

THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG GIẢM SÓNG CỦA CẦU KIẾN BÊ TÔNG RỖNG

Lê Hải Trung^a, Nguyễn Văn Tuấn^{b,*}, Trần Thanh Tùng^a, Đặng Thị Linh^c,

Nguyễn Trường Duy^c, Bạch Dương^d

^a*Trung tâm Tư vấn và Kỹ thuật biển và phát triển cảng, Trường Đại học Thủy lợi,
175 đường Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam*

^b*Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, 55 Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

^c*Viện Kỹ thuật công trình, Trường Đại học Thủy Lợi, 175 đường Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam*

^d*Khoa Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng, 55 Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 02/05/2021, Sửa xong 21/06/2021, Chấp nhận đăng 23/06/2021

Tóm tắt

Bê tông rỗng là bê tông có cấu trúc rỗng thông nhau được tạo lên từ các cấp phối hạt cốt liệu gián đoạn. Ở một số nước, vật liệu này đã được áp dụng cho các công trình bảo vệ bờ biển do khả năng hấp thụ năng lượng sóng theo cơ chế chủ động. Bài báo này trình bày nghiên cứu khả năng sử dụng bê tông rỗng phục vụ xây dựng đê chắn sóng ngầm – một dạng công trình bảo vệ bờ biển được đánh giá là phù hợp đối với điều kiện Việt Nam. Thí nghiệm mô hình vật lý được thực hiện trên các mẫu cầu kiến bê tông rỗng có dạng hình hộp, được chế tạo với các kích thước đá (5-10, 10-20 và 20-40 mm) và độ rỗng khác nhau (15-25%). Kết quả đo đạc cho thấy chiều cao sóng giảm từ 21% đến 56% khi đi qua đê ngầm dạng thành đứng xếp bằng các mẫu cầu kiến.

Từ khoá: bê tông rỗng; cấp phối hạt gián đoạn; giảm sóng; bảo vệ bờ biển; đê ngầm.

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF WAVE REDUCTION POSSIBILITY OF POROUS CONCRETE BLOCKS

Abstract

Porous concrete, a special type of concrete with a porous structure, consists of a gap-graded aggregate system. In some countries, this material has been applied to coastal protection works due to its ability to absorb wave energy by active mechanism. This paper presents a study on the possibility of using porous concrete for the construction of submerged breakwaters - a type of coastal protection work that is considered suitable for Vietnamese conditions. Physical modeling experiments were conducted using porous concrete samples made with different crushed stone sizes and different designed porosities. The measurements show that the wave heights were decreased significantly from 21% to 56% when propagating through a vertical breakwater constructed of the porous concrete samples.

Keywords: porous concrete; gap-graded concrete; wave reduction; coastal protection; submerged breakwater.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(3V\)-04](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(3V)-04) © 2021 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, tình trạng biến đổi khí hậu đang có diễn biến rất phức tạp, ngày càng xuất hiện nhiều hiện tượng thời tiết cực đoan, đặc biệt là ở vùng ven biển. Do vậy, các giải pháp bảo vệ bờ biển, phòng chống lũ lụt đang được quan tâm nghiên cứu mạnh mẽ. Đối với các công trình bảo

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: tuannv@nuce.edu.vn (Tuấn, N. V.)

vệ bờ biển, bê tông (BT) và bê tông cốt thép (BTCT) là hai loại vật liệu đang được sử dụng phổ biến hiện nay.

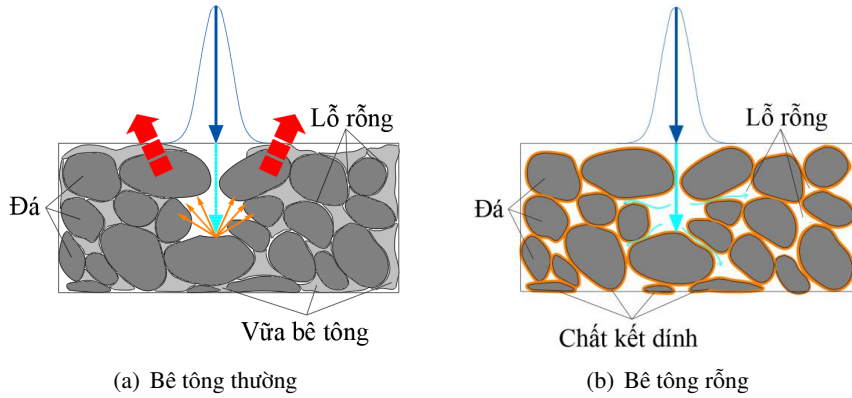
Độ bền lâu thực tế của kết cấu BTCT phụ thuộc vào mức độ xâm thực của môi trường và chất lượng vật liệu sử dụng thể hiện ở cường độ bê tông, mác chống thấm, khả năng chống ăn mòn, chủng loại xi măng, phụ gia, loại cốt thép, chất lượng thiết kế, thi công và biện pháp quản lý, sử dụng công trình... Trong môi trường không có tính xâm thực, kết cấu BTCT có thể làm việc bền vững trên 100 năm. Tuy nhiên đối với các công trình biển, hiện tượng ăn mòn cốt thép và bê tông dẫn đến làm nứt vỡ và phá huỷ kết cấu bê tông và BTCT có thể xuất hiện sau 10 - 30 năm sử dụng [1]. Nguyên nhân chính của thực trạng này là do tác động xâm thực mạnh của môi trường biển đối với BT và BTCT ở hai dạng chính gồm tác dụng về mặt hóa học và cơ học như gây ăn mòn và xói mòn kết cấu, đặc biệt khi có tác dụng của sóng biển.

