

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM
VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM

LÊ XUÂN TÚ

**NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA KẾT CẤU ĐÊ
RỎNG, ỨNG DỤNG CHO ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG**

Ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình thủy
Mã số: 9 58 02 02

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Thành phố Hồ Chí Minh - Năm 2026

Công trình được hoàn thành tại: **Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam**

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Trần Bá Hoàng
GS.TS. Lê Mạnh Hùng

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Viết Thanh

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Danh Thảo

Phản biện 3: PGS.TS. Đinh Văn Duy

Luận án này được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện; họp tại: Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, số 658 Võ Văn Kiệt, Phường Chợ Quán, Tp. Hồ Chí Minh.

vào hồi giờ phút ngày tháng năm 2026

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam.
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Dải ven biển là vùng đất có hệ sinh thái đa dạng và có vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội và an ninh quốc phòng. Vùng ven biển là một trong những nơi phát triển năng động nhất trên thế giới và hiện có khoảng 3,0 tỷ người, hơn 65% các thành phố lớn trên thế giới tập trung ở khu vực ven biển. Xói lở và bồi lắng bờ biển trên thế giới đang diễn ra tổng diện tích của đất bị xói lở là khoảng 28.000 km², gấp đôi diện tích bồi. Khu vực ven biển Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) với chiều dài bờ biển bị xói lở gần 300/744 km. Làm ảnh hưởng đến hệ sinh thái rừng ngập mặn, cơ sở hạ tầng ven biển và sinh kế của người dân.

Để bảo vệ bờ biển nhiều giải pháp phi công trình và công trình đã được triển khai như: kè áp mái, đê giảm sóng bằng hàng rào tre, Geotube, đê đá đổ, đê cấu kiện kết cấu rồng đúc sẵn... đã được xây dựng, những kết cấu mới bảo vệ bờ biển như đê giảm sóng kết cấu rồng đang được áp dụng phổ biến vì hiệu quả giảm sóng, khả năng gây bồi tạo bãi khôi phục rừng ngập mặn mang lại hiệu quả. Xuất phát từ những yêu cầu thực tiễn trên, cho thấy cần phải nghiên cứu giải pháp kỹ thuật để bảo vệ bờ biển khỏi xói lở và rừng ngập mặn đang bị suy thoái. Giải pháp phải phù hợp trong điều kiện biến đổi khí hậu (BĐKH), nước biển dâng (NBD), các công trình bảo vệ bờ biển cần thiết phải có tính thích ứng cao để đáp ứng yêu cầu bảo vệ bờ biển trong điều kiện thay đổi, cũng như bảo vệ hệ sinh thái và môi trường ven biển. Một trong những giải pháp đó là đê kết cấu rồng (KCR) đặt xa bờ. Do đó, việc nghiên cứu cơ sở khoa học về truyền sóng, tương tác sóng và công trình đê KCR là vấn đề cần thiết để hiểu rõ sự làm việc của loại công trình này và làm cơ sở cho việc áp dụng vào thực tế bảo vệ bờ biển ĐBSCL.

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Phân tích quá trình truyền sóng qua đê giảm sóng KCR TC1 để làm rõ tương tác sóng - KCR TC1, đặc trưng hình học của ĐGS TC1, hệ số truyền sóng và quá trình biến đổi vận tốc dòng chảy qua ĐGS.
- Xây dựng công thức thực nghiệm tính hệ số truyền sóng (Kt) của đê giảm sóng TC1

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Đê kết cấu rồng mặt cắt chữ A tên gọi là TC1 và các đặc tính của nó gồm hệ số truyền sóng và biến đổi vận tốc dòng chảy qua KCR.

Phạm vi nghiên cứu: Bờ biển khu vực vùng ĐBSCL.

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Các tiếp cận: Luận án lựa chọn cách tiếp cận tổng hợp bao gồm: (1) Tiếp cận từ thực tế; (2) Tiếp cận từ các giải pháp KHCN, công trình bảo vệ bờ biển đã

được áp dụng thực tế trong nước và trên thế giới; (3) Tiếp cận kế thừa, phát triển các kết quả nghiên cứu;

Phương pháp nghiên cứu: (1) Phương pháp kế thừa, (2) Phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý, (3) Phương pháp đánh giá mô hình thực tế 1:1, (4) Phương pháp phân tích hồi quy, (5) Phương pháp chuyên gia.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học: Làm rõ được cơ chế tương tác sóng – Đê KCR, phân tích chi tiết cơ chế truyền sóng, giảm sóng của đê KCR TC1 trong các điều kiện thủy động lực khác nhau. Góp phần hoàn thiện cơ sở lý thuyết, tính toán thiết kế ĐGS kết cấu rồng TC1. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của KCR TC1 như chiều cao lưu không, độ rồng thân đê, bề rộng hiệu dụng, thông số sóng, xây dựng công thức truyền sóng qua cấu kiện TC1 trong điều kiện sóng, mực nước ở ĐBSCL

Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu đã ứng dụng vào thực tế xây dựng đê giảm sóng ở Gò Công, Tân Phú Đông – Tiền Giang đem lại hiệu quả cao về giảm sóng, gây bồi, khôi phục rừng ngập mặn, điều này mở ra triển vọng áp dụng cho các khu vực có điều kiện tương đồng ở khu vực ven biển ĐBSCL.

6. Những đóng góp mới của luận án

(1) Đánh giá được ảnh hưởng của các yếu tố đến hệ số truyền sóng K_t qua đê KCR TC1 bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối ($R_c/H_{m0,i}$); (ii) Bề rộng tương đối (B_{eff}/d); (iii) Độ dốc sóng (S_{0m}), (iv) độ rồng bề mặt của kết cấu (n) hay độ thâm hiệu dụng trong môi trường rồng (P_f), sự thay đổi vận tốc dòng chảy khi sóng truyền qua đê đê KCR.

(2) Xây dựng được công thức thực nghiệm tính hệ số truyền sóng (K_t) qua KCR TC1 cho khu vực ven biển ĐBSCL từ kết quả thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng 2D và kiểm định trên bề sóng 3D, mô hình thực tế tỉ lệ 1:1.

$$K_t = -0.112 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.765 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{-0.11} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.485}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right]$$

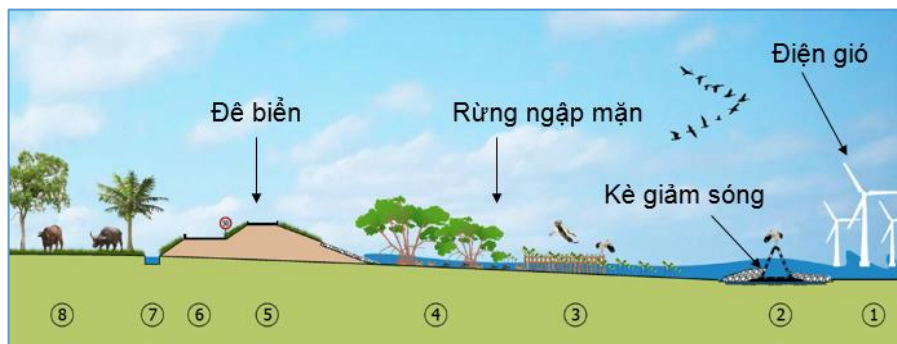
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về giải pháp bảo vệ bờ biển

1.1.1. Giải pháp bảo vệ bờ biển

Bờ biển ĐBSCL là khu vực xảy ra các tương tác mạnh như sóng, gió, nước dâng... quá trình này diễn ra liên tục phức tạp theo thời gian và không gian. Các hoạt động khai thác dải ven biển ngày càng nhiều cùng với sự thay đổi điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội... làm cho vấn đề sạt lở bờ biển diễn ra nghiêm trọng uy hiếp đến cuộc sống người dân, hủy hoại môi trường và cơ sở hạ tầng ven biển, đặc biệt ảnh hưởng đến quy hoạch phát triển kinh tế xã

hội dải ven biển. Để giải quyết vấn đề này đã có những thành quả nghiên cứu của thế giới và ở Việt nam về giải pháp công nghệ bảo vệ bờ biển và cách tiếp cận. Có nhiều giải pháp để bảo vệ bờ biển, tạo cảnh quan, từ các giải pháp cứng, giải pháp mềm và các giải pháp kết hợp.



Hình 1-1. Giải pháp bảo vệ bờ biển đa tầng

Trên thế giới hiện nay để bảo vệ bờ biển cho vùng đất thấp có điều kiện tương tự như ĐBSCL thì giải pháp kết hợp giữa giải pháp cứng và giải pháp mềm tạo ra sự thân thiện với môi trường và khôi phục hệ sinh thái, với cách tiếp cận coi trọng nguyên tắc “Xây dựng cùng thiên nhiên” (Building with nature), Bảo vệ bờ biển đa tầng “Multiple line defense” là những phương pháp tiếp cận mới mà các nước phát triển trên thế giới đang sử dụng. Sơ đồ trình bày trong Hình 1-1 là giải pháp bảo vệ bờ biển đa tầng “Multiple defence lines” nó bao gồm nhiều thành phần khác nhau như: đê giảm sóng, rừng ngập mặn, bờ kè, đê ngăn nước..., với mục đích nhằm chống xói lở, ngập lụt, tạo ra môi trường hệ sinh thái tự nhiên và thích ứng BĐKH-NBD. Trong đó đê giảm sóng (ĐGS) là một thành phần quan trọng trong hệ thống này. Theo hình dạng mặt cắt ngang hình học: ĐGS có mặt cắt hình thang là phổ biến nhất, một số dạng khác hình chữ nhật như thùng chìm Caisson, đê hình bán nguyệt... Về mặt kết cấu đê giảm sóng có nhiều loại khác nhau tùy thuộc vào điều kiện sóng, địa hình, địa chất để áp dụng như: đê đá đổ, đê lõi đá đổ lớp ngoài cùng được xếp bằng các cấu kiện bê tông dẹt hình dục sắn (Tetrapod, Tribar, Dolos, Accropode, Racuna IV ...); đê kết cấu rỗng (đê trụ rỗng hình bán nguyệt đục lỗ; rặng gài nhân tạo: Reefball, Beach Prism, Wave Attenuation Devices (WAD), SandSaver...

