

Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của kết cấu đê chắn sóng rỗng bằng phương pháp mô phỏng số

Studying the wave reduction efficiency of hollow breakwater using numerical simulation method

> **TRẦN VĂN TIẾNG¹, NGUYỄN VIỆT KHÁNH^{1*}, NGUYỄN PHƯƠNG DUNG²**

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

Điện thoại: 0906. 792. 527 Email: tiengtv@hcmute.edu.vn

² Khoa công trình, Đại học Thủy Lợi Hà Nội

tiengtv@hcmute.edu.vn, nguyenvietkhanh1797@gmail.com

TÓM TẮT

Hiện nay, việc phân tích, đánh giá hiệu quả giảm sóng của các loại đê có kết cấu đặc biệt và dạng hình học phức tạp thường được thực hiện bằng các thí nghiệm trên các mô hình thí nghiệm vật lý hoặc quan trắc tại công trình sau xây dựng. Tuy nhiên việc thực hiện các mô hình vật lý này rất phức tạp, tốn kém thời gian lẫn chi phí và cần số lượng mô hình thí nghiệm lớn. Bài báo này xây dựng mô hình số để nghiên cứu hiệu suất thủy động lực học của kết cấu đê chắn sóng rỗng dựa trên công cụ mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD). Mô hình số sẽ được ứng dụng để phân tích hiệu quả giảm sóng và mức độ tiêu tán năng lượng sóng của đê chắn sóng kết cấu rỗng với nhiều dạng sóng khác nhau. Kết quả mô phỏng sẽ là cơ sở cho việc tính toán thiết kế và ứng dụng loại kết cấu đê này vào thực tế.

Từ khóa: Động lực học chất lỏng (CFD), Hiệu quả giảm sóng, Tiêu tán năng lượng sóng, Đê chắn sóng rỗng, Mô phỏng số.

ABSTRACT

Currently, the analysis and evaluation of the wave reduction efficiency of breakwater with special structures and complex geometries are often done by experiments on physical models or monitoring at the project after construction. However, the implementation of these physical models is very complicated, time consuming and costly and requires a large number of experimental models. This paper builds a numerical model to study the hydrodynamic efficiency of the hollow breakwater based on the liquid dynamics (CFD) simulation tool. The numerical model will be used to analyze the wave reduction efficiency and wave energy dissipation of the hollow structural breakwaters with different waves type. The simulation results will be the basis for the design calculation and application of this type of dike structure in practice.

Keywords: Computational fluid dynamics (CFD), Wave reduction efficiency, Wave energy dissipation, Hollow breakwater, Numerical simulation.

1. Giới thiệu

Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu như nước biển dâng, hiện tượng xói mòn và xâm nhập mặn. Hệ thống công trình bảo vệ bờ biển ở khu vực Đồng Bằng Sông Cửu Long có đến 54.9 % là công trình giảm sóng xa bờ [1] như hàng rào tre, đê giảm sóng geotube và đê giảm sóng dạng rỗng (cọc ly tâm, đê trụ rỗng, đê giảm sóng BUSADCO). Tuy nhiên tính bền vững và tuổi thọ của các loại đê này tương đối thấp, một giải pháp đê chắn sóng bằng bê tông có kết cấu rỗng có thể khắc

phục được rất nhiều khuyết điểm của các loại đê chắn sóng truyền thống trước đây như hiệu quả giảm sóng, tính ổn định, công nghệ thi công. Việc đánh giá hiệu suất thủy động lực học của các loại đê chắn sóng rỗng thường thực hiện các thí nghiệm trên mô hình vật lý và thực nghiệm, tuy nhiên để thực hiện được các thí nghiệm này thì cần một số lượng lớn mô hình vật lý và việc thực hiện các mô hình vật lý này rất phức tạp và tốn kém. Để tăng khả năng tính toán phân tích về khả năng giảm sóng của đê chắn sóng kết cấu rỗng,

các mô hình số dựa trên phương pháp tính toán động lực học chất lỏng đã được xây dựng trong nghiên cứu này, các mô hình số sẽ được thực hiện trên nền tảng của phần mềm FLOW-3D [2]. Hiệu quả giảm sóng của mô hình mô phỏng số sẽ được so sánh với hiệu quả giảm sóng thực nghiệm được thực hiện bởi BUSADCO tại ĐBSCL [3]. Bên cạnh đó, các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng và tính kinh tế của đề giảm sóng như: ảnh hưởng của chu kỳ sóng T_p (s), độ ngập thân đê d (m), Chiều cao không lưu đỉnh đê R_c (m) và tỷ số $R_c/H_{s,i}$ cũng được phân tích thông qua mô hình số.

Hiệu quả làm việc của các cấu kiện đê chắn sóng kết cấu rỗng đã được nghiên cứu bởi các nhà khoa học trên thế giới, trong đó: Hee Min The và Vengatesan Venugopal [4] đã nghiên cứu các thí nghiệm thực nghiệm trên mô hình kết cấu đê chắn sóng hình bán nguyệt rỗng với các tỷ lệ phần trăm lỗ rỗng trên thân đê khác nhau, nghiên cứu này cho thấy đê chắn sóng bán nguyệt hoạt động như một rào cản giúp giảm thiểu năng lượng sóng phản xạ và bảo vệ các cơ sở hạ tầng ven biển. G. Dhinakaran và cộng sự [5] đã thực hiện các thí nghiệm thực nghiệm xác định ảnh hưởng của chiều cao bố trí của đê chắn sóng và tỷ lệ lỗ rỗng trên thân của kết cấu đê chắn sóng hình bán nguyệt, nghiên cứu này được thực hiện với kết cấu đê chắn sóng hình bán nguyệt không đục lỗ, kết cấu đê bán nguyệt đục lỗ một mặt với các tỷ lệ lỗ rỗng khác nhau. K. Gunaydin và M.S. Kabdash [6] đã sử dụng một máng tạo sóng thí nghiệm khả năng tiêu tán năng lượng sóng lên kết cấu đê chắn sóng chữ U đặc và có đục lỗ. Nghiên cứu này đánh giá các đặc trưng về tính truyền sóng và tiêu tán năng lượng qua hai hệ số truyền sóng và hệ số tiêu tán năng lượng. Kết quả cho thấy khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu tường chữ U cao hơn kết cấu tường đặc cùng loại. Ana Gomes và cộng sự [7] đề xuất phương pháp sử dụng mô phỏng số động lực học chất lỏng (CFD) nghiên cứu sự ổn định của kết cấu đê chắn sóng trụ rỗng đặt trên nền đồ đá. Nghiên cứu này chỉ ra sự phức tạp của các mô hình vật lý trong các thí nghiệm thực nghiệm về sóng có chi phí và thời gian chuẩn bị lâu và cần thời gian thí nghiệm dài, từ đó các tác giả đề xuất một mô hình toán bằng phương pháp mô phỏng số và so sánh kết quả với các kết quả thực nghiệm. Karim Badr Husein và M.I. Ibrahim [8] nghiên cứu khảo sát khả năng tiêu tán năng lượng sóng của tường đôi có đục lỗ và không đục lỗ kết hợp mô phỏng số và thực nghiệm.