Để khắc phục sự ăn mòn BT và BTCT của các công trình bảo vệ bờ biển, một số biện pháp thường được áp dụng như tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép, tăng mác bê tông so với quy phạm, sử dụng phụ gia (khoáng, hóa), bọc lớp vật liệu chống ăn mòn hoặc giảm sóng ở bề mặt kết cấu, hoặc thay thế cốt thép thành cốt phi kim, ... Xét về mặt tương tác thì đây là cách tiếp cận bị động và mang tính phòng bị, tức là tăng khả năng chống chịu của kết cấu bê tông. Một cách tiếp cận khác là chủ động giảm năng lượng hay giảm tác động cơ học của sóng, dòng chảy tới các công trình biển nói chung và kết cấu bê tông nói riêng. Về mặt không gian – thời gian, sóng cần được tiêu tán một phần trước và trong quá trình tương tác với công trình.

Theo Viện bê tông Mỹ (ACI), bê tông rỗng (BTR) là loại bê tông không có độ sụt, dùng cấp phối hạt gián đoạn gồm có xi măng pooc lăng, cốt liệu lớn, một lượng nhỏ hoặc không cốt liệu nhỏ, nước và phụ gia. Sau khi rắn chắc từ hỗn hợp vật liệu trên, bê tông sẽ có hệ thống lỗ rỗng thông nhau cho phép nước chảy qua dễ dàng. Tính chất kỹ thuật, công nghệ thi công và bảo dưỡng BTR đã được nghiên cứu một cách rộng rãi và hệ thống. Một số vấn đề đã được đánh giá như ảnh hưởng của lỗ rỗng đến tính thấm của bê tông rỗng [2], quan hệ giữa độ rỗng và cường độ trong bê tông rỗng [3], khả năng sử dụng cốt liệu tái chế như bê tông nghiền, tường xây nghiền làm bê tông rỗng thoát nước [4], tính chất của thoát nước sử dụng cốt liệu tái chế và chất kết dính geopolymers [5].

Độ rỗng của bê tông có thể thay đổi từ 15% đến 35% (rất gần với đá đổ đồng tự nhiên), cường độ nén từ 2,8 MPa đến 28 MPa (tương tự bê tông thường). Tốc độ thoát nước của BTR thay đổi tùy theo kích thước cốt liệu và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông, và thường vào khoảng từ 81 đến 730 lít/phút/m² [6]. Khi gặp bề mặt kết cấu bê tông thông thường đặc chắc (Hình 1(a)), sóng sẽ bị phản xạ ngược lại. Tương tác mạnh sẽ có xu hướng gây xói mòn và hư hỏng cấu trúc, chẳng hạn như bong tróc các hạt cốt liệu. Ngược lại, đối với bê tông có cấu trúc rỗng (Hình 1(b)) thì nước biển sẽ được phân tán vào các lỗ rỗng với các hướng khác nhau. Đây chính là cơ chế chủ động giảm tác động cơ học của sóng như phân tích trên đây.

Ở Việt Nam, bê tông rỗng bước đầu đã được ứng dụng trong các công trình giao thông với chức năng thoát nước [7]. Trên thế giới, BTR đã được áp dụng cho các công trình bảo vệ bờ biển do khả năng hấp thụ năng lượng sóng. Ví dụ, bê tông với chất kết dính polyurethane được dùng để bảo vệ mái dề biển Bắc, Liên bang Đức [8]. Theo số liệu thống kê tới năm 2005, châu Âu có tới hơn 1.200 dề ngầm, chiếm hơn 60% trong tổng số các dề chắn sóng [9, 10]. Dề ngầm cũng được đánh giá là dạng công trình phù hợp để bảo vệ bờ biển Việt Nam, dưới tác động ngày càng gia tăng trong điều kiện biến đổi khí hậu [11]. Chính vì vậy, bài báo này nghiên cứu khả năng và hiệu giảm sóng qua dề ngầm xếp bằng các mẫu cấu kiện BTR. Thí nghiệm mô hình vật lý được thực hiện với cấu kiện hình hộp, chế tạo từ các hệ đá kích thước hạt khác nhau, độ rỗng khác nhau.



Hình 1. Nguyên lý giảm sóng, hấp thụ năng lượng sóng của bê tông rỗng

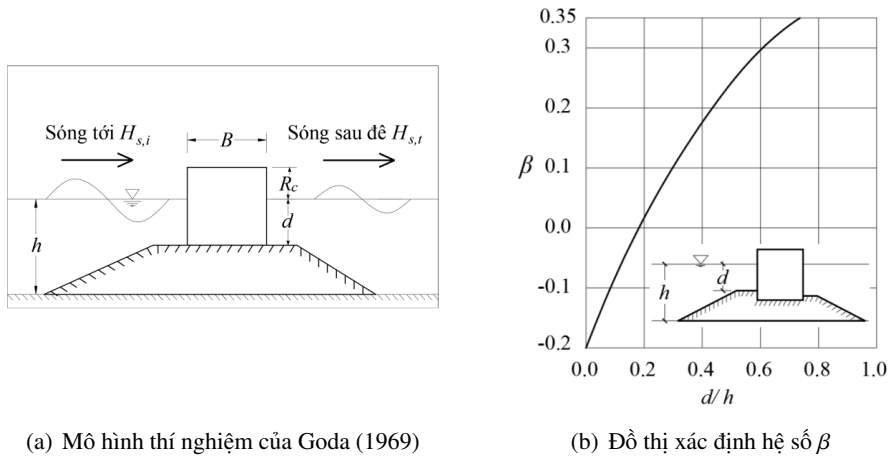
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Công thức thực nghiệm