1.1.2. Nghiên cứu về kết cấu đê giảm sóng

Đê giảm sóng được ứng dụng rộng rãi ở ĐBSCL trong khoảng 15 năm gần đây các loại kết cấu phổ biến như: kết cấu cọc bê tông ly tâm lõi đá học tại Cà Mau; Đê trụ rỗng tại Cà Mau; Đê giảm sóng cốt phi kim của Busadco; Đê giảm sóng kết cấu rỗng TC1, TC2, Đê rỗng phức hợp phân hệ cọc lắp

ghép trên đỉnh đê ngầm ở Cà Mau; Kết cấu rỗng được xếp từ các khối rỗng OCTTM (Oyster CASTLE-type); và một số giải pháp khác như hàng rào tre của GIZ.

1.2. Tổng quan về nghiên cứu truyền sóng qua đê kết cấu rỗng (KCR)

1.2.1. Một số khái niệm về truyền sóng qua đê giảm sóng KCR

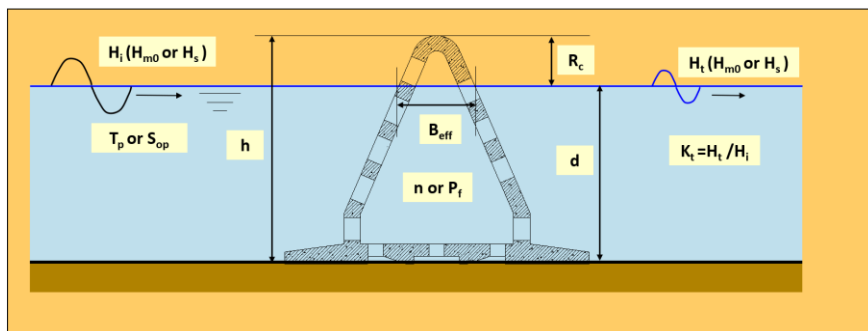
Hình 1-2 thể hiện các thông số cơ bản ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng K_t . Hệ số truyền sóng K_t là tỷ số giữa chiều cao sóng phía sau so với chiều cao sóng đến trước KCR: $K_t = H_{s,t} / H_{s,i}$

- $H_{s,i}$ và $H_{s,t}$ lần lượt là chiều cao sóng tới trước và sau kết cấu rỗng.

Hiệu quả giảm sóng ε_s % được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_s = (1 - K_t) * 100\% = (1 - \frac{H_{s,t}}{H_{s,i}}) * 100\%$$

Với: K_t - là hệ số truyền sóng qua kết cấu rỗng ($0 \leq K_t \leq 1,0$); ε_s - là hiệu quả giảm sóng của kết cấu rỗng ($0 \leq \varepsilon_s \leq 100\%$).



Hình 1-2. Các thông số cơ bản ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng K_t

1.2.2. Công thức thực nghiệm về truyền sóng qua kết cấu rỗng

Trong nghiên cứu này, NCS tổng quan chính đến các công thức về truyền sóng cho các kết cấu rỗng có chức năng và nguyên lý làm việc tương đồng với đê kết cấu rỗng TC1 (Bảng 1-1). Nghiên cứu xây dựng công thức truyền sóng qua đê kết cấu rỗng đã được quan tâm và phát triển trong thời gian qua. Nghiên cứu xây dựng công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t qua đê KCR TC1 vẫn còn hạn chế và chưa phản ánh đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng như độ rỗng thân đê, bề rộng hiệu dụng đê, thông số sóng... Do đó, nghiên cứu về truyền sóng qua kết cấu rỗng TC1 sẽ được thực hiện dựa trên một số công thức tương đồng về truyền sóng qua môi trường rỗng, từ đó phân tích

đánh giá để bổ sung các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng, tăng độ chính xác và phạm vi áp dụng của công thức cho cầu kiện TC1.

Bảng 1-1 Tổng hợp công thức truyền sóng qua kết cấu rồng đã nghiên cứu

Tác giả	Công thức	Phạm vi áp dụng
d'Angremond và nnk, 1996	$K_t = -0,4 \left(\frac{R_c}{H_s} \right) + a. \left(\frac{B}{H_s} \right)^{-0,31} \times (1 - e^{-0,5\xi_{0p}})$ $a = 0,64$ cho đê thấm nước $a = 0,80$ cho đê không thấm Đê kết cấu đá đỏ, mặt cắt hình thang	$B/H_s < 8,0$ $0,075 < K_t < 0,80$
Kurdistani và nnk (2022)	$K_t = 0,576 \ln \left(0,428 (1 + \cot \alpha)^{0,002} \left(1 - \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{0,75} \left(\frac{B_{eff}}{D_{50}} \right)^{0,125} \left(\frac{L_p}{B_{eff}} \right)^{0,30} \omega^{0,412} \psi^{-0,118} \right) + 0,923$ $B_{eff} = B + 0,4 \cot \alpha (h + R_c)$ $\omega = (1/2\pi) \tanh(2\pi h/L_p)$ $\psi = n^{0,5} h B_{eff} / B H_{m0}$ Đê kết cấu đá đỏ, mặt cắt hình thang	$D_{50} = 0,3 \div 0,5$ $n = 0,4$ $K_t = 0,075 \div 0,832$ Đê ngầm
Marcel R.A. van Gent và nnk (2023)	$K_t = c_1 \tanh \left(- \left(\frac{R_c}{H_{m0}} + c_2 \left(\frac{B}{L_{m-1,0}} \right)^{c_3} + c_4 \right) \right) + c_5$ Đê ngầm kết cấu đá đỏ, đê rồng đục lỗ, mặt cắt hình thang	$R_c/H_{m0} = -2,5 \div 0;$ $B/L_{m-1,0} = 0,017 \div 0,075,$ $B/H_{m0} = 0,9 \div 2,3$ $m = 2$
Thiều Quang Tuấn và nnk (2018)	$K_t = -0,22. \left(\frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0,75. (1 - e^{-0,26\xi_{0m-1,0}})$ Đê Busadco rồng đục lỗ, mặt cắt hình thang; Không xét đến B, độ rồng	$R_c/H_{m0,i} = -0,76 \div 2,0;$ $\xi_{0m} = 0,010 \div 0,025;$ $K_t = 0,22 \div 0,77$

Phạm Thị Thúy (2023)	$K_{t,3} = -0.28 \frac{R_c}{H_{mo}} + 0.44 \left(P_{f,1} \frac{B}{d} \right)^{-0.14} \left(1 - \exp \left(\frac{-0.2}{\sqrt{Som}} \right) \right)$ Kết cấu Reef Ball rỗng được xếp thành hàng, B thay đổi theo cách xếp số hàng Reef Ball.	$R_c/H_{mo} = -0.3 \div 3.1$ $B/d = 3.0 \div 11.5$ $n = 0.88 \div 0.94$ $Som = 0.001 \div 0.022$
Lê Xuân Tú và nnk (2022)	$K_t = -0.12 \frac{R_c}{H_{m0,j}} + 0.52 \left(1 - e^{-\zeta_{op}} \right)$ Đê kết cấu rỗng, mặt cắt hình thang TC1. Không xét đến B, độ rỗng.	$\frac{R_c}{H_{m0,j}} = -1.11 \div 2.3$ $S_{op} = 0.021 \div 0.043$ $K_t = 0.24 - 0.65$
Phạm Đức Hưng (2024)	$K_t = -0.23 \cdot \min \left(1; \frac{R_c}{H_{m0,j}} \right) + 0.59 \cdot \left(\frac{1}{1-\varepsilon} \right) \left(\frac{B}{H_{m0,j}} \right)^{-0.03} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.38}{\sqrt{S_{m-1,0}}} \right) \right]$ Đê kết cấu rỗng hình móng ngựa, áp dụng cho đê nhô, Có xét đến B thay đổi, độ rỗng (ε) bề mặt trước thay đổi, mặt sau cố định.	$R_c/H_{m0,i} = 0 \div 2.10$ $B/H_{m0,i} = 1.375 \div 4.794$ $S_{m-1,0} = 0.036 \div 0.076$
Mai Trọng Luân (2024)	$K_t = -0.30 \cdot \min \left(0.75, \frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0.63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D} \right)^{-0.29} \left[1 - \exp \left(-\frac{0.30}{\sqrt{S_{om}}} \right) \right]$ Kết cấu rỗng được xếp từ các khối rỗng OCTTM (Oyster CASTLE-type), B_f cố định không thay đổi theo mực nước.	$R_c/H_{mo} = -0.3 - 3.1$ $B/d = 1.0 - 3.65$ $n = 0.55 - 0.65$ $S_{op} = 0.002 - 0.04$

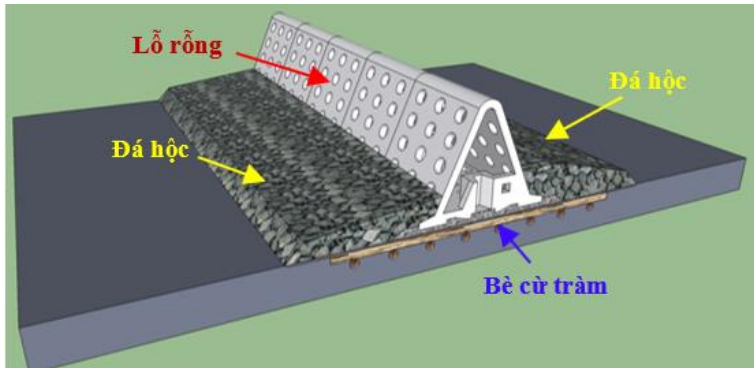
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU TRUYỀN SÓNG CỦA ĐÊ KẾT CẤU RỖNG

2.1. Cơ sở đề xuất đê giảm sóng kết cấu rỗng TC1

2.1.1. Cấu tạo của đê kết cấu rỗng TC1

Cấu kiện được thiết kế hình dạng chữ A với hai mặt phía biển và phía bờ là hai tấm chắn giảm sóng có lỗ rỗng dạng hình tròn bố trí ở cả hai mặt trước và sau, các cấu kiện được đặt trên móng làm bằng bê tông cốt thép và đá dăm.

