

Đánh giá khả năng giảm sóng của kè cọc bê tông có xét đến hình dạng mặt cắt cọc

Trần Thanh Duy^{1*}, Đinh Văn Duy^{2*}, Trần Ngọc Anh^{2*}, Nguyễn Thành Đạt^{2*}

¹ Học viên cao học, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

² Khoa Kỹ thuật Thủy lợi, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

TỪ KHOÁ

Flow-3D
Giảm sóng
Kè cọc
Sentinel V-20
Hình dạng cọc

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá hiệu quả giảm sóng của kè cọc bê tông với ba dạng tiết diện khác nhau (tròn, vuông và hình thoi) dựa trên số liệu sóng thực đo bằng thiết bị ADCP Sentinel-V20. Các chỉ số đánh giá bao gồm chiều cao sóng đặc trưng H_s và chiều cao sóng cực đại H_{max} , được tính toán trước và sau khi sóng đi qua các loại kè. Kết quả cho thấy kè cọc vuông có hiệu quả giảm sóng cao nhất, với mức giảm H_s khoảng 43% và H_{max} khoảng 29%. Kè cọc hình thoi và cọc tròn lần lượt đạt mức giảm H_s khoảng 39% và 38%, với H_{max} giảm tương ứng 13% và 17%. Kết quả nghiên cứu là cơ sở tham khảo cho việc lựa chọn hình dạng cọc phù hợp trong các dự án bảo vệ bờ.

KEYWORDS

Flow-3D
Wave reduction
Pile breakwater
Sentinel V-20
Pile shape

ABSTRACT

This study evaluates the wave attenuation effectiveness of concrete pile breakwaters with three different cross-sectional shapes (circular, square, and diamond) based on in-situ wave measurements using an ADCP Sentinel-V20. The significant wave height H_s and maximum wave height H_{max} were calculated before and after the waves passed through each breakwater type. The results indicate that the square-pile breakwater provides the highest reduction, with approximately 43% for H_s and 29% for H_{max} . The diamond-shaped and circular piles achieve reductions of around 39% and 38% in H_s , with corresponding reductions of 13% and 17% in H_{max} . These findings serve as a reference for selecting appropriate pile shapes in coastal protection projects.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là một trong những khu vực ven biển dễ bị tổn thương nhất ở Đông Nam Á, hiện đang đối mặt với tình trạng xói lở nghiêm trọng do sự giảm sút trầm tích từ các đập thủy điện thượng nguồn, sụt lún đất, khai thác cát và mực nước biển dâng [1-3]. Các tỉnh ven biển như Cà Mau và An Giang đã mất hàng trăm hecta rừng ngập mặn và đất nông nghiệp trong vài thập kỷ qua [4]. Các giải pháp bảo vệ bờ truyền thống như kè chắn sóng dạng đá đổ, kè bảo vệ bờ biển, ống vải địa kỹ thuật (geotube) và kè chữ T đã được triển khai rộng rãi [5, 6]. Tuy nhiên, những công trình này thường có chi phí xây dựng cao và có thể gây tác động tiêu cực đến chế độ vận chuyển trầm tích và hình thái bờ biển lân cận [7, 8].

Trong bối cảnh đó, các kè chắn sóng dạng cọc nhóm, đặc biệt là kè chắn sóng cọc ly tâm đổ đá (PRBW), nổi lên như một giải pháp tiềm năng cho khu vực ĐBSCL. Cấu trúc PRBW gồm các hàng cọc thẳng đứng được đổ đầy đá học, tạo thành một kết cấu rỗng có khả năng làm suy giảm năng lượng sóng trong khi vẫn cho phép nước và trầm tích đi qua [9]. Loại kè chắn sóng này nhẹ hơn và phù hợp với nền đất yếu hơn so với kè đá đổ truyền thống. Các công trình thực địa dọc bờ biển phía Tây tỉnh Cà Mau, bắt đầu từ năm 2010 và hiện đã mở rộng hơn 20 km,

cho thấy PRBW có hiệu quả rõ rệt trong việc làm giảm năng lượng sóng và thúc đẩy quá trình bồi tụ, phục hồi rừng ngập mặn [10-12].