Nguyễn Hải Hà và cộng sự [9] đã nghiên cứu khả năng tiêu tán năng lượng sóng của đê chắn sóng hình trụ rỗng bảo vệ bờ biển phía tây Cà Mau Việt Nam. Thiều Quang Tuấn và cộng sự [10] với đề tài với đề tài “Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của đê kết cấu rỗng trên mô hình máng sóng” cho thấy quá trình truyền sóng qua đê giảm sóng kết cấu rỗng bị ảnh hưởng bởi hai yếu tố quan trọng là chiều cao không tương đối đỉnh đê R_c/H_{m0} và chỉ số sóng vỡ trên mái công trình.

2. Lý thuyết và phương pháp mô phỏng

FLOW-3D là một phần mềm hỗ trợ mô phỏng các bài toán động lực học chất lỏng tính toán CFD (Computational fluid dynamics). Tương tự các phần mềm mô phỏng CFD khác, FLOW 3D sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn (FVM) và lấy phương trình hệ phương trình Navier – Stokes làm phương trình chủ đạo kết hợp cùng phương pháp thể tích chất lỏng VOF, rất phù hợp cho mô hình các dòng chảy có bề mặt thoáng.

2.1. Phương trình Navier - Stokes

Các mô phỏng số được thực hiện dựa trên phương trình Navier-Stokes [11], được sử dụng để mô tả chuyển động của chất lỏng, giả sử chất lỏng không thể nén được; các phương trình của mô hình như sau:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

Trong đó:

u, v và w là các thành phần vận tốc theo trục x, y, z , ρ là khối lượng, ν là độ nhớt của chất lỏng, p là áp lực, g là gia tốc trọng trường, t là thời gian.

Trong thực tế, dòng chảy tác dụng lên các công trình thủy lợi hầu hết là dòng chảy rối, đặc biệt là dòng chảy của sóng. Để giải được hệ phương trình Navier – Stokes hệ (1) và (2) mô hình dòng chảy rối được phát triển để mô tả được 6 thành phần ứng suất rối Reynolds. Mô hình dòng chảy rối RANS được sử dụng phổ biến nhất là mô hình dòng chảy rối hai phương trình $K - \epsilon$.

2.2. Mô hình dòng chảy rối

Mô hình chảy rối 2 phương trình đối lưu dùng để mô tả tính chảy rối của dòng chảy. Thông thường một trong các biến đối lưu là động năng chảy rối K , biến đối lưu thứ hai phụ thuộc vào kiểu của mô hình hai phương trình. Lựa chọn phổ biến là mức độ tiêu tán năng lượng rối ϵ .

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3)$$

Phương trình K :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_i k}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{v_t}{\sigma} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] - \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \epsilon \quad (4)$$

Phương trình ϵ :

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_i \epsilon}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{v_t}{\sigma} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] - C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

Trong đó: $C_\mu = 0.09$; $\delta_k = 1.0$; $\sigma_k = 1.3$; $C_{1\epsilon} = 1.44$; $C_{2\epsilon} = 1.92$

Mô hình RNG (Re-Normalisation Group) là một mô hình dòng chảy rối sử dụng phương trình tương tự như phương trình cho mô hình $K - \epsilon$. Tuy nhiên, các hằng số được tìm thấy theo kinh nghiệm trong mô hình tiêu chuẩn được dẫn xuất rõ ràng trong mô hình RNG. Nhìn chung, mô hình RNG có khả năng ứng dụng rộng rãi hơn so với mô hình $K - \epsilon$. Đặc biệt, mô hình RNG được khuyến khích sử dụng hơn trong FLOW-3D vì có độ chính xác cao hơn và mô tả tốt hơn đối với các mô hình dòng chảy rối khác nhau, vì vậy mô hình này được sử dụng trong mô phỏng này.

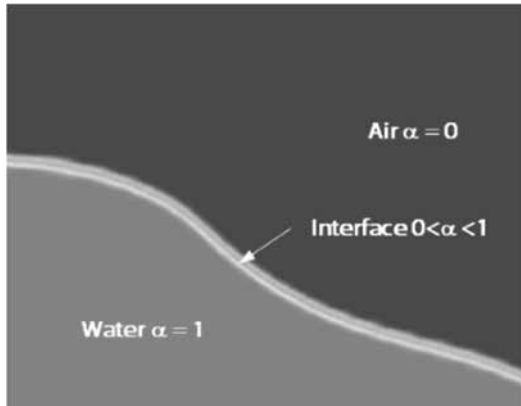
2.3. Phương pháp thể tích chất lỏng (VOF)

Dòng chảy sóng trong thực tế là dòng chảy đa pha gồm pha lỏng và khí, để mô tả dòng chảy này người ta sử dụng phương pháp thể tích chất lỏng VOF. Phương pháp thể tích chất lỏng là một kỹ thuật mô phỏng bề mặt chất lỏng tự do được công bố lần đầu bởi Hirt và Nichols [12], kỹ thuật này sử dụng phương pháp Eulerian đa pha (Multiphase), mô hình này có hai pha không đồng nhất (inhomogeneous) và đồng nhất (homogeneous). Phương pháp này xác định phần khối lượng của mỗi pha (khí và nước) tồn tại trong cấu trúc, phương trình này tuân theo định luật bảo toàn khối lượng [13].

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \vec{V}) \quad (6)$$

Bề mặt tiếp xúc giữa pha nước và pha khí được xác định theo hệ số phần thể tích:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha = 1 \\ 0 < \alpha < 1 \\ \alpha = 0 \end{cases} \quad (7)$$



Hình 1. Bề mặt tiếp xúc giữa pha nước và pha khí [13]

Trong đó: \vec{v} là véc tơ đại diện cho phần khối lượng nước, mật độ khối lượng của hỗn hợp này được tính toán dựa trên phần khối lượng như sau:

$$\begin{cases} \rho = \alpha \rho_w + (1 - \alpha) \rho_a \\ \rho = \alpha v_w + (1 - \alpha) v_a \end{cases} \quad (8)$$

trong đó: ρ_a và ρ_w là mật độ của không khí và nước

v_a và v_w lần lượt là độ nhớt động học của không khí và nước

Khối lượng thể tích α được xác định theo công thức sau:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial (\alpha u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial [\alpha(1 - \alpha) u_{ir}]}{\partial x_i} = 0 \quad (9)$$

