

Bài báo khoa học

Ảnh hưởng của sóng nước nông tới hiệu quả giảm sóng của rạn ngầm nhân tạo trên thềm đảo nổi xa bờ

Phạm Thị Thúy^{1*}, Lê Hải Trung²

¹ Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn; thuy39vtl@gmail.com; thuy39vtl@lqdtu.edu.vn

² Khoa Công trình thủy, Trường Đại học Thủy Lợi; trung.l.h@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: thuy39vtl@gmail.com; Tel.: +84-982943689

Ban Biên tập nhận bài: 25/10/2024; Ngày phản biện xong: 4/12/2024; Ngày đăng bài: 25/4/2025

Tóm tắt: Bài báo sử dụng kết quả từ thí nghiệm trên mô hình vật lý máng sóng để nghiên cứu đặc tính của sóng nước nông trên thềm đảo nổi xa bờ và đánh giá ảnh hưởng của sóng nước nông tới hiệu quả giảm sóng qua rạn ngầm nhân tạo đặt trên thềm đảo nổi xa bờ. Kết quả cho thấy sóng nước nông trên thềm đảo có hai đặc tính quan trọng là: năng lượng và chiều cao sóng giảm mạnh, có sự xuất hiện sóng ngoại trọng lực với chu kỳ sóng dài lên tới 29 giây. Thông qua việc phân tích tương quan giữa tham số độ dốc sóng biểu kiến S_{om} và hệ số truyền sóng K_t , cho thấy độ dốc sóng biểu kiến là tham số có ảnh hưởng đáng kể tới hiệu quả giảm sóng của rạn ngầm với xu thế nghịch biến. Khi độ dốc sóng biểu kiến $S_{om} < 0,08$ và bề rộng tương đối của rạn ngầm $B/d > 7,5$ (với B là bề rộng rạn ngầm, d là độ sâu mực nước trên thềm) thì hệ số truyền sóng K_t phụ thuộc vào cả B/d và S_{om} ; Khi $0,008 \leq S_{om} \leq 0,02$ và $4,0 \leq B/d \leq 7,5$ thì hệ số truyền sóng K_t chỉ phụ thuộc vào bề rộng tương đối của rạn và khi $S_{om} > 0,02$; $B/d < 4,0$ thì hệ số truyền sóng K_t luôn là hằng số.

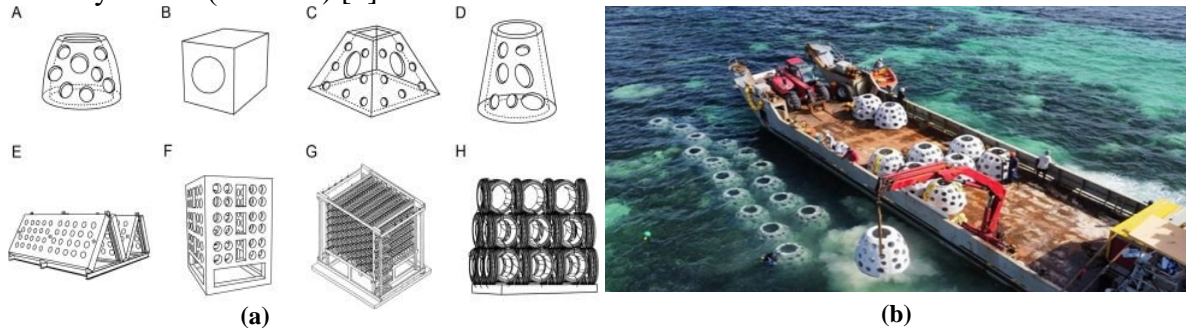
Từ khóa: Rạn ngầm nhân tạo; Sóng nước nông; Độ dốc sóng biểu kiến; Sóng ngoại trọng lực; Hiệu quả giảm sóng.

1. Giới thiệu

Các hoạt động của con người và sự biến đổi khí hậu là mối đe dọa lớn nhất đối với các rạn san hô trên các đại dương. Theo the Nature Conservancy, với tốc độ phá hủy như hiện nay thì khoảng 70% các rạn san hô trên thế giới sẽ biến mất trong vòng 50 năm tới. Tốc độ phục hồi tự nhiên của các rạn san hô chậm đã thúc đẩy sự nghiên cứu các cấu trúc rạn ngầm nhân tạo (kết cấu nhân tạo được đặt ở đáy biển để mô phỏng một số chức năng của một rạn san hô tự nhiên, giúp tái sinh, tập trung hoặc tăng cường các quần thể tài nguyên sinh vật biển mà không gây hại tới môi trường sống trên khu vực, thúc đẩy sự sinh trưởng và phát triển của sinh vật biển, tạo nguồn lợi thủy sản theo quy luật tự nhiên) [1].

Các dự án sử dụng rạn ngầm nhân tạo với mục đích cải thiện môi trường sinh thái, giảm sóng, chống xói lở ngày càng được ứng dụng nhiều hơn, dạng kết cấu sử dụng cũng đa dạng hơn và khu vực áp dụng cũng mở rộng hơn. Các dự án rạn ngầm nhân tạo trước đây chủ yếu tập trung vào các khía cạnh sinh học - môi trường như tập hợp cá trong vùng lân cận của rạn san hô, năng suất rạn san hô hoặc so sánh hiệu quả khôi phục sinh thái giữa rạn ngầm nhân tạo và rạn san hô tự nhiên [2]. Bên cạnh mục đích về môi trường, một số nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, các rạn ngầm nhân tạo còn có chức năng như một đê ngầm giảm sóng, giúp ổn định đường bờ [3]. Kết cấu rạn ngầm nhân tạo có thể sử dụng các nhóm vật liệu tự nhiên hoặc nhóm vật liệu nhân tạo. Hiện nay các khối bê tông rỗng đúc sẵn được sử dụng phổ biến

[3] (Hình 1a) và một trong số các kết cấu điển hình là cấu kiện bê tông rỗng Reef Ball™ (RB). Hơn 1/2 triệu khối RB được ứng dụng trong hơn 6.500 dự án tại hơn 62 quốc gia nhưng chủ yếu sử dụng trên các bãi biển thông thường [4]. Một số dự án được triển khai trên các quần đảo và đảo nổi như tại Maldives và đảo nổi Desroches, Remires và Plattes thuộc quần đảo Seychelles (Hình 1b) [5].