Khái niệm kè chắn sóng dạng cọc nhóm được lấy ý tưởng từ hệ rễ cây được trong tự nhiên, vốn có khả năng giảm sóng thông qua cơ chế lực cản, tạo xoáy và tiêu tán năng lượng, đồng thời thúc đẩy quá trình lắng đọng trầm tích và phục hồi sinh thái [13]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra hiệu quả thủy lực của PRBW, bao gồm hệ số truyền sóng (K_t), hệ số phản xạ sóng (K_r) và hệ số tiêu tán năng lượng, đồng thời xây dựng các công thức thực nghiệm liên hệ các thông số này với đặc tính cấu trúc như chiều rộng đỉnh, độ rỗng và khoảng cách cọc [9, 14]. Các nghiên cứu thực nghiệm và mô hình số cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của độ dốc sóng và trạng thái ngập của công trình đối với khả năng giảm sóng [15-17].

Mặc dù đã có nhiều tiến bộ, các nghiên cứu về ảnh hưởng của hình dạng và cấu hình cọc đến khả năng giảm sóng còn hạn chế. Hầu hết các thiết kế hiện nay chỉ sử dụng cọc tròn, trong khi các dạng cọc khác (ví dụ: hình vuông, hình thoi) vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Nghiên cứu này nhằm bổ sung khoảng trống đó bằng cách đánh giá khả năng giảm sóng của các kè chắn sóng dạng cọc nhóm với nhiều hình dạng cọc khác nhau, thông qua mô hình số và phân tích chiều cao sóng có ý nghĩa từ dữ liệu mực nước.

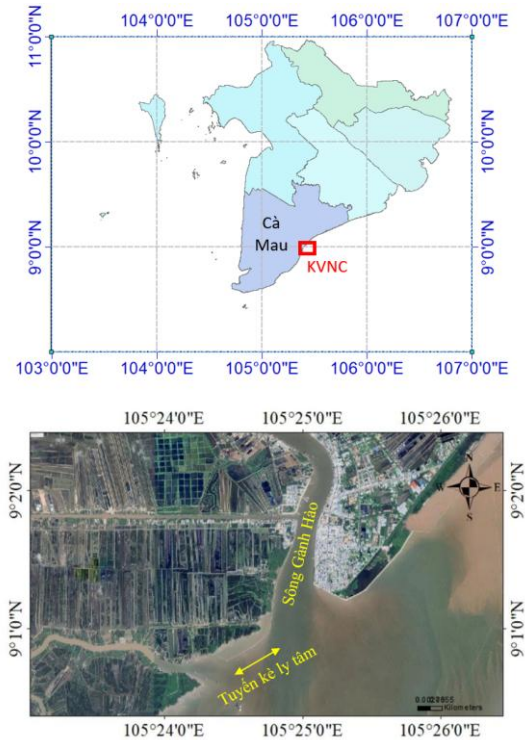
*Liên hệ tác giả: dvduy@ctu.edu.vn

Nhận ngày 29/07/2025, sửa xong ngày 04/08/2025, chấp nhận đăng ngày 05/08/2025

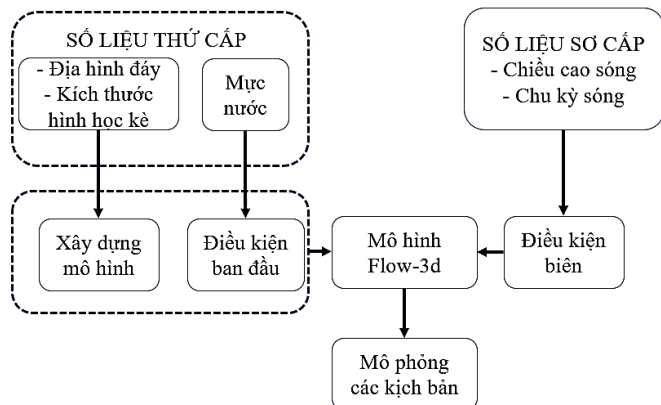
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.1067>

2. Phương pháp nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là tuyến kè cọc ly tâm tại cửa sông Gành Hào, tỉnh Cà Mau (**Error! Reference source not found.**).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Sơ đồ nghiên cứu.

Quy trình nghiên cứu được thực hiện theo các bước như trong sơ đồ trên

Hình 2. Trước tiên, số liệu thứ cấp bao gồm địa hình đáy và kích thước hình học của kè được thu thập để phục vụ công đoạn xây dựng mô hình, trong khi mực nước được sử dụng để thiết lập điều kiện ban đầu cho mô hình. Tiếp theo, số liệu sơ cấp như chiều cao sóng và chu kỳ sóng được sử dụng để thiết lập điều kiện biên. Tất cả các thông tin này được tích hợp vào mô hình Flow-3D, từ đó tiến hành mô phỏng các

kịch bản nhằm phân tích và đánh giá các tác động của sóng trong khu vực nghiên cứu.

