

PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ CÁC NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA CÔNG TRÌNH KÈ CỌC LY TÂM TẠI VÙNG BIỂN CÀ MAU

Nguyễn Anh Tiến, Trương Thị Nhân, Trần Thị Thúy An,
Ngô Tiến Khiêm, Vũ Phúc Đông, Mai Hồng Hải Hà

Viện kỹ thuật Biển
Thiều Quang Tuấn
Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Nghiên cứu đánh giá hiệu quả giảm sóng của 32 công trình kè cọc ly tâm được xây dựng từ năm 2010-2020 trải dọc theo vùng biển Cà Mau. Trong đó, bộ dữ liệu sóng thu được tại mỗi công trình mang lại giá trị quý giá về mặt không gian và thời gian tại vùng nghiên cứu. Nguồn số liệu được đo vào mùa gió Tây Nam đối với vùng biển Tây (BT) và mùa gió Đông Bắc đối với vùng biển Đông (BD). Kết quả phân tích cho thấy hầu hết các công trình đều đạt hiệu quả giảm sóng. Từ đó phân tích cho thấy hiệu quả giảm sóng bị ảnh hưởng trực tiếp bởi bề rộng kè tương đối và kích thước lõi đá học trong lòng kè. Từ các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của công trình nghiên cứu đã xây dựng công thức thực nghiệm hệ số truyền sóng cho kè cọc ly tâm tại khu vực tỉnh Cà Mau.

Từ khóa: Kè cọc ly tâm, hiệu quả giảm sóng, hệ số truyền sóng, số liệu sóng thực đo, ven biển Cà Mau.

Summary: The research evaluates the wave reduction effectiveness of 32 centrifugal pile revetments built from 2010-2020 along Ca Mau waters. In particular, the wave data collected at each project brings valuable value in terms of space and time in the study area. The data source is measured during the southwest monsoon season for the West Sea (BT) and the Northeast monsoon season for the East Sea (BD). The analysis results showed that most of the projects achieved effective wave reduction. The analysis indicated that wave reduction efficiency was directly influenced by the relative width of the revetment and the size of the rock core within it. Based on the factors affecting wave reduction efficiency, the study established an empirical formula for the wave transmission coefficient for centrifugal pile revetments in Ca Mau province.

Keywords: Pile-Rock Breakwaters, the wave reduction efficiency, the wave transmission coefficient, real measured wave data, Ca Mau coastal area.

1. MỞ ĐẦU

1.1 Giới thiệu

Diễn biến xói lở bờ biển luôn là một trong những vấn đề được quan tâm hàng đầu của tỉnh Cà Mau. Đã có rất nhiều giải pháp đặt ra để kiểm soát tình hình xói lở và giúp tích tụ bùn cát, tạo điều kiện phục hồi rừng ngập mặn. Giải pháp được sử dụng rộng rãi hiện nay là kết cấu kè với hai hàng cọc ly tâm tạo khung và đổ đá học bên trong hay được gọi là kè cọc ly tâm

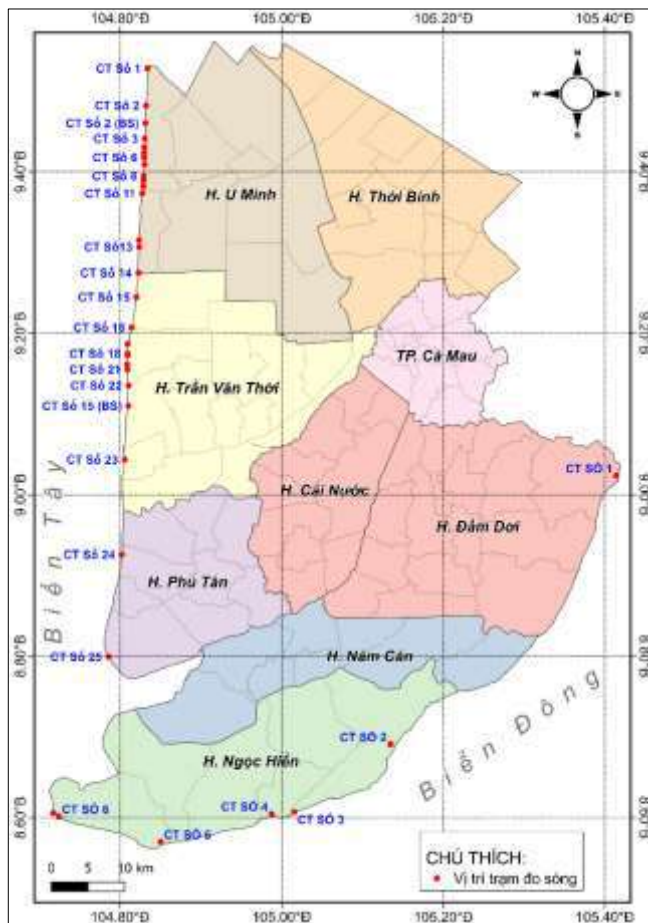
(KCLT) giảm sóng. Kết cấu này đã được tỉnh Cà Mau đưa vào xây dựng từ năm 2010, đây được xem là biện pháp kỹ thuật tốt nhất đến thời điểm hiện nay. [1], [2], [3].

Đã có không ít những nghiên cứu đánh giá và phân tích các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của các công trình giảm sóng kè cọc ly tâm ở đồng bằng sông Cửu Long nói chung và Cà Mau nói riêng bằng mô hình toán, mô hình vật lý và bằng đánh giá số liệu khảo sát thực địa, tuy nhiên phạm vi thường bị giới hạn

Ngày nộp bài: 11/10/2024
Ngày thông qua phản biện: 08/11/2024

Ngày duyệt đăng: 15/11/2024

bởi một khu vực hoặc một đoạn công trình [4], [5], [6]. Điều đó đã được khắc phục trong nghiên cứu này, việc đo sóng trước và sau kè không chỉ dừng lại ở một công trình mà là tại 32 công trình kè BĐ và BT tương ứng với hơn 61,5km kè ly tâm dọc bờ biển Cà Mau. Nghiên cứu đã sử dụng nguồn số liệu thực đo để phân tích đánh giá hiệu quả giảm sóng của công trình và trên cơ sở đó đánh giá các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng và xây dựng công thức thực nghiệm hệ số truyền sóng cho KCLT, đưa ra các giới hạn tham số phù hợp phục vụ cho công tác nghiên cứu và thiết kế các công trình kè giảm sóng gây bồi.