Hình 1. (a) Một số cấu kiện hình thành rạn ngầm nhân tạo; (b) Rạn ngầm RB lắp đặt trên quần đảo Seychelles.

Trên các đảo nổi do những khác biệt về điều kiện địa hình cũng như chế độ thủy hải văn dẫn tới những khác biệt về chế độ thủy động lực sóng. Đảo nổi xa bờ, về bản chất là rạn san hô xa bờ mà có một phần diện tích luôn nổi cao trên mặt nước kể cả khi thủy triều cao nhất [6]. Địa hình đảo nổi xa bờ rất khác biệt so với các bãi biển thông thường. Địa hình của một đảo nổi đặc trưng bao gồm: phần lõi đảo (*reef core*) đây là phần có diện tích nhỏ, khoảng vài chục héc-ta trở xuống, phần thềm đảo (*reef flat*) tương đối bằng phẳng, rộng gấp nhiều lần so với lõi đảo, tiếp với phần thềm đảo là vách ngầm có độ sâu thay đổi đột ngột trong khoảng 5-20 m và phần sườn ngầm ở khoảng độ sâu trên 50 m tiếp giáp với đáy biển sâu, độ sâu trên 1500 m (Hình 2).



Hình 2. Địa hình đặc trưng của đảo nổi (nguồn google earth).

Các nghiên cứu về chế độ thủy động lực sóng khi truyền qua dạng địa hình có vách dốc đứng như trên đảo nổi trước đây đa số đều dựa trên quan sát, một số nghiên cứu sử dụng mô hình số và một số nghiên cứu sử dụng mô hình vật lý. Các đặc tính thủy động lực học sóng được nghiên cứu như sự tổn thất năng lượng, các đặc tính sóng nước nông, sự phân bố chiều cao và chu kỳ sóng trên khu vực nước nông [7].

Theo cách tiếp cận về sự tổn thất năng lượng, sóng khi truyền qua địa hình có vách dốc đứng đã cho thấy năng lượng sóng bị suy giảm đáng kể và tỷ lệ suy giảm tương đối phù hợp với các lý thuyết hiện có về ma sát đáy và sự tiêu tán sóng vỡ. Tỷ lệ tiêu tán năng lượng sóng lớn nhất có thể lên tới 75%÷86% [8]. Nghiên cứu [9] chỉ ra rằng tỉ số giữa chiều cao sóng lớn nhất và độ sâu mực nước (H_{max}/d) tại vị trí phía sau vùng sóng vỡ trên thềm nước nông không vượt quá 0,55 nhỏ hơn nhiều so với giá trị trên các bãi biển thông thường là 0,78 [9]. Nghiên cứu [6] cũng chỉ ra các yếu tố chi phối chế độ thủy động lực sóng trên vùng sóng vỡ

và sự lan truyền của sóng là độ ngập trên thềm nước nông, độ dốc phía trước của rạn (*fore-reef slope*) và độ sâu trên thềm san hô.

Các nghiên cứu về các đặc tính sóng nước nông trên thềm có thể kể đến [10, 11]. Hai đặc trưng thủy động lực quan trọng trên thềm nước nông là hiện tượng sóng tràn và sự hình thành sóng ngoại trọng lực (*infragravity wave* - sóng có chu kỳ từ 20-200s) [12]. Sóng tràn bị ảnh hưởng bởi độ sâu mực nước trên thềm và đặc trưng mặt cắt của rạn. Sóng tràn tăng khi độ ngập tương đối trên thềm giảm và độ nhám đáy thềm tăng. Hiện tượng sóng tràn làm mực nước trung bình trên thềm đảo dâng cao [13]. Sóng ngoại trọng lực (IG), là sóng có tần số thấp, chu kỳ dài trong khoảng từ 20-200s, được hình thành trên những bờ biển có độ dốc khác nhau. Những con sóng dài được hình thành theo 2 cơ chế: (1) do những tương tác trong nhóm sóng tới, sau khi hình thành chúng lan truyền từ khu vực nước sâu vào khu vực độ sâu mực nước nhỏ như những con sóng tự do và (2) sóng được sinh ra từ vùng sóng vỡ, vùng giáp ranh với mái dốc nhờ cơ chế điềm vỡ [14]. Đối với các đảo nổi, sóng ngoại trọng lực được hình thành theo cơ chế điềm vỡ [6]. Khi sóng chu kỳ ngắn bị tiêu tán do sóng vỡ, sóng ngoại trọng lực hình thành và càng vào bên trong thềm càng chiếm ưu thế [11, 15]. Ảnh hưởng của sóng ngoại trọng lực đối với sự phân bố chiều cao sóng lên thềm đảo là khá phức tạp [10].

Chiều cao sóng nước sâu về mặt lý thuyết tuân theo phân bố Rayleigh, Longuet-Higgins [14], ứng dụng cho các bãi biển thông thường với độ dốc nhỏ hơn 1/20 và độ sâu nước thay đổi từ từ. Ngược lại, các nghiên cứu về sự truyền sóng đối với kiểu bờ có vách dốc đứng với độ dốc lớn và độ sâu biến đổi đột ngột như dạng đảo san hô cho đến nay chưa có nhiều. Các nghiên cứu có thể kể đến như [16, 17]. Nhóm thứ hai, sử dụng các phân bố thực nghiệm như Weibull, theo đó các tham số mô hình được xây dựng trực tiếp từ bộ tham số đo đạc thực nghiệm [18, 19]. Nghiên cứu [20] đã thiết lập công thức phân bố Rayleigh - Weibull tổng hợp (BG2000) và nghiên cứu [6] đã xây dựng công thức phân bố chiều cao sóng 3WB (3 Weibull) ứng dụng cho thềm đảo chìm.