2.1. Thu thập số liệu thứ cấp

Các số liệu thứ cấp về mực nước, địa hình đáy, kích thước hình học của kè cọc ly tâm được thu thập từ hồ sơ khảo sát, thiết kế Dự án đầu tư kè phòng, chống sạt lở biển Đông tại khu vực đặc biệt xung yếu [18].

Số liệu sóng được thu thập bằng thiết bị đo sóng ADCP Sentinel-V20. Trước khi tiến hành khảo sát, thiết bị ADCP được cố định vào một khung đỡ bằng thép không gỉ (khung inox) nhằm giữ vững vị trí thiết bị dưới tác động của sóng, gió và dòng chảy trong suốt quá trình đặt máy dưới nước. Khung treo máy ADCP được thiết kế với một vòng cố định bao quanh thân máy, liên kết với khung thông qua cơ cấu dạng con lắc, cho phép thiết bị duy trì trạng thái thẳng đứng ngay cả trong điều kiện địa hình gồ ghề, nhằm đảm bảo độ chính xác và hạn chế sai số trong quá trình đo đạc. (

Hình 3).



Hình 3. Lắp đặt thiết bị đo sóng ADCP Sentinel-V20.

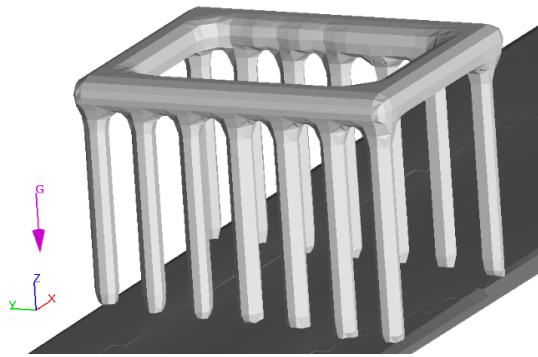
2.2. Xây dựng mô hình Flow-3D

Để tiến hành mô phỏng quá trình lan truyền sóng qua công trình kè cọc ly tâm, một mô hình ba chiều của hệ thống cọc ly tâm đã được xây dựng dựa trên dữ liệu địa hình đáy biển đo đạc thực tế tại khu vực nghiên cứu. Các thông số phục vụ cho việc thiết lập mô hình được thu thập từ hồ sơ thiết kế Dự án đầu tư kè phòng, chống sạt lở biển Đông tại khu vực đặc biệt xung yếu [18].

Trong nghiên cứu này, mô hình sử dụng lưới cấu trúc với kích thước ô lưới đồng nhất, mỗi cạnh dài 0,1 m, nhằm đảm bảo khả năng mô phỏng chính xác chiều cao sóng tại khu vực nghiên cứu. Mô hình kè cọc tròn sau khi được dựng bằng lưới cấu trúc 0,1 m và tiến hành kết xuất (render) được thể hiện trong

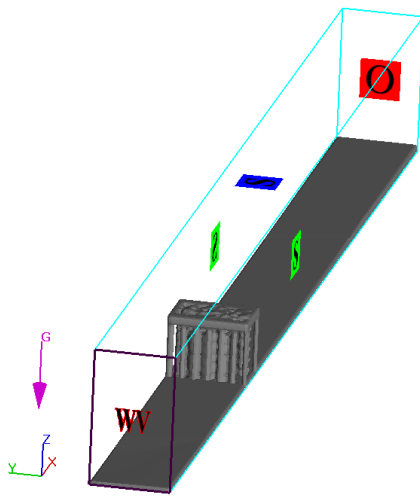
Hình 4. Việc chọn kích thước ô lưới 0,1 m nhằm đảm bảo mô hình mô phỏng được hình dạng cọc tròn có đường kính $d = 0,35$ m, cọc vuông

và cọc hình thoi có cạnh $a = 0,35$ m.



Hình 4. Mô hình kê cọc tròn được thiết lập trên lưới cấu trúc đều 0,1 m, với G là gia tốc trọng trường.

