222	1,113	0,986



Hình 5: Tương quan giữa lưu lượng tràn và độ cao lưu không tương đối

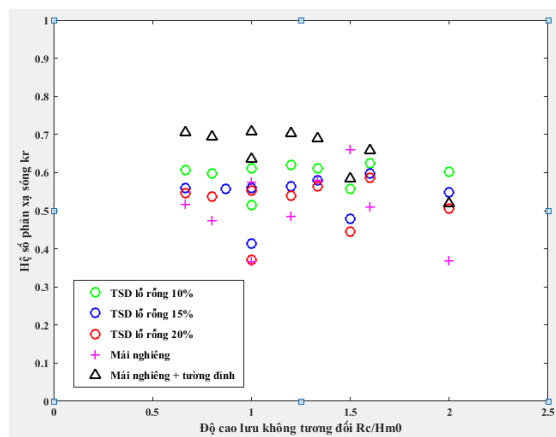
5. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG PHẢN XẠ

Trên số liệu đo đạc từ bộ 3 đầu đo sóng bố trí ở trên, bằng công cụ phân tích sóng phản xạ WS Reflection analysis của phần mềm Mike đã phân tích hệ số sóng phản xạ k_r cho các kích bản thí nghiệm được trình bày trong 0. Hệ số phản xạ đối với đê biển mái nghiêng là $k_r = 0,37 \div 0,66$, đê mái nghiêng kết hợp tường đỉnh là $k_r = 0,52 \div 0,71$, đê biển có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng tại đỉnh là $k_r = 0,37 \div 0,6$. Qua đây cho thấy mặt cắt đê biển có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ

rỗng với khả năng giảm sóng phản xạ tương đương đê mái nghiêng và tốt hơn đê mái

Bảng 3: Kết quả phân tích phản xạ qua các mặt cắt đê biển với cùng tham số sóng

Kích bản	Hệ số sóng phản xạ (k_r)				
	Mái nghiêng	Mái nghiêng + tường đỉnh	TSD $\varepsilon=10\%$	TSD $\varepsilon=15\%$	TSD $\varepsilon=20\%$
$H_{m0}=0,10\text{m}; T_p=1,3\text{s}; R_c=0,2\text{m}$	0,37	0,52	0,60	0,55	0,51
$H_{m0}=0,125\text{m}; T_p=1,7\text{s}; R_c=0,2\text{m}$	0,51	0,66	0,62	0,60	0,59
$H_{m0}=0,15\text{m}; T_p=2,1\text{s}; R_c=0,2\text{m}$	0,58	0,69	0,61	0,58	0,56
$H_{m0}=0,10\text{m}; T_p=1,3\text{s}; R_c=0,15\text{m}$	0,66	0,58	0,56	0,48	0,45
$H_{m0}=0,125\text{m}; T_p=1,7\text{s}; R_c=0,15\text{m}$	0,49	0,70	0,62	0,56	0,54
$H_{m0}=0,15\text{m}; T_p=2,1\text{s}; R_c=0,15\text{m}$	0,58	0,71	0,61	0,56	0,55
$H_{m0}=0,10\text{m}; T_p=1,3\text{s}; R_c=0,1\text{m}$	0,37	0,64	0,52	0,41	0,37
$H_{m0}=0,125\text{m}; T_p=1,7\text{s}; R_c=0,1\text{m}$	0,47	0,69	0,60	0,56	0,54
$H_{m0}=0,15\text{m}; T_p=2,1\text{s}; R_c=0,1\text{m}$	0,52	0,71	0,61	0,56	0,55



Hình 6: Tương quan giữa hệ số phản xạ k_r và độ cao lưu không tương đối R_c/H_{m0}

Đối với cùng kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng thì xu thế khi hệ số lỗ rỗng bề mặt (lỗ rỗng) tăng lên khi hệ số phản xạ k_r giảm. Như vậy, vai trò của lỗ

rỗng bề mặt đối với khả năng giảm sóng tràn là tương đối tương minh. Điều này còn được xem xét qua sự biến đổi của hệ số phản xạ so với độ cao lưu không tương đối R_c/H_{m0} , Bảng 3 và Hình 6 cho thấy hệ số phản xạ biến đổi rất ít khi R_c/H_{m0} biến đổi.

