

MÔ HÌNH TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG SÓNG TRUYỀN QUA HÀNG RÀO TRE

Mai Cao Trí^{a,*}, Nguyễn Văn Vương^a, Hồ Đức Đạt^a, Ngô Thị Thùy Anh^b, Đào Hoàng Tùng^b

^aKhoa Xây dựng Công trình Biển & Dầu khí, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi 175 Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

^cKhoa Khoa học biển và Hải đảo, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội,
41A Phú Diễn, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 17/12/2018, Sửa xong 14/02/2019, Chấp nhận đăng 27/03/2019

Tóm tắt

Hàng rào tre đã được sử dụng để giảm sự tác động của sóng lên cây ngập mặn mới đem trồng trong quá trình khôi phục đai rừng ven biển đã bị mất đi tại bờ biển đồng bằng sông Cửu Long. Hiệu quả giảm sóng của hàng rào tre này đã được mô phỏng bằng mô hình SWASH trong nghiên cứu này. Kết quả cho thấy khi hàng rào bị ngập trong nước thì hiệu quả giảm sóng nhỏ hơn so với trường hợp mực nước bằng hoặc nhỏ hơn cao trình đỉnh hàng rào. Hệ số giảm sóng tăng lên khi chu kỳ sóng giảm và ngược lại. Hệ số giảm sóng có giá trị từ 0,15 đến 0,35 khi hệ số mặt thoáng của đỉnh hàng rào thay đổi từ 0 đến 2. Hệ số cản và độ phân tán của nó cũng tăng lên theo kd .

Từ khóa: hàng rào tre; hệ số giảm sóng; SWASH.

NUMERICAL SIMULATION OF WAVE TRANSMITTING THROUGH A BAMBOO FENCE

Abstract

Bamboo fences have been used to reduce the impact of waves on mangroves that were newly planted during the restoration of the coastal forest belt that was lost at the coast of the Mekong Delta. The reduction effect of this bamboo fence is simulated by the SWASH model in this study. The results show that when the fence is submerged in water, the reduction effect is smaller than if the water level is equal to or less than the crest height of the fence. The reduction coefficient increases as the wave period decreases and vice versa. The wave reduction coefficient varies from 0.15 to 0.35 if the crest freeboard of the bamboo fence has a value of 0 to 2. Drag coefficient and its scatter are increased as kd increasing.

Keywords: bamboo fence; wave reduction coefficient; SWASH.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(1V\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(1V)-08) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Do biến đổi khí hậu và nước biển dâng, đai rừng ngập mặn dọc theo bờ biển tại nước ta đã và đang bị suy thoái nghiêm trọng. Sự mất đi đai rừng ngập mặn đã dẫn đến hiện tượng xói lở bờ biển diễn ra với tốc độ ngày càng tăng [1–3]. Đã có một số giải pháp công trình cứng chống xói lở bờ biển được áp dụng như đập trụ rồng phá sóng và tường cọc bê tông ly tâm phá sóng. Tuy nhiên các giải pháp này có chi phí cao nên không phù hợp cho các vùng kinh tế thấp. Trồng cây ngập mặn để từng bước khôi phục đai rừng ngập mặn là một trong những giải pháp mềm đã và đang được áp dụng hiện nay dọc

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: trimc@nuce.edu.vn (Trí, M. C.)

theo bờ biển nước ta. Hệ thống hàng rào tre giảm sóng nhằm gây bồi tạo bãi và bảo vệ cây mới trồng đóng vai trò quan trọng trong công việc trồng cây ngập mặn khôi phục đai rừng bảo vệ đê và bờ biển. Hàng rào tre (vật liệu chủ yếu được sử dụng là tre và cành cây) được sử dụng trong nghiên cứu này còn có những tên gọi khác nhau như “tường tre - Bamboo Wall” hay “Cọc tre giảm sóng - Bamboo Wave Attenuator”. Nhìn chung, có rất ít nghiên cứu về hiệu quả giảm sóng qua vật liệu này. Halide và cộng sự [4] sử dụng các hàng cọc tre phía trước bãi biển có chức năng giống như rễ và thân của rừng ngập mặn để giảm sóng. Phansri [5] đã giới thiệu hệ thống tường tre nhằm bảo vệ bãi biển Pak Klong Bangboo, Thái Lan trước vấn đề xói lở. Tuy nhiên, nghiên cứu này chỉ dừng lại ở việc thu thập và biểu diễn số liệu thu thập trước và sau hàng rào tre, không đưa thêm bất kỳ tính toán nào trong hiệu quả giảm sóng.