Trước và sau đê được gia cố đá hộc để chống xói chân tăng ổn định cho cấu kiện (xem Hình 2-1).



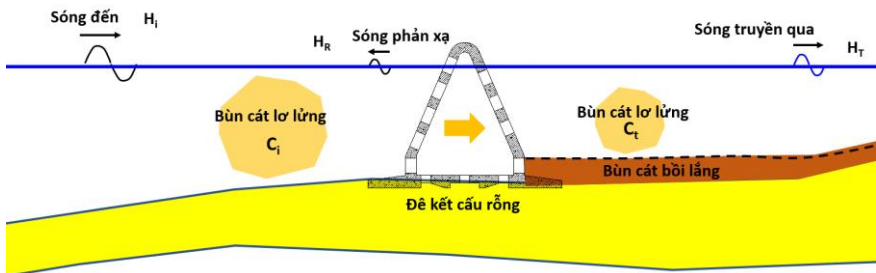
Hình 2-1. Sơ họa cấu tạo của đê giảm sóng TC1

2.1.2. Lý do đề xuất đê kết cấu rỗng TC1

Yêu cầu về chức năng khi thiết kế đê giảm sóng KCR TC1:

- Thân thiện với môi trường, có độ rỗng để trao đổi môi trường nước, cho bùn cát đi qua, ít cản trở quá trình di chuyển của động thực vật dưới nước;
- Ổn định và linh động trên nền đất yếu;
- Cấu kiện có tuổi thọ cao, chịu được tác động sóng biển, môi trường nước mặn;
- Cấu kiện đúc sẵn trong nhà máy, thi công nhanh trên biển, có thể tái sử dụng cấu kiện lắp đặt đê giảm sóng ở vị trí mới khi công trình hoàn thành nhiệm vụ.

2.2. Nguyên lý làm việc của kết cấu đê rỗng



Hình 2-2. Sơ họa nguyên lý làm việc của đê KCR TC1 trên mặt cắt ngang

Đê giảm sóng KCR với các lỗ rỗng trên bề mặt thân đê làm giảm sóng phản xạ, tăng khả năng tiêu hao năng lượng sóng, cho phép bùn cát đi qua không làm gián đoạn quá trình vận chuyển bùn cát đột ngột, nguyên lý này được thể hiện trên Hình 2-2.

2.3. Cơ sở khoa học về truyền sóng qua kết cấu đê rỗng TC1

2.3.1. Sự cân bằng năng lượng truyền sóng qua KCR

Phương trình cân bằng năng lượng sóng truyền qua một đê giảm sóng:

$$E_i = E_r + E_t + E_D \quad (2-1)$$

Trong đó: năng lượng sóng đến (E_i), năng lượng sóng phản xạ (E_r), năng lượng sóng tiêu tán (E_D) và năng lượng sóng truyền qua (E_t).

Kết quả của công thức chuyển hóa năng lượng này có thể được biểu diễn qua hệ số sóng phản xạ (K_r), hệ số sóng tiêu tán (K_D) và hệ số sóng truyền qua (K_t).

$$1 = \left(\frac{H_t}{H_i}\right)^2 + \left(\frac{H_r}{H_i}\right)^2 + \frac{E_D}{E_i} \quad (2-2)$$

$$1 = K_r^2 + K_t^2 + K_D^2$$

$$K_D = \sqrt{1 - (K_r^2 + K_t^2)} \quad (2-3)$$

Trong đó: $K_t = H_t / H_i$ - Hệ số truyền sóng được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng truyền phía sau công trình (H_t) và chiều cao sóng tới trước công trình (H_i); $K_r = H_r / H_i$ - Hệ số sóng phản xạ được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng phản xạ trước công trình (H_r) và chiều cao sóng tới trước công trình (H_i); K_D - hệ số sóng tiêu tán xác định dựa vào công thức (2-3).

2.3.2. Độ rỗng cấu kiện, độ thấm qua môi trường rỗng

Công thức tính độ thấm qua môi trường rỗng kí hiệu là P_f cho kết cấu rỗng khối lớn trong đó P_f là độ thấm hiệu dụng phụ thuộc vào độ rỗng khối (n) của KCR $P_f = f(P_1, P_2)$ công thức có dạng sau:

$$P_f = \frac{(1 - n)^2}{n^3} \quad (2-4)$$

2.3.3. Thiết lập phương trình tổng quát về hệ số truyền sóng cho đê kết cấu rỗng TC1

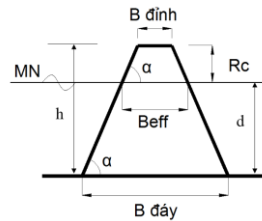
Hệ số truyền sóng qua đê rỗng bị chi phối bởi các nhóm tham số chính: (i) Độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$); (ii) Bề rộng hiệu dụng ($B_{eff}/L_{m-1,0}$ hoặc B_{eff}/d); (iii) Độ dốc sóng (S_{0m}). Tham số độ rỗng bề mặt của kết cấu (n) hay độ thấm hiệu dụng trong môi trường rỗng (P_f) là đặc trưng cho tham số hình dạng và độ rỗng của kết cấu TC1 để xây dựng công thức thực nghiệm.

Các đặc trưng hình học mặt cắt ngang đê kết cấu rỗng: Chiều cao của đê (h); Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê là khoảng cách từ đỉnh đê đến mực nước thí nghiệm: $R_c = h - d$ ($R_c > 0$ khi đê nhô, $R_c < 0$ khi đê ngầm);

Độ dốc mái đê; Độ rộng bề mặt mặt mái đê (n) hay độ thâm hiệu dụng trong môi trường rồng P_f là thông số kết cấu đưa vào thiết lập công thức; Bề rộng hiệu dụng của đê (B_{eff}) đặc trưng cho hình dạng đê kết cấu rồng khi làm việc với các mực nước khác nhau thì B_{eff} sẽ thay đổi đây là thông số sẽ đưa vào công thức thiết lập.

- Trường hợp đê ngầm: $B_{eff} = B_{đỉnh}$
- Trường hợp đê nhô: $B_{eff} = B_{đỉnh} + 2 \cdot R_c \cdot \cotg \alpha$ (2-5)

Trong đó $B_{đỉnh}$: là bề rộng đỉnh; R_c là chiều cao lưu không đỉnh đê tính từ đỉnh đê đến mực nước



Hình 2-3. Thể hiện chiều rộng hiệu quả đỉnh đê B_{eff} trong trường hợp đê nhô

Dựa trên lý thuyết Pi- Buckingham để thiết lập phương trình tổng quát thể hiện các tham số cơ bản chi phối hệ số truyền sóng K_t

$$\Pi = H_{m0,i}^{x1} \cdot H_{m0,t}^{x2} \cdot R_c^{x3} \cdot B_{eff}^{x4} \cdot L_{m-1,0}^{x5} \quad (2-6)$$

$$\text{Hoặc } \Pi = H_{m0,i}^{x1} \cdot H_{m0,t}^{x2} \cdot R_c^{x3} \cdot B_{eff}^{x4} \cdot d^{x5} \quad (2-7)$$

Từ đó qua phân tích nhận được phương trình dạng tổng quát hệ số truyền sóng có các dạng là:

$$K_t = \frac{H_{m0,i}}{H_{m0,t}} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}, P_f \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}}, S_{0m}\right) \quad (2-8)$$

$$K_t = \frac{H_{m0,i}}{H_{m0,t}} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}, P_f \frac{B_{eff}}{d}, S_{0m}\right) \quad (2-9)$$

Mối quan hệ và ảnh hưởng các tham số đến hệ số truyền sóng qua đê kết cấu rồng sẽ được phân tích trên kết quả thí nghiệm mô hình vật lý.

2.4. Thiết lập thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng

2.4.1. Lựa chọn thông số đầu vào thí nghiệm

Căn cứ chiều cao sóng từ 0.7 đến 1.5m và chu kỳ sóng từ 3 đến 7s để lựa chọn biên cho thí nghiệm mô hình vật lý. Phổ sóng lựa chọn phổ JONSWAP, độ sâu mực nước thí nghiệm thay đổi từ 1.4 ÷ 3.5m.