1.2 Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu được thực hiện tại 32 công trình: 25 công trình BT có 27 vị trí đo (công trình số 2 và số 5 có bổ sung hai vị trí đo do tuyến công trình dài và không liền kề nhau) và 7 công trình BĐ với 7 vị trí đo. Vị trí và tọa độ trạm đo được thể hiện trong Hình 1.

Thời gian khảo sát: Khu vực BT được thực hiện vào mùa gió Tây Nam (23/07/2023÷01/09/2023); khu vực BĐ được thực hiện vào mùa gió Đông Bắc (04/01/2023 ÷ 14/01/2023).

CÔNG TRÌNH	TỌA ĐỘ TRẠM ĐO SÓNG			
	TRẠM TRONG		TRẠM NGOÀI	
	X	Y	X	Y
CT 1 BT	105364	53649	105364	53644
CT 2 BT	104856	53631	104856	53627
CT 2.1 BT	104614	53620	104614	53617
CT 3 BT	104402	53612	104402	53605
CT 4 BT	104285	53606	104286	53601
CT 5 BT	104211	53604	104211	53599
CT 6 BT	104146	53602	104146	53599
CT 7 BT	104052	53607	104053	53603
CT 8 BT	103891	53598	103891	53594
CT 9 BT	103831	53594	103830	53590
CT 10 BT	103747	53592	103747	53588
CT 11 BT	103650	53577	103650	53572
CT 12 BT	103012	53535	103012	53529
CT 13 BT	102918	53536	102918	53531
CT 14 BT	102563	53530	102563	53524
CT 15 BT	102231	53501	102232	53494
CT 15.1 BT	100741	53394	100741	53390
CT 16 BT	101815	53438	101817	53430
CT 17 BT	101588	53381	101590	53375
CT 18 BT	101457	53379	101457	53373
CT 19 BT	101437	53379	101436	53374
CT 20 BT	101311	53375	101311	53370

	9	7	6	5
CT 21 BT	101241 7	53380 8	101241 3	53375 2
CT 22 BT	101021 2	53395 1	101021 1	53389 6
CT 23 BT	100006 7	53342 9	100003 2	53338 8
CT 24 BT	987044	53303 6	987051	53298 1
CT 25 BT	973074	53125 8	973058	53119 1
CT 1 BD	997974	60029 1	997966	60031 6
CT 2 BD	961098	56959 2	961097	56964 1
CT 3 BD	951859	55651 3	951802	55655 4
CT 4 BD	951593	55346 6	951557	55346 4
CT 5 BD	947736	53836 0	947702	53836 2
CT 6 BD	951208	52448 0	951181	52446 4
CT 7 BD	951641	52374 7	951643	52371 6

Hình 1: Vị trí trạm đo sóng

1.3 Tài liệu sử dụng

Thiết bị sử dụng: Thiết bị đo độ cao sóng INFINITY-WH AWH-USB trước và sau công trình, thời gian đo liên tục trong 24h. Số liệu đo được xử lý bằng chương trình từ ngôn ngữ lập trình Matlab kèm theo thiết bị đo với kết quả phân tích 10 phút/mẫu. Thông số sóng được xử lý cho ra với hơn 14 số liệu bao gồm chiều cao sóng, chu kỳ và độ sâu mực nước. Các số liệu phân tích hoàn toàn là số liệu được thực đo với

độ tin cậy cao.

Phương pháp đo: Thiết bị được cố định vào cây tràm và được bố trí ≥ 1 lần chiều dài sóng, cụ thể phía trước công trình (phía biển) từ 30m÷40m và sau công trình (phía bờ) từ 15÷25m. Tại phía biển thiết bị được sử dụng và đặt cách mặt đất tự nhiên là từ 0.5÷1m, tại phía bờ từ 0.1÷0.5m. Chi tiết được thể hiện Hình 2.



Trạm đo sóng số 7 đoạn từ Rạch Dinh – Hương Mai, X. Khánh Tiến, H. U Minh.

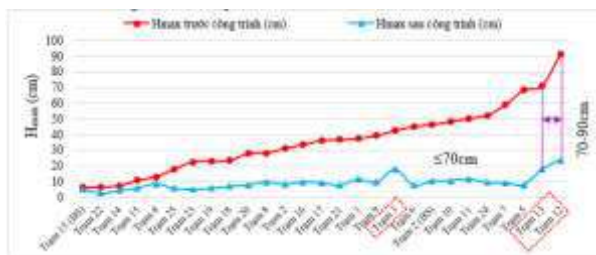
Hình 2: Vị trí và khoảng cách đặt trạm đo sóng

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Sơ đồ tiếp cận nghiên cứu thể hiện như Hình 3. Trong đó, các bước nghiên cứu chính là

- (1) Đánh giá số liệu thực đo;
- (2) Phân tích nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng;
- (3) Xây dựng công thức thực nghiệm.

