

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

MAI TRỌNG LUÂN

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA ĐÊ LẤP GHÉP
CÁU KIỆN CT3N-WIP1, ÁP DỤNG CHO BẢO VỆ BỜ BIỂN PHÍA
TÂY MŨI CÀ MAU

NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH THỦY

Mã số: 9 58 02 02

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- GS.TS. Nguyễn Vũ Việt
- GS.TS. Thiều Quang Tuấn

Hà Nội - 2024

Công trình được hoàn thành tại:

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học 1: GS.TS. Nguyễn Vũ Việt

Người dưỡng dẫn khoa học 2: GS.TS. Thiều Quang Tuấn

Phản biện 1: PGS. TS. Nguyễn Bá Quỳnh

Phản biện 2: PGS. TS. Nguyễn Việt Thanh

Phản biện 3: GS. TS. Lê Văn Nghị

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án Tiến sĩ cấp Viện họp tại Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

Địa chỉ: số 171 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội.

Vào hồi: giờ phút, ngày tháng năm 2024

Có thể tìm hiểu Luận án tại:

- Thư viện Quốc gia

- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Sạt lở bờ biển và suy thoái hệ sinh thái rừng ngập mặn (RNM) đang là những vấn đề cấp bách. Tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long, đặc biệt là vùng biển Tây tỉnh Cà Mau, vấn đề này đã trở thành thách thức nghiêm trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến kinh tế, môi trường và đời sống của hàng triệu cư dân ven biển. Các giải pháp bảo vệ bờ biển hiện nay bao gồm từ công trình cứng như đê bê tông, kè đá, đến các giải pháp mềm như hàng rào cọc tre, trồng cây RNM. Tuy nhiên, mỗi giải pháp đều có những hạn chế riêng. Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu và triển khai các giải pháp giảm sóng hiệu quả, vừa đảm bảo tính bền vững, vừa hỗ trợ khôi phục hệ sinh thái RNM là yêu cầu cấp bách. Cấu kiện CT3N-WIP1 – một thiết kế mới với dạng lắp ghép, rỗng xốp, đã được đề xuất như một giải pháp tiên tiến nhằm khắc phục các nhược điểm trên.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Làm rõ mối tương quan giữa các tham số đặc trưng hình học của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 và hệ số truyền sóng qua công trình từ đó xây dựng công thức thực nghiệm để tính toán hệ số truyền sóng (K_t) của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Sóng và quá trình truyền sóng qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 trong điều kiện thủy động lực đặc thù tại khu vực biển Tây tỉnh Cà Mau.

Phạm vi nghiên cứu: Đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 xây dựng trên bãi biển bùn phía trước đai rừng ngập mặn bị xói lở ở khu vực biển Tây mũi Cà Mau.

4. Nội dung nghiên cứu

- Tổng quan nghiên cứu.
- Nghiên cứu sóng truyền qua ĐGS bằng thí nghiệm MHVL.
- Nghiên cứu xây dựng công thức thực nghiệm để xác định hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

5. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu và giải quyết các nội dung nghiên cứu của luận án, NCS sử dụng các phương pháp nghiên cứu chính như sau: Phương pháp nghiên cứu tổng quan; Phương pháp chuyên gia; Phương pháp phân tích thứ nguyên; Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý; Phương pháp phân tích hồi quy; Phương pháp nghiên cứu ứng dụng.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Làm rõ cơ chế tương tác sóng - công trình, phát triển công thức thực nghiệm.

Cung cấp giải pháp thiết kế bền vững, hỗ trợ ứng phó biến đổi khí hậu và mở ra hướng nghiên cứu và ứng dụng mới trong lĩnh vực công trình thủy và bảo vệ môi trường ven biển.

7. Đóng góp mới của luận án

(1) Luận án đã xác định và làm sáng tỏ các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của công trình ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê (R_c/H_{m0}); Bề rộng tương đối của đê (B/D); Sóng phản xạ (K_r) và Đặc trưng độ thấm của đê (P_f).

(2) Xây dựng được công thức thực nghiệm (3.10) tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tại vùng bãi bồi trước đai rừng ngập mặn thuộc khu vực ven biển Tây mũi Cà Mau.

Công thức này tích hợp đầy đủ các yếu tố kích thước hình học của công trình, đặc trưng thủy động lực của sóng tới và đặc trưng độ thấm:

$$K_t = -0,30 \cdot \min\left(0,75, \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0,63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{-0,29} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,30}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right]$$

8. Cấu trúc luận án

Ngoài phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, toàn bộ nội dung, kết quả nghiên cứu được trình bày trong 3 chương cụ thể là:

Chương 1: Tổng quan nghiên cứu về đê giảm sóng.

Chương 2: Cơ sở khoa học nghiên cứu giải pháp công trình đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

Chương 3: Kết quả nghiên cứu sóng truyền qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ ĐÊ GIẢM SÓNG

1.1. Giới thiệu chung về đê giảm sóng

Khái niệm: Đê giảm sóng (ĐGS) là công trình thủy lợi được thiết kế để làm giảm năng lượng sóng trước khi tác động vào bờ. ĐGS có thể được xây dựng tại các vùng biển, cửa sông, hoặc ven bờ nhằm bảo vệ bờ biển, công trình hạ tầng ven biển và hệ sinh thái RNM.

Đặc điểm chính:

- Cơ chế hoạt động: ĐGS tiêu tán năng lượng sóng qua các cơ chế truyền qua, phản xạ và tán xạ.

- Phân loại: ĐGS được phân loại theo cấu trúc (đê ngầm, đê nổi), theo vật liệu và kết cấu (cấu kiện đúc sẵn, đá đổ, vật liệu thân thiện với môi trường), và vị trí xây dựng (gần bờ, xa bờ).

1.2. Tổng quan ứng dụng về đê giảm sóng và các nghiên cứu về tương tác sóng-công trình

Trên thế giới: Các quốc gia như Nhật Bản, Italia, Mỹ đã triển khai nhiều loại ĐGS với thiết kế và vật liệu đa dạng, từ đê ngầm bằng

bê tông, đá đổ đến đê rồng xốp như Reef Ball. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc đánh giá hiệu quả giảm sóng thông qua thí nghiệm vật lý và mô hình số, xây dựng công thức thực nghiệm để tính toán hệ số truyền sóng. Các chương trình nghiên cứu lớn như DELOS (Châu Âu) và LEACOAST2 (Anh) đã góp phần làm sáng tỏ cơ chế tương tác giữa sóng và ĐGS.