Ngày nay các mô hình đã và đang trở thành công cụ không thể thiếu được để dự báo chế độ thủy động lực học tại các vùng ven biển. Tuy nhiên hầu hết các mô hình chưa kể đến được độ rỗng khi tính toán, chỉ có một số mô hình có thể làm được việc này như mô hình SWASH giúp việc mô phỏng sát hơn với thực tế. SWASH là viết tắt của cụm từ “Simulating Waves till Shore”, được phát triển bởi các nhà khoa học tại Đại học Delft [6]. Nghiên cứu này sẽ sử dụng mô hình toán SWASH để mô phỏng sóng truyền qua hàng rào tre và đánh giá hiệu quả giảm sóng của hàng rào tre trong các điều kiện mực nước và chiều cao sóng khác nhau.

2. Phương pháp luận

SWASH là mô hình số trị phi thủy tĩnh mô tả dòng chảy có bề mặt thoáng và hiện tượng truyền chất trong không gian một, hai hay ba chiều [6]. SWASH được sử dụng để dự đoán sự biến đổi của sóng bề mặt phân tán từ vùng nước sâu đến bãi biển để nghiên cứu và động lực tại các khu vực sóng vỡ, sự truyền sóng và xáo động tại các cảng và bến cảng, dòng chảy nước nông biến đổi gấp thường thấy trong lũ lụt ven biển. Mô hình này có thể được sử dụng để tính toán thủy động lực trong hiện tượng biến đổi sóng, dòng chảy nổi và xáo trộn rối, độ mặn, nhiệt và trầm tích lơ lửng trong vùng biển, ven biển, cửa sông, sông và hồ. SWASH có thể được chạy trong chế độ trung bình độ sâu hoặc chế độ phân tầng trong đó miền tính toán được chia thành một số nhất định các lớp nước, uốn theo địa hình đáy. SWASH bao gồm các quá trình: (i) Biến dạng sóng trong cả vùng sóng vỡ và dải sóng tràn mặt bãi (swash zone) do tương tác sóng phi tuyến, sự tương tác của sóng với dòng chảy và sự tương tác của sóng với công trình, sự giảm sóng qua thực vật, và sóng vỡ cũng như sóng leo lên mặt bãi biển; (ii) Dòng chảy biến đổi gấp thường thấy trong lũ lụt ven biển là hệ quả của vỡ đê, sóng thần, lũ lụt và sóng; (iii) Dòng mật độ trong vùng cửa sông ven biển; (iv) Hoàn lưu quy mô lớn trên đại dương, thủy triều và bão. Mô hình SWASH được sử dụng để mô phỏng sóng qua hàng rào. Hệ phương trình được sử dụng để mô phỏng sóng truyền qua mặt cắt vuông góc với bờ là [6-8]:

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

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-d}^{\eta} u dz = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial ww}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial (P_{nh})}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial wu}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial (P_h + P_{nh})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

trong đó x và z lần lượt là phương ngang và phương đứng (mực nước) trong hệ tọa độ Decade; u và w là vận tốc hạt nước, η là dao động mực nước, t là thời gian, d là độ sâu nước, ρ là trọng lượng riêng của nước; Áp lực được chia ra là áp lực thủy tĩnh (P_h) và phi thủy tĩnh (P_{nh}) ứng với di chuyển của cột nước và hạt nước (khi hạt nước nằm ngoài không khí); Ứng suất rối τ được đặt mặc định theo mô hình.

Tại đáy, ứng suất đáy τ_b được áp dụng theo luật ma sát bậc hai [8]:

$$\tau_b = c_f \frac{U|U|}{\eta + d} \quad (5)$$

trong đó U là vận tốc trung bình theo độ sâu, c_f là hệ số ma sát đáy dựa vào hệ số nhám Manning n [6, 8].

$$c_f = \frac{n^2 g}{d^{1/3}} \quad (6)$$

trong đó g là gia tốc trọng trường.

Trong thiết lập lưới của SWASH, độ phân giải theo phương x , $\Delta x = 0,02$, với tỷ lệ là 1/100 bước sóng cực đại L_p . Theo Zijlema và Stelling [9], phương đứng được lựa chọn với ba lớp mô phỏng. Bước thời gian 10^{-4} s được sử dụng. Ma sát đáy $c_f = 0,002$ được áp dụng trên toàn bộ mô hình. Tất cả các lựa chọn khác của mô hình được sử dụng mặc định [6].