2.4.2. Năng lực máng sóng và điều kiện thí nghiệm

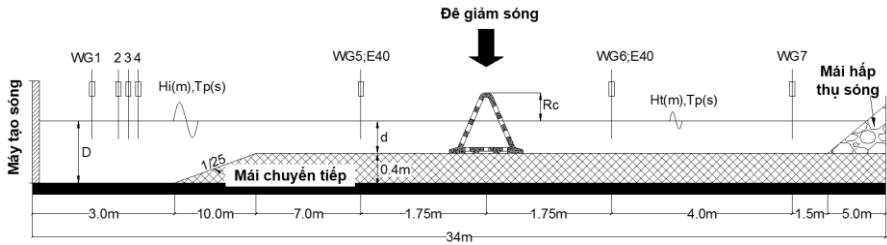
Thí nghiệm được thực hiện trong máng sóng của phòng thí nghiệm thủy động lực sông biển - Viện Khoa học Thủy lợi Miền. Chiều dài máng sóng 35m, chiều rộng 1.2 m và cao 1.5 m.

2.4.3. Lựa chọn tỷ lệ mô hình

Mô hình vật lý làm chính thái với tỉ lệ mô hình 1/7 dựa trên tính toán tỉ lệ mô hình năng lực máng sóng và điều kiện biên thí nghiệm.

2.4.4. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Kim đo sóng được bố trí trước và sau công trình bao gồm 5 kim đo trước công trình (WG1, 2, 3, 4, 5) dùng để xác định sóng đến phía trước công trình và 2 kim đo (WG6, 7) sau công trình được dùng để xác định chiều cao sóng sau khi qua công trình. Trong đó 4 kim (WG1, 2, 3, 4) được bố trí để tách sóng phản xạ và sóng tới trước công trình. Đầu đo dòng chảy E40 được sử dụng để đo vận tốc dòng chảy trước và sau công trình (xem Hình 2-4). Thời gian thí nghiệm mỗi kịch bản khoảng 500.Tp.



Hình 2-4 Bố trí vị trí kim đo sóng (WG) và đầu đo vận tốc E40 trong máng sóng

2.4.5. Các kịch bản thí nghiệm

- Vòng 1 với tổng số kịch bản được thực hiện là 36 để đánh giá ảnh hưởng độ rỗng kết cấu đến truyền sóng. Trường hợp KH0 tương ứng với kịch bản không có đê chắn sóng, trường hợp KH1 đến KH6 thay đổi tỉ lệ độ rỗng mặt trước P1 và mặt sau P2 (xem Bảng 2-1).

Bảng 2-1. Các kịch bản thí nghiệm độ rỗng khác nhau phía bờ và phía biển.

Kịch bản	Phía biển		Phía bờ	
	P ₁ (%)	d ₁ (m)	P ₂ (%)	d ₂ (m)
KH0	Không có đê chắn sóng			
KH1	11.8	0.041	11.8	0.041
KH2	22.5	0.057	11.8	0.041
KH3	36.6	0.073	11.8	0.041
KH4	36.6	0.073	22.5	0.057
KH5	22.5	0.057	22.5	0.057
KH6	20.7	0.050	15.2	0.041

Tất cả các kịch bản đều được thí nghiệm với hai độ sâu mực nước: $d=0.33\text{m}$ và $d=0.47\text{m}$ (tương ứng chiều cao lưu không $R_c = 0.14\text{ m}$ và 0 m). Đối với $d = 0.33\text{ m}$, hai thông số sóng $H_{m0} = 0.1\text{ m}$ và $T_p = 1.5$ và 2.5 s được tạo ra. Với $d = 0.47\text{m}$, hai thông số sóng với $H_{m0} = 0.14\text{ m}$ và $T_p = 1.5$ và 2.5 s .

- Vòng hai là kịch bản thí nghiệm truyền sóng cho kết cấu TC1, được đặt trên thềm có mái dốc tạo ra phổ sóng nước nông cho phù hợp với phổ sóng ở ĐBSCL, bao gồm 70 kịch bản. Trong đó, thay đổi mực nước là 7 kịch bản và thay đổi thông số sóng 10 giá trị (xem Bảng 2-2).

Bảng 2-2 Kịch bản thí nghiệm kết cấu TC1 trong máng sóng

Kịch Bản	Độ sâu d (cm) tại chân công trình hoặc chiều cao lưu không R_c (cm)	Tham số sóng
Công trình TC1	$d=20\text{cm}$ ($R_c=+20\text{cm}$) $d=25\text{cm}$ ($R_c=+15\text{cm}$) $d=30\text{cm}$ ($R_c=+10\text{cm}$) $d=35\text{cm}$ ($R_c=+5\text{cm}$) $d=40\text{cm}$ ($R_c=+0\text{cm}$) $d=45\text{cm}$ ($R_c=-5\text{cm}$) $d=50\text{cm}$ ($R_c=-10\text{cm}$)	$H_s=12\text{cm}$; $T_p=1.51\text{s}$ $H_s=12\text{cm}$; $T_p=1.89\text{s}$ $H_s=12\text{cm}$; $T_p=2.27\text{s}$ $H_s=12\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$ $H_s=17\text{cm}$; $T_p=1.89\text{s}$ $H_s=17\text{cm}$; $T_p=2.27\text{s}$ $H_s=17\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$ $H_s=22\text{cm}$; $T_p=2.27\text{s}$ $H_s=22\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$ $H_s=27\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$

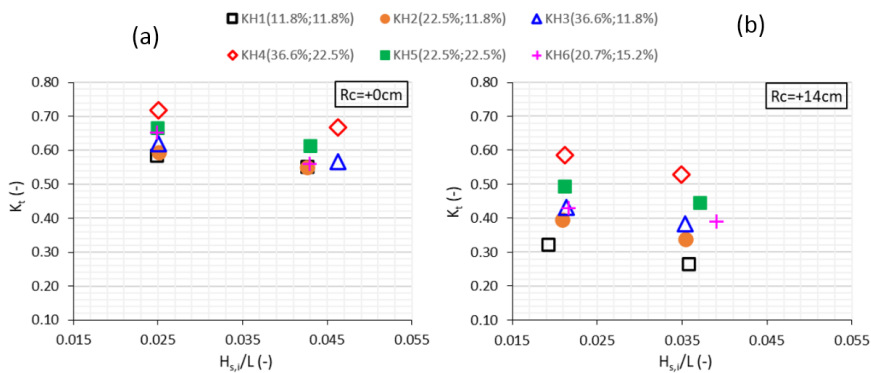
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phân tích, đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng qua đê kết cấu rồng TC1

3.1.1. Ảnh hưởng độ rồng đến hệ số truyền sóng, phản xạ và tiêu tán sóng

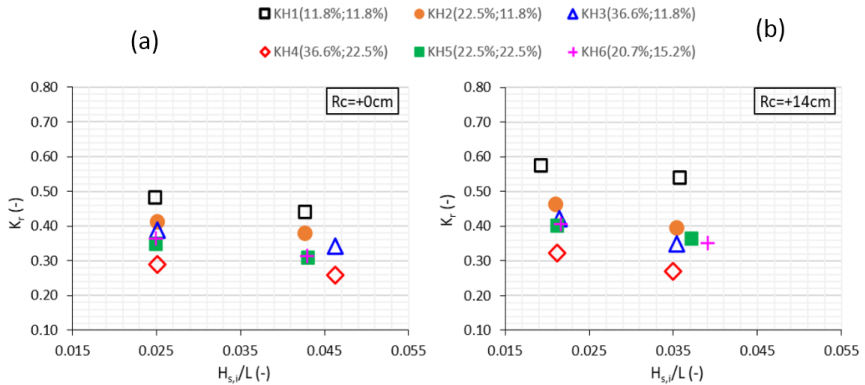
Hình 3-1 thể hiện mối quan hệ giữa hệ số truyền sóng K_t và độ dốc sóng H_s/L_p với trường hợp $R_c = 0\text{ cm}$ hình (a) và $R_c = +14\text{ cm}$ hình (b). Quan sát hai hình (a) và (b) nhận thấy sự thay đổi độ dốc sóng từ 0.02 đến 0.05 cho thấy khi đê chắn sóng nhô lên với $R_c = +14\text{ cm}$ thì sự phân tán của hệ số truyền sóng giữa các kịch bản độ rồng khác nhau nhiều hơn ($K_t = 0.25 \div 0.6$) so với trường hợp mực nước ngang mặt đỉnh đê $R_c = 0\text{ cm}$ ($K_t = 0.55 \div 0.72$). Xu hướng này cho thấy kịch bản KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$) có hệ số truyền sóng lớn nhất do kịch bản này có độ rồng bề mặt lớn nhất. Mặt khác, kịch bản KH1 ($P_1 = 11.8\%$; $P_2 = 11.8\%$) có độ rồng bề mặt nhỏ nhất có hệ số truyền sóng thấp nhất. Sự khác biệt này được nhận thấy trong cả trường hợp sóng dài và trường hợp sóng ngắn.

Khi so sánh 3 kịch bản KH1, KH2 và KH3 có cùng độ rỗng mặt phía bờ và độ rỗng mặt phía biển lớn dần thì xu hướng cho thấy độ rỗng mặt phía biển càng lớn thì hệ số truyền sóng tăng lên. Điều tương tự được nhìn thấy khi so sánh 2 kịch bản KH4 và KH5. Đối với trường hợp cùng độ rỗng mặt phía biển và độ rỗng mặt phía bờ tăng dần khi so sánh 2 cặp kịch bản KH2 ($P_1=22.5\%$; $P_2=11.8\%$) với KH5 ($P_1=22.5\%$; $P_2=22.5\%$) và KH3 ($P_1=36.6\%$; $P_2=11.8\%$) với KH4 ($P_1=36.6\%$; $P_2=22.5\%$) cũng cho thấy trong trường hợp độ rỗng mặt phía biển không đổi thì độ rỗng mặt phía bờ càng lớn sẽ cho hệ số truyền sóng càng lớn, xu hướng đồng biến giữa độ rỗng mặt phía bờ và hệ số truyền sóng.