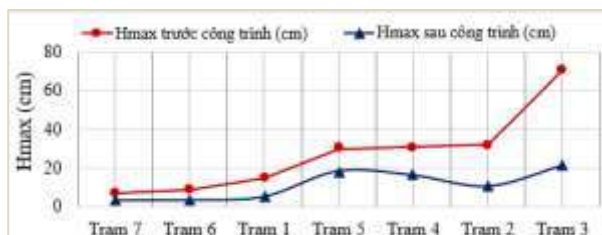
tại 25 vị trí khu vực biển Tây được sắp xếp theo thứ tự từ thấp đến cao trong đó chiều cao sóng phía trước công trình thấp nhất $H_{\min}=8\text{cm}$ là công trình số 15 kè đoạn từ Ba Tĩnh đến Kênh Tư và chiều cao sóng lớn nhất $H_{\max}=90\text{cm}$ tại công trình số 12 đoạn từ Vàm Cống T29 hướng về Khánh Hội xã Khánh Hội, huyện U Minh biển Tây. Chiều cao sóng phía sau công trình thấp nhất $H_{\min}=7\text{cm}$ và lớn nhất $H_{\max}=22\text{cm}$. Từ biểu đồ cho thấy sóng qua công trình KCLT đều đã giảm đi đáng kể. Trong đó hầu hết đối với $H_{\max}$ trước $\leq 70\text{cm}$ thì $H_{\max}$ sau $= 5\div 10\text{cm}$ (trừ CT số 3). Với những công trình có chiều cao sóng $H_{\max}=70\div 90\text{cm}$ thì $10 < H_{\max}$ sau $< 25\text{cm}$.



Hình 5: Biểu đồ $H_{\max}$ trước và sau CT (Phía BT)

b. Khu vực biển Đông

Chiều cao sóng đo được phía ĐĐ gồm 7 công trình theo thứ tự từ Đông sang Tây. Tại thời điểm khảo sát chiều cao sóng trước công trình lớn nhất $H_{\max}=70\text{cm}$ tại công trình số 3 kè cấp bách bảo vệ bờ biển Đông khu vực cửa biển Rạch Gốc, cửa biển Vàm Xoáy và nhỏ nhất $H_{\min}=10\text{cm}$ tại công trình số 7 kè Đất Mũi, huyện Ngọc Hiển. Chiều cao sóng sau công trình lớn nhất $H_{\max}=20\text{cm}$ và nhỏ nhất $H_{\min}=5\text{cm}$. Như vậy công trình KCLT sóng đã giảm khi qua công trình. Cụ thể phía ĐĐ chiều cao sóng $\leq 60\text{cm}$ thì sóng sau công trình từ $5\div 20\text{cm}$ với $H_{\max}$ từ $60\div 70$ thì sóng sau công trình là $< 25\text{cm}$.



Hình 6: Biểu đồ $H_{\max}$ trước và sau CT (Phía ĐĐ)

3.1.2 Đánh giá hiệu quả giảm sóng:

Khả năng giảm sóng qua kết cấu kè được đánh giá theo Thamnoon and Jun (2015) [7], [8] hệ số truyền sóng K_t được tính theo công thức (1) và tỷ lệ phần trăm giảm sóng $K\%$ được tính theo công thức (2).

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (1) \quad K\% = (1 - K_t) \times 100 \quad (2)$$

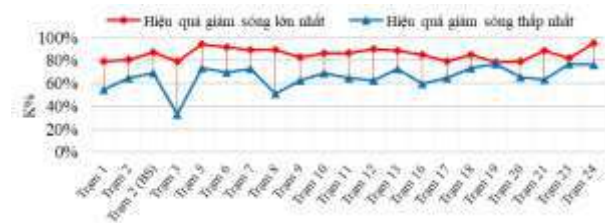
Trong đó

H_i : là chiều cao sóng tới, H_t : là chiều cao sóng truyền đi.

a. Khu vực biển Tây

Để làm rõ hiệu quả giảm sóng, chúng tôi đã chia chiều cao sóng trước công trình thành 2 nhóm để phân tích.

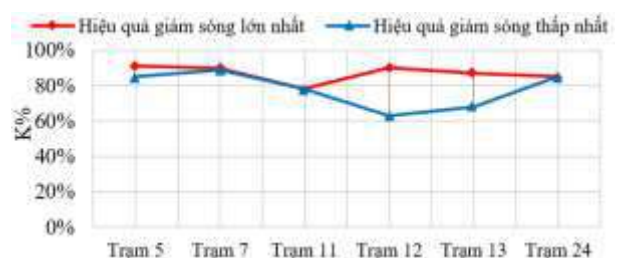
- Sóng trước công trình có $20 \leq H_{\max} \leq 50\text{cm}$ Hình.



Hình 7: Hiệu quả giảm sóng đối với sóng có chiều cao từ $20\div 50\text{cm}$

Khi chiều cao sóng trước công trình $H_{\max} = 20\div 50\text{cm}$, hiệu quả giảm sóng của công trình đạt từ $50\%\div 95\%$. Hiệu quả giảm sóng trung bình 76% . Riêng công trình số 3 với cùng một chiều cao sóng hiệu quả giảm sóng của công trình này chỉ đạt từ $33\%\div 87\%$ thấp hơn so với các công trình còn lại.

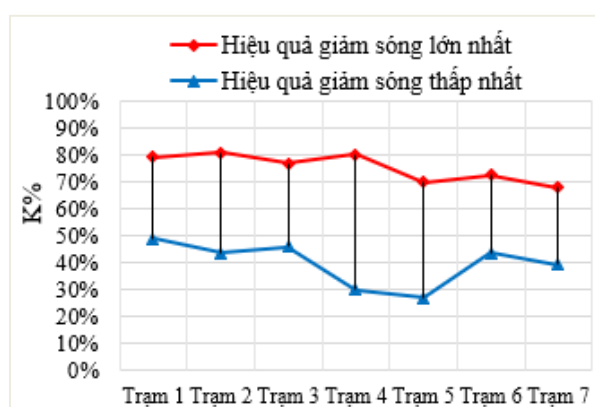
- Sóng trước công trình $H_{\max} > 50\text{cm}$ Hình 8.