Như vậy, có thể thấy, các nghiên cứu hiện tại về rạn ngầm hầu hết dựa trên cách tiếp cận về sự tổn thất năng lượng khi sóng truyền qua. Ngược lại, các tác động xảy ra ở rạn như hiệu quả giảm sóng, sự hình thành các xoáy nước, các tương tác phi tuyến tính thì chưa được giải quyết rõ ràng. Hiện tượng này cần được xem xét khi thiết kế rạn ngầm nhân tạo làm đê ngầm chắn sóng [7]. Trong nghiên cứu này, dựa trên kết quả từ thí nghiệm trên mô hình vật lý máng sóng, tác giả nghiên cứu đặc tính sóng trên thềm nước nông trên đảo bao gồm sự suy giảm chiều cao sóng, sự thay đổi chu kỳ và phổ sóng nước nông so với sóng nước sâu. Đồng thời nghiên cứu cũng đánh giá sự tương tác giữa sóng nước nông với rạn ngầm nhân tạo, cụ thể là sự ảnh hưởng của tham số sóng nước nông tới hiệu quả giảm sóng của rạn ngầm nhân tạo RB thông qua việc phân tích tương quan giữa tham số độ dốc sóng biểu kiến S_{om} và hệ số truyền sóng K_t . Đây là một nội dung mang tính khoa học, góp phần làm rõ hơn bản chất của các tham số chỉ phối tới hiệu quả giảm sóng qua rạn ngầm Reef BallTM trên thềm đảo nổi san hô xa bờ.

2. Thiết kế thí nghiệm mô hình vật lý

Mục tiêu của thí nghiệm mô hình vật lý thường là thu nhỏ đối tượng nghiên cứu (nguyên hình) theo tỉ lệ quy định, thành một đối tượng thay thế (mô hình). Mô hình được xác lập trên cơ sở lý thuyết tương tự, thông qua những thí nghiệm trong mô hình để suy đoán những hiện tượng sẽ xuất hiện trong nguyên hình. Trong nghiên cứu này một mô hình đảo nổi với các yếu tố địa hình và sóng được thiết lập cùng với đó là một mô hình rạn ngầm nhân tạo từ các khối Reef BallTM được thực hiện. Bộ số liệu thu thập từ thí nghiệm bao gồm chiều cao và chu kỳ sóng tại khu vực nước sâu, chiều cao và chu kỳ sóng trên thềm trước và sau rạn ngầm. Bộ số liệu sóng nước sâu và nước nông sẽ dùng để đánh đặc tính của sóng. Bộ số liệu sóng đến trước và sau rạn ngầm để đánh giá hiệu quả giảm sóng qua rạn ngầm nhân tạo.

2.1. Các điều kiện tương tự

Theo lý thuyết mô hình, để mô hình tương tự với nguyên hình thì cần phải tương tự hình học, động học và động lực học [21]. Các điều kiện cụ thể là:

Mô hình phải được làm chính thái, tỉ lệ mô hình nhỏ $\lambda_l \leq 60$; và $\lambda_l = \lambda_h$, tỉ lệ giữa chiều dài và chiều cao phải như nhau.

Mô hình phải tuân theo luật Froude - diễn tả mức độ ảnh hưởng tương đối giữa lực quán tính và trọng lực ở dòng chảy có mặt thoáng, theo đó tỉ lệ thời gian theo công thức: $\lambda_T = \frac{\sqrt{\lambda_L}}{\sqrt{\lambda_g}}$

Với bài toán truyền sóng trên thềm đảo nổi, áp dụng luật Froude (gồm cả chu kỳ sóng) thì các đại lượng như ứng suất rôi (Raynolds), sóng khúc xạ, nhiễu xạ cũng đều thỏa mãn điều kiện tương tự. Tuy nhiên, cần phải loại trừ ảnh hưởng của lực nhớt, mà ảnh hưởng của lực nhớt chỉ có thể được mô phỏng trong mô hình khi cả hai luật Froude và Raynold đồng thời được thỏa mãn [8]. Giải pháp là trong các mô hình vật lý kỹ thuật biển cần giảm thiểu các ảnh hưởng của lực nhớt bằng cách tăng số Raynolds đủ lớn. Theo kiến nghị [22], độ sâu mô hình không nhỏ hơn 5 cm và chiều cao sóng trên thềm không nhỏ hơn 2 cm.

2.2. Các điều kiện nguyên hình

Qua những phân tích tổng quan về đảo nổi, địa hình nguyên hình được lựa chọn đưa vào thí nghiệm như sau: phần lõi đảo ở mức độ cao: +4 m; phần thềm san hô rộng $B = 300-600$ m; vách dốc đứng (Fore-reef slope) 1/5.

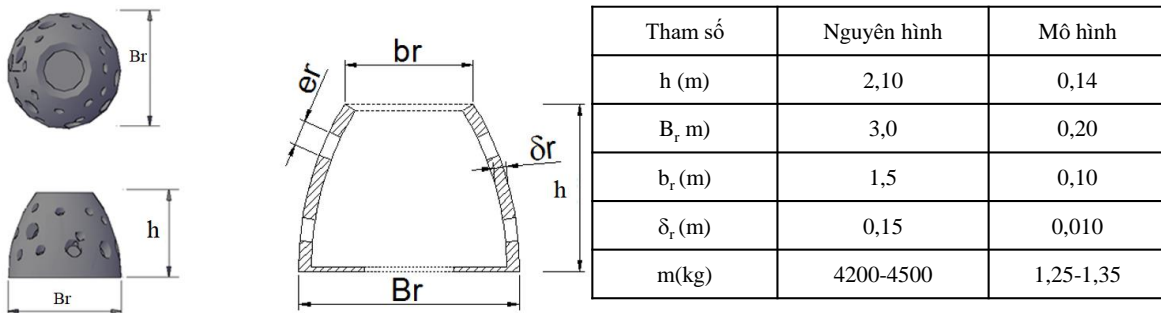
Độ sâu mực nước trên thềm đảo d trong khoảng từ 2-4 m. Sóng khí hậu với hướng sóng chủ đạo là Đông Bắc và Bắc có chiều cao và chu kỳ lần lượt bằng $H_s = 2,0-2,60$ m tương ứng với $T_p = 6-7$ s. Sóng nước sâu cho khu vực đảo nổi H_s trong khoảng từ 4,0-13,8 m; T_p trong khoảng từ 9,7-14,6 s.