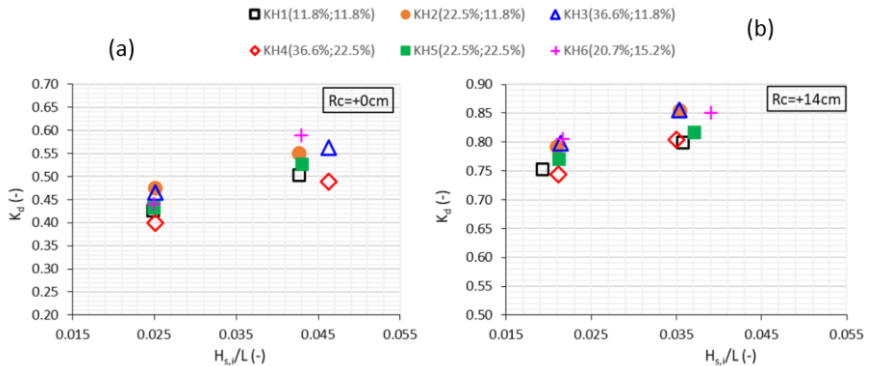
Hình 3-1. Hệ số truyền sóng ở 2 mực nước khác nhau

Khi so sánh các kịch bản KH1, KH2 và KH3 xu hướng cho thấy rằng hệ số truyền sóng tăng khi độ rỗng bề mặt tăng. Có thể nhận ra sự tương đồng khi so sánh 2 kịch bản KH4 và KH5. Khi xem xét trường hợp độ rỗng bề mặt phía biển cố định và độ rỗng mặt phía bờ tăng dần bằng cách so sánh hai cặp kịch bản là KH2 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 11.8\%$) với KH5 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 22.5\%$) và KH3 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 11.8\%$) với KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$) cho thấy trong trường hợp độ rỗng mặt phía biển không đổi thì độ rỗng mặt phía bờ tăng sẽ cho hệ số truyền sóng tăng.



Hình 3-2. Hệ số phản xạ sóng ở 2 mực nước khác nhau

Hình 3-2 thể hiện quan hệ giữa hệ số sóng phản xạ K_r và độ dốc sóng tới H_{si}/L . Quan sát thấy hệ số phản xạ sóng K_r lớn nhất ứng với kịch bản có độ rộng bề mặt nhỏ nhất KH1 ($P_1 = 11.8\%$, $P_2 = 11.8\%$) và hệ số sóng phản xạ K_r nhỏ nhất ứng với kịch bản có độ rộng lớn nhất KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$). Khi độ rộng phía bờ không thay đổi và tăng dần độ rộng mặt phía biển trong các kịch bản KH1 ($P_1 = 11.8\%$, $P_2 = 11.8\%$), KH2 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 11.8\%$) và KH3 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 11.8\%$) hoặc kịch bản KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$) và KH5 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 22.5\%$) hệ số phản xạ sóng giảm, chứng tỏ rằng độ rộng phía biển càng lớn thì hệ số phản xạ sóng càng nhỏ.

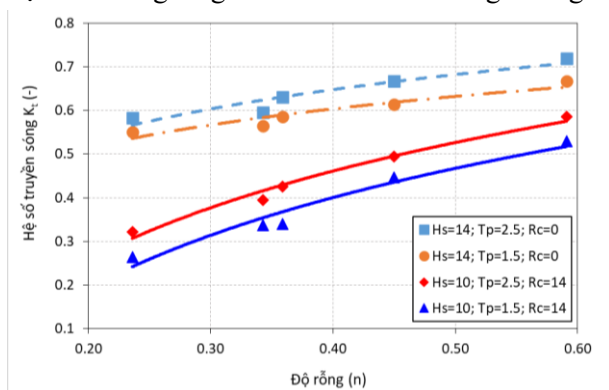


Hình 3-3. Hệ số tiêu tán sóng ở 2 mực nước khác nhau

Hình 3-3 cho thấy mối quan hệ giữa hệ số tiêu tán năng lượng sóng K_d và độ dốc của sóng tới H_{si}/L . Khi đê chắn sóng nhô lên (tức là $R_c = +14 \text{ cm}$) năng lượng sóng bị tiêu tán nhiều hơn so với khi mực nước bằng đỉnh đê (tức là $R_c = 0 \text{ cm}$). Hệ số tiêu tán năng lượng sóng thấp trong kịch bản có độ rộng

bề mặt nhỏ nhất KH1 ($P_1 = 11.8\%$; $P_2 = 11.8\%$) và kích bản độ rỗng lớn nhất KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$). Ngược lại, đối với ba kích bản KH2 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 11.8\%$) và KH3 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 11.8\%$), KH6 ($P_1 = 20.7\%$; $P_2 = 15.2\%$) độ rỗng mặt phía biển lớn hơn độ rỗng mặt phía bờ của đê chắn sóng điều này mang lại hệ số tiêu tán năng lượng sóng cao nhất. Độ dốc sóng càng lớn tỷ lệ thuận với sự tiêu tán năng lượng sóng lớn hơn, đặc biệt ở trạng thái nhô lên ($R_c = +14$), do đó $K_d = 0.6 \div 0.7$.

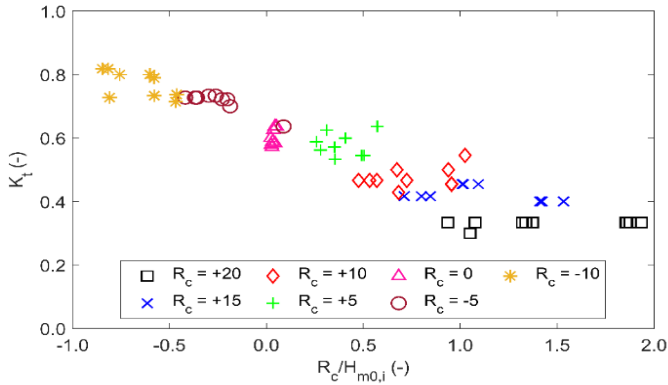
Hình 3-4 thể hiện quan hệ giữa hệ số truyền sóng K_t và độ rỗng (n) ứng với trường hợp sóng và mực nước khác nhau. Với trường hợp đê làm việc ở trạng thái ngập ($R_c=0$) thì ảnh hưởng của sự thay đổi độ rỗng bề mặt đến hệ số K_t là rất nhỏ, khi độ rỗng tăng từ $n=0.236$ lên $n=0.591$ tương đương 2.5 lần thì hệ số K_t chỉ tăng từ 0.55 đến 0.67 tương đương 1.2 lần. Ngược lại, khi đê làm việc ở trạng thái đê nhô ($R_c=14$) thì độ rỗng tăng lên tuyến tính với hệ số truyền sóng K_t tăng tương ứng, khi độ rỗng tăng từ $n=0.236$ lên $n=0.591$ thì hệ số K_t cũng tăng từ 0.26 đến 0.53 tương đương 2.0 lần.



Hình 3-4. Quan hệ giữa hệ số K_t và độ rỗng (n)

Đối với khu vực ĐBSCL để giảm sóng sau công trình $H_s \leq 0.4m$ (TCVN 10405-2020). Đại cây ngập mặn giảm sóng - Khảo sát và thiết kế để giảm sạt lở và khôi phục rừng ngập mặn thì công trình giảm sóng chỉ cần giảm khoảng 50÷70% sóng trong điều kiện gió mùa là đáp ứng yêu cầu. Ngoài ra, dựa trên điều kiện chế tạo, ổn định và bố trí kết cấu của cấu kiện đúc sẵn, NCS lựa chọn KH6 trường hợp độ rỗng ($P_1=20.7\%$; $P_2=15.2\%$) đảm bảo hệ số tiêu tán sóng lớn, hệ số sóng phản xạ nhỏ và phù hợp với yêu cầu giảm sóng.

3.1.2. Ảnh hưởng của chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$) đến hệ số truyền sóng K_t

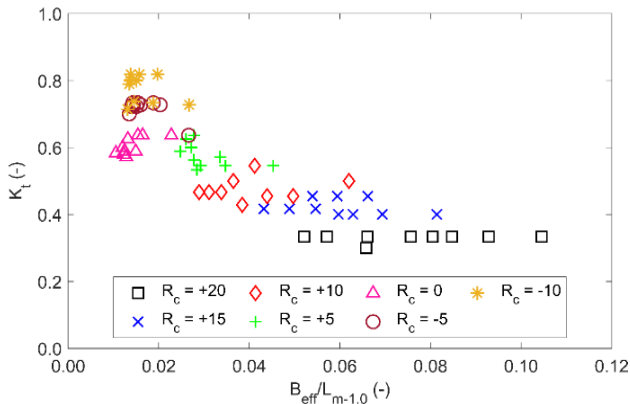


Hình 3-5. Ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$) đến K_t .