Sóng trong mô hình được mô phỏng truyền theo trục X , vì vậy biên X_{min} được thiết lập với điều kiện sóng vào, còn biên X_{max} được áp dụng điều kiện thoát dòng (Outflow). Các biên theo phương Y và Z giữ nguyên chế độ đối xứng mặc định, nhằm đảm bảo tính đại diện cho một lát cắt của đơn nguyên kê cọc ly tâm như trong thiết kế.



Hình 5. Điều kiện biên của mô hình.

Trong mô hình thủy động lực, điều kiện biên sóng được thiết lập dựa trên các đặc trưng của sóng Stokes hoặc sóng Cnoidal. Sóng được giả định phát sinh từ một hồ chứa có đáy phẳng nằm ngoài miền tính toán, với các thông số đầu vào cơ bản gồm chiều cao sóng H , bước sóng λ , và độ sâu cột nước trung bình d . Sóng truyền vào miền tính toán 3D không đều theo một hướng xác định thông qua biên lưới (mesh boundary), đồng thời vận tốc dòng chảy cũng được định nghĩa tại mặt nước trung bình. Việc mô tả chính xác các thông số này tại biên sóng là rất quan trọng nhằm đảm bảo mô hình mô phỏng đúng sự lan truyền và biến đổi của sóng trong miền tính toán. Do đó, điều kiện biên về sóng được lấy từ số liệu sóng thực đo bằng thiết bị ADCP Sentinel-V20 như đã mô tả ở trên.

Dựa vào số liệu sóng thực đo, điều kiện biên về sóng tại biên X_{min} được khai báo như sau:

Bảng 1. Các thông số điều kiện biên mô hình.

TT	Thông số	Giá trị
1	Chiều cao sóng H (m)	1,0
2	Chu kỳ sóng (s)	8,1
3	Cột nước trung bình tại điểm đo sóng (m)	4,76

2.3. Đánh giá hiệu quả giảm sóng của kê

Các số liệu sóng dùng để đánh giá hiệu quả giảm sóng là chiều cao sóng lớn nhất H_{max} và chiều cao sóng có nghĩa H_s . Trong đó, H_{max} và H_s được tính toán như sau [19]:

$$H_{max} = \max\{H_1, H_2, \dots, H_n\} \quad (1)$$

$$H_s = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{\frac{1}{3}N} H_n \quad (2)$$

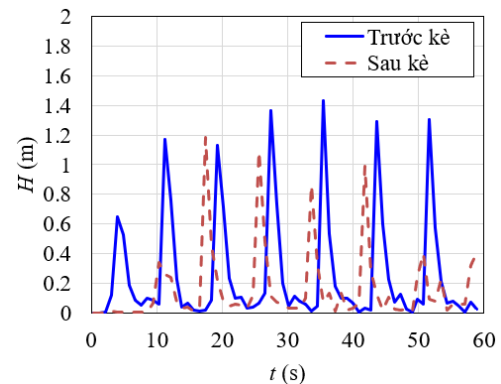
Trong đó H_n là chiều cao sóng thứ n trong khoảng 1/3 sóng có chiều cao lớn nhất của N số liệu sóng.

Hiệu quả giảm chiều cao sóng và năng lượng sóng được tính toán thông qua các công thức như trong nghiên cứu của Thuận và ctv. (2021) [20].

2.4. Kết quả

2.4.1. Hiệu quả giảm sóng của kê cọc tròn

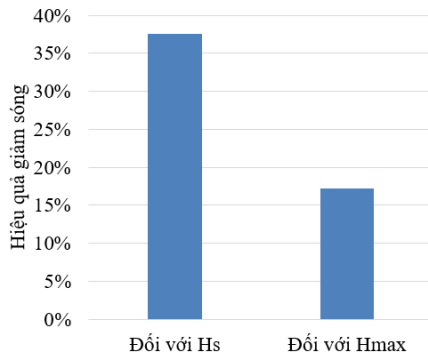
Hình 6 thể hiện sự biến đổi chiều cao sóng trước và sau khi đi qua kê cọc tròn. Quan sát kết quả cho thấy chiều cao sóng phía sau kê (đường gạch đỏ) giảm đáng kể so với phía trước kê (đường liền màu xanh), đặc biệt ở các đỉnh sóng cao. Sự giảm biên độ sóng cho thấy kê cọc tròn có khả năng làm tiêu tán năng lượng sóng hiệu quả, giảm tác động của sóng phía sau.



Hình 6. Chiều cao sóng trước và sau kê cọc tròn.