Đê chắn sóng ngầm có chức năng giảm chiều cao sóng khi di chuyển qua đê nhằm bảo vệ một đoạn bờ biển hay luồng tàu, tạo vùng nước yên tĩnh. Thông thường, hiệu quả làm việc của đê được đánh giá thông qua hệ số truyền sóng K_t :

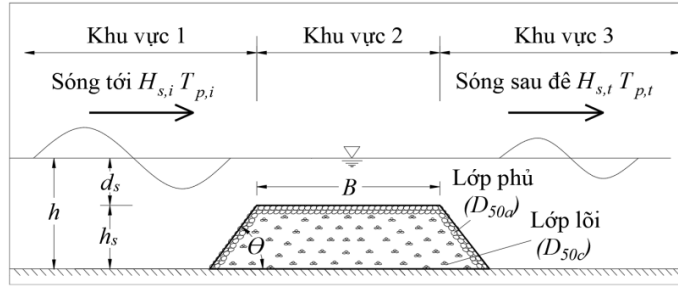
$$K_t = H_{s,t} / H_{s,i} \quad (1)$$

với $H_{s,i}$ và $H_{s,t}$ tương ứng là chiều cao của con sóng khi nó ở phía trước và phía sau đê ngầm. Nhìn chung, quá trình truyền sóng chịu ảnh hưởng bởi hình dạng của đê ngầm bao gồm bề rộng đỉnh đê, độ ngập của đỉnh đê dưới mực nước tĩnh và một phần mái dốc đê (Hình 2(a) và Hình 3). Tiêu biểu, Ahren [13] đề xuất công thức mô tả sự phụ thuộc của K_t vào nhiều tham số trong đó có độ thấm của đê, thể hiện qua kích cỡ của viên đá nhưng mức độ ảnh hưởng không lớn. Trong nghiên cứu này, tác



Hình 2. Mô hình thí nghiệm của Goda [12]

giả chưa xét ảnh hưởng trực tiếp của bề rộng đỉnh đê. Biểu đồ được xây dựng thể hiện tương quan giữa hệ số truyền sóng với bề rộng tương đối của đê và chỉ số sóng vô Iribarren [14]. Van der Meer xem xét trường hợp bề rộng đê nhỏ nên hệ số truyền sóng chỉ phụ thuộc theo quan hệ tuyến tính với chiều cao lưu không (hoặc độ ngập) tương đối [15]. Sau đó, các tác giả Van der Meer và Daemen cho rằng ảnh hưởng của độ thấm của đê cần được xét tới thông qua kích thước vật liệu như đường kính đá [16]. Tuy nhiên đối với công trình dạng tường đứng như mô hình nghiên cứu của Goda (1969) được xem là tương đối phù hợp với mô hình thí nghiệm.



Hình 3. Mô hình thí nghiệm của Seabrook và Hall [17]

Goda [12] đã đề xuất các phương trình sau để xác định hệ số truyền sóng cho các đê chắn sóng dạng thẳng đứng, không thấm:

$$K_t = \left[0,25 \times \{1 - \sin(\pi/\alpha) \times (R_c/H_{s,i} + \beta)\}^2 + 0,01 \times (1 - d/h)^2 \right]^{0,5}, \text{ với } \beta - \alpha < R_c/H_{s,i} < \alpha - \beta$$

$$K_t = 0,1 \times (1 - d/h), \text{ với } R_c/H_{s,i} \geq \alpha - \beta, \quad (2)$$

trong đó, K_t hệ số truyền sóng, $\alpha = 2,2$ và β nhận được bằng cách sử dụng đồ thị ở Hình 2(b); d là khoảng cách từ mực nước tĩnh đến đỉnh của lớp đệm; h là độ sâu nước; R_c là khoảng cách từ mực nước tĩnh đến đỉnh đê; $H_{s,i}$ là chiều cao sóng tới.

Seebrook và Hall [17] tiến hành thí nghiệm trên mô hình đê ngầm bằng vật liệu rời rạc có tính thấm cao (Hình 3). Trên cơ sở kết quả của nhiều thí nghiệm, hai tác giả đã đưa ra công thức xác định hệ số truyền sóng theo các thông số của sóng tới và các thông số kỹ thuật của đê ngầm như sau:

$$K_t = 1 - \{EXP(-0,65 \times [d_s/H_{s,i}] - 1,09 \times [H_{s,i}/B]) + 0,047 (B \times d_s / [L \times D_{50a}]) - 0,067 (d_s \times H_{s,i} / [B \times D_{50a}])\},$$

với: $0 \leq Bd_s / (LD_{50a}) \leq 7,08, \quad 0 \leq d_s H_{s,i} / (BD_{50a}) \leq 2,14$ (3)

trong đó, $H_{s,i}$ là chiều cao sóng tới; L là chiều dài sóng tới; B là chiều rộng đỉnh đê; d_s là độ ngập của đỉnh đê; D_{50a} là đường kính quy đổi của viên đá phủ mặt đê.