Để mô phỏng hàng rào, lựa chọn mô phỏng sóng giảm qua cây được áp dụng. Trong mô hình, năng lượng sóng giảm được thể hiện thông qua hệ số cản C_d áp dụng cho bãi ngang [10]:

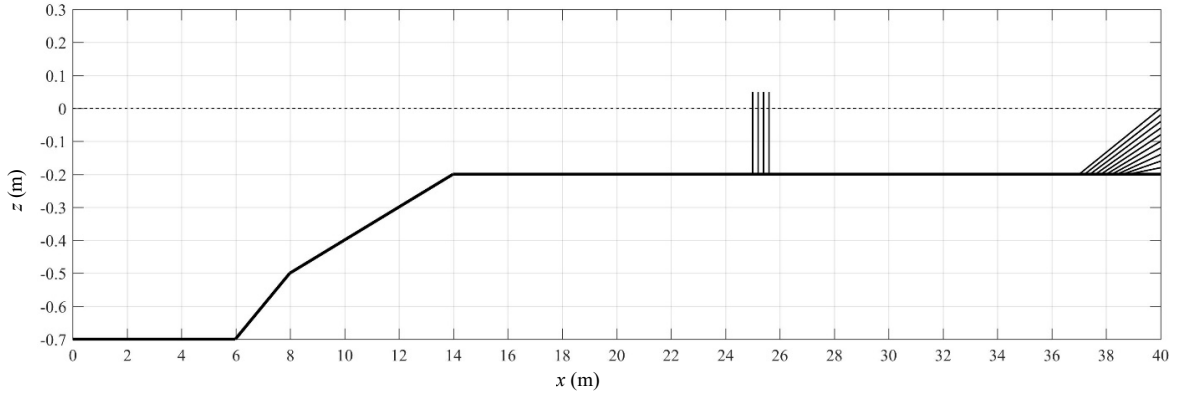
$$C_d = \frac{9\pi}{4} \frac{\beta}{kd_f N_f H_i} \frac{(\sinh(kd) + 2kd) \sinh(kd)}{\{\sinh^3(kd) + 3 \sinh(kd) + \cosh^3(kd) - 3 \cosh(kd) + 2\}} \quad (7)$$

$$K_t = \frac{1}{1 + \beta B_f} = \frac{H_t}{H_i} \quad (8)$$

trong đó N_f , d_f , H_f , B_f lần lượt là mật độ, đường kính, chiều cao và chiều rộng hàng rào; k là số sóng; K_t là hệ số truyền sóng qua hàng rào; H_i là chiều cao sóng tới trước hàng rào; H_t chiều cao sóng sau khi truyền qua hàng rào; β được xác định từ công thức (8).

Đối với độ dốc bãi thoải (1/1000) ở khu vực bờ biển khu vực đồng bằng sông Cửu Long, năng lượng sóng sẽ liên tục bị tiêu giảm vì sóng luôn nằm trong khu vực nước nông. Vì vậy mô phỏng sóng với độ dốc bãi thực tế sẽ khó có thể kiểm soát được chất lượng kết quả. Một giải pháp thay thế là sử dụng một độ dốc bãi kết hợp như trong Hình 1. Trong mô hình SWASH, hàng rào được thiết lập dạng nhóm cọc, không có lớp nhét ngang ở giữa. Tuy nhiên, trong công thức tính toán, năng lượng tiêu giảm sóng được sử dụng có thành phần lực ngang và lực dọc được phát triển tiếp từ Mendez [10]. Đường kính cọc sử dụng trong mô hình này là $d_f = 0,01$ m và mật độ cọc của hàng rào là $N_f = 1600$ cọc/m². Bề rộng của hàng rào B_f thay đổi từ 0,40 m đến 0,64 m và chiều cao của hàng rào là $H_f = 0,25$ m.

Trong Hình 1, sóng được truyền vào ở phía bên trái ở độ sâu 0,7 m. Sóng được triệt tiêu hết tại độ dài 40 m khi áp dụng lớp hấp thụ. Thông thường, để sóng có thể bị hấp thụ tốt nhất, lớp hấp thụ sóng có chiều dài bằng 1/3 chiều dài bước sóng, trong nghiên cứu này lớp hấp thụ được chọn là 3 m. Ba mực nước ở khu vực nước sâu được áp dụng: 0,70, 0,75, và 0,90 m. Tổng cộng có 07 độ rộng của hàng rào (B_f) được sử dụng tương ứng với 07 chu kỳ sóng T_p (1,4 đến 2,3 s). Hàng rào được cố định tại vị trí $x = 25$ m. Sóng được sử dụng làm đầu vào là sóng ngẫu nhiên theo phổ JONSWAP. Khi mô phỏng một kịch bản, chiều cao sóng và mực nước được giữ cố định. Dữ liệu đầu vào cho SWASH được thể hiện trong Bảng 1.