Hình 8: Hiệu quả giảm sóng đối với sóng có chiều cao ≥ 50 cm

Chiều cao sóng trước công trình có $H_{\max} > 50$ cm hiệu quả giảm sóng của công trình đạt từ 60%÷90%. Như vậy hiệu quả giảm sóng lớn nhất khi $H_{\max} > 50$ cm không bằng khi chiều cao sóng trong phạm vi $20 \leq H_{\max} \leq 50$. Tuy nhiên chiều cao sóng > 50 cm ghi nhận được là khá ít chưa thể hiện được rõ xu thế này. Qua đây cũng cho thấy hiệu quả giảm sóng của các công trình hiện nay khá tốt đạt từ 50%÷90%.

b. Khu vực biển Đông



Hình 9: Hiệu quả giảm sóng đối với sóng có chiều cao từ 10-70 cm

$H_{\max}$ từ 10-70cm có $K\% \sim 30$ -80%, do chiều cao sóng đo được phía biển Đông tương đối nhỏ sự chênh lệch sóng trước và sau công trình gần như rất ít nên hệ số $K\%$ lúc này sẽ không thể hiện rõ hiệu quả giảm sóng của công trình. Đối với công trình số 3 có $H_{\max} > 40$ cm (Hình 6) thì $K\%$ từ 40%÷80% tuy nhiên hiệu quả giảm sóng này thấp hơn so với BT.

Hầu hết số liệu chiều cao sóng đo được ở biển Tây – Đông Cà Mau cho thấy các công trình KCLT đều đang phát huy tốt chức năng của công trình, cụ thể hiệu quả giảm sóng trước và sau công trình có thể quan sát rõ bằng thiết bị Flycam khi khảo sát như Hình 10, Hình 11.



Hình 10: Kè số 25 biển Tây cửa Sào Lưới, xã Nguyễn Việt Khái, huyện Phú Tân

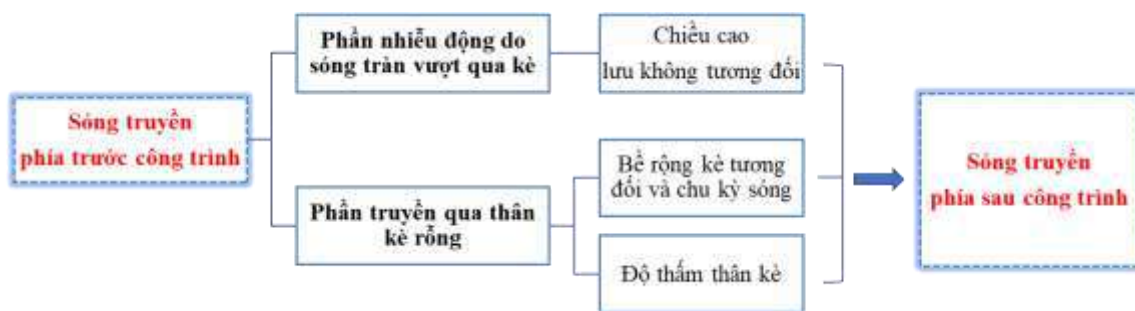


Hình 11: Kè số 6 biển đông Đất Mũi đến cửa biển Vàm Xoáy

3.2 Các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng

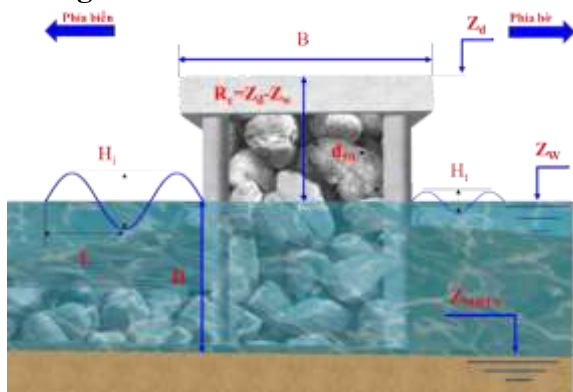
Sóng truyền qua công trình KCLT (Công trình KCLT là đê nhô) là sẽ phụ thuộc vào hai thành phần chính là (1) Phản nhiễu động do sóng tràn

vượt qua kè; (2) Phản truyền qua thân kè rỗng. Trong đó, yếu tố sóng tràn qua kè được đánh giá bởi chiều cao lưu không tương đối; phản truyền qua thân kè là bề rộng kè và độ thấm thân kè Hình 12.



Hình 12: Các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng

Trong đó:



Hình 13: Hình ảnh minh họa chi tiết các thông số tính toán

Chiều cao sóng nhỏ dễ bị chi phối bởi các lực như lực từ sức căng bề mặt, các sóng này

+ Chiều cao lưu không tương đối $\frac{R_c}{H_i}$
 R_c là chiều cao tính từ mực nước tại thời điểm thực đo đến cao trình đỉnh kè.

H_i là chiều cao sóng tới; H_t là chiều cao sóng sau công trình.

+ Bề rộng kè tương đối $\frac{B}{D}$; $\frac{B}{L_m}$; $\frac{B}{L_p}$

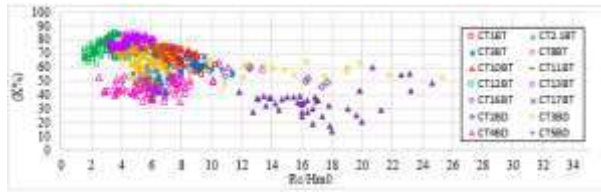
B là bề rộng kè; D là độ sâu mực nước trước công trình; L_m là chiều dài sóng được tính toán dựa trên chu kỳ phổ mô-men bậc 2 ($T_{m0,2} = \sqrt{m_0/m_2}$) và L_p tương ứng với chu kỳ đỉnh phổ T_p .