Ở Việt Nam: Các loại ĐGS phổ biến bao gồm đê đá đổ, bê tông, và đê rồng như đê trụ rồng, đê BUSADCO, hay các công trình mềm như hàng rào cọc tre, gỗ. Nhiều giải pháp được nghiên cứu và thử nghiệm tại Đồng bằng sông Cửu Long nói chung và ở khu vực biển Tây Cà Mau nói riêng. Nghiên cứu về quá trình lan truyền sóng qua các loại công trình giảm sóng nói chung ở Việt Nam còn hạn chế về số lượng và kết quả đạt được so với nhiều quốc gia trên thế giới. Nhìn chung các nghiên cứu thường gắn với đề tài luận án tiến sĩ hay đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, cấp Quốc gia được thực hiện bởi Viện KHTL VN, Trường Đại học Thủy lợi hoặc các dự án được tài trợ của nước ngoài như nghiên cứu của AFD, GIZ... Phương pháp thường được sử dụng là phương pháp thí nghiệm trên mô hình vật lý hoặc mô hình số.

1.3. Tổng quan các giải pháp giảm sóng tại đồng bằng sông Cửu Long

ĐBSCL là khu vực chịu tác động mạnh mẽ từ xói lở bờ biển và suy thoái rừng ngập mặn. Các giải pháp ĐGS ứng dụng tại đây bao gồm: ĐGS dạng rồng: Giảm sóng, hỗ trợ tích tụ bùn cát, phục hồi rừng ngập mặn; ĐGS bằng vật liệu thân thiện môi trường: Cọc tre, gỗ kết hợp với trồng rừng; ĐGS ngầm và nổi: Kết hợp với các biện pháp bảo vệ bờ khác để tăng hiệu quả.

1.4. Kết luận chương 1

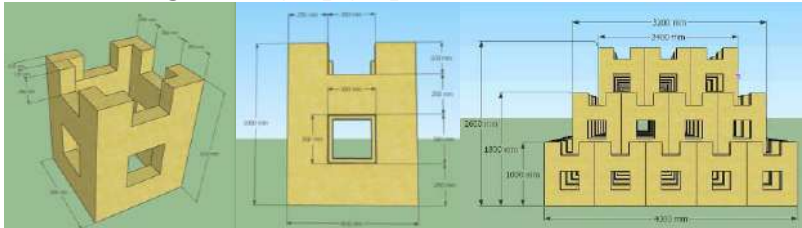
Chương này đã tổng hợp, phân tích các nghiên cứu trong và ngoài nước, làm rõ khoảng trống nghiên cứu về hiệu quả giảm sóng của các loại ĐGS, đặc biệt là dạng lắp ghép bằng cấu kiện rỗng/xốp. Việc nghiên cứu ĐGS cấu kiện CT3N-WIP1 tại vùng biển Tây Cà Mau không chỉ cần thiết mà còn mang lại ý nghĩa khoa học và thực tiễn lớn.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CÔNG TRÌNH ĐỀ GIẢM SÓNG LẮP GHÉP CẤU KIỆN CT3N-WIP1

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Khu vực biển Tây có nền đất yếu, độ dốc đáy nhỏ và thủy động lực phức tạp, dễ bị xói lở bờ biển. Sự suy thoái nghiêm trọng của rừng ngập mặn càng làm gia tăng tình trạng xói lở và mất đất. Yêu cầu đặt ra là phải có các giải pháp giảm sóng hiệu quả, hỗ trợ phục hồi bãi bồi và rừng ngập mặn.

2.2. Đề giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1



Hình 2-2. Cấu kiện CT3N-WIP1 (CK1)

Cấu kiện CT3N-WIP1: Là dạng cấu kiện rỗng, xốp, có khả năng tiêu tán năng lượng sóng và giảm sóng phản xạ. Hỗ trợ bồi tụ bùn cát, tạo điều kiện cho cây ngập mặn phát triển. Cấu trúc lắp ghép linh hoạt cho phép dễ dàng điều chỉnh kích thước, hình dáng mặt cắt để phù hợp với từng điều kiện thủy động lực và địa hình cụ thể.

2.3. Cân bằng năng lượng sóng

Bỏ qua thành phần năng lượng sóng bị tiêu hao do ma sát đáy và với giả thiết rằng lý thuyết sóng tuyến tính vẫn đủ tin cậy để miêu tả thông lượng năng lượng sóng, phương trình cân bằng năng lượng sóng qua công trình đê giảm sóng có thể được miêu tả như sau:

$$K_R^2 + K_t^2 + \varepsilon_D = 1 \quad (2.1)$$

2.4. Thiết lập phương trình tổng quát về hệ số truyền sóng

Lược án sử dụng lý thuyết PI-Buckingham để thiết lập các phương trình tổng quát thể hiện quan hệ giữa các tham số chi phối cơ bản tổ hợp dưới dạng các đại lượng phi thứ nguyên với hệ số truyền sóng K_t . Phương trình tổng quát xác định đại lượng phi thứ nguyên (hàm Π) như sau:

$$\Pi = H_{mo,i}^{x_1} \cdot H_{mo,t}^{x_2} \cdot R_c^{x_3} \cdot B_f^{x_4} \cdot L^{x_5} \quad (2.2)$$

Với x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 là các số mũ tương ứng với các biến độc lập được xem xét.

Bảng 2-1. Ma trận thứ nguyên

Thứ nguyên	$H_{mo,i}$	$H_{mo,t}$	R_c	B_f	L
[L]	1	1	1	1	1
[T]	0	0	0	0	0
[M]	0	0	0	0	0

Từ bảng phân tích thứ nguyên các tham số, xác định được các đại lượng phi thứ nguyên $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ như sau:

- $\Pi_1 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^1 R_c^0 B_f^0 L^0 = \frac{H_{mo,t}}{H_{mo,i}} = K_t$: Hệ số truyền sóng
- $\Pi_2 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^1 B_f^0 L^0 = \frac{R_c}{H_{mo,i}}$: Độ ngập tương đối
- $\Pi_3 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^0 B_f^1 L^0 = \frac{B_f}{H_{mo,i}}$: Bề rộng tương đối
- $\Pi_4 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^0 B_f^0 L^1 = \frac{L}{H_{mo,i}} \sim S_{om}^{-1}$: Độ dốc sóng

Như vậy, hàm PI-Buckingham tổng quát có dạng như sau:

$$K_t = \frac{Hmo,t}{Hmo,l} = f\left(\frac{Rc}{Hmo,l}, \frac{Bf}{Hmo,l}, s_{0m}\right) \quad (2.5)$$

Ngoài ra, tham số độ thấm ĐGS cũng ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng và kết hợp với bề rộng trung bình của ĐGS có thể viết công thức tổng quát dưới dạng như sau:

$$K_t = \frac{Hmo,t}{Hmo,l} = f\left(\frac{Rc}{Hmo,l}, Pf\frac{Bf}{Hmo,l}, s_{0m}\right) \quad (2.6)$$

Đây là căn cứ để xác định các tham số cần đo đạc trong thiết kế thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng.