Hình 7 trình bày hiệu quả giảm sóng của kê cọc tròn, được đánh giá thông qua hai chỉ số chính: chiều cao sóng đặc trưng H_s và chiều cao

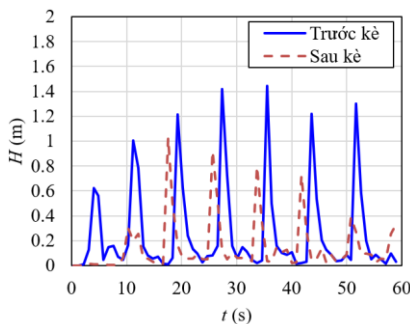
sóng cực đại H_{max} . Kết quả cho thấy kè cọc tròn giúp giảm khoảng 37 % chiều cao sóng đặc trưng H_s và khoảng 16 % chiều cao sóng cực đại H_{max} . Điều này chứng tỏ kè cọc tròn có hiệu quả giảm sóng tốt, đặc biệt khi xét đến trung bình các sóng trong một chu kỳ.



Hình 7. Hiệu quả giảm sóng của kè cọc tròn.

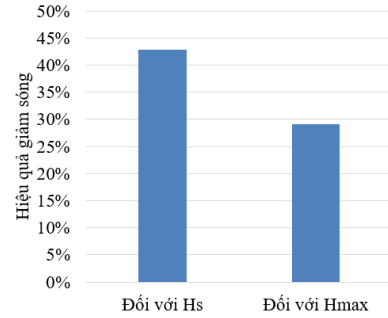
2.4.2. Hiệu quả giảm sóng của kè cọc vuông

Hình 8 mô tả sự thay đổi chiều cao sóng trước và sau khi đi qua kè cọc vuông. Có thể thấy chiều cao sóng phía sau kè (đường gạch đỏ) giảm đáng kể so với phía trước kè (đường liền màu xanh). Đặc biệt, các đỉnh sóng lớn cũng bị hạ thấp rõ rệt, chứng tỏ kè cọc vuông có khả năng tiêu tán năng lượng sóng rất lớn.



Hình 8. Chiều cao sóng trước và sau kè cọc vuông.

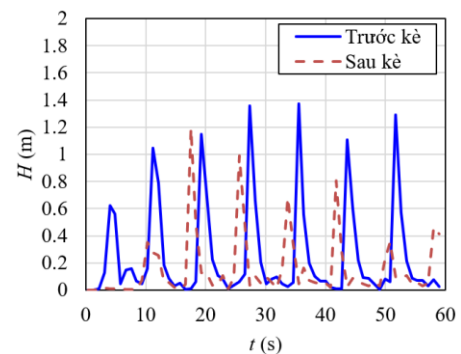
Hình 9 cho thấy hiệu quả giảm sóng của kè cọc vuông, được đánh giá thông qua chỉ số chiều cao sóng đặc trưng H_s và chiều cao sóng cực đại H_{max} . Kết quả cho thấy kè cọc vuông giúp giảm khoảng 42 % chiều cao sóng đặc trưng H_s và khoảng 28 % chiều cao sóng cực đại H_{max} . So với kè cọc tròn, kè cọc vuông thể hiện hiệu quả giảm sóng cao hơn, đặc biệt đối với giá trị H_s .



Hình 9. Hiệu quả giảm sóng của kè cọc vuông.

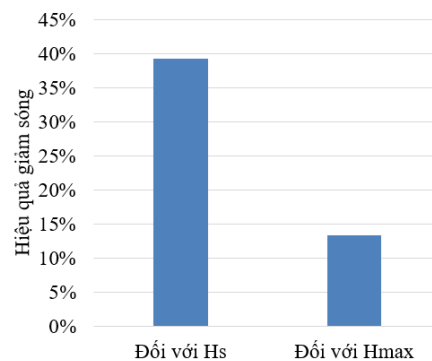
2.4.3. Hiệu quả giảm sóng của kè cọc hình thoi

Hình 10 thể hiện sự thay đổi chiều cao sóng trước và sau khi đi qua kè cọc hình thoi. Có thể thấy, chiều cao sóng phía sau kè (đường gạch đỏ) thấp hơn đáng kể so với phía trước kè (đường liền màu xanh), chứng tỏ kè hình thoi cũng có khả năng tiêu tán năng lượng sóng đáng kể, đặc biệt ở các đỉnh sóng.