Hình 1. Mặt cắt bờ mô phỏng trong SWASH

Bảng 1. Thông số mô phỏng hàng rào tre

Độ rộng hàng rào, B_f (m)							Mức nước nông, d (m)		
0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,20	0,25	0,40
Chu kỳ sóng, T_p (s)							Chiều cao sóng, H_{m0} (m)		
1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	0,03	0,06	0,08

3. Kết quả mô phỏng

Trong phần này, một số kết quả sử dụng các thông số sau để thể hiện mức độ giảm sóng qua hàng rào. Hệ số truyền sóng qua hàng rào (K_t) được định nghĩa là tỷ số giữa chiều cao sóng sau khi truyền qua hàng rào (H_t) và chiều cao sóng tới (H_i): Trong phần này, một số kết quả sử dụng các thông số sau để thể hiện mức độ giảm sóng qua hàng rào. Hệ số truyền sóng qua hàng rào (K_t) được định nghĩa là tỷ số giữa chiều cao sóng sau khi truyền qua hàng rào (H_t) và chiều cao sóng tới (H_i):

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (9)$$

Để có thể thấy được sự phát triển của năng lượng sóng, hệ số giảm sóng (ε) được sử dụng:

$$\varepsilon = 1 - K_t \quad (10)$$

Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh hàng rào R_c/H_i (trong đó R_c là chiều cao lưu không của đỉnh hàng rào) được sử dụng để thể hiện mức độ giảm sóng trong các trường hợp có độ sâu nước d khác nhau:

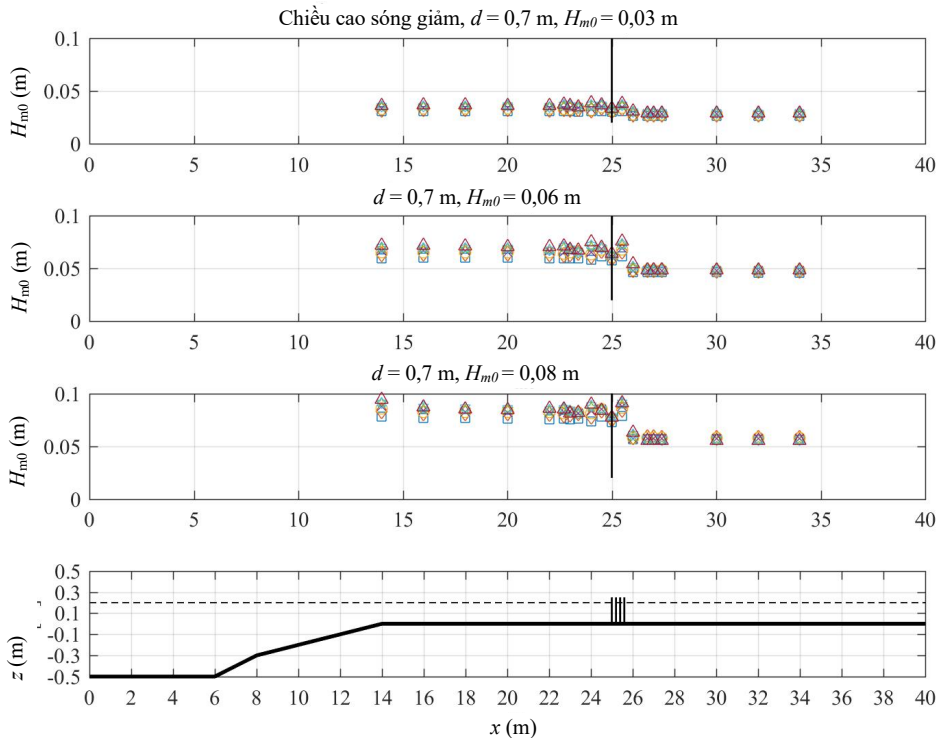
$$\frac{R_c}{H_i} = \frac{H_f - d}{H_i} \quad (11)$$

Ngoài ra, các thông số khác được sử dụng như độ sâu nước tương đối kd (k là số sóng) để mô tả sự ảnh hưởng của độ sâu nước tương đối đến sóng và số Ursell (U_r) để mô tả mức độ phi tuyến tính của sóng [11]:

$$U_r = \frac{H_i L_p^2}{d^3} \quad (12)$$

3.1. Sóng giảm trong các điều kiện mực nước

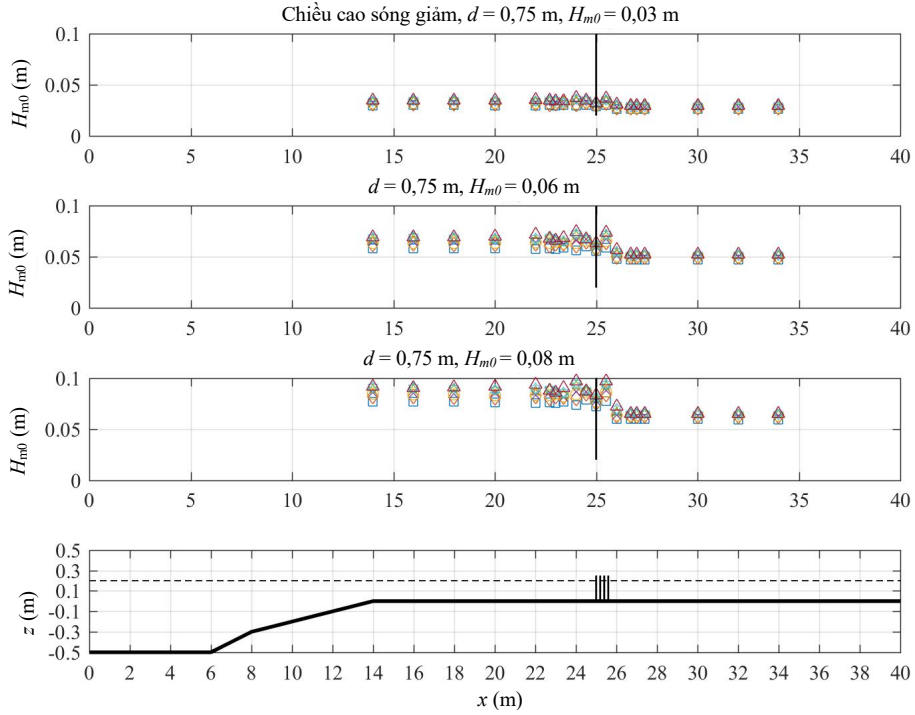
Nhìn tổng thể, trong tất cả các trường hợp mô phỏng sóng giảm qua hàng rào, cơ chế chung khi sóng tiếp xúc với hàng rào là phản xạ, tiêu tán (do hàng rào), và chuyển tiếp. Cơ chế này phụ thuộc nhiều vào chiều cao sóng và độ sâu mực nước. Với trường hợp chiều cao sóng nhỏ ($H_{m0} = 0,03$ m), năng lượng sóng bị phản xạ không lớn. Khi chiều cao sóng tăng lên ($H_{m0} = 0,06$ và $0,08$ m), sóng phản xạ có thể được quan sát rõ thông qua Hình 2–4. Mực nước cũng ảnh hưởng đến mức độ sóng tiêu giảm qua hàng rào. Có thể thấy rõ trong các kịch bản được mô phỏng, khi mực nước lớn hơn chiều cao hàng rào ($d = 0,90$ m, Hình 4), tức hàng rào bị ngập, chiều cao sóng giảm không được quan sát rõ như trường hợp mực nước nhỏ hoặc bằng với chiều cao hàng rào (Hình 2 và Hình 3).



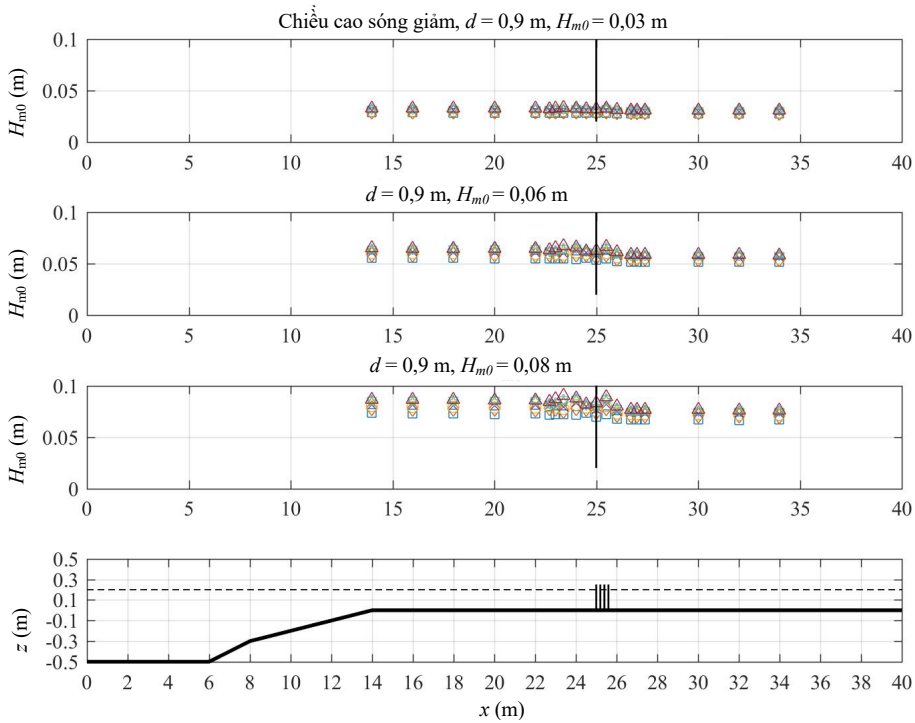
Hình 2. Sóng trước và sau hàng rào với trường hợp $d = 0,7$ m