2.5. Phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý

Mô hình vật lý được chọn làm chính thái với tỷ lệ mô hình $\lambda_L = \lambda_h = 8$, tỷ lệ thời gian mô hình λ_t (bao gồm cả chu kỳ sóng) sẽ được xác định tương ứng với tỷ lệ dài theo tiêu chuẩn Froude.

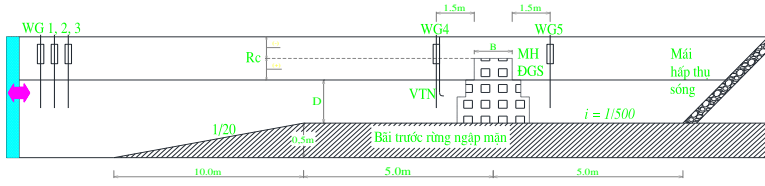
Máng sóng có chiều dài hữu ích 43m, rộng 1,0m và cao 1,2m, được trang bị với thiết bị hấp thụ sóng phản xạ chủ động (Active Reflecion Compensation-ARC) cho phép khử nhiễu sóng phản xạ lại từ bản tạo sóng. Máy tạo sóng có khả năng tạo sóng ngẫu nhiên theo phổ yêu cầu (JONSWAP, TMA, PM) với chiều cao sóng ngẫu nhiên lớn nhất là 0,3 m và chu kỳ dài nhất là 3 s. Các đầu đo sóng theo nguyên lý điện dung có khả năng đo đặc dao động mực nước với độ chính xác cao (± 0.1 mm), tần số đo lên tới 100Hz. Đầu đo lưu tốc 3 chiều Vectrino-II theo nguyên lý phản quang được sử dụng để đo lưu tốc dòng chảy.

Bảng 2-3. Tương quan tỷ lệ một số tham số

Các đại lượng	Tương quan	Tỷ lệ nguyên hình/mô hình
Tỷ lệ độ dài, chiều cao (m)	$\lambda_L = \lambda_h$	8
Tỷ lệ thời gian, chu kỳ (s)	$\lambda_t = \sqrt{\lambda_L}$	2,83

b) Bố trí thí nghiệm

Sơ đồ bố trí thí nghiệm được thể hiện trên Hình . Trong đó mô hình bãi rừng là bê tông vữa xi măng trát nhẵn có chiều cao 0,5m. Chiều dài mặt bãi là 10m có độ dốc $i = 1/500$, đoạn chuyển tiếp có chiều dài 10m độ dốc $i = 1/20$. Mô hình ĐGS trong máng sóng được thu nhỏ theo tỷ lệ mô hình trong bảng 2-3. Năm đầu đo sóng (kí hiệu WG) sẽ được sử dụng để đo sự biến đổi sóng phía trước bãi, trước và sau công trình ĐGS. Trong số đó hiệu quả giảm sóng của ĐGS được đánh giá thông qua kết quả đo đặc chiều cao sóng phía trước (WG4) và phía sau (WG5) công trình. Thiết bị đo lưu tốc 3 chiều Vectrino (VTN) đồng bộ với đo sóng tại vị trí trước đê (WG4) được sử dụng để phân tích xác định sóng phản xạ từ công trình trong điều kiện nước nông.



Hình 2-3. Sơ đồ bố trí thí nghiệm sóng truyền qua công trình ĐGS



Hình 2-4. Mô hình ĐGS trong máng sóng

Bảng 2-4. Các thông số hình học cơ bản của mô hình ĐGS

Mô hình	Bề rộng B (m)	Chiều cao đê H (m)	Độ rỗng khối n (-)	Ghi chú
ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1	0,2 ÷ 0,3	0,30	0,60 ÷ 0,70	

c) Các tham số đo đạc

Chiều cao sóng phổ H_{m0} :

$$H_{m0} = 4,004 \sqrt{m_0} = 4,004 \sqrt{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S(f) df} \quad (2.7)$$

Chu kỳ đỉnh phổ T_p , chu kỳ trung bình đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$:

$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (2.8)$$

$$T_{m-1,0} = \frac{m-1}{m_0} = \frac{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} f^{-1} S(f) df}{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S(f) df} \quad (2.9)$$

Chiều dài sóng nước sâu L_0 và nông L tại vị có độ sâu d :

$$L_{0p} = \frac{g}{2\pi} T_p^2 \quad (2.11)$$

$$L_{0m} = \frac{g}{2\pi} T_m^2 \quad (2.12)$$

$$L_p = L_{0p} \tanh\left(\frac{2\pi}{L_{0p}} D\right) \quad (2.13)$$

$$L_m = L_{0m} \tanh\left(\frac{2\pi}{L_{0m}} D\right) \quad (2.14)$$

Hệ số phản xạ sóng tổng hợp được xác định dựa trên tỷ số giữa thông lượng sóng phản xạ và thông lượng sóng tới.

$$K_R^2 = \frac{F^-}{F^+} \quad (2.15)$$

Các thông lượng sóng F được xác định từ các số liệu đo đồng bộ sóng và dòng chảy tại vị trí trước ĐGS như sau:

$$F^\pm = \frac{1}{4} \sqrt{g h} [C_{o\eta\eta}(f) \pm (2\sqrt{h/g}) C_{o\eta u}(f) + (h/g) C_{ouu}(f)] \quad (2.16)$$

Các trường hợp thí nghiệm cho phương án mô hình ĐGS được tổ hợp từ 12 kịch bản tham số sóng (là sự kết hợp của 06 chiều cao sóng $H_{m0} = 0,07\text{m}$ đến $0,18\text{m}$ (tương ứng $H_{m0} = 0,5\text{m}$ đến $1,50\text{m}$ trong thực tế) và hai độ dốc sóng gió mùa tiêu biểu $s_{op} = 0,02$ và $0,035$) và 3 tham số mực nước. Sóng được tạo ra ở biên nước sâu là sóng ngẫu nhiên có dạng phổ JONSWAP chuẩn.