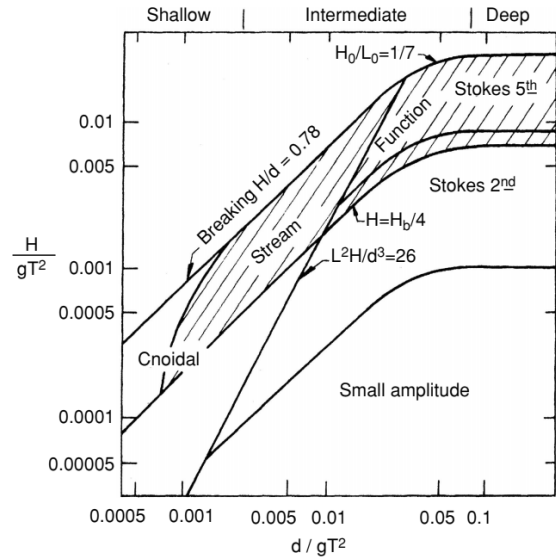
Trong đó: u_{ir} biểu thị vận tốc tương đối giữa không khí và nước tại khu vực giao thoa. Tác dụng của sức căng bề mặt là không đáng kể.

2.4. Lý thuyết sóng

Nghiên cứu này khảo sát khả năng giảm sóng và tiêu tán năng lượng sóng của các lý thuyết sóng thông dụng và được hỗ trợ trong phần mềm FLOW-3D.

Dựa vào vùng áp dụng các lý thuyết sóng (hình 2), tiến hành chọn các loại sóng phù hợp với vùng nước nông như: sóng Cnoidal [14], lý thuyết sóng Solitary [15], lý thuyết sóng tuyến tính [16] và

sóng Stokes [17] để khảo sát hiệu quả giảm sóng của kết cấu dề chắn sóng đặt trong vùng nước nông.



Hình 2. Vùng áp dụng các loại lý thuyết sóng [15]

2.5. Hệ số truyền sóng

Mức độ giảm sóng được đánh giá dựa trên sự thay đổi chiều cao sóng trước và sau khi đi qua thân dề, và được đánh giá trực tiếp qua qua hệ số truyền sóng K_t .

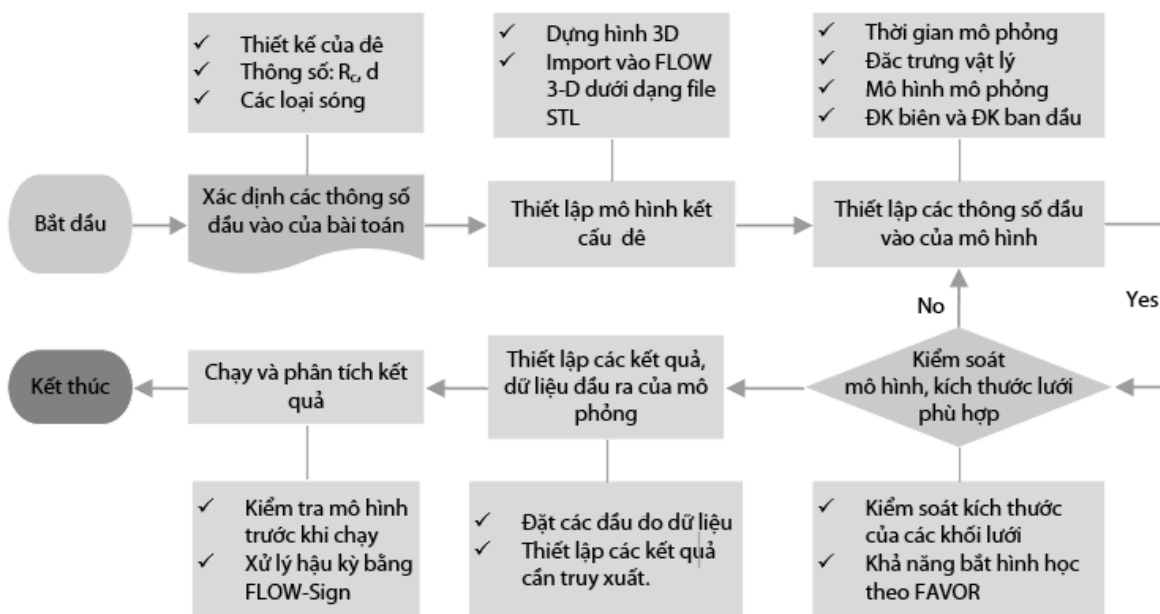
$$K_t = \frac{H_{s,i}}{H_{t,i}} \times 100\% \quad (10)$$

Trong đó: $H_{s,i}$ (m) là chiều cao sóng tới

$H_{t,i}$ (m) là chiều cao sóng truyền

3. Thiết lập mô phỏng

3.1. Trình tự mô phỏng

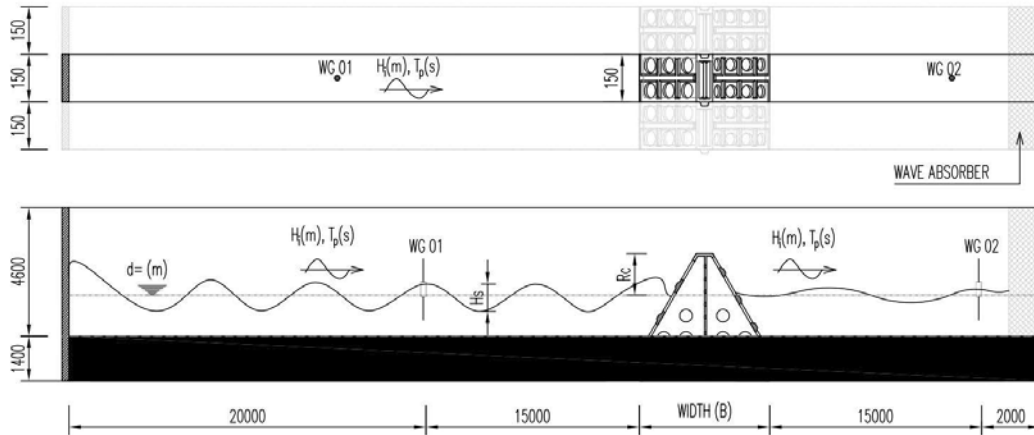


Hình 3. Lưu đồ trình tự thực hiện mô phỏng trên phần mềm FLOW-3D

3.2. Mô hình mô phỏng

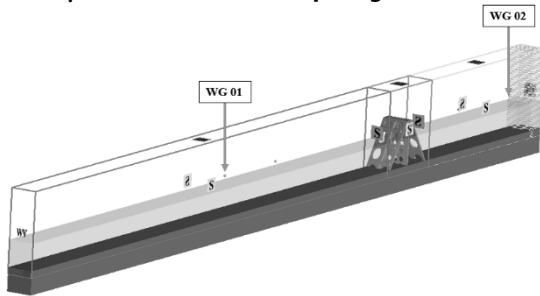
Kích thước đề chắn sóng được sử dụng theo thiết kế đề chắn sóng của BUSADCO [3]. Một mô hình một máng sóng số được mô phỏng theo tỷ lệ 1:1 so với thực tế với kích thước các biên mô phỏng

lần lượt theo các phương x,y,z là 56x1.5x6 (m), kích thước một module đề chắn sóng có bề rộng 1.5 (m), chiều cao 4 (m) và dài 4.1 (m).