+ Độ thấm của thân kè
 d_{50} là đường kính đá trung bình.

thường không thể hiện rõ quy luật và gây phân tán số liệu. Do đó, nghiên cứu lựa chọn khoảng

giới hạn tương đối của chiều cao sóng phía trước công trình $H_{m0,i} \geq 10\text{cm}$ và chiều cao sóng phía sau công trình $H_{m0,t} \geq 5\text{cm}$, để phân tích.

3.2.1 Chiều cao lưu không tương đối



Hình 14: Tương quan giữa hiệu quả giảm sóng và chiều cao lưu không tương đối

Kết quả phân tích từ Hình 14 cho thấy độ cao lưu không tương đối trong khoảng $R_c/H_{m0,i} = 1.6 \div 30$. Giá trị độ cao lưu không tương đối là con số khá lớn, trong một nghiên cứu của Tú năm 2020 khi nghiên cứu khả năng truyền sóng của kết cấu cọc ly tâm đá đổ trên mô hình máng sóng cũng đã khẳng định quan hệ giữa $R_c/H_{m0,i}$ với hiệu quả giảm sóng thể hiện rõ nét nhất khi $1.5 \leq R_c/H_{m0,i} \leq 1.5$ và gần như thông thay đổi khi $R_c/H_{m0,i} > 1.5$ vì lúc này thành phần sóng truyền do sóng tràn vượt qua đỉnh kè đã không tồn tại [2]. Vì thế trong nghiên cứu này không thể xét đến quan hệ giữa chiều cao lưu không tương đối với hiệu quả giảm sóng.

3.2.2 Bề rộng kè tương đối

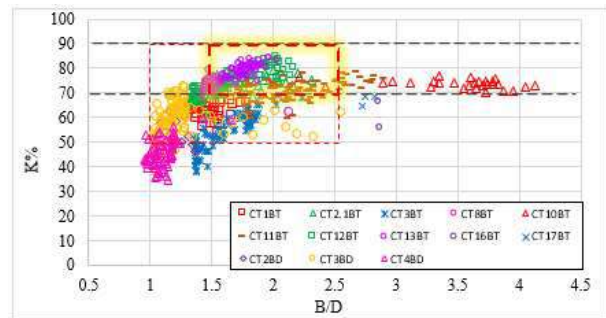
Sóng truyền qua kè kết cấu thấm rỗng chịu sự ảnh hưởng chi phối của bề rộng kè tương đối so với độ sâu nước hoặc chiều dài sóng nước nông, tức là các tỷ số B/D hoặc B/L [9], [10]

Bề rộng kè tương đối $\frac{B}{D}$; $\frac{B}{L_m}$; $\frac{B}{L_p}$ phụ thuộc vào các yếu tố: bề rộng kè (B) độ sâu mực nước trước công trình (D); chiều dài sóng (L). Trong đó, chiều dài sóng xét dựa trên hệ số L_m và L_p .

a. Bề rộng kè tương đối B/D

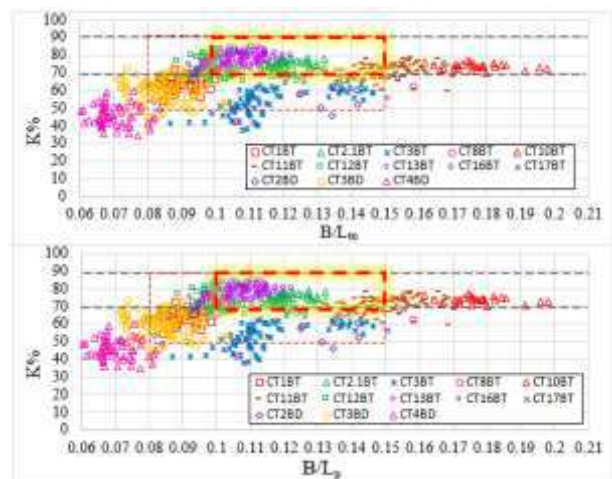
Mối quan hệ giữa bề rộng kè tương đối với hiệu quả giảm sóng là mối quan hệ đồng biến. Hiệu quả giảm sóng tốt nhất khi $B/D = 1.5 \div 2.5$ hay $B/L = 0.1 \div 0.15$ tương ứng với $K\% = 70 \div 90\%$. Khi $B/D > 2.5$ hay $B/L > 0.15$ thì giá trị hiệu quả giảm sóng gần như nằm ngang cho thấy lúc này

bề rộng kè tương đối không còn có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả giảm sóng.



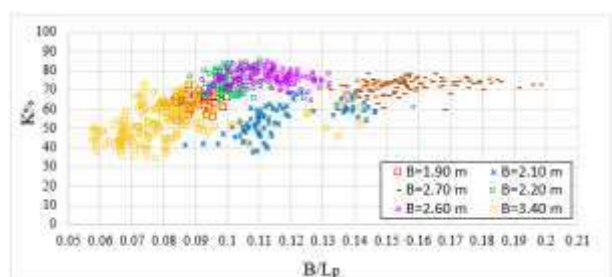
Hình 15: Tương quan hiệu quả giảm sóng và bề rộng kè tương đối $K\%$ và B/D

b. Bề rộng kè tương đối B/L_p và B/L_m



Hình 16: Tương quan hiệu quả giảm sóng và bề rộng kè tương đối $K\% \sim B/L_p$ và $K\% \sim B/L_m$

Theo kết quả cho thấy hiệu quả giảm sóng **tốt nhất** khi $0.10 < B/L < 0.15$. Với $B/L > 0.15$ thì hiệu quả truyền sóng gần như không đổi.