Luận án thực hiện kịch bản thí nghiệm của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 với một số biến thể về mô hình của cấu kiện (thay

đổi về kích thước hình học, độ rỗng, và cách xếp). Chuỗi số liệu thí nghiệm MHVL đã xem xét đầy đủ đặc trưng sóng gió mùa tại khu vực biển Tây mũi Cà Mau để đánh giá một cách đầy đủ mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối cơ bản đến quá trình truyền sóng. Tổng số thí nghiệm được thực hiện là 348 thí nghiệm để đánh giá chi tiết hơn về hiệu quả giảm sóng và tăng độ tin cậy cho công thức thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

Bảng 2-5. Tổng hợp các kích bản kiểm định sóng

Độ sâu nước D (m)	Điều kiện thủy lực nguyên hình		Điều kiện thủy lực mô hình		Ghi chú
	H _{m0} (m)	T _p (s)	H _{m0} (m)	T _p (s)	
0,20 0,30 0,40	0,56	3,20	0,07	1,13	- Tỷ lệ mô hình $\lambda_L = \lambda_h = 8$; - Luật tỷ lệ Froude; - 12 kích bản sóng; - 03 độ sâu nước.
	0,56	4,25	0,07	1,50	
	0,8	5,09	0,10	1,80	
	0,8	3,82	0,10	1,35	
	0,96	5,66	0,12	2,00	
	0,96	4,25	0,12	1,50	
	1,12	5,94	0,14	2,10	
	1,12	4,53	0,14	1,60	
	1,28	6,51	0,16	2,30	
	1,28	4,81	0,16	1,70	
	1,44	6,79	0,18	2,40	
1,44	5,09	0,18	1,80		

Trình tự thí nghiệm được thực hiện như sau:

- Bước 1: Xây dựng mô hình, chế tạo cấu kiện CT3N-WIP1, kiểm tra và lắp đặt thiết bị đo.
- Bước 2: Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình
- Bước 3: Thực hiện các kích bản không có công trình
- Bước 4: Thực hiện các kích bản có công trình với các sự thay đổi về độ rỗng của cấu kiện CT3N-WIP1

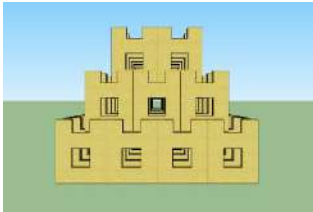
2.5. Kết luận chương 2

Chương 2 đã thiết lập cơ sở khoa học vững chắc để nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. Các yếu tố ảnh hưởng, phương pháp thí nghiệm và cơ sở xây dựng công thức thực nghiệm đã được trình bày rõ ràng, làm nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo.

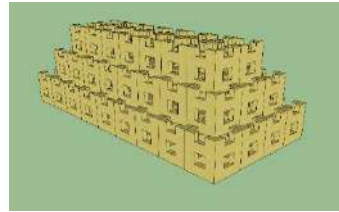
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU SÓNG TRUYỀN QUA ĐÊ GIẢM SÓNG LẮP GHÉP CẤU KIỆN CT3N-WIP1

3.1. Hệ số truyền sóng qua kết cấu giảm sóng CT3N-WIP1

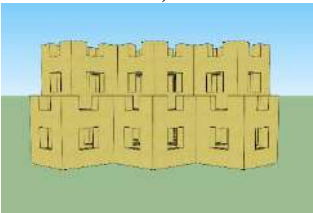
Hệ số truyền sóng không những phụ thuộc vào tính chất xốp rỗng của thân đê mà còn phụ thuộc vào các kích thước hình học của đê (chiều cao, chiều rộng).



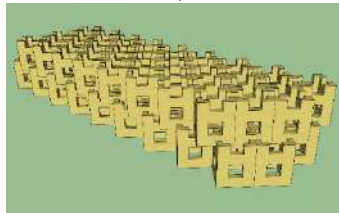
a)



b)



c)



d)

Hình 3-1. Hai phương án xếp cấu kiện CT3N-WIP1

(a), b): xếp thẳng hàng; c), d): xếp chéo góc 45°

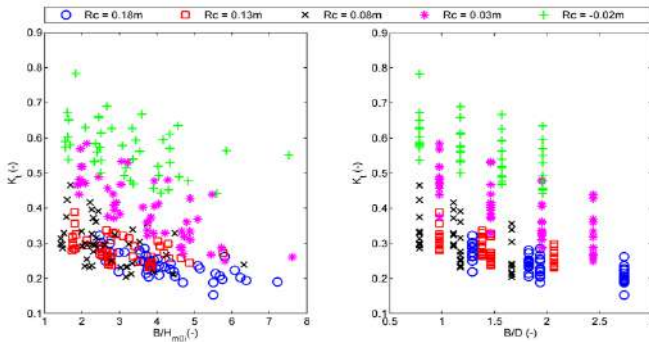
Trước hết chúng ta bắt đầu bằng việc phân tích mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối đến sóng truyền qua đê.

3.1.1. Ảnh hưởng của bề rộng

Bề rộng đỉnh đê B là tham số có ảnh hưởng quan trọng đến hệ số truyền sóng K_t và có quan hệ nghịch biến với hệ số truyền sóng.

Kết quả phân tích sự ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê tương đối (B/H_{m0} và B/D) được thể hiện trên Hình , tương ứng với các chiều cao lưu không của đỉnh đê (R_c) khác nhau, cho thấy các quan hệ ($K_t \sim B/H_{m0}$) và ($K_t \sim B/D$) là nghịch biến và phi tuyến, đặc biệt khi R_c lớn thì xu thế của sự phụ thuộc này càng trở nên rõ ràng ($R_c = 0,08m \div 0,18m$).

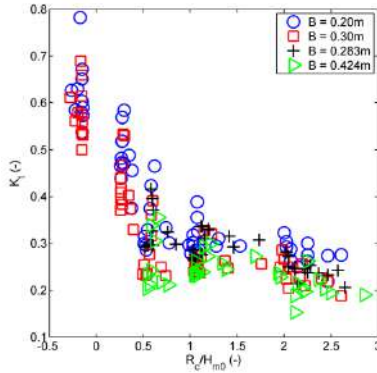
Qua Hình 3-2 có thể thấy rằng, trong cùng một điều kiện ngập nước, bề rộng tương đối của đê giảm sóng có ảnh hưởng lớn (sau chiều cao lưu không tương đối) và có xu thế nghịch biến với hệ số truyền sóng K_t . Đặc biệt rõ rệt khi chiều cao lưu không lớn.



Hình 3-2. Ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê tương đối B/H_{m0} và B/D đến sóng truyền

3.1.2. Ảnh hưởng của độ ngập đỉnh đê

Độ ngập đỉnh đê là khoảng cách từ mực nước tới đỉnh ĐGS.