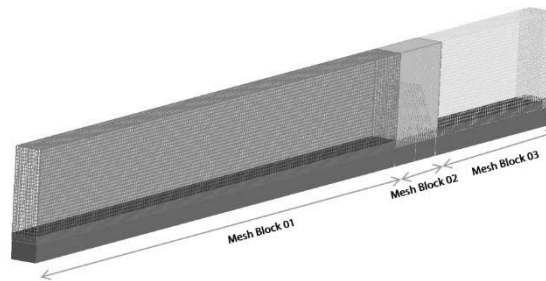


Hình 4. Mô hình mô phỏng số

3.3. Điều kiện biên và chia lưới mô phỏng



Hình 5. Các điều kiện biên và phân chia lưới của mô hình mô phỏng.



Các điều kiện biên phù hợp với bài toán được gán tại các biên giới hạn của mô hình mô phỏng như (hình 5) và được thống kê cụ thể theo (Bảng 1).

Bảng 1. Điều kiện biên của mô hình mô phỏng

Vị trí ranh giới	Điều kiện biên
X_{min}	Symmetry (S)
X_{max}	Symmetry (S)
Y_{min}	Waves (WG)
Y_{max}	Wave Absorber (O)
Z_{min}	Wall (W)
Z_{max}	Symmetry (S)

Dựa vào đặc trưng bài toán và kích thước lưới phù hợp với mô hình mô phỏng, 3 khối lưới được áp dụng cho toàn miền tính toán. Khối lưới 1, 3 sử dụng cho khu vực không có đề chắn có kích thước $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = 0.12$ với số lượng ô lưới lần lượt là 1522221 ô và 57358. Khối lưới 2 tại khu vực đề chắn sóng có kích thước lưới $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = 0.03$ (m) với 1507215 ô lưới. Tổng số khối lưới trong mô hình mô phỏng là 8598362 ô lưới.

3.4. Kích bản mô phỏng

Kích bản mô phỏng được xây dựng theo bốn bài toán khảo sát trong nghiên cứu như sau:

Bảng 2. Kích bản khảo sát ảnh hưởng của kích thước lưới đến kết quả mô phỏng

Kích bản	Khối lưới	Δ_i (m)	Số ô lưới	Σt (h)	S (Gb)
BWS-Me01	01	0.1	4428581	72	39.43
	02	0.02	4033026		

BWS-Me02	03	0.1	136755	12	13
	01	0.12	1522221		
	02	0.03	1507215		
BWS-Me03	03	0.12	57358	3	7
	01	0.12	810469		
	02	0.04	802325		
BWS-Me04	03	0.12	31750	1	4
	01	0.15	248139		
	02	0.05	244669		
BWS-Me05	03	0.15	11712	1	2
	01	0.18	248139		
	02	0.06	244669		
	03	0.18	11712		

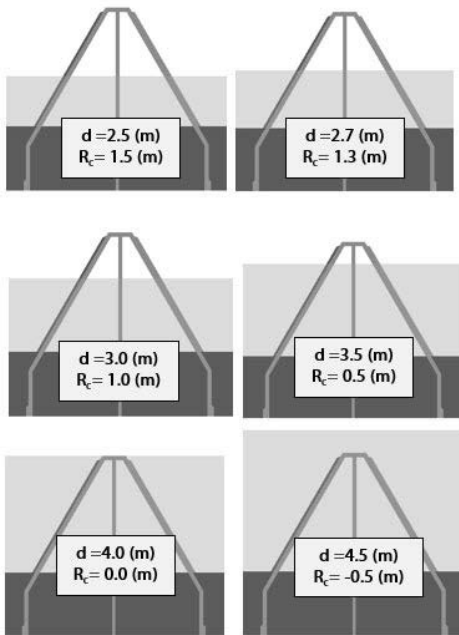
Bảng 3. Kích bản so sánh mô phỏng với thực nghiệm

Tên	d (m)	R_c (m)	$H_{s,i}$ (m)	T_p (s)	$R_c/H_{s,i}$ (-)	BC (-)
CN-TN01	2.8	1.2	1	4.78	1	Cnoidal
CN-TN02	2.8	1.2	0.9	4.78	1.11	Cnoidal
CN-TN03	2.8	1.2	0.8	4.78	1.25	Cnoidal
CN-TN04	2.8	1.2	0.7	4.78	1.43	Cnoidal
CN-TN05	2.8	1.2	0.7	-	1.43	Solitary
LN-TN06	2.8	1.2	1	4.78	1	Cnoidal
LN-TN07	2.8	1.2	0.9	4.78	1.11	Cnoidal
LN-TN08	2.8	1.2	0.8	4.78	1.25	Cnoidal
LN-TN09	2.8	1.2	0.7	4.78	1.43	Cnoidal

Bảng 4. Kích bản khảo sát ảnh hưởng chu kỳ sóng đến hiệu quả giảm sóng

Tên	d (m)	R _c (m)	H _{s,i} (m)	T _p (s)	R _c /H _{s,i} (-)	BC (-)
09-TP1	3	1	0.9	4.78	1.11	Linear
09-TP2	3	1	0.9	3.78	1.11	Linear
09-TP3	3	1	0.9	2.78	1.11	Linear
08-TP1	3	1	0.8	4.78	1.25	Linear
08-TP2	3	1	0.8	3.78	1.25	Linear
08-TP3	3	1	0.8	2.78	1.25	Linear
07-TP1	3	1	0.7	4.78	1.43	Linear
07-TP2	3	1	0.7	3.78	1.43	Linear
07-TP3	3	1	0.7	2.78	1.43	Linear
07-TP1	3	1	0.6	4.78	1.67	Linear
07-TP2	3	1	0.6	3.78	1.67	Linear
07-TP3	3	1	0.6	2.78	1.67	Linear

Độ ngập thân đê d (m) và chiều cao không lưu đỉnh đê được thay đổi ứng với trường hợp đê nổi và đê chìm (Hình 6) để khảo sát ảnh hưởng của chúng đối với hệ số truyền sóng K_t