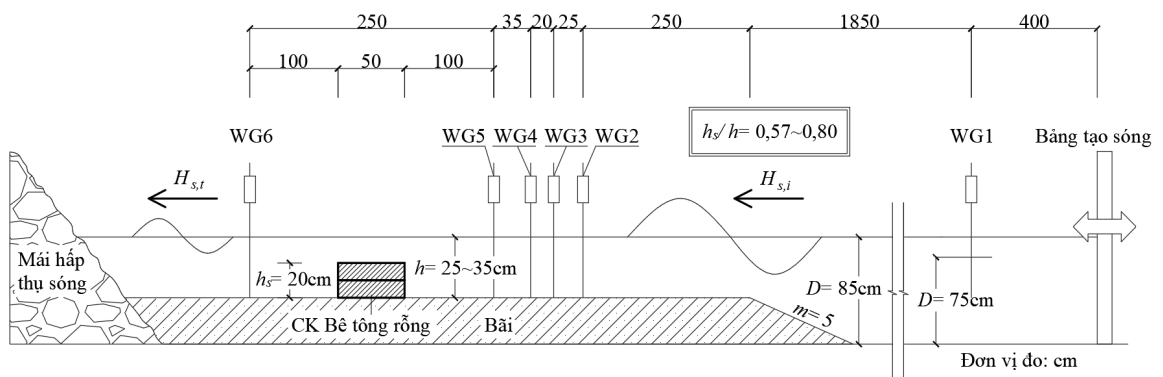
2.2. Mô hình thí nghiệm trong máng sóng

Nghiên cứu tiến hành các thí nghiệm mô hình vật lý nhằm đánh giá khả năng giảm sóng của BTR khi được sử dụng làm vật liệu cho đê ngầm. Thí nghiệm được tiến hành trong máng sóng Hà Lan thuộc Phòng thí nghiệm Thủy lực tổng hợp, Trường Đại học Thủy lợi. Máng có chiều dài 45 m, cao 1,2 m và rộng 1,0 m (Hình 4) [18]. Máy tạo sóng dạng piston tiên tiến cùng hệ thống hấp thụ sóng phản xạ chủ động (ARC = Active Reflection Compensation) cho phép tạo sóng với độ chính xác cao.

Các mẫu cấu kiện BTR được sắp xếp tạo thành một khối đơn trên bệ nằm ngang, mô phỏng đáy biển (Hình 5). Thí nghiệm được thực hiện với 2 nhóm cấu kiện mẫu CK1 và CK2 có cấp phối đá và

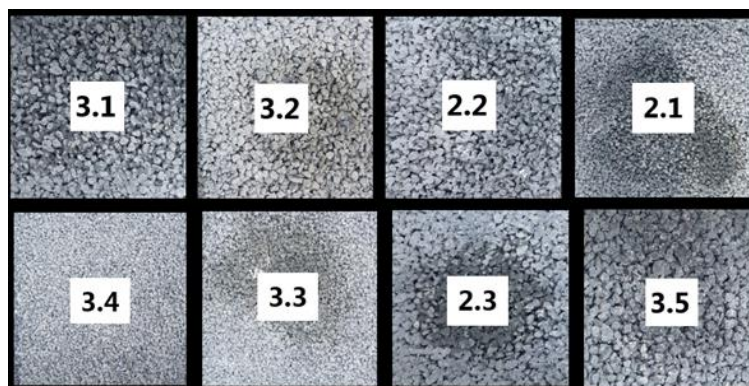


Hình 4. Máng sóng Hà Lan và bố trí thiết bị thí nghiệm



Hình 5. Sơ đồ bố trí thí nghiệm nghiên cứu khả năng giảm sóng qua đê ngầm sắp xếp bằng các mẫu cấu kiện BTR

độ rỗng khác nhau (Hình 6). Trong đó, các mẫu cấu kiện được thiết kế theo ba độ rỗng 15%, 20%, 25% ; sử dụng ba loại đá có các cấp hạt 5-10, 10-20 và 20-40 mm (Bảng 1).



Hình 6. Các mẫu cấu kiện BTR với cấp hạt đá và độ rỗng khác nhau

Trong mỗi thí nghiệm, bốn mẫu cấu kiện trong một nhóm mẫu được xếp song song, cạnh nhau và chồng thành hai lớp (Hình 7). Các mẫu cấu kiện đều có dạng hình hộp, kích thước $50 \times 50 \times 10$ cm. Như vậy, hai cấu kiện xếp cạnh nhau vừa khít trong lòng máng thí nghiệm. Mỗi nhóm mẫu gồm 04 mẫu cấu kiện với độ rỗng khác nhau tạo thành một đê ngầm giảm sóng dạng tường đứng. Thí nghiệm được thiết kế với tỷ lệ dài là 1/20.

Hình 7. Sơ đồ bố trí các mẫu cấu kiện BTR trong máng sóng

Tổng cộng 06 thiết bị đo sóng được bố trí dọc theo phương truyền sóng từ phải qua trái (Hình 4 và 5). Trong đó, WG1 đo sóng đầu vào; cụm WG2, WG3, WG4 và WG5 dùng để phân tách sóng tới và sóng phản xạ trước nhóm mấu; WG6 đo sóng sau khi đã truyền qua nhóm mấu. Cuối máng phía trái bố trí khối đá đổ mái nghiêng để hấp thụ năng lượng sóng. Việc phân tích số liệu để xác định thành phần sóng tới và sóng phản xạ trước công trình sử dụng phương pháp của Zelt và Skjelbreia [19].