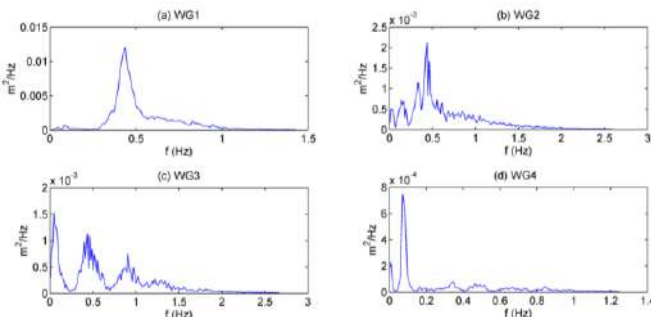


Hình 3-3. Tương quan $K_t \sim R_c/H_{m0}$

Quan hệ ($K_t \sim R_c/H_{m0}$) có xu thế nghịch biến rõ ràng. Có xu thế nghịch biến với hệ số truyền sóng K_t . Hệ số K_t giảm nhanh khi R_c/H_{m0} tăng đến giới hạn $R_c/H_{m0} \leq (0,75 \div 1,0)$. Khi đỉnh đê vượt cao so với mực nước, $R_c/H_{m0} > (0,75 \div 1,0)$, thì K_t giảm rất chậm và trở nên ít phụ thuộc vào tỷ số R_c/H_{m0} do lúc này không còn thành phần sóng tràn vượt qua đỉnh đê mà chủ yếu là thành phần sóng truyền qua thân đê.

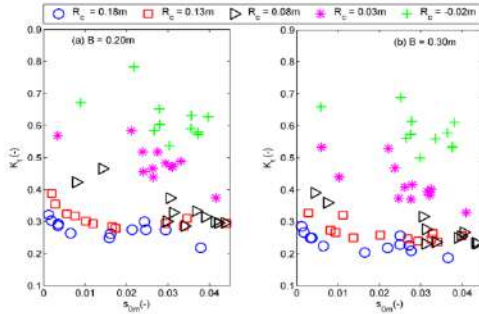
3.1.3. Ảnh hưởng của chu kỳ sóng

Trong nghiên cứu này NCS sử dụng dạng cho kỳ trung bình đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$. Đây là dạng chu kỳ đặc trưng cho sóng ở nước nông với sự nhấn mạnh vai trò của thành phần sóng dài trong phổ sóng trong các bài toán về sóng tương tác với công trình (Hình 3-4).



Hình 3-4. Phổ sóng tại các vị trí khác nhau ở trên bãi bồi

Nhìn chung K_t có xu thế nghịch biến đối với s_{0m} , tức là đồng biến với chu kỳ sóng $T_{m-1,0}$ (sóng càng dài thì sóng truyền càng lớn). Trong trường hợp đỉnh đê nhô cao thì sự phụ thuộc này càng trở nên rõ ràng hơn (Hình 3-5).

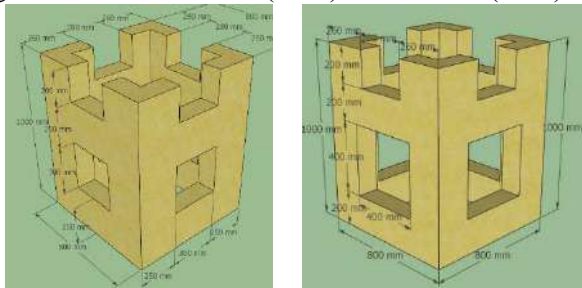


Hình 3-5. Ảnh hưởng của chu kỳ sóng đến hệ số truyền sóng

3.1.4. Ảnh hưởng của độ rỗng

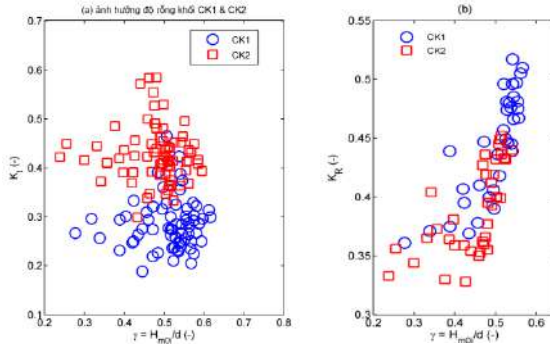
Độ rỗng của khối phủ hay của đê (độ rỗng khối) có ảnh hưởng lớn đến quá trình tương tác sóng-công trình, chi phối trực tiếp quá trình cân bằng năng lượng sóng qua công trình.

Ở đây ảnh hưởng của sự thay đổi độ rỗng của đê được xem xét đến ở trường hợp là với loại cấu kiện CT3N-WIP1 có kích thước lỗ rỗng ở bốn mặt cấu kiện khác nhau (Hình 3-6) tương ứng với độ rỗng khối trung bình của đê $n = 62\%$ (CK1) và $n = 66\%$ (CK2).



(a) (b)

Hình 3-6. Minh họa CK1 (a) và CK2 (b)



Hình 3-7. Ảnh hưởng của độ rỗng đến hệ số truyền sóng qua đê và hệ số phản xạ giữa hai loại cấu kiện CK1 và CK2

3.2. Sóng phản xạ

Sóng phản xạ là một trong những tham số phản ánh tính chất tương tác sóng và công trình, là chỉ số đánh giá quan trọng đối với công trình có chức năng hỗ trợ việc trồng tái sinh rừng. Hệ số phản xạ K_R là tham số cần thiết cho việc xác định chiều cao sóng tới trước và sau công trình ($H_{s,i}$ và $H_{s,t}$), dùng trong tính toán xác định hệ số truyền sóng K_T theo công thức biến đổi từ phương trình cân bằng năng lượng sóng:

$$H_{s,i} = \frac{H_{s,t}}{\sqrt{1+K_R^2}} \quad (3.1)$$

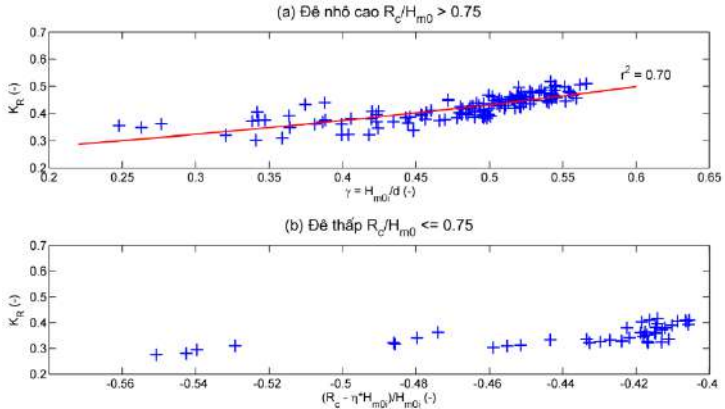
Với các số liệu đo đồng bộ sóng và dòng chảy, hệ số phản xạ K_R có thể được xác định công thức (3.1) cho tất cả các trường hợp thí nghiệm.