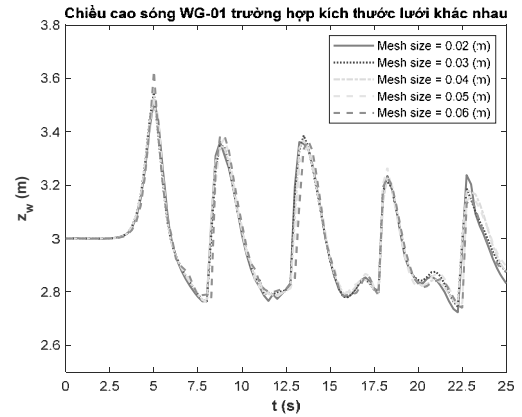
Hình 6. Các trường hợp độ ngập thân đê và chiều cao không lưu đỉnh đê khác nhau

Bảng 5. Kích bản khảo sát ảnh hưởng của độ ngập thân đê đến hiệu quả giảm sóng

Tên	d (m)	R _c (m)	H _{s,i} (m)	T _p (s)	BC (-)
RC20-H1~5	2	2	0.6~1	3.78	Linear
RC25-H1~5	2.5	1.5	0.6~1	3.78	Linear
RC27-H1~5	2.7	1.3	0.6~1	3.78	Linear
RC30-H1~5	3	1	0.6~1	3.78	Linear
RC35-H1~5	3.5	0.5	0.6~1	3.78	Linear
RC40-H1~5	4	0	0.6~1	3.78	Linear
RC45-H1~5	4.5	-0.5	0.6~1	3.78	Linear

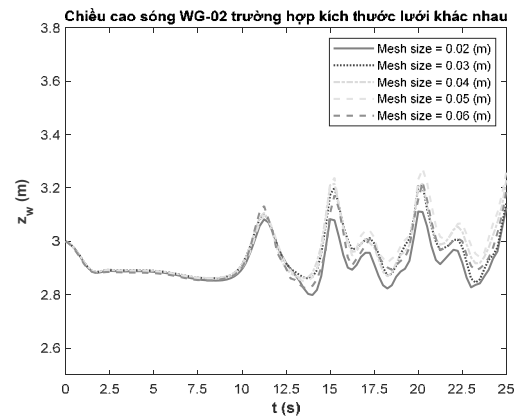
4. Kết quả tính toán

4.1. Ảnh hưởng của kích thước lưới mesh



Hình 7. Chiều cao sóng tại đầu đo WG 01 (trước đê 15m) ứng với kích thước lưới khác nhau

Kết quả chiều cao sóng tại đầu đo WG 01 (hình 19) bố trí trước đê 15m cho thấy kết quả chiều cao sóng ứng với các kích bản khác nhau có sự chênh lệch không lớn khi thay đổi kích thước lưới. Sự chênh lệch chiều cao sóng 3.25% ứng với trường hợp kích thước (mesh size = 0.02) và (mesh size = 0.06). Khi thay đổi lưới càng mịn, ta thấy đường thể hiện chiều cao sóng có phần gấp khúc và cong nhiều hơn so với các đường còn lại thể hiện độ mịn của lưới phản ánh chính xác chuyển động của nước.

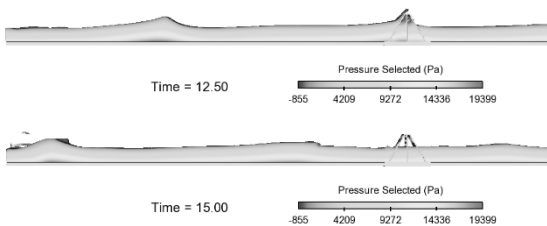


Hình 8. Chiều cao sóng tại đầu đo WG 02 (sau đê 15m) ứng với kích thước lưới khác nhau

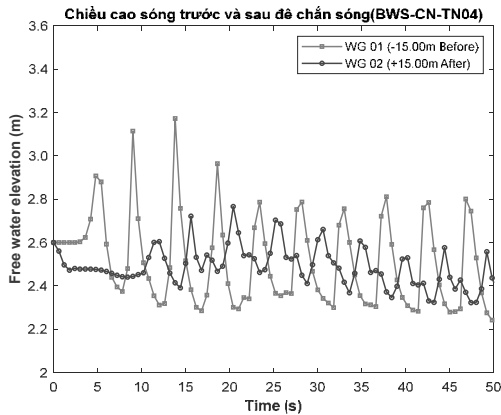
Kết quả chiều cao sóng truyền tại đầu đo WG 02 (hình 8) sau thân đê 15m cho thấy kết quả chiều cao sóng ứng với các kích bản khác nhau đã có sự khác biệt rõ rệt. Sự chênh lệch chiều cao sóng lớn nhất là 15% ứng với trường hợp kích thước lưới mesh (mesh size = 0.02 và mesh size = 0.04). Điều này cho thấy kích thước lưới mesh ảnh hưởng lớn tới kết quả truyền sóng sau thân đê, đặc biệt đối với kết cấu đê rỗng chia lưới tính toán càng mịn, hệ số truyền sóng có xu hướng giảm do mô tả được đúng ứng xử thực tế của đê chắn sóng hơn. Dựa vào kết quả khảo sát, chọn kích thước lưới Δ_x = Δ_y = Δ_z = 0.03m cho các bài toán trong nghiên cứu để đem lại hiệu quả tính toán tin cậy và tiết kiệm dung lượng.

4.2. Hiệu quả giảm sóng và tiêu tán năng lượng sóng

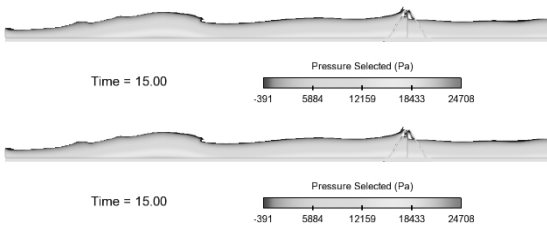
Hiệu quả giảm sóng được đánh giá trực tiếp qua sự thay đổi chiều cao sóng trước và sau đê chắn sóng. Có thể đánh giá bằng dạng trực quan khi quan sát bề mặt chất lỏng tự do hoặc dạng biểu đồ đo sóng tại các đầu đo.