3.2. Hệ số sóng giảm (ε)

Hệ số sóng giảm (ε) được thể hiện cùng với các thông số như kd , R_c/H_i và Ursell. Hệ số kd được sử dụng để mô tả sóng trong trường hợp nước sâu, nước chuyển tiếp và nước nông, trong đó k là số sóng ($k = 2\phi/L_p$) và d là độ sâu nước. Thông thường, $kd \ll \pi/10$ thuộc môi trường nước nông, và nước sâu $kd > \pi$. Trong các kịch bản mô phỏng sóng, sóng chủ yếu nằm trong khu vực nước chuyển tiếp. Trong Hình 5, mức độ giảm sóng ε từ 0,1 đến 0,35 đối với trường hợp $kd < 1$ và ε có giá trị từ 0,03 đến 0,1 đối với $kd > 1$. Nhìn chung hệ số giảm sóng của hàng rào tre giảm đi khi sóng có chu kỳ tăng lên và ngược lại khi chu kỳ sóng giảm thì hệ số giảm sóng tăng lên. Có thể nhìn thấy rõ mức độ ảnh hưởng của hệ số mật thoáng (R_c/H_i) đến hệ số giảm sóng ε trong Hình 6. Khi hàng rào bị ngập trong nước, R_c/H_i có giá trị âm, ε có giá trị từ 0,03 đến 0,12. Mức độ giảm sóng tăng lên khi mực nước bằng hoặc thấp hơn chiều cao hàng rào, khi đó ε có giá trị từ 0,15 đến 0,35. Mức độ tuyến