2.3. Điều kiện thí nghiệm

Thí nghiệm mô hình được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm Thủy lực Tổng hợp, Trường Đại học Thủy lợi trên máng sóng Hà Lan. Chiều dài máng sóng là 50 m, chiều cao 1,2 m và chiều rộng 1 m. Máng có thể tạo sóng đều hoặc sóng ngẫu nhiên theo một số dạng phổ sóng phổ biến như phổ JONSWAP hay Peirson-Moskowitz (PM). Chiều cao sóng ngẫu nhiên H_s tối đa lên tới 0,3 m và chu kỳ là 3,0 s.

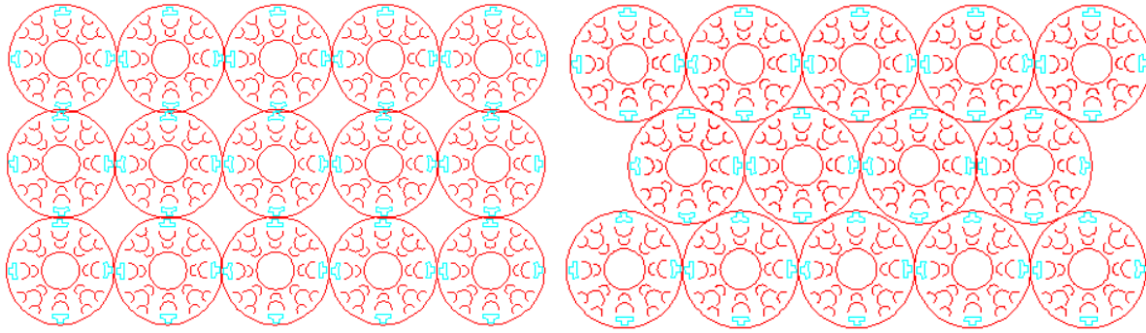
2.4. Tỉ lệ mô hình thí nghiệm và kích bản thí nghiệm

Tỉ lệ mô hình phải đảm bảo các điều kiện tương tự, cụ thể mô hình và nguyên hình phải tương tự về mặt hình học, các điều kiện độ sâu mực nước ở nước sâu và nước nông trên thềm, điều kiện sóng và kích thước rạn ngầm cũng phải được thỏa mãn. Tỉ lệ mô hình được lựa chọn là 1/15. Cấu kiện RB trong mô hình được thu phóng theo tỉ lệ 1/15, sử dụng vật liệu gốm nung có độ nhám tương đương 0,0097÷0,011. Kích thước một khối RB được mô tả tại Hình 3.



Hình 3. Các tham số của khối Reef Ball™ trên nguyên hình và mô hình.

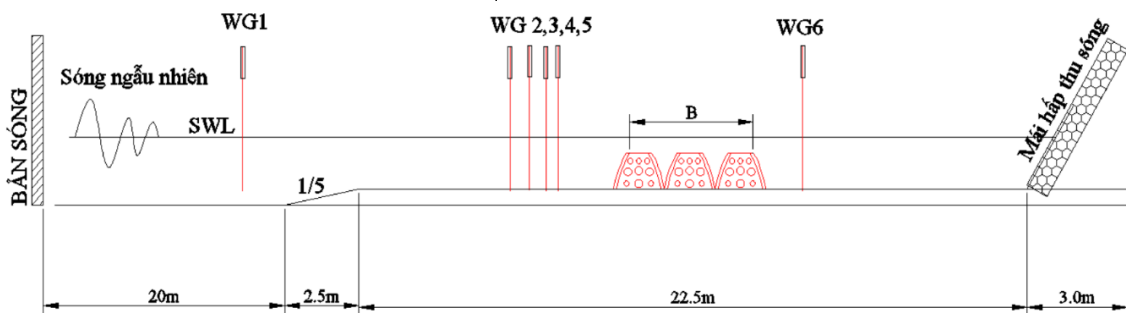
Các cấu kiện RB được sắp xếp với nhau theo phương án bố trí không gian để tạo thành rạn ngầm giảm sóng. Sơ đồ bố trí mặt bằng rạn ngầm Reef Ball™ như Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ bố trí mặt bằng kết cấu rạn ngầm Reef Ball™.

Sơ đồ thí nghiệm mô hình được sơ họa như Hình 5, trong đó: chiều dài máng sóng 50 m với phần nước sâu là 20 m; phần vách dốc 1/5 là 2,5 m; thêm san hô B là 22,5 m và mái sau là 3 m; Thiết bị đo sóng DHI Wave Amplifier 102E gồm các đầu đo Wave Gauge 202, bộ khuếch đại 102E, cáp nối các đầu đo với module thu thập số liệu và nguồn cấp. Tổng cộng có 06 đầu đo từ WG1 đến WG6 được sử dụng nhằm xác định chiều cao sóng ở trước và sau tuyến công trình. Trong đó, WG1 đo sóng nước sâu; WG2, WG3 và WG4 dùng tách sóng phản xạ trước công trình; WG5 đo sóng phía trước công trình; WG6 đo sóng phía sau tuyến công trình. Các đầu đo WG2, WG3, WG4 được bố trí để xác định sóng phản xạ tuân thủ theo lý thuyết của Mansard và Funke (1980). Các yêu cầu về khoảng cách đầu đo phải được thực hiện để loại bỏ giá trị bất thường trong phép đo [23]. Sóng đo tại vị trí trước công trình WG5 là sóng tổng H_t , chiều cao sóng tới trước công trình H_{moi} xác định theo công thức sau với K_r

$$H_{moi} = \frac{H_t}{\sqrt{1 + K_r^2}}$$



Hình 5. Sơ đồ bố trí thí nghiệm về hiệu quả giảm sóng của kết cấu ngầm RB.