Các tham số sóng được thiết lập cho hai trường hợp sóng đều và sóng ngẫu nhiên (JONSWAP) với số lượng con sóng thí nghiệm được tạo ra là 500 cho mỗi lần đo. Bảng 2 tổng hợp 12 kịch bản thí nghiệm, mỗi kịch bản có nhóm mẫu, chiều sâu nước, chiều cao và chu kỳ sóng tới khác nhau. Với mỗi kịch bản, thí nghiệm được thực hiện 02 lần để đảm bảo sự hội tụ của kết quả đo và phát hiện những sai sót (nếu có). Chiều sâu nước thí nghiệm trong máng là 75 hoặc 85 cm, đảm bảo đỉnh nhóm mẫu luôn ngập nước, thỏa mãn tỷ số giữa chiều cao nhóm mẫu với độ sâu nước ngay trước nhóm mẫu dao động từ 0,6 đến 0,8. Đây là tỷ số hợp lý để nhóm mẫu đạt hiệu quả giảm sóng khi chúng làm việc với

vai trò là đê ngầm (Harris (1996) [20], Armono và Hall (2003) [21]).

3. Kết quả và thảo luận

Thí nghiệm được thực hiện theo 12 kịch bản liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 2. Các kịch bản thí nghiệm đánh giá khả năng giảm sóng qua đê ngầm BTR

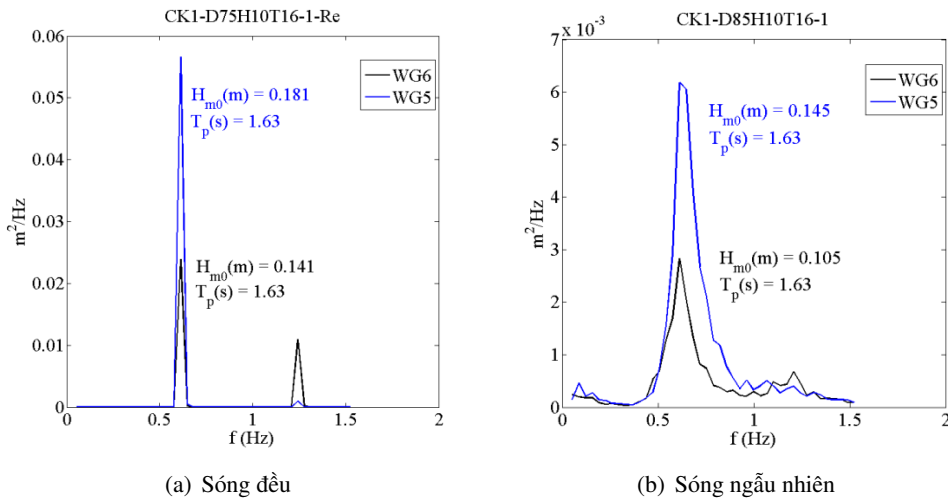
TT	Kịch bản	Chiều sâu nước D (m)	Chiều cao sóng tới H_s (m)	Chu kỳ sóng tới T_p (s)	Loại sóng
1	CK1_D75H10T16	0,75	0,10	1,6	Ngẫu nhiên
2	CK1_D75H12T18	0,75	0,12	1,8	Ngẫu nhiên
3	CK1_D75H10T16_Re	0,75	0,10	1,6	Đều
4	CK1_D75H12T18_Re	0,75	0,12	1,8	Đều
5	CK1_D85H10T16	0,85	0,10	1,6	Ngẫu nhiên
6	CK1_D85H12T18	0,85	0,12	1,8	Ngẫu nhiên
7	CK1_D85H10T16_Re	0,85	0,10	1,6	Đều
8	CK1_D85H12T18_Re	0,85	0,12	1,8	Đều
9	CK2_D85H10T16	0,85	0,10	1,6	Ngẫu nhiên
10	CK2_D85H12T18	0,85	0,12	1,8	Ngẫu nhiên
11	CK2_D85H10T16_Re	0,85	0,10	1,6	Đều
12	CK2_D85H12T18_Re	0,85	0,12	1,8	Đều

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm đánh giá hiệu quả giảm sóng qua đê ngầm BTR

TT	Kịch Bản	Thực đo				Tính toán		
		$H_{s,i}$	$T_{p,i}$	$H_{s,t}$	$T_{p,t}$	$K_{t,do}$	$K_{t,Goda}$	$K_{t,Seabrook}$
1	CK1_D75H10T16_1	0,129	1,63	0,057	1,63	0,442	0,527	0,444
2	CK1_D75H10T16_3	0,128	1,63	0,057	1,63	0,445	0,529	0,444
3	CK1_D75H12T18_1	0,123	1,73	0,061	1,84	0,496	0,540	0,443
4	CK1_D75H12T18_2	0,123	1,73	0,063	1,84	0,512	0,540	0,443
5	CK1_D75H10T16_1_Re	0,178	1,63	0,095	0,8	0,534	0,451	0,483
6	CK1_D75H10T16_2_Re	0,180	1,63	0,096	0,8	0,533	0,449	0,485
7	CK1_D75H12T18_1_Re	0,116	1,84	0,069	1,84	0,595	0,558	0,443
8	CK1_D75H12T18_2_Re	0,116	1,84	0,070	1,84	0,603	0,558	0,443
9	CK1_D85H10T16_1	0,145	1,54	0,105	1,63	0,724	0,915	0,732
10	CK1_D85H10T16_2	0,148	1,63	0,106	1,63	0,716	0,906	0,739
11	CK1_D85H12T18_1	0,156	1,73	0,117	1,84	0,750	0,883	0,746
12	CK1_D85H12T18_2	0,150	1,73	0,116	1,84	0,773	0,900	0,744
13	CK1_D85H10T16_1_Re	0,181	1,63	0,141	1,63	0,779	0,816	0,755
14	CK1_D85H10T16_2_Re	0,181	1,63	0,142	1,63	0,785	0,816	0,755
15	CK1_D85H12T18_1_Re	0,205	1,84	0,145	1,84	0,707	0,759	0,787
16	CK1_D85H12T18_2_Re	0,206	1,84	0,146	1,84	0,709	0,757	0,788
17	CK2_D85H10T16_1	0,149	1,63	0,101	1,63	0,678	0,903	0,853
18	CK2_D85H10T16_2	0,149	1,63	0,100	1,63	0,671	0,903	0,853
19	CK2_D85H12T18_1	0,150	1,75	0,111	1,84	0,740	0,900	0,866
20	CK2_D85H12T18_2	0,150	1,73	0,111	1,84	0,740	0,900	0,865
21	CK2_D85H10T16_1_Re	0,186	1,63	0,131	1,63	0,704	0,803	0,913
22	CK2_D85H10T16_2_Re	0,186	1,63	0,129	1,63	0,694	0,803	0,913
23	CK2_D85H12T18_1_Re	0,205	1,84	0,140	1,84	0,683	0,759	0,971
24	CK2_D85H12T18_2_Re	0,208	1,84	0,143	1,84	0,688	0,753	0,977