Có thể thấy rằng, khi đê nhô cao, hệ số phản xạ có xu thế tăng chậm theo quy luật hàm mũ đối với chỉ số sóng vỡ γ . Quy luật hàm mũ thường được sử dụng để miêu tả sóng phản xạ ở các công trình biển

$$K_R = a \cdot \exp(b \cdot \gamma) \quad (3.3)$$

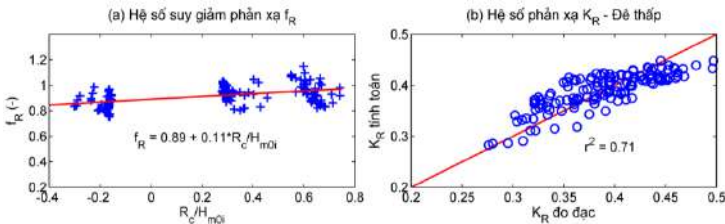
Từ kết quả phân tích hồi quy thực nghiệm (xem Hình 3-9a), công thức (3.3) cho trường hợp đê nhô cao có thể viết lại như sau:

$$K_R = 0,24 \cdot \exp(1,22 \cdot \gamma) \quad (3.4)$$



Hình 3-9. Số liệu thực nghiệm hệ số sóng phản xạ: (a) Đê nhô cao $R_c/H_{m0} > 0,75$ (b) Đê thấp $R_c/H_{m0} \leq 0,75$

Công thức (3.4) cho thấy khi sóng có chiều cao nhỏ so với độ sâu nước thì hệ số phản xạ tiệm cận giá trị $K_R = 0,24$.



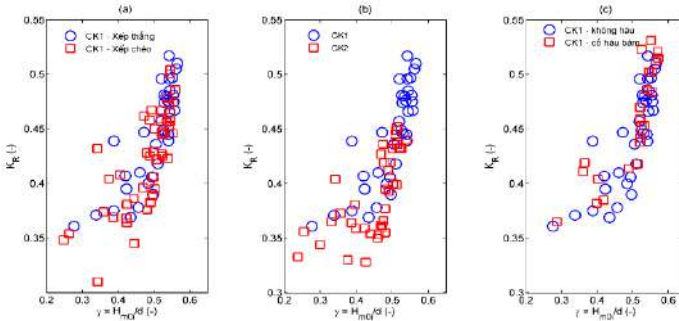
Hình 3-10. Đê đỉnh thấp $R_c/H_{m0} \leq 0,50$: (a) Hệ số suy giảm sóng phản xạ f_R (b) So sánh (tính toán-thực đo) hệ số phản xạ

Với trường hợp đê thấp hoặc đê ngầm thì hệ số phản xạ vẫn được xác định theo công thức (3.4) nhưng được điều chỉnh với một hệ số suy giảm sóng phản xạ do ảnh hưởng của đỉnh đê thấp (Hình 3-10a):

$$K_R^L = f_R \cdot K_R = 0,24 \cdot \exp(1,22 \cdot \gamma) \cdot f_R \quad (3.5)$$

$$f_R = 0,89 + 0,11 \cdot \frac{R_c}{H_{m0i}} \quad (3.6)$$

Trong công thức (3.6) chiều cao lưu không R_c có thể mang giá trị âm tương ứng với trường hợp đỉnh đê ngập dưới mực nước tính toán. Có thể thấy rằng khi đê thấp thì sóng phản xạ giảm so với trường hợp đê cao, và giảm theo xu thế tuyến tính với chiều cao lưu không đối R_c/H_{m0i} . Ứng với $R_c/H_{m0i} = 0,75$ thì $f_R \approx 1,0$ theo công thức (3.6).



Hình 3-11. So sánh hệ số phản xạ: (a) Thay đổi cách xếp (b)

Thay đổi độ rỗng (c) Có và không có hào bồng

Khi so sánh về hệ số phản xạ giữa các trường hợp xếp thẳng và xếp chéo (với cùng loại cấu kiện CK1, Hình 3-11a), giữa hai dạng cấu kiện có độ rỗng khác nhau (CK1 và CK2 xếp thẳng, Hình 3-11b) trong cùng một điều kiện thủy lực (xem thêm Phụ lục A về các phương án xếp mô hình đê). Có thể thấy rằng với cách xếp chéo (xoay đi 45°) làm tăng tính rối và thể tích khối xốp rỗng của thân đê dẫn tới tăng khả năng hấp thụ sóng do vậy hệ số phản xạ nhỏ hơn so với trường hợp xếp thẳng. Chênh lệch về hệ số phản xạ rất đáng kể giữa hai trường hợp đê với CK1 và CK2. Khối CK2 có lỗ mở ở các mặt bên lớn hơn nên theo thể tích rỗng của đê lớn hơn, thành phần sóng truyền qua thân đê lớn do vậy hệ số phản xạ giảm đi đáng kể so với trường hợp đê với dạng cấu kiện CK1. Tuy nhiên vì yêu cầu cấu tạo và sử dụng, khối CK2 quá thanh

mảnh có thể dễ bị mất ổn định kết cấu (nứt, gãy) khi áp dụng trong thực tiễn do vậy trước mắt tạm thời chưa được nghiên cứu một cách chi tiết ở đây. Về sau này, các số liệu thí nghiệm được đề cập tới trong báo cáo này cơ bản được lấy từ các thí nghiệm đối với dạng khối CK1. Khi có hầu hết sau một thời gian công trình vận hành sóng phản xạ sẽ lớn hơn so với trạng thái ban đầu chưa có hầu hết (trên bề mặt với khối xếp CK1), tuy nhiên sự chênh lệch này là không đáng kể.

3.3. Kết quả xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua kết cấu giảm sóng CT3N-WIP1

Công thức tổng quát:

$$K_t = a_1 \cdot \min\left(\eta, \frac{R_c}{H_{m0i}}\right) + a_2 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{c_1} \left[1 - \exp\left(\frac{c_2}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right] \quad (3.7)$$

Kết quả xác định các số mũ c_1 và c_2 được xác định tương ứng với vị trí sự phối hợp của chúng đem lại mức độ phù hợp nhất của mô hình với các số liệu thực nghiệm ($c_1 = -0,29$ và $c_2 = -0,30$ đem lại hệ số hồi quy r^2 lớn nhất, $r^2 = 0,89$).

Kết quả xác định các hệ số $a_1 = -0,30$ và $a_2 = 0,63$. Trong đó a_1 và a_2 là các hệ số được xác định bằng phương pháp hồi quy thực nghiệm với cặp số số mũ $c_1 = -0,29$ và $c_2 = -0,30$. Kết quả phân tích hồi quy giá trị trung bình của các hệ số là $a_1 = -0,30$ $[-0,32 \div -0,29]$ và $a_2 = 0,63$ $[0,62 \div 0,64]$.