Ma trận các kịch bản thí nghiệm như Bảng 1. Tổng số kịch bản là 100 ($4 \times 5 \times 5$). Trong đó 04 phương án bề rộng rạn ngầm B; 05 phương án sóng H_s , T_p và 05 phương án mực nước tương đương với 05 phương án độ ngập đỉnh rạn R_c (khoảng cách từ mực nước tới đỉnh rạn).

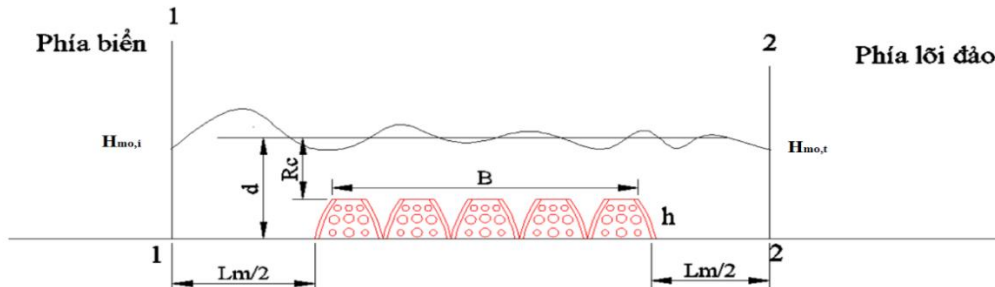
Bảng 1. Ma trận kịch bản thí nghiệm.

Mô hình				Nguyên hình			
B(m)	H_s (cm)	T_p (s)	R_c (cm)	B(m)	H_s (cm)	T_p (s)	R_c (m)
1,80	10	1,5	0	28,5	1,5	5,81	0,0
1,50	12	1,7	2,5	22,5	1,8	6,58	0,375
1,20	15	1,8	5,0	18,0	2,25	6,97	0,750
0,80	18	1,9	7,5	12,0	2,7	7,36	1,125
	20	2,1	10,0		3	8,13	1,500

2.5. Các tham số đo đạc và tính toán

Các tham số đo đạc sóng bao gồm chiều cao sóng và chu kỳ sóng. Đối với vùng nước sâu là chiều cao sóng ý nghĩa H_s và chu kỳ sóng T_p . Đối với vùng nước nông trên thêm phổ

sóng có xu thế bị thay đổi, lúc này thay vì sử dụng chiều cao sóng H_s và chu kỳ T_p , chiều cao sóng mô men H_{mo} và chu kỳ phổ sóng đặc trưng $T_{m-1,0}$ được sử dụng. Hệ số truyền sóng K_t là tỷ số giữa chiều cao sóng phía sau so với chiều cao sóng đến phía trước rạn ngầm nhân tạo: $K_t = \frac{H_{mo,t}}{H_{mo,i}}$; Hiệu quả giảm sóng ε (%) = $100 \times (1 - K_t)$ [10] (Hình 6).

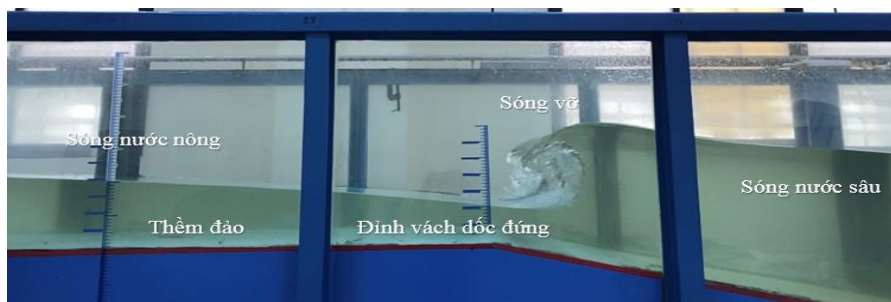


Hình 6. Sơ đồ tính hệ số truyền sóng của rạn ngầm nhân tạo.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc tính sóng trên thềm đảo

Do rạn ngầm nhân tạo đặt trên thềm đảo nổi, sóng tới trước công trình không phải là sóng nước sâu mà là sóng nước nông được tạo thành trên thềm đảo, do vậy đặc tính của sóng nước nông trên thềm cần được đánh giá. Sóng nước sâu là sóng tuyến tính với hai tham số được xét đến chiều cao sóng ý nghĩa (H_s) và chu kỳ đỉnh sóng nước sâu (T_p), khi sóng nước sâu truyền vào đảo gặp vách dốc đứng đa phần bị vỡ trên khu vực lân cận đỉnh vách dốc đứng do sự suy giảm đột ngột của độ sâu. Các quá trình vật lý như sóng phản xạ, sóng vỡ, sóng truyền và hiệu ứng ma sát đáy làm suy giảm năng lượng và chiều cao sóng. Sóng nước nông được hình thành trên thềm và tiếp tục truyền vào bờ, lõi đảo nổi [23], quá trình truyền sóng trên đảo nổi như Hình 7.

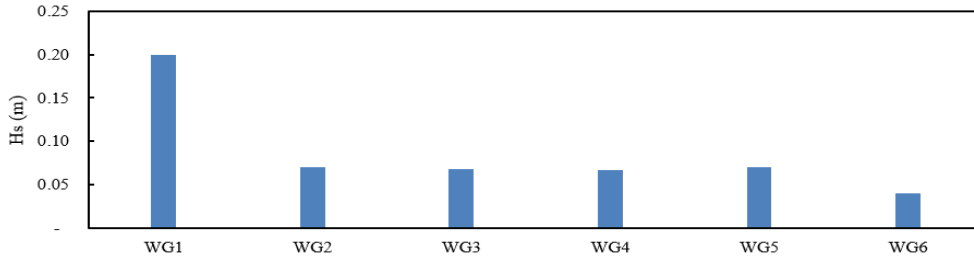


Hình 7. Quá trình truyền sóng trên đảo nổi kích bản d14H20T1.9.