Ghi chú: $K_{t,Goda}$ là hệ số truyền sóng tính theo công thức (2) của Goda [12]; $K_{t,Seabrook}$ là hệ số truyền sóng tính theo công thức (3) của Seabrook và Hall [17].

Kết quả đo đặc và phân tích bao gồm phổ sóng, chiều cao sóng và chu kỳ sóng. Bảng 3 trình bày đặc trưng sóng đo đặc ở phía trước nhóm mẩu (tại đầu đo WG5); phía sau đê (tại đầu đo WG6); hệ số truyền sóng K_t thực đo tính theo công thức (1). Để so sánh hệ số truyền sóng của thí nghiệm với các công trình nghiên cứu trước đây, Bảng 3 cũng thể hiện hệ số truyền sóng tính toán theo Goda (1969) bằng công thức (2), và theo Seebrook và Hall (1998) bằng công thức (3). Vì mỗi kịch bản được thí nghiệm hai lần nên tổng số thí nghiệm đã thực hiện là 24. Trong đó, 16 thí nghiệm với nhóm CK1 và 08 thí nghiệm với nhóm CK2.

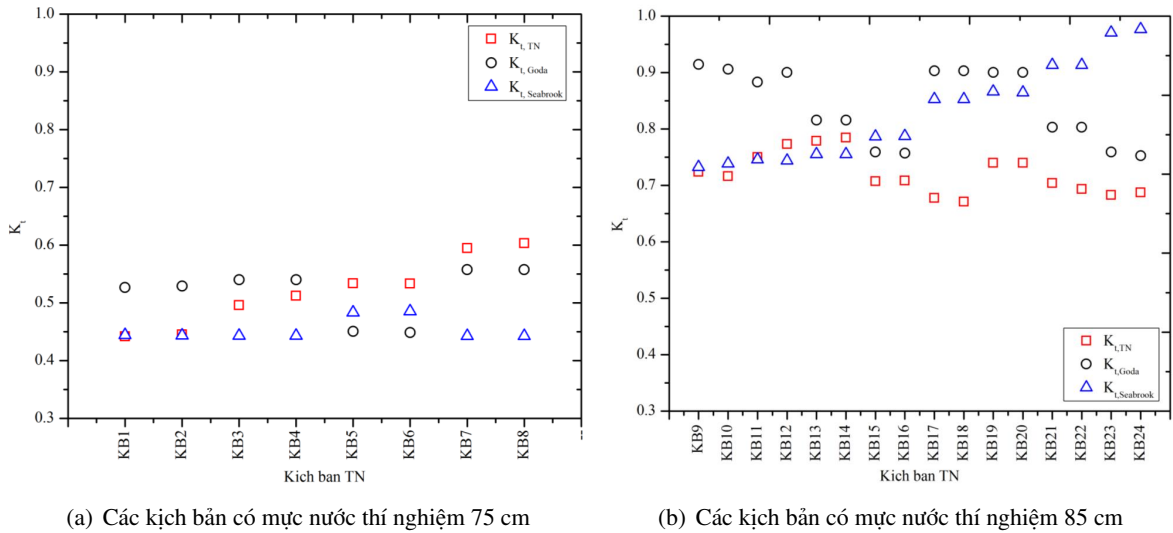


Hình 8. Phổ sóng điển hình ở phía trước (WG5) và phía sau (WG6) nhóm mẩu

Hình 8 thể hiện phổ năng lượng sóng sau khi xử lý số liệu sóng đo được tại hai đầu đo WG5 và WG6. Phổ có dạng rất nhọn đối với trường hợp sóng đều, thể hiện năng lượng sóng chủ yếu tập trung ở một tần số, ứng với một chu kỳ. Quanh vị trí đỉnh, đường phổ sóng hạ thấp tương đối rõ ràng đối với cả sóng đều và sóng ngẫu nhiên. Ở phía sau nhóm mẩu (đầu đo WG6), phổ sóng có một số đỉnh (nhiều). Trong đó, hai đỉnh chính có giá trị mật độ năng lượng không có sự chênh lệch lớn. Hình dạng phổ tương tự như sau khi đã trải qua quá trình sóng vỡ nhiều lần. Điều này thể hiện năng lượng sóng đã phần nào được tiêu tán khi truyền qua nhóm mẩu bê tông rỗng. Lưu ý rằng chu kỳ sóng trước và sau nhóm mẩu không có sự thay đổi đáng kể, cụ thể đỉnh phổ sóng của đầu đo WG5 và WG6 đều có chung giá trị trục hoành, tức tần số f . Để trực quan, Hình 9 thể hiện hệ số truyền sóng K_t theo thí nghiệm và tính toán theo [12] và [17] cho 24 kịch bản thí nghiệm như đã nêu trong Bảng 3.