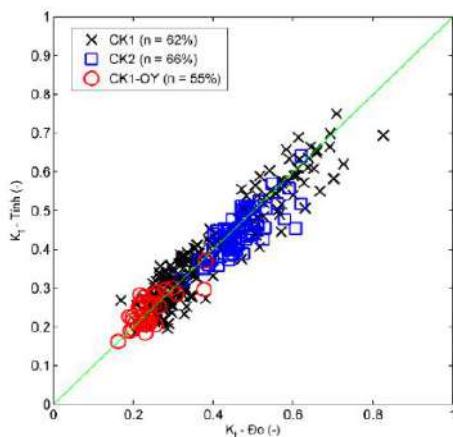
Cuối cùng, hệ số truyền sóng qua bề mặt giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 được xác định bằng công thức (3.10).

$$K_t = -0,30 \cdot \min\left(0,75, \frac{R_c}{H_{m0i}}\right) + 0,63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{-0,29} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,30}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right] \quad (3.10)$$

Công thức (3.10) được xây dựng dựa trên bộ số liệu với khối xếp CK1 (áp dụng cho cả xếp thẳng và xếp chéo) do dạng khối này được khuyến nghị sử dụng trong thực tế. Sự thống nhất chung của số liệu thực nghiệm ở cả hai trường hợp này với công thức (3.10) như thể

hiện trên Hình 3-15 cho thấy việc kể tới ảnh hưởng khi cấu kiện xếp chéo thông qua sự gia tăng bề rộng hữu ích của dề so với trường hợp xếp thẳng tuy đơn giản nhưng vẫn phù hợp và đảm bảo độ tin cậy.

Về mặt lý thuyết, công thức (3.10) mang tính phổ quát khi có thể xét tới sự thay đổi của độ rộng dề như thay đổi cách xếp, sử dụng khối xếp có độ rộng khác. Để kiểm chứng điều này chúng ta sử dụng công thức (3.10) để tính toán hệ số truyền sóng K_T và so sánh với số liệu thực nghiệm cho các trường hợp dề có độ rộng khác nhau.



Hình 3-15. So sánh kết quả hệ số truyền sóng khi thay đổi độ rộng

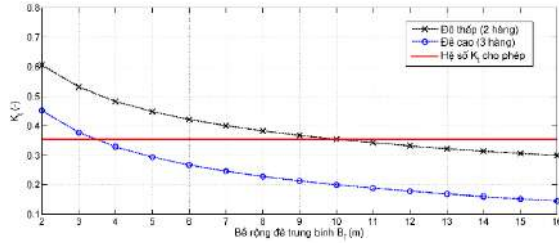
3.4. Ứng dụng kết quả nghiên cứu bố trí mặt cắt thử nghiệm

Công thức thực nghiệm (3.10) đã được xây dựng có dạng phi thứ nguyên. Phạm vi áp dụng của các công thức này chính là khoảng biến thiên tương đối của các tham số chi phối trong thí nghiệm mô hình vật lý (Bảng 3-1). Áp dụng công thức (3.10) để lựa chọn mặt cắt thiết kế của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, đảm bảo chức năng giảm sóng theo yêu cầu với số liệu đầu vào cho tính toán về tham số sóng và mực nước (độ sâu) tiêu biểu cho vùng biển tây Cà Mau.

Bảng 3-1. Phạm vi áp dụng của công thức thực nghiệm

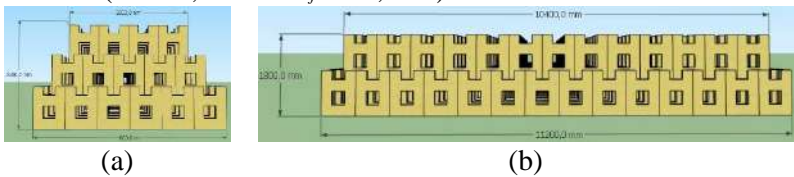
Tham số	Phạm vi	Ghi chú
Chiều cao sóng ở nước sâu $H_{m0,0}$ (m)	0,7 ÷ 2,0	Đặc trưng sóng gió mùa tới trước công trình
Chu kỳ sóng tới nước sâu T_p (s)	3,0 ÷ 7,0	
Chiều cao sóng tới trước công trình H_{m0i} (m)	0,50 ÷ 1,50	
Độ dốc sóng s_{0p} (-)	0,019 ÷ 0,053	
Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê R_c/H_{m0} (-)	-0,30 ÷ 3,10	Đặc trưng cấu tạo hình học của công trình
Chỉ số sóng vỡ $\gamma = H_{m0i}/D$ (-)	0,24 ÷ 0,64	
Bề rộng đỉnh đê tương đối B/D (-)	0,80 ÷ 2,70	
Bề rộng đỉnh đê tương đối B/H_{m0} (-)	1,37 ÷ 7,60	
Số hàng xếp trên đỉnh đê (chiều rộng)	≥ 2	Đặc trưng cấu tạo kết cấu của công trình
Số hàng xếp chông đứng (chiều cao)	≥ 2	
Hình thức xếp khối	xếp thẳng, xếp chéo 45°	
Độ rỗng khối của đê n (-)	0,55 ÷ 0,66	

Với độ sâu nước không quá lớn, ở đây có thể lựa chọn 2 phương án chiều cao đê: đê đỉnh cao với 3 hàng xếp chông (đê cao 2,60m) và đê đỉnh thấp với 2 hàng xếp chông (đê cao 1,80m). Sau đó bề rộng đê được xác định căn cứ vào yêu cầu giảm sóng phía sau đê, ví dụ ở đây là $H_{m0,t} \leq 0,30m$ hay hệ số truyền sóng qua đê cho phép $[K_t] \leq 0,35$. Để tiện cho việc lựa chọn bề rộng đê theo những điều kiện khác nhau, chúng ta sẽ xây dựng biểu đồ quan hệ giữa hệ số truyền sóng và bề rộng đê trung bình ($K_t \sim B_f$).



Hình 3-17. Kết quả quan hệ ($K_f \sim B_f$) cho trường hợp đê đỉnh cao và đê đỉnh thấp

Kết quả từ biểu đồ quan hệ ($K_f \sim B_f$) thể hiện trên Hình 3-17 cho thấy để đảm bảo yêu cầu giảm sóng thì yêu cầu chung về bề rộng đê trung bình sẽ là $B_f \geq 3,5\text{m}$ với đê cao và $B_f \geq 10\text{m}$ với đê đỉnh thấp. Tương ứng chúng ta có thể chọn đê cao với 4 hàng xếp thẳng trên đỉnh ($B = 3,2\text{m}$, $B_f = 4,0\text{m}$) hoặc đê thấp với 13 hàng xếp thẳng trên đỉnh ($B = 10,4\text{m}$, $B_f = 10,8\text{m}$). Tương tự khi đê với khối xếp chéo 45° thì $b = 0,80 \times \sqrt{2} = 1,13\text{m}$, suy ra $B \geq 2,37\text{m}$ với đê đỉnh cao hoặc $B \geq 9,44\text{m}$ với đê đỉnh thấp. Tương ứng ta có thể chọn đê cao với 3 hàng xếp chéo trên đỉnh ($B = 3,39\text{m}$ và $B_f = 4,52\text{m}$) hoặc đê thấp với 9 hàng xếp chéo trên đỉnh ($B = 10,17\text{m}$ và $B_f = 10,74\text{m}$).