Hình 17: Ảnh hưởng của chu kỳ sóng thể hiện qua tương quan hệ hiệu quả giảm sóng và bề rộng kè tương đối $K\% \sim B/L_p$

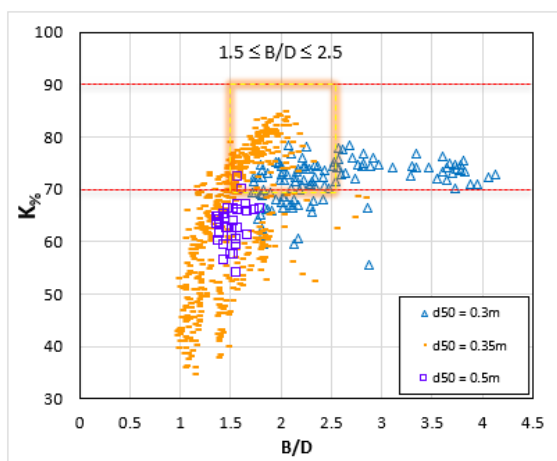
Cùng với bề rộng kè tương đối thì chu kỳ sóng

cũng có ảnh hưởng kết hợp đối với hiệu quả giảm sóng. Tương quan $K\% \sim B/L_p$ trên Hình 16 được thể hiện lại cho từng bề rộng kè khác nhau để qua đó thấy rõ được ảnh hưởng của chu kỳ sóng Hình 17. Có thể thấy rằng với cùng một bề rộng kè, khi chu kỳ sóng tăng (L_p tăng) thì $K\%$ giảm và ngược lại. Hay nói cách khác là trong cùng một điều kiện thì sóng dài hơn sẽ có hiệu quả giảm sóng thấp hơn.

3.2.3 Độ thấm của thân kè

Bên cạnh các kích thước hình học thì độ thấm của kè cọc ly tâm đá đổ, phản ánh thông qua đường kính trung bình và tính chất cấp phối của lõi đá đổ thân kè, đóng vai trò chi phối các quá trình hấp thụ tiêu tán năng lượng sóng tới và sóng phản xạ [9], [10]. Do vậy, độ thấm của kè cọc ly tâm đá đổ cũng là tham số chi phối tới sóng truyền không kém phần quan trọng so với bề rộng kè tương đối.

Hình 17 cho thấy ảnh hưởng của đường kính trung bình của đá lõi kè d_{50} (độ thấm của lõi kè được phản ánh thông qua kích cỡ và cấp phối đá) tới hiệu quả giảm sóng trong tương quan $K\% \sim B/D$ khá rõ ràng khi cho thấy hiệu quả giảm sóng thấp hơn tương ứng với trường hợp kè có kích cỡ lõi đá lớn hơn (tức là khi kè có lõi đá với độ rỗng khối hay độ thấm lớn hơn).



Hình 18: Tương quan giữa hiệu quả giảm sóng với bề rộng tương đối B/D và độ thấm lõi kè (kích thước đá)

Trong phân tích vai trò của độ thấm đối với quá

trình truyền sóng qua kè kết cấu thấm rỗng nghiên cứu này sử dụng tham số độ thấm biểu kiến của lõi kè P_f trong mối liên hệ với độ rỗng khối như sau:

$$P_f = \frac{(1 - n_v)^2}{n_v^3} \quad (3)$$

Trong đó: P_f là độ thấm biểu kiến của lõi kè; n_v là độ rỗng khối (theo thể tích).

Do không có số liệu đo đạc thực tế về độ rỗng khối của lõi đá, vì thế độ rỗng n_v sẽ được ước lượng thông qua việc sử dụng đường cong cấp phối đá tiêu chuẩn của Rosin-Rammler (đường cong Ros-Ram, xem CIRIA683, 2007) [11]. n_v có thể được ước tính theo công thức kinh nghiệm phụ thuộc vào hình dạng, cỡ đá và tính chất cấp phối.

$$e = \frac{1}{90} (e_0) \arctan(0.645 n_{RRD}) \quad (4)$$

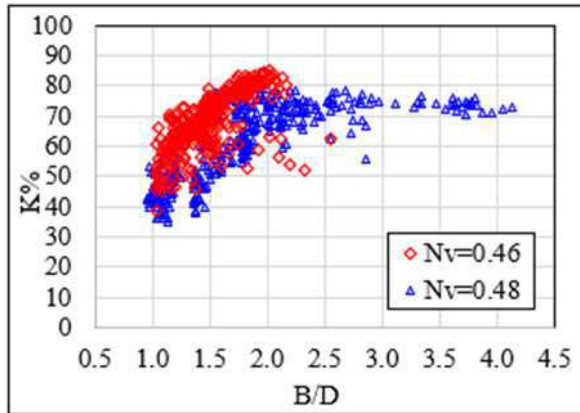
$$n_v = \frac{e}{1 + e}$$

Với e là hệ số rỗng; e_0 là hệ số rỗng tham chiếu của khối một cỡ đá; n_{RRD} là hệ số độ dốc của đường cong Ros-Ram.

$$n_{RRD} = \frac{3 \cdot \log\left(\frac{\ln(1 - y_{NUL})}{\ln(1 - y_{NLL})}\right)}{\log\left(\frac{NUL}{NLL}\right)} \quad (5)$$

Với NUL , y_{NUL} , NLL , y_{NLL} lần lượt là các giá trị khối lượng biên cận trên, biên cận dưới và các phần trăm không vượt quá tương ứng của các biên trên đường cong cấp phối.

Sử dụng các tham số của cấp phối tiêu chuẩn cho đá cấp phối dựa theo CIRIA683 (2007), đá có hình dạng góc cạnh. Từ các công thức (4) và (5) độ rỗng khối của lõi đá đổ tương ứng với đường kính đá trung bình d_{50} được xác định như ở Bảng 1.



Hình 19: Tương quan giữa hiệu quả giảm sóng với bề rộng tương đối $K\% \sim B/D$ và độ rỗng khối n_v

Có thể thấy rằng, so với kết quả trên, thì xu thế ảnh hưởng của độ thấm lỗ kè phản ánh qua độ rỗng khối n_v đã được phản ánh khá rõ ràng và không thể bỏ qua trong tính toán truyền sóng qua KCLT đá đổ. Kè có độ rỗng khối càng lớn thì sóng truyền qua càng lớn và ngược lại.