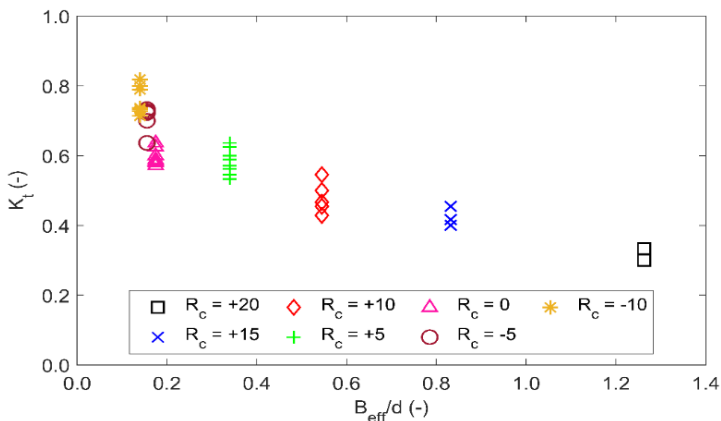
Error! Reference source not found. thể hiện quan hệ giữa hệ số truyền sóng K_t và chiều cao tương đối đỉnh đê $R_c/H_{m0,i}$. Do cấu tạo thân đê rộng nên khi đê làm việc ở trạng thái đê ngầm với độ ngập sâu nhỏ $R_c/H_{m0,i} < 0$ hệ số truyền sóng $K_t = 0.6 \div 0.8$. Trường hợp $0 \leq R_c/H_{m0,i} < 1$ hệ số truyền sóng K_t giảm một cách tuyến tính từ 0.6 đến 0.5 tức là hiệu quả giảm sóng tăng dần từ (40-50%). Khi $R_c/H_{m0,i} > 1$ tương ứng với trạng thái đê nhô trường hợp đê chắn sóng không có sóng tràn qua đỉnh, hệ số $K_t = 0.34 \div 0.4$ giảm rất nhẹ hoặc hầu như là không đổi.

3.1.3. Ảnh hưởng bề rộng tương đối của đỉnh đê (B_{eff}/L_{m0-1}), B_{eff}/d

Bề rộng đỉnh đê là một trong những tham số ảnh hưởng tới hiệu quả giảm sóng của kết cấu, bề rộng đỉnh đê rộng được đề xuất tính toán cho mặt cắt đê hình thang đề xuất trong nghiên cứu này là “bề rộng hiệu dụng” B_{eff} . Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{eff}/L_{m-1,0}$ với hệ số K_t được thể hiện trên Hình 3-6 và Hình 3-7.



Hình 3-6. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{eff}/L_{m-1,0}$ đến K_t .

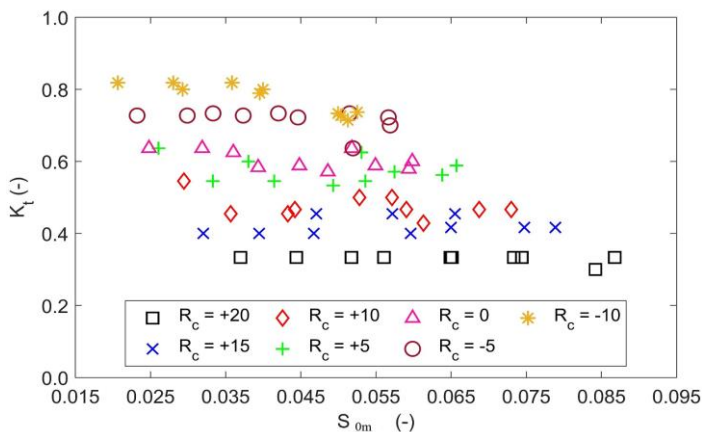


Hình 3-7. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B_{eff}/d đến K_t .

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{eff}/L_{m-1,0}$ đến K_t trở nên yếu dần khi đề làm việc ở trạng thái ngầm, với độ ngập lớn ($R_c = -5$ và -10 cm) thì ảnh hưởng $B_{eff}/L_{m-1,0}$ hầu như rất ít.

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B_{eff}/d đến K_t thể hiện khá rõ xu thế, khi B_{eff}/d càng lớn thì hệ số K_t càng nhỏ, quan hệ là nghịch biến. Khi bề rộng tương đối lớn ($B_{eff}/d > 0.8$), bề rộng tương đối ảnh hưởng nhiều tới hệ số truyền sóng K_t , hệ số K_t nhỏ ($0.3 \div 0.6$). Khi bề rộng tương đối quá nhỏ ($B_{eff}/d < 0.4$) thì hệ số truyền sóng K_t lớn ($0.6 \div 0.8$).

3.1.4. Ảnh hưởng của độ dốc sóng (S_{0m})



Hình 3-8. Tương quan $S_{0m} \sim K_t$.

$$S_{0m} = \frac{2 \Pi H_{m0,i}}{g T_{m-1,0}^2} \quad (3-1)$$

Hình 3-8 mô tả mối quan hệ giữa hệ số truyền sóng và độ dốc của sóng tới S_{0m} và K_t cho các trường hợp độ sâu ngập khác nhau. Nhìn chung xu thế ảnh hưởng của S_{0m} đến K_t là rất yếu, khi đề làm việc ở trạng thái ngập $R_c < 0$ có xu thế nghịch biến đặc biệt là với độ ngập nước lớn ($R_c = -10$), cho thấy độ dốc sóng càng nhỏ thì không ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng K_t . Khi đề làm việc ở trạng thái đề nhỏ thì quan hệ này không rõ nét ứng với các độ dốc sóng khác nhau.

3.1.5. Xây dựng công thức hệ số truyền sóng qua KCR TC1 từ kết quả thí nghiệm mô hình vật lý

Theo kết quả phân tích thứ nguyên theo lý thuyết PI-PUCKINGHAM cho hệ số truyền sóng đề kết cấu rồng được trình bày trong Chương 2

Hệ số truyền sóng qua đề giảm sóng rồng của những nghiên cứu Angremond và nnk, 1996; Van der Meer và nnk, 2005; Thiệu Quan Tuấn nnk, 2022; Marcel R.A. van Gent và nnk, 2023 đều có dạng chung. Như vậy, NCS có thể ứng dụng dạng công thức này để xây dựng các công thức cho đề KCR TC1:

$$K_t = a_1 \frac{R_c}{H_{m0}} + a_2 \left(P_f \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}} \right)^{a_3} \left[1 - \exp \left(\frac{a_4}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-2)$$

$$K_t = a_1 \frac{R_c}{H_{m0}} + a_2 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{a_3} \left[1 - \exp \left(\frac{a_4}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-3)$$

Trong đó: Các hằng số thực nghiệm a_1, a_2, a_3, a_4 được xác định bằng phương pháp hồi quy với các số liệu thí nghiệm từ mô hình vật lý với 70 thí nghiệm. Các hằng số thực nghiệm được xác định lần lượt là: $a_1 = -0.187$, $a_2 = 0.775$, $a_3 = -0.025$, $a_4 = -0.41$, $R^2 = 0.9373$ cho công thức (3-2).

Như vậy công thức (3-2) trên đây được viết lại có dạng như sau:

$$K_t = -0.187 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.775 \left(P_f \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}} \right)^{-0.025} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.41}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-4)$$

Với công thức (3-3) Các hằng số thực nghiệm được xác định lần lượt là: $a_1 = -0.112$, $a_2 = 0.765$, $a_3 = -0.11$, $a_4 = -0.485$, $R^2 = 0.9468$.

Như vậy công thức (3-3) trên đây được viết lại có dạng như sau:

$$K_t = -0.112 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.765 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{-0.11} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.485}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-5)$$

Phạm vi ứng dụng của công thức:

$$\frac{R_c}{H_{m0,i}} = -1.07 \div 1.93; S_{0m} = 0.021 \div 0.087$$

$$\frac{B_{eff}}{d} = 0.14 - 1.263; K_t = 0.3 \div 0.80; P_1=20.7\%; P_2=15.2\%$$

3.1.6. Kiểm định công thức với số liệu đo đạc từ bề sóng

Sử dụng số liệu 24 kích bản từ thí nghiệm truyền sóng qua KCR TC1 trong bể sóng để kiểm định công thức (3-4); (3-5) bằng cách thay các số liệu đo đạc từ thí nghiệm như R_c/H_{mo} ; B_{eff}/d ; $B_{eff}/L_{m-1,0}$; P_f và S_{mo} vào công thức cho thấy giá trị K_t , tính toán tính theo công thức và K_t , thực đo với chỉ số đánh giá R^2 và RMSE kết quả cho độ tin cậy tương đối tốt (Bảng 3-1). Tuy nhiên, công thức (3-5) cho kết quả tốt nhất với $R^2 = 0.8523$ lớn nhất và sai số RMSE = 0.057 là nhỏ nhất do đó công thức này được lựa chọn để tính truyền sóng qua kết cấu TC1.

Bảng 3-1. Hệ số tương quan R^2 , RMSE

STT	Công thức	Các chỉ số đánh giá	
		R^2	RMSE
1	Công thức (3-4)	0.8102	0.067
2	Công thức (3-5)	0.8523	0.058

3.1.7. Kiểm định công thức với số liệu đo đạc từ thực địa

Khảo sát được thực hiện tại bờ biển Tân Thành, tỉnh Tiền Giang. Sơ đồ bố trí các trạm đo đạc được trình bày trên Hình 3-9. Với 4 vị trí đo đạc: ST1, ST2, ST3, ST4 được thiết lập để thu thập các yếu tố thủy động lực (gồm dòng chảy và sóng, bùn cát lơ lửng).



Hình 3-9. Sơ đồ thiết lập các trạm đo tại bờ biển Tân Thành, tỉnh Tiền Giang.