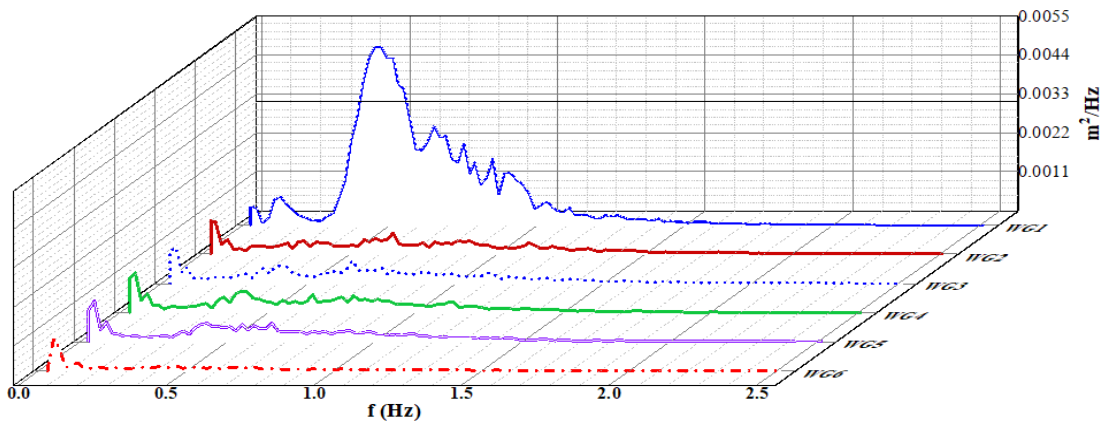
Về chiều cao sóng, từ kết quả của 100 kịch bản thí nghiệm cho thấy chiều cao sóng nước nông trên thềm đảo bị suy giảm rất mạnh. Tỷ lệ suy giảm lớn nhất lên tới 68,6% với kịch bản mực nước d14H20T1.9 tương ứng với mực nước nhỏ $d = 14$ cm, ngang với đỉnh rạn ngầm, độ ngập $R_c = 0$ cm; chiều cao sóng tới lớn ($H_s = 20$ cm) và chu kỳ sóng dài ($T_p = 1,9$ s). Hình 8 cho thấy biến trình độ cao sóng tại các đầu đo sóng với kịch bản có tỷ lệ suy giảm chiều cao sóng lớn nhất d14H20T1.9. Khi đó, chiều cao sóng tại vùng nước sâu WG1 có $H_s = 0,20$ m; chiều cao sóng tại các vị trí trên thềm đảo WG2 là 0,0695 m; tại WG3 là 0,0679 m; tại WG4 là 0,0668 m; tại WG5 là 0,0696 m (chiều cao sóng nước nông sau tại vị trí trước rạn ngầm nhân tạo); chiều cao sóng tại vị trí phía sau rạn ngầm tương ứng WG6 là 0,0397 m.

Về chu kỳ sóng, kết quả thí nghiệm từ 100 kịch bản cho thấy, sóng nước nông có chu kỳ dao động từ 1,7-7,5 s trong mô hình, tương ứng với chu kỳ từ 6,6-29 s trong nguyên hình. Như vậy có thể thấy, sóng nước nông trên thềm đảo bao gồm hai loại: sóng ngắn (chu kỳ nhỏ

hơn 20 s) và sóng dài (sóng ngoại trọng lực, chu kỳ đo đặc từ thí nghiệm lên tới 29 s). Sự xuất hiện sóng ngoại trọng lực trên thềm đảo cho thấy sự phù hợp với các nghiên cứu trước đó về chế độ thủy động lực sóng trên rạn ngầm có vách dốc đứng [11]. Bên cạnh đó, khi truyền vào vùng nước nông, sóng bị vỡ, hình dạng phổ năng lượng sóng bị biến đổi. Đỉnh phổ có xu thế dịch chuyển sang trái, đỉnh phổ tần số thấp tăng nhanh về gần bờ, phổ năng lượng sóng như Hình 9.



Hình 8. Biến trình độ cao sóng tại các đầu đo sóng với kích bản d14H20T1.9.



Hình 9. Phổ năng lượng sóng đo đặc ứng với kích bản d14H20T1.9.

3.2. Ảnh hưởng của sóng nước nông đến hiệu quả giảm sóng của rạn ngầm

Đánh giá ảnh hưởng của sóng nước nông trên thềm tới hệ số truyền sóng thông qua đánh giá tương quan giữa hệ số truyền sóng K_t và độ dốc sóng biểu kiến S_{om} , được xác định theo công thức: $S_{om} = \frac{2\pi H_{mo}}{gT_{m-1,0}^2}$. Trong công thức S_{om} , chiều cao sóng nước nông H_{mo} được lấy là chiều cao sóng tới trước công trình.