3.3 Xây dựng công thức thực nghiệm

Các phân tích ở trên cho thấy các tính chất sóng

$$K_t = a_1 \cdot \min \left(\eta_{\max}, \frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + a_2 \left(P_f \cdot \frac{B}{D} \right)^{c_1} \left[1 - \exp \left(-\frac{c_2}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (6)$$

Trong đó: $\eta_{\max}$ là chiều cao lưu không tương đối hiệu quả của đỉnh kè trong tính toán sóng truyền; S_{0m} là độ dốc sóng biểu kiến dựa theo $T_{m0.2}$ (hoặc là S_{0p} dựa theo T_p); P_f là tham số độ thấm biểu kiến phụ thuộc vào độ rỗng khối của

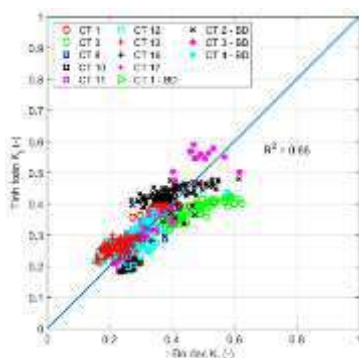
Bảng 1: Xác định độ rỗng khối của lõi đá kè cọc ly tâm tại các vị trí

Vị trí	Đường kính đá (cm)			n_{RRD}	n_v
	Cận trên NUL	Trung bình d50	Cận dưới NLL		
CT 1	55	50	15	8.35	0.46
CT 3	40	35	25	23.08	0.48
CT 8	35	25	17.5	15.65	0.46
CT 10	35	30	25	32.25	0.48
CT 11	35	30	25	32.25	0.48
CT 12	45	35	25	18.46	0.46
CT 13	50	35	25	15.65	0.46
CT 16	40	30	25	23.08	0.48
CT 17	45	35	30	18.46	0.48
CT1 - BD	50	30	25	15.65	0.46
CT2 - BD	50	35	25	15.65	0.46
CT3 - BD	50	35	25	15.65	0.46
CT4 - BD	50	35	30	15.65	0.48

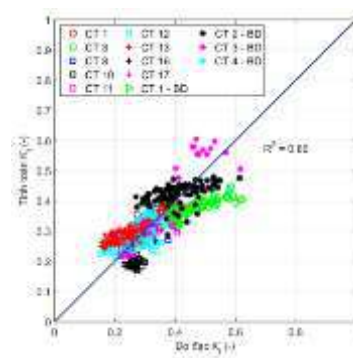
truyền qua KCLT cũng tuân thủ theo các quy luật của kè kết cấu thấm rỗng nói chung. Do vậy, có thể sử dụng dạng công thức tổng quát về hệ số truyền sóng qua kè kết cấu thấm rỗng đã được nghiên cứu trước đó như nghiên cứu [9], [10] đã ứng dụng đối với kết cấu hàng rào tre bảo vệ rừng.

Công thức tổng quát:

lỗ kè; a_1 và a_2 là các hệ số xác định theo phương pháp hồi quy với bộ số liệu đo đạc; c_1 và c_2 là các hệ số mũ xác định theo phương pháp thử dần để phép hồi quy thực nghiệm có sự phù hợp tốt nhất.



Hình 20: So sánh kết quả phân tích hồi quy với bộ số liệu đo đạc



Hình 21: So sánh kết quả phân tích hồi quy với bộ số liệu đo đạc

(sử dụng chu kỳ trung bình phổ $T_{m0.2}$)(sử dụng chu kỳ đỉnh phổ T_p)

Ở đây số hạng $\min(\eta_{\max} \cdot R_c / H_{m0,i})$ có nghĩa là chỉ xét tới ảnh hưởng tối đa $R_c/H_{m0,i} = \eta_{\max}$ tới sóng truyền trong trường hợp kè có chiều cao quá lớn so tương đối với chiều cao sóng như đã đề cập tới ở trên. Tuấn và Luân năm 2020 [9]; Tuấn và nnk năm 2022 [10], giá trị chiều cao lưu không tương đối hiệu quả trong tính toán sóng truyền $\eta_{\max} = 0.75$. Với bộ số liệu đo đạc hiện tại, chiều cao lưu không tương đối của đỉnh kè R_c/H_{m0} lớn, sẽ luôn xảy ra tình huống $\min(\eta_{\max} \cdot R_c / H_{m0,i}) = \eta_{\max} = 0.75$. Tuy nhiên, để đảm bảo tính thống nhất trong

việc xét tới đầy đủ các tham số chi phối, công thức tổng quát (6) vẫn được sử dụng cho nghiên cứu ở đây.

Sử dụng phương pháp phân tích hồi quy đa biến phương trình (6) với bộ số liệu thực nghiệm đã phân tích ở trên, các hệ số thực nghiệm a cùng với khoảng 95% tin cậy được xác định như sau: $a_1 = -2.34 [-2.52 \div -2.16]$ và $a_2 = 2.55 [2.39 \div 2.72]$; các số mũ: $c_1 = -0.10$, $c_2 = -0.20$. Phương trình (6) có thể viết lại như sau:

$$K_t = -2.34 \cdot \min\left(0.75, \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 2.55 \left(P_f \cdot \frac{B}{D}\right)^{-0.10} \left[1 - \exp\left(-\frac{0.20}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right] \quad (7)$$

Hình 20 thể hiện kết quả hồi quy so sánh giữa số liệu đo đạc và tính toán theo công thức (7) với sự phù hợp khá $R^2 = 0.65$.