Hình 10. Chiều cao sóng trước và sau kè cọc hình thoi.

Hình 11 cho thấy hiệu quả giảm sóng của kè cọc hình thoi, với mức giảm khoảng 39 % đối với chiều cao sóng đặc trưng H_s và khoảng 14 % đối với chiều cao sóng cực đại H_{max} . So với kè cọc vuông, hiệu quả giảm sóng của kè hình thoi thấp hơn một chút, nhưng vẫn cao hơn hoặc tương đương với kè cọc tròn.



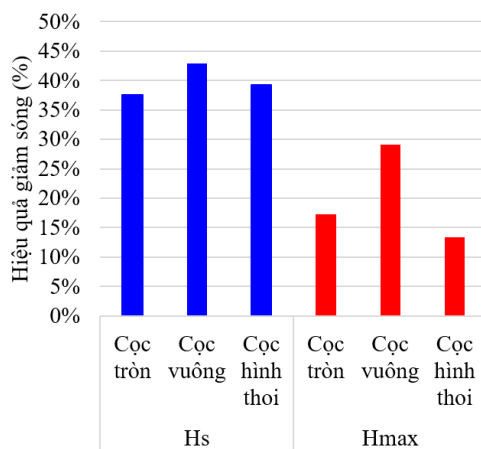
Hình 11. Hiệu quả giảm sóng của kè cọc hình thoi.

2.4.4. So sánh hiệu quả giảm sóng của 3 loại kè với các tiết diện cọc khác nhau

Kết quả tổng hợp hiệu quả giảm sóng của ba loại kè trên Hình 12 cho thấy, đối với chiều cao sóng đặc trưng H_s , kè cọc vuông đạt hiệu quả giảm sóng cao nhất, với mức giảm khoảng 43 %, tiếp theo là kè cọc hình thoi với 39 %, trong khi kè cọc tròn đạt khoảng 38 %. Điều này chỉ ra rằng cấu trúc cọc vuông có khả năng tiêu tán năng lượng sóng trung bình tốt hơn so với hai loại cọc còn lại.

Đối với chiều cao sóng cực đại H_{max} , kè cọc vuông tiếp tục thể hiện hiệu quả vượt trội với mức giảm gần 29 %. Kè cọc tròn giảm khoảng 17 %, trong khi kè cọc hình thoi chỉ đạt khoảng 13 %. Điều này cho thấy tiết diện vuông không chỉ hiệu quả với sóng trung bình mà còn giúp giảm đáng kể các đỉnh sóng lớn.

Tổng hợp cả hai chỉ số, kè cọc vuông là lựa chọn tối ưu nhất khi yêu cầu giảm sóng toàn diện, trong khi kè cọc hình thoi và tròn có hiệu quả giảm sóng thấp hơn, nhưng vẫn có thể phù hợp trong những trường hợp ưu tiên giảm H_s hoặc cần sự cân bằng giữa giảm sóng trung bình và đỉnh sóng.



Hình 12. Hiệu quả giảm sóng của ba loại kè với tiết diện cọc khác nhau với cọc tròn có đường kính $d = 0,35$ m, cọc vuông và cọc hình thoi có cạnh $a = 0,35$ m.

3. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy cả ba loại kè đều có khả năng làm giảm chiều cao sóng đáng kể, song hiệu quả giảm sóng phụ thuộc rõ rệt vào hình dạng tiết diện cọc. Trong đó, kè cọc vuông đạt hiệu quả cao nhất, đặc biệt vượt trội về khả năng giảm chiều cao sóng đặc trưng H_s (khoảng 43 %) và chiều cao sóng cực đại H_{max} (khoảng 29 %). Kè cọc hình thoi cũng cho hiệu quả giảm sóng khá tốt với mức giảm H_s đạt khoảng 39 %, mặc dù khả năng giảm H_{max} chỉ ở mức 13 %. Trong khi đó, kè cọc tròn có hiệu quả giảm sóng trung bình, đạt khoảng 38 % đối với H_s và 17 % đối với H_{max} .