Hình 3-18. Mặt cắt ĐGS trong trường hợp đê cao (a) và đê thấp (b)

3.5. Kết luận chương 3

Chương 3 đã làm rõ cơ chế truyền sóng qua cấu kiện CT3N-WIP1 thông qua thí nghiệm vật lý và công thức thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu:

- Phân tích xu thế và mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối hiệu quả giảm sóng: Chiều cao lưu không đỉnh đê tương đối (R_c/H_{m0}); Bề rộng tương đối của ĐGS (B_f/D); Độ dốc sóng (s_{0m}) và Đặc trưng độ thấm (P_f).

- Nghiên cứu đã xây dựng được phương pháp tính toán truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 bằng cách sử dụng công thức (3.10) và đưa ra phạm vi áp dụng của công thức.

- Đề xuất các giải pháp thiết kế mặt cắt, đáp ứng nhu cầu bảo vệ bờ biển và phục hồi rừng ngập mặn tại vùng biển Tây Cà Mau.

Nội dung Chương 3 đã làm rõ cơ chế và hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, đồng thời cung cấp công cụ tính toán và phương án thiết kế mặt cắt phù hợp để ứng dụng cấu kiện CT3N-WIP1 vào thực tiễn. Kết quả nghiên cứu không chỉ đáp ứng mục tiêu luận án mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế và triển khai ĐGS tại các vùng ven biển có điều kiện tương tự.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết quả đạt được của luận án

Luận án đã hoàn thành các nội dung nghiên cứu và đạt được những kết quả nổi bật như sau: (1) Luận án đã tổng hợp các nghiên cứu trong và ngoài nước, làm sáng tỏ các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình truyền sóng qua đê giảm sóng (ĐGS) lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. (2) Xây dựng cơ sở khoa học về ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. (3) Xây dựng phương trình thực nghiệm tính toán hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. (4) Phân tích xu hướng và mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối. (5) Đề xuất các phương án thiết kế mặt cắt ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. (6) Kết quả nghiên cứu của luận án cung cấp cơ sở khoa học và công cụ tính toán

hiệu quả giảm sóng cho các công trình ĐGS lắp ghép dạng rỗng tại các vùng ven biển Việt Nam.

2. Những đóng góp mới của luận án

(1) Luận án đã xác định và làm sáng tỏ các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của công trình ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê (R_c/H_{m0}); Bề rộng tương đối của đê (B_f/D); Sóng phản xạ (K_r) và Đặc trưng độ thấm của đê (P_f).

(2) Xây dựng được công thức thực nghiệm (3.10) tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tại vùng bãi bồi trước đai rừng ngập mặn thuộc khu vực ven biển Tây mũi Cà Mau. Công thức này tích hợp đầy đủ các yếu tố kích thước hình học của công trình, đặc trưng thủy động lực của sóng tới và đặc trưng độ thấm:

$$K_t = -0,30 \cdot \min\left(0,75, \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0,63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{-0,29} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,30}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right]$$

3. Tồn tại và hướng phát triển

- Tồn tại: Kết quả chỉ phản ánh được quá trình tương tác sóng - công trình, chưa đánh giá toàn diện tính ổn định lâu dài của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. Chưa đánh giá khả năng áp dụng kết quả vào các khu vực khác có điều kiện thủy động lực học và địa chất khác.

- Hướng phát triển: Đánh giá tác động của các sinh vật hai mảnh vỏ đến hiệu quả giảm sóng và khả năng trao đổi bùn cát của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. Thực hiện nghiên cứu thực nghiệm tại hiện trường. Kết hợp mô hình vật lý với mô hình số để dự đoán hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 trong các điều kiện thủy động lực học khác nhau, từ đó mở rộng phạm vi áp dụng cho các vùng biển khác. Nghiên cứu đề xuất kích thước và kết cấu tối ưu cho ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

4. Kiến nghị

(1) Bổ sung các đóng góp mới của luận án vào các tài liệu dùng để tham khảo thiết kế công trình ĐGS ở nước ta.

(2) Ứng dụng thử nghiệm ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tại khu vực bãi bồi biển Tây mũi Cà Mau.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Mai Trọng Luân, Thiệu Quang Tuấn (2023), “Mô hình vật lý đánh giá hiệu quả của một số dạng kết cấu đê giảm sóng”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, 81, tr. 2 – 7.
2. Mai Trọng Luân, Trần Đăng Trung (2023), “Đánh giá tính dễ bị tổn thương vùng biển Cà Mau làm cơ sở cho việc xác định giải pháp công trình bảo vệ bờ thuận tự nhiên”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, 76, tr. 34 – 53.
3. Thieu Quang Tuan, Mai Trong Luan, Le Ngoc Cuong (2022), “Laboratory study of wave damping by porous breakwaters on mangrove mudflats in the Mekong River Delta”, *Ocean Engineering*, 258 (2022).
4. Trinh Quang Toan, Nguyen Van Tuan, Mai trong Luan, Mac Van Dan, Nguyen Ngoc (2021), “Changes in Wave Spectrum Under Impact of the Breakwater Construction over the West Sea in Ca Mau Vietnam”, *2021 4th International Conference on Mechanical Manufacturing and Industrial Engineering*, pp.46-50.
5. Mai Trọng Luân, Nguyễn Quốc Huy, Mạc Văn Dân (2021), “Tính chu kỳ trong quá trình xói lở, bồi tụ dải bờ biển phía Tây tỉnh Cà Mau”, *Tạp chí Tài nguyên nước*, 2(2021), tr. 39-47.
6. Thieu Quang Tuan, Mai Trong Luan (2020), "Monsoon wave transmission at bamboo fences protecting mangroves in the lower mekong delta", *Applied Ocean Research*, 2020.
7. Mai Trọng Luân, Nguyễn Quốc Huy (2019), “Đánh giá một số giải pháp bảo vệ bờ đã áp dụng tại khu vực ven Biển Đông bán đảo Cà Mau”, *Tuyển tập Khoa học công nghệ kỷ niệm 60 năm xây dựng và phát triển Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam 2014 - 2019*, tr.694-703.