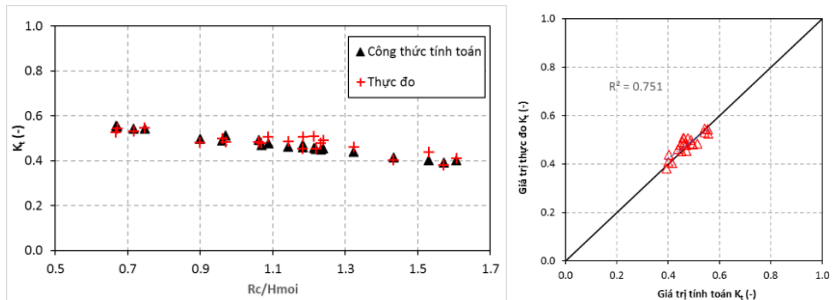
Để đánh giá công thức thiết lập với kết quả đo đạc hiện trường sử dụng bộ số liệu đo đạc tại công trình đê giảm sóng TC1 tại Tân Thành từ ngày

13÷15/01/2021 đây là thời điểm gió mùa Đông Bắc hoạt động mạnh kết hợp với triều cường. Để đánh giá hệ số truyền sóng Kt qua kết cấu TC1, công thức được sử dụng như sau:

$$K_t = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}}$$

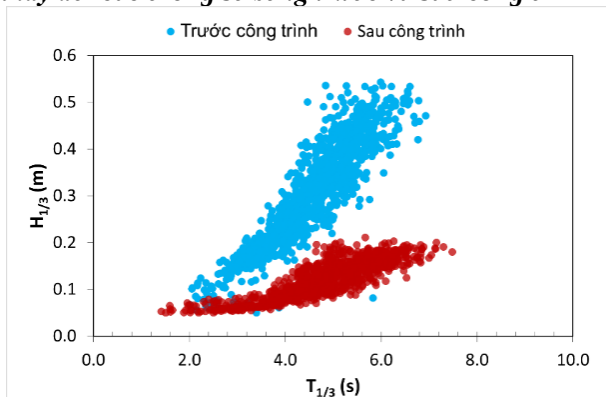
Hệ số truyền sóng được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng truyền phía sau công trình ($H_{m0,t}$) tại ST2 và chiều cao sóng tới trước công trình ($H_{m0,i}$) tại ST1;

Kết quả so sánh hệ số truyền sóng từ công thức tính toán với số liệu phân tích từ đo đạc cho thấy kết quả tính toán hệ số truyền sóng từ công thức thực nghiệm và thực đo khá phù hợp với chỉ số tương quan $R^2 = 0.751$ và sai số $RMSE = 0.024$. Tuy nhiên, hệ số tương quan R^2 từ số liệu thực đo thấp hơn số liệu trong bể sóng, điều này thể hiện các yếu tố khi mô thí nghiệm trong máng sóng và thực đo ngoài hiện trường là khác nhau do ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài thực địa như: hướng sóng, gió, địa hình, nồng độ bùn cát, nước mặn, hiện tượng nhiễu xạ, khúc xạ sóng ...



Hình 3-10. So sánh hệ số K_t giữa tính toán và thực đo tại Tân Thành.

3.1.8. Sự thay đổi các thông số sóng trước và sau công trình



Hình 3-11. Quan hệ giữa chiều cao sóng và chu kỳ sóng

Hình 3-11 cho thấy sự khác biệt rõ ràng về chiều cao sóng có ý nghĩa trước và sau công trình, sóng sau công trình dao động gần như nhỏ hơn 0.3m, trong khi đó sóng trước công trình chiều cao tới 0.55m, ngoài ra chu kỳ sóng vẫn không có sự biến đổi nhiều từ 2-7s.

3.2. Biến đổi vận tốc qua đề kết cấu rồng TC1

Hệ số truyền vận tốc $K_{V_{mean}}$ là tỷ số giữa vận tốc trung bình phía sau so với vận tốc trung bình trước kết cấu rồng TC1: $K_{V_{mean}} = V_{mean,t} / V_{mean,i}$

Hiệu quả giảm dòng chảy ε_v % được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_v = (1 - K_{V_{mean}}) * 100\% = (1 - \frac{V_{mean,t}}{V_{mean,i}}) * 100\%$$

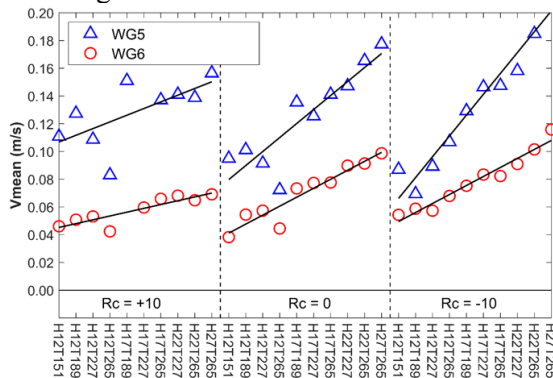
Với: $K_{V_{mean}}$ là hệ số truyền dòng chảy qua kết cấu rồng ($0 \leq K_{V_{mean}} \leq 1,0$)

ε_v là hiệu quả giảm dòng chảy qua kết cấu rồng ($0 \leq \varepsilon_v \leq 100\%$)

$V_{mean,i}$ và $V_{mean,t}$ lần lượt là vận tốc trung bình phía trước và sau kết cấu rồng.

3.2.1. Quá trình biến đổi vận tốc trung bình ứng với các trạng thái làm việc của ĐGS

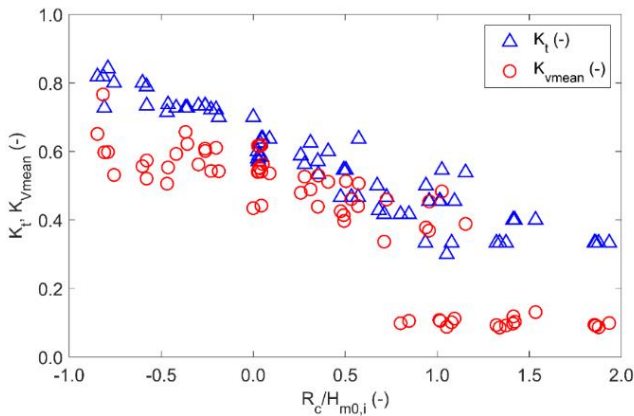
Để xem xét ảnh hưởng của các thông số sóng đến quá trình biến đổi giá trị vận tốc trung bình trước và sau công trình tại vị trí kim đo WG5, WG6 (Hình 2-4). Hình 3-12 thể hiện sự biến đổi vận tốc trung bình rất rõ nét, khi chiều cao sóng càng gia tăng thì vận tốc trước và sau công trình cũng gia tăng tương ứng trong đó với trường hợp đề nhô ($R_c=+10$) khi sóng tăng chiều cao từ $H_s=12\text{cm}$ đến $H_s=22\text{cm}$ thì vận tốc trung bình tại trước công trình (WG5) tăng đáng kể từ $V_{mean}=0.115\text{cm/s}$ đến 0.17cm/s , ngược lại vận tốc sau công trình (WG6) gần như tăng rất ít từ 0.045 đến 0.055m/s , hệ số suy giảm dòng chảy trước và sau công trình lên đến trên $\varepsilon_v = 50\%$.



Hình 3-12. Sự biến đổi giá trị vận tốc trung bình tại WG5, WG6.

3.2.2. Ảnh hưởng của chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$) đến hệ số truyền vận tốc K_{Vmean}

Hệ số truyền vận tốc trung bình K_{Vmean} được tính bằng tỉ số vận tốc sau công trình (WG6) / vận tốc trước công trình (WG5). Hình 3-13 thể hiện xu thế khi đê làm việc trạng thái đê nhô ($R_c > 0$) thì hệ số K_{Vmean} khá nhỏ dao động từ $K_{Vmean} = 0.15 \div 0.4$ tương ứng hệ số suy giảm vận tốc $\varepsilon_v = 60-85\%$ và khi đê làm việc ở trạng thái ngầm ($R_c < 0$) sóng tràn qua đỉnh đê hệ số K_{Vmean} tăng lên đáng kể từ $K_{Vmean} = 0.4 \div 0.7$ tương ứng $\varepsilon_v = 30 \div 60\%$ điều này khá tương đồng với hệ số truyền sóng K_t . Hình 3-13 cũng cho thấy có sự tương quan khá cao về xu thế giữa hệ số truyền sóng và hệ số truyền vận tốc ứng với các chiều cao lưu không khác nhau.



Hình 3-13. Quan hệ hệ số K_t , K_{Vmean} và chiều cao lưu không R_c .

Hệ số truyền sóng K_t và hệ số truyền vận tốc K_{Vmean} là những đặc trưng thủy lực của kết cấu đê rồng khi sóng truyền qua kết cấu rồng đục lỗ không ngăn cản hoàn toàn sóng và vận tốc dòng chảy mà vẫn cho phép sóng, vận tốc dòng chảy truyền qua với một mức độ nhất định với hệ số giảm vận tốc dao động từ $\varepsilon_v = 30 \div 85\%$.

3.3. Ứng dụng đê giảm sóng KCR TC1 tại Tân Thành, Gò Công

Công trình ứng dụng tại bờ biển Tân Thành- Gò Công đây là khu vực sạt lở với tốc độ từ $5 \div 20$ m/năm với mục đích giảm sóng khôi phục RNM.