Nhìn chung, kè cọc vuông là lựa chọn tối ưu khi yêu cầu giảm sóng tổng thể, đặc biệt trong điều kiện sóng lớn và biến động mạnh. Kè

cọc hình thoi và cọc tròn vẫn là các giải pháp khả thi trong những trường hợp cần cân bằng giữa hiệu quả giảm sóng và điều kiện thi công, hoặc khi yêu cầu giảm năng lượng sóng trung bình thay vì đỉnh sóng cực đại.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Công ty Flow Science, Inc. đã cung cấp bản quyền miễn phí phần mềm Flow-3D (Hydro) cho Khoa Công Nghệ, Trường Đại học Cần Thơ (hiện nay là Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ) nhằm phục vụ mục tiêu đào tạo và nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Erban, L.E., S.M. Gorelick, and H.A. Zebker, *Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam*. Environmental Research Letters, 2014. **9**(8): p. 084010.
- [2]. Li Xing, L.X., et al., *Recent evolution of the Mekong Delta and the impacts of dams*. 2017.
- [3]. Cochrane, T. and T.D. Dang, *Future hydrological alterations in the Mekong Delta under the impact of water resources development, land subsidence and sea level rise*. 2018.
- [4]. Le Xuan, T., et al., *Evaluation of coastal protection strategies and proposing multiple lines of defense under climate change in the Mekong Delta for sustainable shoreline protection*. Ocean & Coastal Management, 2022. **228**: p. 106301.
- [5]. Tran, V.T., et al. *Hollow cylinder breakwater for dissipation of wave energy to protect the west coast of Ca Mau Province in Vietnam*. in Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering. 2018. Springer.
- [6]. Quang, T.T. and L.M. Trong, *Monsoon wave transmission at bamboo fences protecting mangroves in the lower mekong delta*. Applied Ocean Research, 2020. **101**: p. 102259.
- [7]. Hur, D.-S., *Deformation of multi-directional random waves passing over an impermeable submerged breakwater installed on a sloping bed*. Ocean Engineering, 2004. **31**(10): p. 1295-1311.
- [8]. Wu, Y.-T. and S.-C. Hsiao, *Propagation of solitary waves over a submerged permeable breakwater*. Coastal Engineering, 2013. **81**: p. 1-18.
- [9]. Le Xuan, T., et al., *Hydraulic performance and wave transmission through pile-rock breakwaters*. Ocean Engineering, 2020. **218**: p. 108229.
- [10]. Herbich, J.B. and B. Douglas, *Wave transmission through a double-row pile breakwater*, in Coastal Engineering 1988. 1989. p. 2229-2241.
- [11]. Martinelli, L., B. Zanuttigh, and A. Lamberti, *Hydrodynamic and morphodynamic response of isolated and multiple low crested structures: Experiments and simulations*. Coastal Engineering, 2006. **53**(4): p. 363-379.
- [12]. Nguyen, N.-M., et al., *The influence of crest width and working states on wave transmission of pile-rock breakwaters in the coastal Mekong Delta*. Journal of Marine Science and Engineering, 2022. **10**(11): p. 1762.
- [13]. Nguyen, T. and K.E. Parnell, *Gradual expansion of mangrove areas as an ecological solution for stabilizing a severely eroded mangrove dominated muddy coast*. Ecological Engineering, 2017. **107**: p. 239-243.
- [14]. Van der Meer, J.W. and I.F. Daemen, *Stability and wave transmission at low-crested rubble-mound structures*. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 1994. **120**(1): p. 1-19.
- [15]. Garcia, N., J.L. Lara, and I. Losada, *2-D numerical analysis of near-field flow at low-crested permeable breakwaters*. Coastal Engineering, 2004. **51**(10): p. 991-1020.

- [16]. Hsu, T.-W., C.-M. Hsieh, and R.R. Hwang, *Using RANS to simulate vortex generation and dissipation around impermeable submerged double breakwaters*. Coastal Engineering, 2004. **51**(7): p. 557-579.
- [17]. Hur, D.-S., K.-H. Lee, and D.-S. Choi, *Effect of the slope gradient of submerged breakwaters on wave energy dissipation*. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 2011. **5**(1): p. 83-98.
- [18]. SIWRR, *Thuyết minh thiết kế bản vẽ thi công*, in *Dự án: đầu tư kè phòng, chống sạt lở biển Đông tại khu vực đặc biệt xung yếu*. 2024, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam: Thành phố Hồ Chí Minh. p. 90.
- [19]. van Rijn, L.C., *Longshore sand transport*, in *Coastal Engineering 2002: Solving Coastal Conundrums*. 2003, World Scientific. p. 2439-2451.
- [20]. Thuận, N.N., et al., *Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 2021. **732**: p. 93-105.