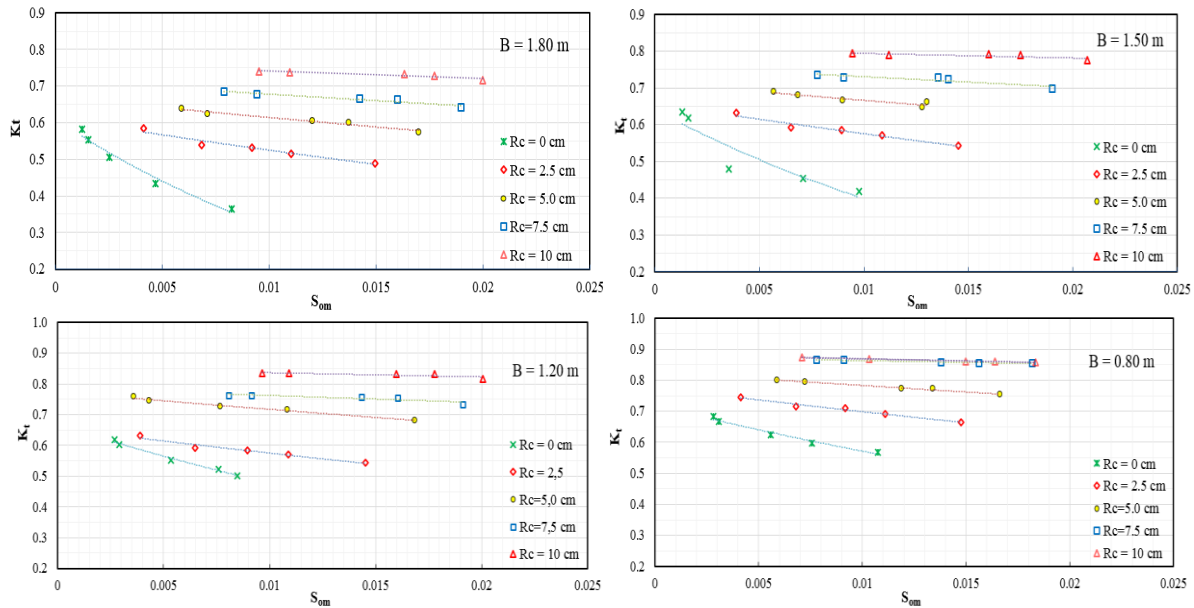
Sử dụng 100 kích bản thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của tham số sóng nước nông đến hệ số truyền sóng K_t . Đồ thị tương quan giữa S_{om} và K_t ứng với các bề rộng B và độ ngập đỉnh R_c như trình bày trong Hình 10.

Kết quả trên Hình 10 cho thấy: (1) Độ dốc sóng biểu kiến S_{om} trong khoảng từ 0,001 đến 0,022. Độ dốc này khá nhỏ, theo công thức tính $S_{om} = \frac{2\pi H_{mo}}{gT_{m-1,0}^2}$ cho thấy sóng nước nông trên

thềm có chiều cao nhỏ và chu kỳ sóng dài, đây là đặc tính quan trọng của sóng nước nông trên thềm đảo, chiều cao sóng giảm mạnh, và xuất hiện sóng ngoại trọng lực với chu kỳ dài; (2) Độ dốc sóng S_{om} tại vị trí trước công trình và hệ số truyền sóng K_t có tương quan nghịch biến, S_{om} tăng thì K_t giảm và ngược lại.

Độ dốc sóng S_{mo} là tham số có ảnh hưởng đáng kể đến hệ số truyền sóng K_t , tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng không đều: (1) Với các bề rộng rạn ngầm khác nhau thì khi bề rộng đỉnh rạn ngầm lớn thì đường tương quan có xu thế dốc. Ngược lại khi bề rộng đỉnh nhỏ thì đường tương quan có xu thế duỗi ngang. Điều này cho thấy độ dốc sóng S_{om} biểu kiến ảnh hưởng đáng kể tới K_t khi bề rộng lớn và ít ảnh hưởng khi bề rộng nhỏ; (2) Với cùng bề rộng đỉnh

thì khi độ ngập đỉnh rạn ngầm nhỏ, đồ thị đường tương quan có xu thế dốc hơn, sóng tới ảnh hưởng lớn hơn tới hệ số truyền sóng. Ngược lại, khi độ ngập tăng lên, độ dốc đường tương quan giảm đi, vai trò của độ dốc sóng biểu kiến S_{om} tới K_t cũng giảm đi.



Hình 10. Tương quan độ dốc sóng biểu kiến S_{om} và hệ số truyền sóng K_t .

Cũng từ kết quả trên Hình 10 cho thấy: (1) Khi độ dốc sóng $S_{om} < 0,08$ và bề rộng tương đối rạn ngầm $B/d > 7,5$, đồ thị với xu thế phi tuyến do đó hệ số truyền sóng K_t phụ thuộc vào cả bề rộng tương đối B/d và độ dốc sóng biểu kiến S_{om} ; (2) Khi độ dốc sóng S_{om} trong khoảng từ $0,008 \leq S_{om} \leq 0,020$ và bề rộng tương đối rạn ngầm B/d trong khoảng $4,0 \leq B/d \leq 7,5$, đồ thị với xu thế tuyến tính, do đó hệ số truyền sóng K_t chỉ phụ thuộc vào B/d ; (3) Khi $S_{om} > 0,02$; $B/d < 4,0$ đồ thị là đường thẳng nằm ngang, khi đó hệ số truyền sóng K_t luôn là hằng số.

4. Kết luận

Bài báo sử dụng kết quả từ thí nghiệm mô hình vật lý máng sóng với 100 kịch bản thí nghiệm để nghiên cứu đặc tính của sóng nước nông trên thềm đảo nổi san hô xa bờ và ảnh hưởng của tham số sóng nước nông tới hiệu quả giảm sóng của rạn ngầm. Kết quả cho thấy:

- Sóng nước nông trên thềm có chiều cao sóng nhỏ, tỉ lệ suy giảm chiều cao sóng trên thềm so với sóng nước sâu lớn nhất lên tới 68,6%.
- Trên thềm đảo xuất hiện hai loại sóng là sóng ngắn (chu kỳ sóng nhỏ hơn 20s) và sóng ngoại trọng lực (chu kỳ T_m lên tới 29s).
- Hình dạng phổ sóng nước nông có sự biến đổi mạnh, đỉnh phổ có xu thế dịch chuyển về phía có tần số thấp.
- Tham số độ dốc sóng biểu kiến S_{mo} có ảnh hưởng đáng kể tới hệ số truyền sóng K_t với xu thế nghịch biến.

Khi $S_{om} < 0,08$ và $B/d > 7,5$ thì hệ số truyền sóng K_t phụ thuộc vào cả B/d và S_{om} .

Khi $0,008 \leq S_{om} \leq 0,02$ và $4,0 \leq B/d \leq 7,5$ thì hệ số truyền sóng K_t chỉ phụ thuộc vào bề rộng tương đối của rạn.