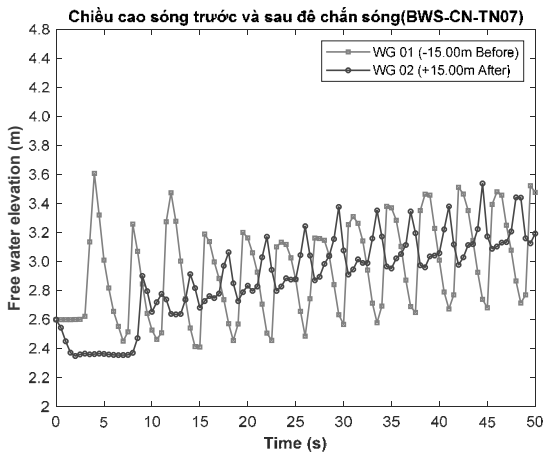
Hình 9. Chiều cao sóng thay đổi trước và sau khi đi qua thân đê trường hợp sóng Linear



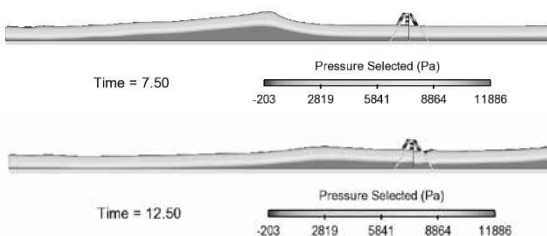
Hình 10. Biểu đồ chiều cao sóng tại đầu đo WG 01 và WG02 trường hợp sóng Linear



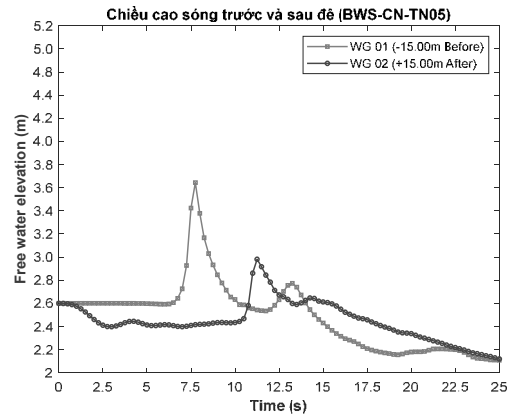
Hình 11. Chiều cao sóng trước và sau đê trường hợp sóng Cnoidal



Hình 12. Biểu đồ chiều cao sóng tại đầu đo WG 01 và WG02 trường hợp sóng Cnoidal



Hình 13. Chiều cao sóng trước và sau đê trường hợp sóng trường hợp sóng Solitary



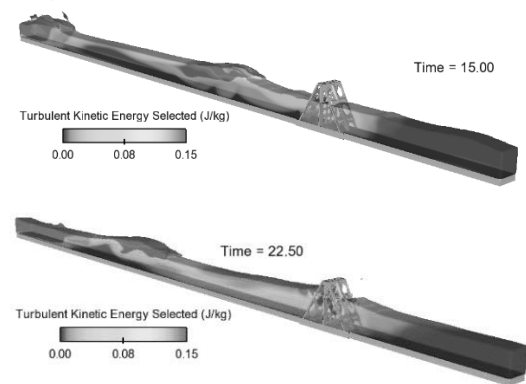
Hình 14. Biểu đồ chiều cao sóng tại đầu đo WG 01 và WG02 trường hợp sóng Solitary
Hình 9 và biểu đồ hình 10 cho thấy đặc trưng sóng Linear có đỉnh và bụng nhọn. Chiều cao sóng có xu hướng giảm dần khi xuất hiện sóng phản xạ do sóng tương tác với kết cấu đê.

Quan sát hình 11 và biểu đồ hình 12, cho thấy đặc trưng sóng cnoidal có đỉnh và bụng sóng bằng, phù hợp với dạng sóng đồ tại vùng nước nông gần bờ.

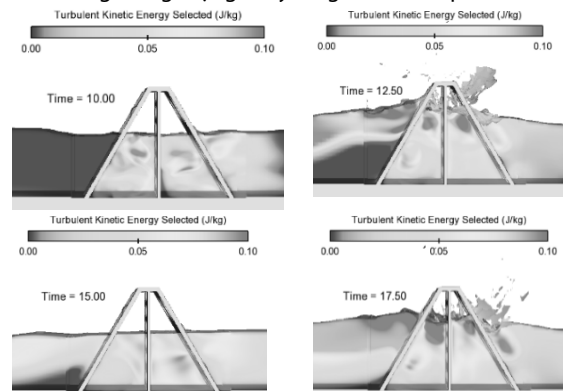
Hình 13 và biểu đồ hình 14 cho thấy biểu đồ sóng Solitary có một đỉnh sóng duy nhất, không có chu kỳ sóng và tần số.

Dựa vào biểu đồ hình 10, hình 12 và hình 14 cho thấy kết quả trực quan về chiều cao sóng sóng và áp lực giảm rõ rệt khi đi qua thân đê để cho thấy hiệu quả giảm sóng rõ rệt của kết cấu đê.

4.3. Mức độ tiêu tán năng lượng sóng



Hình 15. Năng lượng dòng chảy rối (TKE) của sóng trước và sau thân đê
Hình 15 thể hiện rõ sự phân bố của năng lượng chảy rối sinh ra khi mặt nước gợn sóng, phần năng lượng chảy rối tập trung lớn ở phần đỉnh sóng, năng lượng chảy rối giảm khi đi qua thân đê.



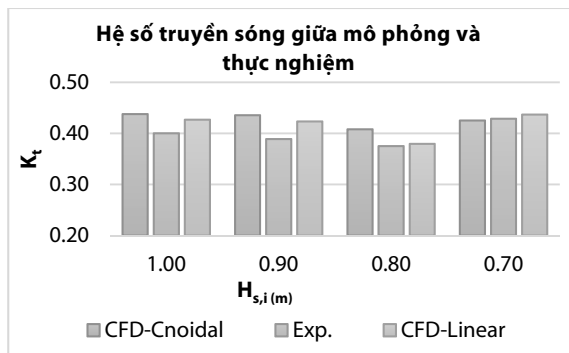
Hình 16. Tiêu tán năng lượng hỗn loạn của sóng trước và sau khi qua thân đê

Hình 16 thể hiện sự tiêu tán năng lượng dòng chảy rối tại vị trí sóng tiếp xúc và đi qua thân đê, phần năng lượng sóng lớn nhất ở phần đỉnh sóng với giá trị lớn nhất 0.15 (J/kg), khi tiếp xúc với bề mặt thân đê, phần năng rối đi qua các lỗ rỗng trên thân đê và tiêu tán trong thân đê, có thể thấy năng lượng rối của sóng hầu hết đã tiêu tán và còn rất ít ngay phía thân đê.