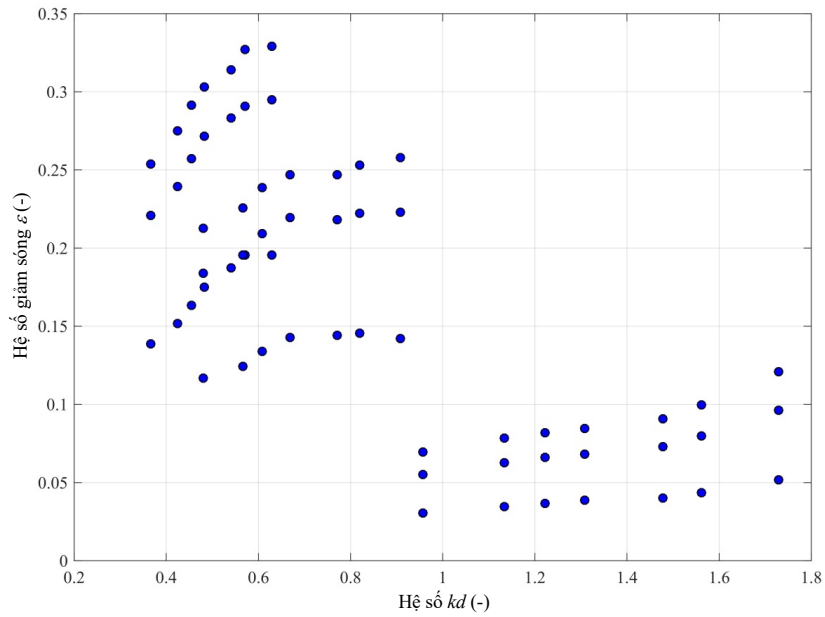


Hình 3. Sóng trước và sau hàng rào với trường hợp $d = 0,75$ m

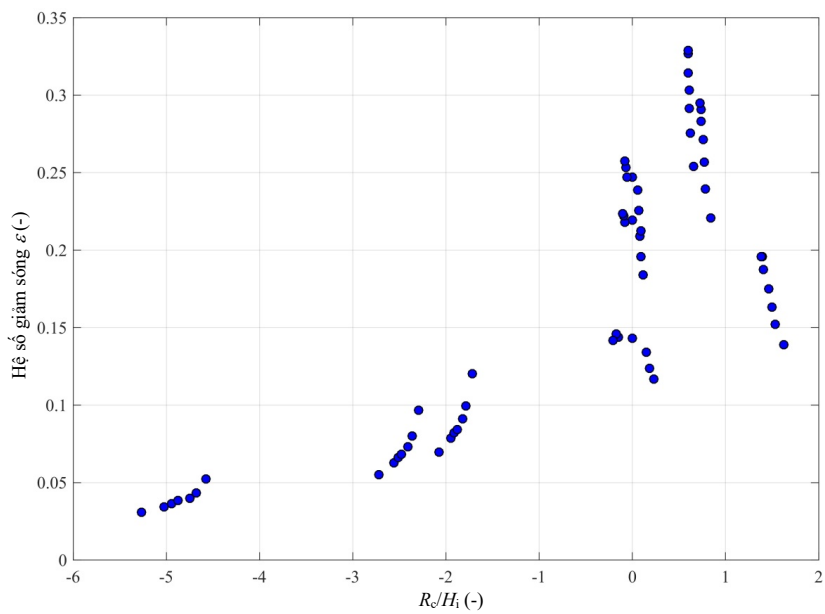


Hình 4. Sóng trước và sau hàng rào với trường hợp $d = 0,9$ m

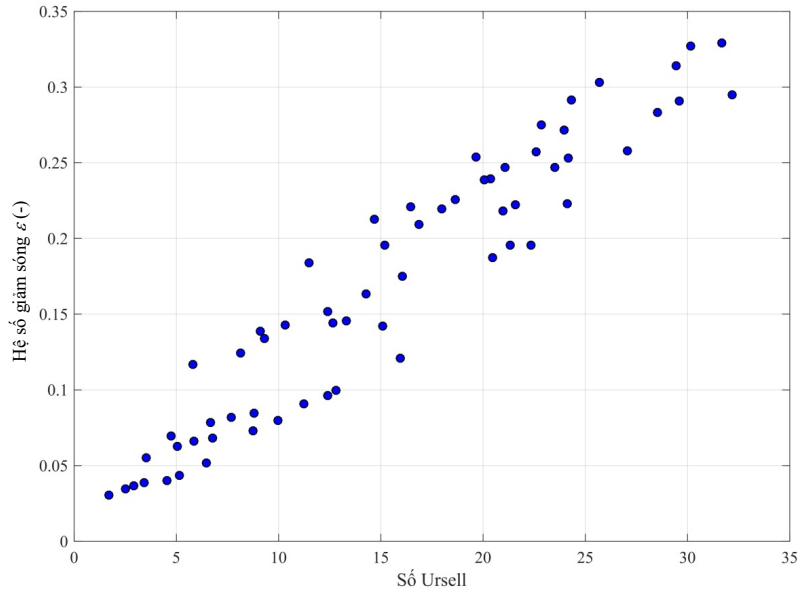
tính của sóng được thể hiện thông qua số Ursell, là tỷ số giữa độ dốc sóng (H/L) và tỷ số sóng vỡ (H/d). Số Ursell càng cao thì sóng càng phi tuyến. Hình 7 mô tả hệ số giảm sóng tăng tuyến tính với số Ursell từ kết quả mô phỏng trong nghiên cứu này.



Hình 5. Quan hệ giữa ε và kd



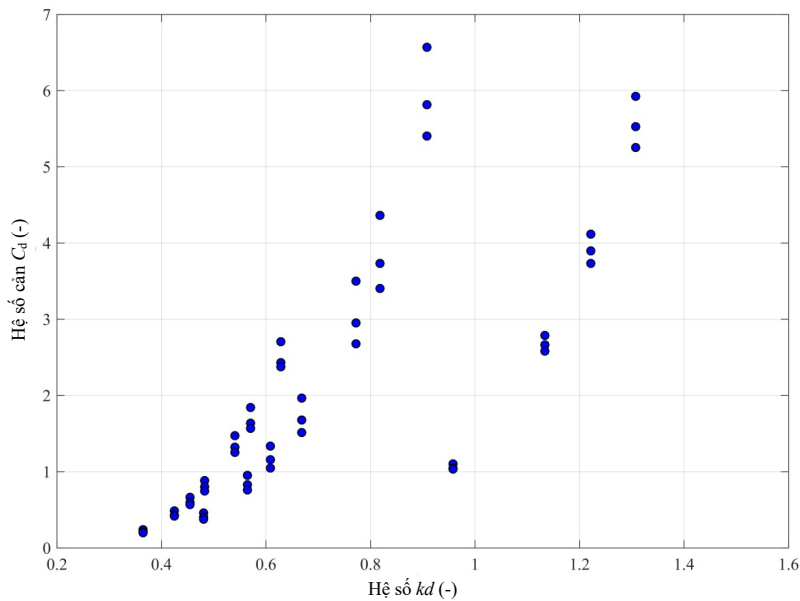
Hình 6. Quan hệ giữa ε và R_c/H_i



Hình 7. Quan hệ giữa ε và số Ursell

3.3. Hệ số cản C_d

Trong mô phỏng sóng giảm qua hàng rào tre, cơ chế vật lý có thể được hiểu thông qua hệ số cản C_d . Hình 8 thể hiện mối quan hệ giữa hệ số cản C_d và hệ số kd (độ sâu nước tương đối). Như thể hiện trong Hình 8 thì hệ số cản C_d tăng lên khi hệ số kd tăng. Cụ thể như khi kd tăng từ 0,36 lên 0,91 thì hệ số cản C_d tăng từ 0,2 đến 6,6 và khi kd tăng từ 0,96 đến 1,31 thì hệ số cản C_d tăng từ 1 lên đến 6. Như kết quả thể hiện trong Hình 8 cũng cho thấy độ phân tán của hệ số cản C_d tăng lên khi giá trị kd tăng.