Từ số liệu thí nghiệm trong Bảng 3 và các hệ số truyền sóng nhận được biểu thị dưới dạng biểu đồ phân tán trên Hình 9, có thể rút ra một số nhận xét như sau:

- Đối với các kịch bản có độ sâu nước 75 cm (Hình 9(a)), tức tỷ số giữa chiều cao nhóm mẩu với độ sâu nước ngay trước nhóm mẩu $h_s/h = 0,8$ và độ sâu ngập 5,0 cm, thì cả ba phương pháp: thí nghiệm, phương pháp theo [12] và [17] đều đạt hiệu quả giảm sóng với hệ số truyền sóng dưới 0,6, có nghĩa chiều cao sóng giảm ít nhất 40%. Hệ số giảm sóng của ba phương pháp cơ bản là tương đồng và xấp xỉ với nhau, thí nghiệm có K_t dao động từ 0,44 đến 0,60; phương pháp [12] có K_t từ 0,45 đến 0,56; phương pháp [17] có K_t ổn định chỉ từ 0,44 đến 0,49. Như vậy kết quả thu được phù hợp với kết luận của nhiều công trình nghiên cứu về tính hiệu quả của đê ngầm khi tỷ số $h_s/h = 0,8$, tức độ ngập nhỏ. Theo số liệu ở Bảng 3, thấy rằng cùng một độ sâu ngập, kịch bản có chiều cao sóng tới lớn hơn thì hiệu quả giảm sóng lại giảm đi (tức K_t lớn hơn).



Hình 9. So sánh hệ số truyền sóng K_t giữa thí nghiệm và tính toán theo [12] và [17]

- Đối với các kịch bản có độ sâu nước 85 cm (Hình 9(b)), tức tỷ số giữa chiều cao nhóm mẫu với độ sâu nước ngay trước nhóm mẫu $h_s/h = 0,57$ và độ sâu ngập tăng lên 15 cm, thì cả ba phương pháp đều cho thấy hiệu quả giảm sóng đã giảm đi đáng kể với hệ số truyền sóng đều trên 0,65, và thấy rõ nhất là hệ số giảm sóng của ba phương pháp có tính phân tán không còn tương đồng với nhau nữa. Cụ thể, thí nghiệm có K_t dao động từ 0,67 đến 0,79; phương pháp [12] có K_t dao động từ 0,75 đến 0,92; phương pháp [17] có K_t dao động từ 0,73 đến 0,98. Có thể thấy, thí nghiệm cung cấp hệ số truyền sóng khá ổn định, trong khi phương pháp [12] và [17] có hệ số truyền sóng với biên độ dao động lớn hơn nhiều. Như vậy đề càng ngập sâu thì hiệu quả giảm sóng càng thấp, nhận định này phù hợp với kết luận của tác giả Tiến [10] về độ ngập nước trên đỉnh công trình tỷ lệ nghịch với hiệu quả giảm sóng khi dựa trên hàng loạt thí nghiệm với đề ngầm đỉnh rộng. Một chi tiết cần lưu ý là khi độ sâu ngập lớn thì chiều cao sóng tới cũng gần như không ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng.

- Ngoài ảnh hưởng của độ sâu ngập, có thể thấy yếu tố độ nhám bề mặt đỉnh công trình có ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng, tức năng lượng sóng bị tiêu tán do ma sát với đỉnh công trình. Hình 9(a) cho thấy hệ số K_t của thí nghiệm và [17] nói chung nhỏ hơn K_t tính theo [12], thậm chí ngay cả với trường hợp độ ngập lớn (Hình 9(b)) cũng phản ánh kết quả tương tự. Nguyên nhân là công thức của [12] không đề cập đến độ nhám đỉnh công trình, các thí nghiệm của [12] chỉ áp dụng cho thùng chìm có đỉnh nhọn.

- Trong cùng một điều kiện thí nghiệm về sóng và độ sâu nước, kết quả thí nghiệm và tính theo [17] cho thấy các cấu kiện có cùng hệ số rỗng, nhưng nhóm cấu kiện CK1 có cỡ hạt trên bề mặt đề lớn hơn (tức nhám hơn) nhóm cấu kiện CK2 thì hiệu quả giảm sóng cũng ít nhiều cao hơn (hệ số K_t nhỏ hơn).

Ngoài các yếu tố về độ ngập đỉnh đề, chiều cao sóng tới và độ nhám bề mặt đỉnh đề như đã nhận xét ở trên, rõ ràng để tăng hiệu quả giảm sóng thì yếu tố bề rộng đỉnh đề cần được quan tâm nghiên cứu như đã khẳng định trong một số nghiên cứu khác [10, 14].