Khi $S_{om} > 0,02$; $B/d < 4,0$ thì hệ số truyền sóng K_t luôn là hằng số.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.T.T., L.H.T.; Xử lý số liệu: P.T.T.; Viết bản thảo bài báo: P.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.T., L.H.T.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây.

Tài liệu tham khảo

1. Armono, H.D.; Kurniawan, A.; Rudhy, A.; Sujantoko. Wave spectrum change in the vicinity of artificial reef. *J. Indonesia Coral Reefs* **2011**, *1(2)*, 75–84.
2. Brotto, D.S.; Krohling, W.; Zalmon, W.; I. R. Fish community modeling agents on an artificial reef on the northern coast of Rio de Janeiro-Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* **2006**, 205–212.
3. Armono, H.D. Artificial reefs as shoreline protection structures. Seminar Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan IV, **2004**, pp. 1–14.
4. Online available: <https://reefballfoundation.org/>.
5. Agency, S.N. Reef balls: New ways to stop beach erosion tested on desroches island, 2022.
6. Tuấn, T.Q.; Cường, Đ.Q. Wave transmission across steep submerged reefs. International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC), Springer, 2019, pp. 687–694.
7. Bleck, M.; Hocine, O. Wave damping and spectral evolution at artificial reefs. Proceeding of the Ocean Wave Measurement and Analysis, 2002, pp. 1062–1072.
8. Lugo-Fernández, A.; Harry, H.R.; Joseph, N.S. Wave transformations across a Caribbean fringing-barrier coral reef. *Cont. Shelf Res.* **1998**, *18(10)*, 1099–1124.
9. Nelson, R.C. Depth limited design wave heights in very flat regions. *Coastal Eng.* **1994**, *23(1–2)*, 43–59.
10. Nakaza, E.; Mikio, H. Bore-like surf beat in a reef zone caused by wave groups of incident short period waves. *Fluid Dyn. Res.* **1991**, *7(2)*, 89–100.
11. Buckley, M.L.; Lowe, R.J.; Hansen, J.E.; Van Dongeren, A.R.; Storlazzi, C.D. Mechanisms of wave-driven water level variability on reef-fringed coastlines. *J. Geophys. Res. C: Oceans* **2018**, *123(5)*, 3811–3831.
12. Gourlay, M.R. Wave set-up on coral reefs. 2. Set-up on reefs with various profiles. *Coastal Eng.* **1996**, *28(1–4)*, 17–55.
13. Pomeroy, A.; Lowe, R.; Symonds, G.; Van Dongeren, A.; Moore, C. The dynamics of infragravity wave transformation over a fringing reef. *Geophys. Res. C: Oceans* **2012**, *117*, C11022.
14. Longuet-Higgins, M.S. On the statistical distribution of the height of sea waves. *JMR* **1952**, *11*, 245–266.
15. Demirbilek, Z.; Okey, G.N.; Donald, L.W. Laboratory study of wind effect on runup over fringing reefs, Report 1: data report, 2007.
16. Hajime, M.; Iwagaki, Y. Wave height distribution and wave grouping in surf zone. *Coastal Eng. Proc.* **1982**, *18*, 58–75.
17. Glukhovskiy, B.H. Issledovanie morskogo vetrovogo volnenia (Study of sea wind waves). Leningrad, Gidrometeoizdat, 1996.
18. Klopman, G. Extreme wave heights in shallow water. H2486, Delft Hydraulics, The Netherlands, 1996.
19. Tuấn, T.Q. Bài giảng mô hình vật lý Kỹ thuật biển, Hà Nội, 2021.
20. Rattanapitikon, W. Verification of conversion formulas for computing representative wave heights. *Ocean Eng.* **2000**, *37(17–18)*, 1554–1563.
21. Hậu, L.P.; Hoi, T.Đ. Lý thuyết thí nghiệm công trình thủy. Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội, 2003.
22. Lin, C.Y.; Ching-Jer, H. Decomposition of incident and reflected higher harmonic waves using four wave gauges. *Coastal Eng.* **2004**, *51(5–6)*, 395–406.
23. Thúy, P.T.; Trung, L.H.; Tùng, T.T. An Empirical Prediction of $T_{m-1,0}$ on the reef flat of atolls. Proceedings of the 4th International Conference on Sustainability in Civil Engineering: ICSCCE 2022, Springer Nature, 2023, pp. 344.

Influence of wave representative slope on artificial reef effectiveness in shallow water

Pham Thi Thuy^{1*}, Le Hai Trung²

¹ Faculty of Mechanical Engineering, Le Quy Don Technical University; thuy39vtl@gmail.com; thuy39vtl@lqdtu.edu.vn

² Faculty of Civil Engineering, Thuyloi University; trung.l.h@tlu.edu.vn

Abstract: This study investigates the characteristics of shallow water waves and their impact on the effectiveness of artificial reefs in wave reduction using physical model experiments in a wave flume. Results reveal two key characteristics of shallow water waves: a sharp decrease in both wave energy and wave height, and the emergence of infragravity waves with periods exceeding 29 seconds. Analysis of the correlation between the wave representative slope parameter (S_{om}) and the wave transmission coefficient (K_t) demonstrates the significant influence of S_{om} on wave reduction efficiency. A nonlinear, inverse relationship exists between S_{om} and K_t . Specifically, the study identifies three distinct regimes: When $S_{om} < 0.08$ and $B/d > 7.5$: K_t depends on both the relative reef width (B/d) and S_{om} ; When $0.008 < S_{om} < 0.02$ and $4.0 < B/d < 7.5$: K_t is primarily dependent on B/d ; $S_{om} > 0.02$ and $B/d < 4.0$: K_t remains constant. These findings provide valuable insights for optimizing the design and placement of artificial reefs for effective coastal protection in shallow water environments.

Keywords: Artificial reefs; Shallow water waves; Wave Representative Slope; Infragravity Waves; Wave reduction efficiency.