Hình 8. Quan hệ giữa kd và C_d

4. Kết luận

Mô hình SWASH là mô hình có mức độ tin cậy cao đã được chứng minh qua các nghiên cứu khoa học khác nhau về sóng giảm, sóng vỡ và sóng giảm qua rừng ngập mặn. Cơ chế vật lý trong mô phỏng sóng qua hàng rào được mô tả khá rõ nét trong kết quả mô phỏng. Trong đó, khi hàng rào bị ngập trong nước, chiều cao sóng giảm thấp hơn khi mực nước bằng hoặc nhỏ hơn chiều cao hàng rào. Hàng rào tre mô phỏng trong mô hình SWASH của nghiên cứu này là theo kích cỡ của mô hình vật lý sau này sẽ làm thí nghiệm. Vì vậy, trong quá trình mô phỏng sóng truyền qua hàng rào theo tỷ lệ mô hình vật lý sẽ ảnh hưởng đến kết quả mô hình khi so sánh với tỷ lệ mô hình thực tế, ví dụ như hệ số ma sát đáy.

Hệ số giảm sóng được ε thể hiện mức độ sóng triệt tiêu qua hàng rào. Đối với các trường hợp sóng khác nhau thì hệ số giảm sóng thay đổi khác nhau. Cụ thể như đối với trường hợp sóng có hệ số $kd < 1$, hệ số giảm sóng ε có giá trị từ 0,1 đến 0,35. Đối với sóng có hệ số $kd > 1$ thì ε có giá trị nhỏ hơn (ε có giá trị từ 0,03 đến 0,1). Hệ số giảm sóng cũng bị ảnh hưởng bởi độ sâu của nước thông qua hệ số mất thoát R_c/H_i , ε có giá trị lớn từ 0,15 đến 0,35 khi giá trị R_c/H_i có giá trị từ 0 đến 2. Khi hệ số kd tăng thì hệ số cản C_d và độ phân tán của nó cũng tăng lên.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng cho các đề tài mã số 125-2018/KHXD và 36-2019/KHXD-TĐ.

Tài liệu tham khảo

- [1] Phái, V. (2016). *Xói lở bờ biển Việt Nam và biến đổi khí hậu toàn cầu*. Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [2] Besset, M., Brunier, G., Anthony, E. J. (2015). *Recent morphodynamic evolution of the coastline of Mekong river Delta: Towards an increased vulnerability*. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-5427-1, EGU General Assembly 2015, Vienna.
- [3] Tài nguyên và Môi trường. *Đồng bằng sông Cửu Long: Xói lở bờ biển bủa vây*. Truy cập ngày 16/05/2018.
- [4] Halide, H., Brinkman, R., Ridd, P. (2004). Designing bamboo wave attenuators for mangrove plantations. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences (IJMS)*, 33:210–225.
- [5] Phansri, W. (2011). *Coastal erosion protection and enhancing sediment deposition by bamboo wall at Samut Songkhram Provincen, Thailand*. Kasetsart University.
- [6] Zijlema, M., Stelling, G., Smit, P. (2011). *SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters*. *Coastal Engineering*, 58(10):992–1012.
- [7] Smit, P., Zijlema, M., Stelling, G. (2013). *Depth-induced wave breaking in a non-hydrostatic, near-shore wave model*. *Coastal Engineering*, 76:1–16.
- [8] Rijnsdorp, D. P., Smit, P. B., Zijlema, M. (2012). *Non-hydrostatic modelling of infragravity waves using SWASH*. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(33):27.
- [9] Zijlema, M., Stelling, G. S. (2005). *Further experiences with computing non-hydrostatic free-surface flows involving water waves*. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 48(2):169–197.
- [10] Mendez, F. J., Losada, I. J. (2004). *An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields*. *Coastal Engineering*, 51(2):103–118.
- [11] Doering, J. C., Bowen, A. J. (1995). *Parametrization of orbital velocity asymmetries of shoaling and breaking waves using bispectral analysis*. *Coastal Engineering*, 26(1-2):15–33.