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá khả năng giảm sóng của vật liệu bê tông rỗng. Mô hình thí nghiệm được thiết kế và tiến hành nhằm mô phỏng quá trình truyền sóng qua công trình bảo vệ bờ biển dạng đê ngầm giảm sóng. Đê được xếp bởi tổ hợp các mẫu cấu kiện bê tông rỗng hình hộp, chia thành 02 nhóm cấu kiện CK1 và CK2 có độ rỗng khác nhau 15%, 20% và 25%, sử dụng các cấp hạt đá khác nhau 5-10, 10-20 và 20-40 mm. Số liệu đo đạc từ thí nghiệm mô hình vật lý được thực hiện trên máng sóng cho thấy chiều cao sóng có khả năng giảm từ 21 - 56% khi đi qua mẫu cấu kiện. Ngoài ra, kết quả thu được từ thí nghiệm cũng được so sánh với kết quả tính toán theo hai công trình nghiên cứu của Goda [12] và Seabrook & Hall [17] đã đưa ra những nhận xét quan trọng có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Các nghiên cứu tiếp theo cần làm sáng tỏ ảnh hưởng của hai tham số độ rỗng và bề rộng đỉnh đê tới quá trình truyền sóng qua vật liệu BTR. Kết quả nghiên cứu bước đầu này khẳng định tiềm năng của việc ứng dụng bê tông rỗng trong xây dựng đê ngầm giảm sóng nói riêng và công trình biển nói chung.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Xây dựng đã cấp kinh phí cho Đề tài “Nghiên cứu chế tạo bê tông rỗng có tác dụng giảm sóng bảo vệ bờ đảo, bờ biển”, Mã số RD78-19, thuộc chương trình Nghiên cứu và phát triển VLXD phục vụ các công trình ven biển và hải đảo đến năm 2025 theo Quyết định 126/QĐ-TTg ngày 25/1/2019.

Tài liệu tham khảo

- [1] Khoan, P. V., Thắng, N. N. (2010). Tình trạng ăn mòn bê tông cốt thép ở vùng biển Việt Nam và một số kinh nghiệm sử dụng chất ức chế ăn mòn canxi nitrit., *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, (2):38–43.
- [2] Neithalath, N., Sumanasooriya, M. S., Deo, O. (2010). [Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction](#). *Materials Characterization*, 61(8):802–813.
- [3] Lian, C., Zhuge, Y., Beecham, S. (2011). [The relationship between porosity and strength for porous concrete](#). *Construction and Building Materials*, 25(11):4294–4298.
- [4] Bhutta, M. A. R., Hasanah, N., Farhayu, N., Hussin, M. W., bin Md Tahir, M., Mirza, J. (2013). [Properties of porous concrete from waste crushed concrete \(recycled aggregate\)](#). *Construction and Building Materials*, 47:1243–1248.
- [5] Sata, V., Wongsas, A., Chindaprasirt, P. (2013). [Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates](#). *Construction and Building Materials*, 42:33–39.
- [6] Dong, N. V., Hanh, P. H., Tuan, N. V., Minh, P. Q., Phuong, N. V. (2019). [The effect of mineral admixture on the properties of the binder towards using in making pervious concrete](#). *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Singapore, 367–372.
- [7] Chánh, N. V. (2008). Bê tông rỗng cho các công trình đô thị công cộng - Một vật liệu thân thiện với môi trường. *Hội nghị toàn quốc: vật liệu xây dựng - thiết bị - sử dụng đảm bảo an toàn, thiết bị năng lượng, thân thiện môi trường trong công trình xây dựng (05-2008) - Bộ Xây dựng - Hội Vật liệu Xây dựng*.
- [8] <https://plastics-rubber.basf.com/>.
- [9] Kramer, M., Zanuttigh, B., van der Meer, J. W., Vidal, C., Gironella, F. X. (2005). [Laboratory experiments on low-crested breakwaters](#). *Coastal Engineering*, 52(10-11):867–885.
- [10] Lamberti, A., Archetti, R., Kramer, M., Paphitis, D., Mosso, C., Risio, M. D. (2005). [European experience of low crested structures for coastal management](#). *Coastal Engineering*, 52(10-11):841–866.
- [11] Tiến, N. V. (2015). *Nghiên cứu hiệu quả của đê ngầm đến quá trình tiêu hao năng lượng sóng tác động vào bờ biển Việt Nam*. Luận văn Tiến sỹ kỹ thuật, trường Đại học Thủy lợi.

- [12] Goda, Y. (1969). Re-analysis of laboratory data on wave transmission over breakwaters. *Rept. Port and Harbour Res. Inst*, 8(3):3–18.
- [13] Ahrens, J. P. (1987). *Characteristics of reef breakwaters*. CERC, Vicksburg, Technical report CERC-87-17.
- [14] Pina, G. G., de Alarcón, J. V. F. (1991). [Experiments on coastal protection submerged breakwaters: a way to look at the results](#). *22nd International Conference on Coastal Engineering*, 1592–1605.
- [15] van der Meer, J. M. *Stability and transmission at low-crested structures*. Delft Hydraulics Publication 453.
- [16] van der Meer, J. W., Daemen, I. F. R. (1994). [Stability and Wave Transmission at Low-Crested Rubble-Mound Structures](#). *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 120(1):1–19.
- [17] Seabrook, S. R., Hall, K. R. (2002). Wave transmission at submerged breakwaters. *Coastal Engineering*.
- [18] Trung, L. H., Hoàng, N. T., Tùng, T. T., Thọ, T. X. (2020). [Nghiên cứu phân bố áp lực sóng lên tường biển có mũi hắt sóng bằng mô hình số và mô hình vật lý](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 14(4V):87–95.
- [19] Zelt, J. A., Skjelbreia, J. E. (1993). [Estimating incident and reflected wave fields using an arbitrary number of wave gauges](#). *Coastal Engineering*, 777–789.
- [20] Harris, L. E. (1996). *Wave Attenuation by Rigid and Flexible-Membrane Submerged Breakwaters*. Doctoral Thesis of Philosophy in Ocean Engineering. Florida Atlantic University.
- [21] Armono, H. D., Hall, K. R. (2003). [Wave transmission on submerged breakwaters made of hollow hemispherical shape artificial reefs](#). *Canadian Coastal Conference*, 313–322.