4.4. So sánh kết quả mô phỏng và thực nghiệm

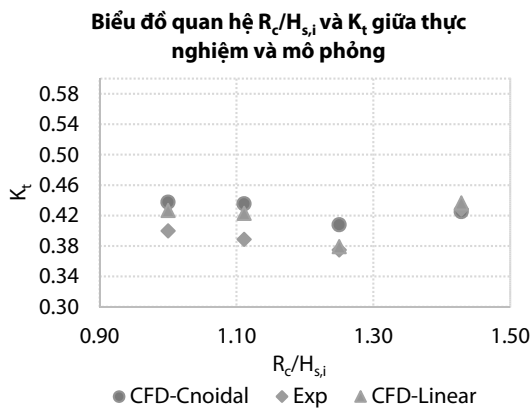
Bảng 6. Bảng so sánh hệ số truyền sóng giữa mô phỏng và thực nghiệm

Kịch bản	d (m)	R _c (m)	R _c /H _{s,i} (m)	K _t		Δ K _t (%)
				CFD	Exp.	
CN-TN01	2	1	1.00	0.44	0.40	9.43
CN-TN02	2	1	1.11	0.44	0.39	11.98
CN-TN03	2	1	1.25	0.41	0.38	8.78
CN-TN04	2	1	1.43	0.43	0.43	0.77
CN-TN05	2	1	1.43	0.37	0.43	12.68
LN-TN06	2	1	1.00	0.43	0.40	6.70
LN-TN07	2	1	1.11	0.42	0.39	8.81
LN-TN08	2	1	1.25	0.38	0.38	1.18
LN-TN09	2	1	1.43	0.44	0.43	1.90



Hình 17. Hệ số truyền sóng giữa mô phỏng và thực nghiệm

Bảng 6 và biểu đồ ở hình 17 cho thấy chênh lệch kết quả giữa hệ số truyền sóng thực nghiệm và mô phỏng tương đối nhỏ, độ chênh lệch này lớn nhất ở kịch bản SL-TN-05, ΔK_t = 12.68 %. Điều này cho thấy độ tin cậy của mô hình mô phỏng trong bài toán tương tác chất lỏng và kết cấu. Hệ số truyền sóng cho thấy hiệu quả giảm sóng của kết cấu đê chắn sóng này khá tốt, lớn hơn 50% ở tất cả kịch bản sóng.

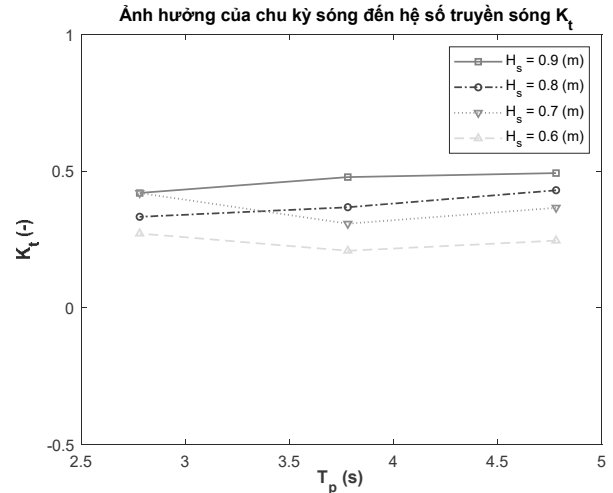


Hình 18. Biểu đồ mối quan hệ giữa tỷ số R_c/H_{s,i} và hệ số truyền sóng K_t

Biểu đồ thể hiện trong hình 18 cho thấy tỷ số R_c/H_{s,i} càng nhỏ, tức chiều cao sóng càng lớn thì độ chênh lệch giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm càng lớn. Chênh lệch lớn nhất là 12.68 % do hiện tượng sóng vỡ và tràn qua thân đê.

4.5. Ảnh hưởng của chu kỳ đến hiệu quả giảm sóng

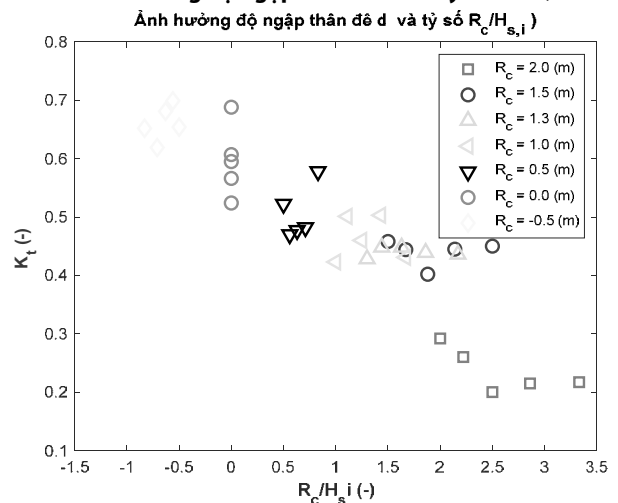
Chu kỳ sóng T_p (s) là yếu tố quyết định đến cường độ, tần suất của các cơn sóng tác dụng vào kết cấu và ảnh hưởng trực tiếp tới hệ số truyền sóng và khả năng giảm sóng của kết cấu đê.



Hình 19. Ảnh hưởng chu kỳ sóng và hệ số truyền sóng K_t

Hệ số truyền sóng giảm khi chu kỳ sóng giảm, tức độ dài của cơn sóng nhỏ dần thì hệ số truyền sóng giảm dần (hình 19). Tuy nhiên, trong trường hợp chiều cao sóng giảm dần ở trường hợp H_s = 0.6 (m) và H_s = 0.7 (m), hệ số giảm sóng có xu hướng giảm ở chu kỳ T_p = 4.78 (s) và chu kỳ T_p = 3.78 (s) và có dấu hiệu tăng hệ số giảm sóng (tức hiệu quả giảm sóng giảm) ở chu kỳ T_p = 2.78 (s). Điều này thể hiện khi chiều dài cơn sóng quá ngắn và tần suất tác dụng và đê liên tục, khi đó sóng phản xạ của cơn sóng trước chưa đi hoàn toàn qua lỗ rỗng thân đê, một phần sóng phản xạ lại khiến hiệu quả giảm sóng của cấu kiện bị giảm. Từ đó cần khảo sát và đánh giá chu kỳ cũng như chiều cao sóng tại vị trí bố trí công trình, đê chắn sóng này có hiệu quả giảm sóng tốt nhất trong khoảng chu kỳ sóng từ 3 đến 4 giây.

4.6. Ảnh hưởng độ ngập thân đê d và tỷ số R_c/H_{s,i}



Hình 20. Biểu đồ mối quan hệ giữa hệ số truyền sóng K_t và tỷ số R_c/H_{s,i} ứng với các độ ngập thân đê khác nhau

Biểu đồ trong hình 18 cho thấy hệ số truyền sóng bị ảnh hưởng chính bởi độ ngập thân đê. Đối với các trường hợp đê chìm $R_c = -0.5$ (m) và bằng mặt nước $R_c = 0.0$ (m) có hệ số truyền sóng tương đối lớn, K_t có giá trị từ 0.55 đến 0.7, hiệu quả giảm sóng nhỏ hơn 50%. Các trường hợp đê chìm $R_c > +0.000$ cho thấy hiệu quả giảm sóng cao hơn so với bố trí nổi.