Nếu sử dụng chu kỳ T_p (thay vì $T_{m0.2}$ cho s_{0m}

trong công thức (6) thì công thức thực nghiệm lúc này như sau, với sự phù hợp giữa đường hồi quy với số liệu kém hơn (xem Hình 21, $R^2 = 0.60$).

$$K_t = -1.62 \cdot \min\left(0.75, \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 2.0 \left(P_f \cdot \frac{B}{D}\right)^{-0.14} \left[1 - \exp\left(-\frac{0.20}{\sqrt{s_{0p}}}\right)\right] \quad (8)$$

Với các hệ số $a_1 = -1.62 [-1.77 \div -1.47]$ và $a_2 = 2.00 [1.87 \div 2.15]$; các số mũ: $c_1 = -0.14$, $c_2 = -0.20$.

Công thức (7) và (8) có phạm vi áp dụng trong khoảng giới hạn của các tham số đo đạc hiện trường như sau: chiều cao lưu không tương đối của đỉnh kè $R_c/H_{m0,i} = 1.6 \div 20 (>> 0.75)$, chiều cao sóng tới $H_{m0,i} = 0.15 \div 0.45$ m, độ sâu nước trước công trình $D = 0.65 \div 3.5$ m, bề rộng kè tương đối $B/D = 0.66 \div 4.13$, độ rỗng khối của lõi đá $n_v = 0.46 \div 0.48$.

4. KẾT LUẬN

Kết quả của quá trình phân tích cho thấy quá trình truyền sóng qua kè ly tâm bị ảnh hưởng trực tiếp bởi bề rộng kè tương đối và kích thước lõi đá hộc lòng kè, việc bỏ qua cao trình đỉnh kè

càng cho thấy mối tương quan giữa hiệu quả giảm sóng qua hai yếu tố trên một cách rõ nét nhất. Trong đó, dạng kết cấu này đang làm việc hiệu quả nhất khi $B/D = 1.5 \div 2.5$ hay $B/L = 0.1 \div 0.15$ và kích thước đá hộc trung bình là từ $0.3 \div 0.35$ m khi đó hiệu quả giảm sóng từ $70\% \div 90\%$. Kết quả này có thể sử dụng làm cơ sở phân tích thông số thiết kế tương ứng với các vị trí khác nhau tại khu vực tỉnh Cà Mau.

Nghiên cứu đã xây dựng hai công thức thực nghiệm hệ số truyền sóng dựa trên bộ số liệu thực đo áp dụng cho kè cọc ly tâm với độ tin cậy tốt. Theo TCVN 9901:2023 về thiết kế kè biển thì hầu hết các công trình đã được thiết kế ứng với tần suất thiết kế về sóng và mực nước $P=3.33\%$ tương ứng với chu kỳ lặp lại 30 năm do đó việc đánh giá ảnh hưởng chiều

cao lưu không tương đối bằng số liệu thực đo đòi hỏi bộ số liệu sóng tương đối đặc biệt sẽ được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo khi có được bộ số liệu phù hợp.

LỜI CẢM ƠN: Bài báo sử dụng kết quả nghiên cứu của đề tài cấp tỉnh “Nghiên cứu hiệu quả

giảm sóng, gây bồi tạo bãi của các giải pháp công trình bảo vệ bờ biển đã xây dựng và đề xuất hình mẫu kết cấu hợp lý nhằm nâng cao hiệu quả kỹ thuật của công trình”. Tác giả xin chân thành cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Cà Mau đã tạo điều kiện để Viện Kỹ thuật Biển và Nhóm nghiên cứu thực hiện đề tài này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyen N.-M., Van D.D., Le Duy T. và cộng sự. (2022). The Influence of Crest Width and Working States on Wave Transmission of Pile–Rock Breakwaters in the Coastal Mekong Delta. *JMSE*, **10(11)**, 1762.
- [2] Tú L.X. và Dương Đ.V. (2020). Nghiên cứu khả năng truyền sóng của đê kết cấu cọc ly tâm đổ đá học trên mô hình máng sóng. *Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, **58**, 1–12.
- [3] Tiến N.A. (2017). Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định bờ biển vùng đồng bằng sông Cửu Long, đoạn từ Mũi Cà Mau đến Hà Tiên. *Đề tài độc lập cấp Nhà nước mã số DTĐLCN-09/17*, Viện Khoa học Thủy lợi, Hà Nội.
- [4] Thuận N.N., Ty T.V., Hùng T.V. và cộng sự. (2021). Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau. *VNJHM*, **732(12)**, 93–105.
- [5] Minh N.N., Tú L.D., Đạt T.N. và cộng sự. (2022). Ảnh hưởng của các dạng kết cấu đê giảm sóng đến tương tác sóng, công trình đã ứng dụng ở bờ biển Đồng bằng Sông Cửu Long. *Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, **72**, 1–10.
- [6] Le Xuan T., Tran Ba H., Le Manh H. và cộng sự. (2020). Hydraulic performance and wave transmission through pile-rock breakwaters. *Ocean Engineering*, **218**, 108229.
- [7] Rasmeemasuang T. và Sasaki J. (2015). Wave Reduction in Mangrove Forests: General Information and Case Study in Thailand. *Elsevier Inc.*
- [8] Lợi L.T., Nguyễn L.T., Duy N.N. và cộng sự. (2019). Đánh giá khả năng giảm sóng triều của độ dày rừng ngập mặn tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng. *CTU Journal*, **55(Environement)**, 18.
- [9] Thieu Quang T. và Mai Trong L. (2020). Monsoon wave transmission at bamboo fences protecting mangroves in the lower mekong delta. *Applied Ocean Research*, **101**, 102259.
- [10] Tuan T.Q., Luan M.T., và Cuong L.N. (2022). Laboratory study of wave damping by porous breakwaters on mangrove mudflats in the Mekong River Delta. *Ocean Engineering*, **258**, 111846.
- [11] Construction Industry Research and Information Association, btv. (2007), *The rock manual - the use of rock in hydraulic engineering*, CIRIA, London.