6. KẾT LUẬN

Kết quả thí nghiệm và phân tích đã đánh giá phần nào hiệu quả làm việc của mặt cắt đê biển có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng trên đỉnh, khi lưu lượng tràn qua đỉnh tương đương với mặt cắt đê biển mái nghiêng kết hợp tường đỉnh, đồng thời hệ số sóng phản xạ k_r nhỏ tương đương với mặt cắt đê mái nghiêng. Với các minh chứng nêu trên thì đây là cơ sở khoa học đáng tin cậy về đề xuất mặt cắt đê biển có kết cấu $\frac{1}{4}$ trụ rỗng trên đỉnh áp dụng cho khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan Đình Tuấn (2019) Thiết lập mô hình thí nghiệm nghiên cứu sóng tràn qua đê biển có kết cấu hình trụ rỗng tại đỉnh ở đồng bằng sông cửu long. Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi, Viện khoa học Thủy Lợi Việt Nam, số 55 ISSN:1859-4255, 08-2019, trang 37-42;

- [2] Phan Đình Tuấn (2021) Đánh giá các tham số ảnh hưởng tới sóng tràn qua mặt cắt đê biển có kết cấu hình trụ rỗng tại đỉnh bằng mô hình vật lý. Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi, Viện khoa học Thủy Lợi Việt Nam, số 64 ISSN:1859-4255, 02-2021, trang 26-32;
- [3] Phan Đình Tuấn (2021) Nghiên cứu đặc tính phản xạ của kết cấu tiêu sóng đặt tại đỉnh đê biển trên mô hình vật lý. Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi, Viện khoa học Thủy Lợi Việt Nam. Số 65 ISSN:1859-4255, 04-2021, trang 8-15;
- [4] Phan Đình Tuấn (2021) Đánh giá lưu lượng tràn qua các mặt cắt đê biển bằng thí nghiệm mô hình vật lý. Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Trường Đại học Thủy lợi, số 75 ISSN:1859-3941, 09-2021, trang 137
- [5] Thiều Quang Tuấn (2010), “Tổng quan về các nghiên cứu và phương pháp tính toán sóng tràn qua đê biển”. Tài liệu tham khảo Wadibe, Bộ môn Kỹ thuật công trình biển.
- [6] Trần Văn Thái, Nguyễn Hải Hà, Nguyễn Thanh Tâm, Phan Đình Tuấn (2018) Tải trọng sóng tác động lên cấu kiện tiêu sóng trụ rỗng tại đỉnh đê biển theo lý thuyết và thực nghiệm. Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi, Viện khoa học Thủy Lợi Việt Nam. Số 45 ISSN:1859-4255, 07-2018, trang 114-121;
- [7] Trần Văn Thái, Phan Đình Tuấn (2019) Nghiên cứu sóng tràn và tương tác sóng ở mặt cắt đê biển có kết cấu tiêu sóng trụ rỗng tại đỉnh bằng mô hình vật lý. Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi, Viện khoa học Thủy Lợi Việt Nam. Số 54 ISSN:1859-4255, 06-2019, trang 134-140;
- [8] Eurotop (2018), Manual on wave overtopping of sea defences and related structures, An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application.
- [9] Mansard (1980), The measurement of incident and reflected spectra using a least square method, Proceedings of the 17th ICCE, ASCE 1, 154–172.
- [10] TAW, (2002) technical report wave run-up and wave overtopping at dikes, Technical Advisory Committee on water defences, the Netherlands
- [11] TAW, (2003) Leidraad Kunstwerken, B2 Kerende hoogte, technical Advisory Committee on water defences, the Netherlands
- [12] Thompson, E F, H S Chen and L L Hadley (1996): Validation of numerical model for wind waves and swell in harbours. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 122,5. 245-257.