Đối với trường hợp $R_c = 2$ có hệ số giảm sóng nhỏ nhất, tuy nhiên trường hợp này độ ngập thân đê quá nhỏ và sóng không tràn hết thân đê, từ đó đánh giá phương án bố trí là không kinh tế.

Hiệu quả giảm sóng tốt khi chiều cao đỉnh đê $R_c = 1 - 1.5$ (m) ứng với độ ngập $d = 2.5 \sim 3$ (m) đem lại hiệu quả giảm sóng tốt nhất, $K_t = 0.4 - 0.5$, ứng với hiệu quả giảm sóng trên 50%.

Dựa vào tỷ số $(R_c / H_{s,i})$ cho thấy tỷ số $(R_c / H_{s,i})$ trong khoảng từ 1.5 đến 2.5 đem lại hiệu quả giảm sóng tốt nhất, điều này cho thấy đê chắn sóng làm việc hiệu quả nhất khi sóng truyền toàn bộ qua thân đê và không tràn qua đỉnh đê, khi chiều cao sóng lớn hơn thân đê $(R_c / H_{s,i}) < 1$ hiệu quả giảm sóng giảm rõ rệt.

5. Kết luận

Hiệu giảm sóng của kết cấu đê chắn sóng cốt phi kim của BUSADCO hiệu suất giảm sóng lớn hơn 50% ứng với hệ số truyền sóng $K_t < 0.5$. Dựa vào kết quả khảo sát và so sánh giữa kết quả mô phỏng và số liệu đo thực tế cho thấy phương pháp mô phỏng số đem lại kết quả tốt và đáng tin cậy trong vấn đề phân tích hiệu quả giảm sóng của kết cấu đê chắn sóng rỗng có kết cấu phức tạp cũng như các vấn đề về bài toán động học chất lỏng khác.

Qua khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng cho thấy: Độ ngập thân đê d (m) và tỷ số $R_c / H_{s,i}$ ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả giảm sóng của đê, đặc biệt là kết cấu đê chắn sóng rỗng. Chiều cao không lưu đỉnh đê $R_c > 0$ ứng với trường hợp đê nổi đem lại hiệu quả giảm sóng tốt hơn so với khi đê chìm. Tỷ số $R_c / H_{s,i}$ phản ánh khả năng làm việc của kết cấu đê khi sóng tiêu tán toàn bộ trong thân đê và sóng tràn qua thân đê.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Xuân Tú, Đỗ Văn Dương, "Nghiên cứu ảnh hưởng các yếu tố đến quá trình truyền sóng của đê giảm sóng kết cấu rỗng trên mô hình máng sóng," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi*, số 57, pp. 103-109, 2019.
- [2] "https://www.flow3d.com/," FLOW Science, 2020-2021.
- [3] Công ty cổ phần Khoa học Công Nghệ Việt Nam, "Báo cáo tổng hợp: Ứng dụng giải pháp bê tông cốt phi kim nhằm tăng cường tính bền vững cho các công trình kè chắn sóng ven biển ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long dưới tác dụng của biến đổi khí hậu," Bà Rịa - Vũng Tàu, 2020.
- [4] Hee Min Teh, Vengatesan Venugopal, "Performance evaluation of a semicircular breakwater with truncated wave screens", *Ocean Engineering*, vol/70, pp. 160-176, 2013.
- [5] G. Dhinakaran, V. Sundar, R. Sundaravadevelu, K.U. Graw, "Effect of perforations and rubble mound height on wave transformation characteristics of surface piercing semicircular breakwaters," *Ocean Engineering*, vol 36, pp. 1182-1198, 2009.
- [6] K. Hunaydin, M.S. Kabdash, "Performance of solid and perforated U-type breakwaters under regular and irregular waves," *Ocean Engineering*, vol/31, pp. 1377-1405, 2004.
- [7] Ana Gomes, José L. S. Pinho, Tiago Valente, José S. Antunes do Carmo and Arkal V. Hegde, "Performance Assessment of a Semi-Circular Breakwater through CFD Modelling," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol 8, pp. 1-16, 2020.
- [8] Karim Badr Hussein, M.I. Ibrahim, "Wave Interaction with Vertical Slotted Breakwaters," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol 8, pp. 589-598, 07 July 2019.

- [9] Hai Ha Nguyen, Van Thai Tran, Duc Hung Pham, Duy Ngoc Nguyen, and Thanh Tam Nguyen, "Hollow Cylinder Breakwater for Dissipation of Wave Energy to Protect the West Coast of Ca Mau Province in Vietnam," *Proceedings of the 1st Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering*, vol/18, pp. 599-605, 2019.
- [10] Thiệu Quang Tuấn, Đinh Công Sản, Lê Xuân Tú, Đỗ Văn Dương, "Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của đê kết cấu rỗng trên mô hình máng sóng," *Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi*, số 49, pp. 1-8, 2018.
- [11] Doug McLEAN, *Understanding Aerodynamics Arguing from the Real Physics*, 2012.
- [12] C. W. HIRT AND B. D. NICHOLS, "Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries," *JOURNAL OF COMPUTATIONAL PHYSICS*, vol 39, pp 2201-225, 1981.
- [13] Bùi Phạm Đức Tường, Phan Đức Huỳnh, Nguyễn Đăng Khôi, Nguyễn Thái Dương, "Điều khiển dao động kết cấu bằng hệ bể chứa chất lỏng đa tần," trong *Hội nghị cơ khí thuật toàn quốc*, Hà Nội, 2019.
- [14] Korteweg, D.J. and G. de Vries, "On the Change of Form of Long Waves Advancing in a Rectangular Canal and on a New Type of Long Stationary," *Phil. Mag., 5 Ser*, vol 39, pp. 422-443, 1895.
- [15] J. Kamphuis, *Introduction To Coastal Engineering And Management*, vol 16, Queen's University: Advanced Series on Ocean Engineering, 2000.
- [16] Cauchy, Augustin L., "Mémoire sur les intégrales définies," *Œuvres complètes Ser.*, vol 1, pp. 319-506, 1814.
- [17] Stoke, G.G, "On the Theory of Oscillatory Wave," *Mathematical and Physical Papers*, vol 1, pp. 314-326, 1847.
- [18] Lê Xuân Tú, Đỗ Văn Dương, "Nghiên cứu ảnh hưởng các yếu tố đến quá trình truyền sóng của đê giảm sóng kết cấu rỗng trên mô hình máng sóng," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi*, số 57, pp. 103-109, 2019.