3.3.1. Tính toán cao trình đỉnh đê

Cao trình đỉnh đê tính theo yêu cầu giảm sóng xác định theo công thức sau:

$$Z_d = Z_{tp} + R_c \quad (3-6)$$

Trong đó: - Z_{tp} là cao trình mực nước biển thiết kế trong điều kiện gió mùa

- R_c là chiều cao lưu không từ đỉnh đê đến mực nước thiết kế được tính toán thử dần từ công thức thiết lập K_t ;

$$K_t = -0,112 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0,765 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{-0,11} \left[1 - \exp \left(\frac{-0,485}{\sqrt{S_{om}}} \right) \right]$$

Với điều kiện sóng, mực nước tại khu vực bờ biển Tiên Giang các thông số để tính toán và thiết kế cao trình đỉnh đê được thể hiện trong Bảng 3-2.

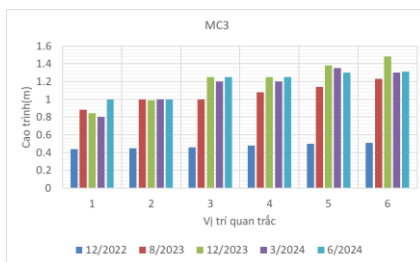
Bảng 3-2. Tổng hợp các thông số thiết kế đê giảm sóng

Thông số tính toán thiết kế	Giá trị	Ghi chú
Mực nước thiết kế (m)	+1.55	Theo phụ lục tính toán PL4
Độ sâu nước trước đê d (m)	1.7	Mực nước thiết kế - cao trình bãi
Chiều cao sóng ở nước sâu H_{m0} (m)	1.5	Sóng gió mùa Đông Bắc PL4
Chu kỳ sóng ở nước sâu T_p (s)	5.0	
Chiều cao sóng thiết kế trước đê H_{m0i} (m)	0.9	Tính truyền sóng từ nước sâu vào chân công trình PL4
Chiều cao sóng lớn nhất trước đê H_{max} (m)	1.38	$H_{max} = 1.53 H_{m0i}$
Chiều cao sóng sau đê $H_{m0,t}$ (m) < $[H_{m0,t}]$	0.4	Yêu cầu giảm sóng để trồng rừng ngập mặn theo TCVN-10405-2020
Hệ số truyền sóng cho phép $[K_t]$	0.44	$= H_{mot} / H_{m0i}$
Kết quả tính toán		
Chiều rộng đỉnh đê hiệu dụng B_{eff} (m)	1.52	Công thức (2-6)
Chiều cao lưu không đỉnh đê R_c (m)	+0.92	Công thức (3-7)
Chiều cao sóng sau đê H_{mot} (m)	0.397	
Cao trình đê giảm sóng (m)	+2.47	Công thức (3-6)

Dựa vào kết quả tính toán cao trình đỉnh đê lựa chọn là +2.5m

3.4. Kết quả đánh giá ứng dụng của đê kết cấu rỗng thông qua đo đặc hiện trường

3.4.1. Hiệu quả gây bồi tạo bãi



Hình 3-14. Cao trình bãi tại mặt cắt sau đê giảm sóng ở Tân Thành

Hình 3-14 thể hiện sự biến đổi cao trình bãi phía sau công trình tại 6 điểm (1-6 là từ bờ ra công trình giảm sóng) trên 3 mặt cắt quan trắc ở Tân Thành sau 5 thời điểm khảo sát (12/2022-6/2024) kết quả cho thấy cao trình bãi bồi tăng lên khá nhanh sau năm đầu xây dựng và dần ổn định ở các năm tiếp theo tại cao trình $+0.8 \div 1.2\text{m}$. Với cao trình bãi có thể tiến hành trồng và khôi phục rừng ngập mặn để tăng khả năng bảo vệ bờ biển và giảm sóng.

3.4.2. Hiệu quả khôi phục rừng ngập mặn và hệ sinh thái

Kết quả phục hồi rừng ngập mặn ở Cồn Cống và Tân Thành sau khi xây dựng công trình cho thấy hệ sinh thái dưới nước đang dần phục hồi nhiều loài thủy hải sản đang dần phát triển dưới tán rừng ngập mặn đây là tín hiệu tích cực cho thấy hiệu quả của công trình trong việc phục hồi hệ sinh thái ven biển.



Hình 3-15. Quá trình phục hồi rừng ngập mặn và hệ sinh thái ở Tân Thành và Cồn Cống – Tiền Giang sau 4 năm xây dựng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

(1) Luận án đã tổng quan những thành tựu nghiên cứu trên thế giới, trong nước về các giải pháp bảo vệ bờ biển trong đó trọng tâm là đề giảm sóng kết cấu rồng. Từ đó đề ra hướng tiếp cận của luận án đi sâu vào việc nghiên cứu truyền sóng, đặc tính thủy lực của loại đề giảm sóng KCR TC1.

(2) Luận án đã xây dựng được cơ sở khoa học cho tính toán truyền sóng qua đề kết cấu rồng TC1 bằng phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý thiết lập quá trình thí nghiệm, đo đạc hiện trường để xây dựng công thức tổng quát về truyền sóng qua đề KCR.

(3) Kết quả nghiên cứu đã phân tích được thông số liên quan đến hệ số truyền sóng như đặc tính hình dạng đề kết cấu rồng, thông số sóng, sự biến đổi vận tốc dòng chảy trước và sau KCR xây dựng được công thức truyền sóng qua KCR TC1, ứng dụng giải pháp đề kết cấu rồng TC1 cho bờ biển ĐBSCL, kết quả đo đạc đánh giá hiệu quả công trình về giảm sóng, dòng chảy, bồi lắng và phục hồi hệ sinh thái rừng ngập mặn ở bờ biển Tân Thành - Gò Công, Cồn Cống – Tân Phú Đông tỉnh Tiền Giang với đầy đủ cơ sở khoa học minh chứng, đảm bảo độ tin cậy và có khả năng ứng dụng kết cấu TC1 vào trong thực tiễn cho khu vực ven biển ở ĐBSCL.

2. Kiến nghị

Trong nghiên cứu luận án, xây dựng công thức truyền sóng qua KCR TC1 dựa trên thí nghiệm trong máng sóng với phương truyền sóng vuông góc với công trình, thực tế hiện trường sóng tác động vào công trình theo nhiều hướng khác nhau và có các hiện tượng khúc xạ, nhiễu xạ sóng. Do đó, cần nghiên cứu tác động của hướng sóng xiên đến công trình để xây dựng công thức truyền sóng với nhiều hướng khác nhau.

Nghiên cứu mới hạn chế bố trí các loại lỗ rồng trên bề mặt đề với đường kính hình tròn và xếp theo hàng, do đó cần có nghiên cứu bố hình dạng khác nhau (hình tam giác, chữ nhật...) và bố trí khác nhau trên bề mặt cấu kiện để đánh giá hệ số truyền sóng, sóng phản xạ, tiêu tán.

Nghiên cứu hình thái bồi lắng sau công trình đề giảm sóng KCR TC1, quá trình phát triển đường bờ, hình dạng bãi bồi sau công trình so sánh với các dạng đề giảm sóng truyền thống như đề đá đồ, thùng chìm thân đề đặc.

Nghiên cứu đánh giá quá trình thay đổi môi trường, hệ sinh thái động thực vật dưới nước, hệ sinh thái rừng ngập mặn trước và sau khi xây dựng công trình. Từ đó có kế hoạch triển khai trồng rừng và di dời tuyến đề ra ngoài để tiếp tục mở rộng diện tích rừng ngập mặn.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- [1] **Lê Xuân Tú**, Trần Bá Hoàng, Lê Mạnh Hùng, 2023. Giải pháp tổng thể bảo vệ bờ biển, phục hồi rừng ngập mặn trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long. Tuyển tập nghiên cứu khoa học Viện khoa học Thủy lợi miền Nam 2023.
- [2] **Lê Xuân Tú**, Trần Bá Hoàng, Lê Thanh Chương, Lê Mạnh Hùng, Lê Thị Hiền. Ứng dụng đề giảm sóng kết cấu rồng TC1, TC2 bảo vệ bờ biển vùng đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học công nghệ Thủy lợi. Số 67 (8/2021).
- [3] **Tu Le Xuan**, Hoang Thai Duong Vu, Peter Oberle, Thanh Duc Dang, Hoang Tran Ba, Hung Le Manh, 2024. Hydrodynamics and wave transmission through a hollow triangle breakwater, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 302, 108765.
- [4] **Le Xuan Tu**, Le Manh, H., Ba, H.T., Do Van, D., Vu, H.T.D., Wright, D., Hieu, B.V., Anh, D.T., 2022. Wave energy dissipation through a hollow triangle breakwater on the coastal Mekong Delta. Ocean Eng. 245, 110419
- [5] **Le Xuan Tu**, Ba, H.T., Thanh, V.Q., Wright, D.P., Tanim, A.H., Anh, D.T., 2022. Evaluation of coastal protection strategies and proposing multiple lines of defense under climate change in the Mekong Delta for sustainable shoreline protection. Ocean Coast Manag. 228, 106301.
- [6] Báo cáo tại hội nghị quốc tế “Water Security and Climate Change Conference (WSCC2022)” do AIT tổ chức từ ngày 01-03 tháng 12 năm 2022, Thailand, Với chủ đề “Adaptation for sustainable and resilient development”. Bài báo cáo “Holistic coastal protection strategies with nature-based solution for climate change adaptation in coastal Mekong Delta”. <https://www.youtube.com/watch?v=BURR2Sm35NA>
- [7] Sách chuyên khảo “Bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long sạt lở và các giải pháp phòng chống”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật năm 2022. PGS.TS. Trần Bá Hoàng, PGS.TS. Đinh Công Sản, ThS. Lê Thanh Chương, **ThS. Lê Xuân Tú**.

-----///-----