

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT
TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI

NGUYỄN QUANG LƯƠNG

**NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH VÀ ĐỘ BỀN CỦA KHỐI PHỦ
RAKUNA-IV XẾP RỐI TRÊN ĐÊ CHẮN SÓNG ĐÁ ĐỒ**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, NĂM 2020

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT
TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI

NGUYỄN QUANG LƯƠNG

**NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH VÀ ĐỘ BỀN CỦA KHỐI PHỦ
RAKUNA-IV XÉP RỐI TRÊN ĐÊ CHẮN SÓNG ĐÁ ĐỒ**

Ngành: **Kỹ thuật Xây dựng công trình Biển**

Mã số: **9580203**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: **GS. TS. Thiệu Quang Tuấn**

HÀ NỘI, NĂM 2020

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong luận án này là trung thực, và không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu (nếu có) được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo theo đúng quy định.

Tác giả luận án

Nguyễn Quang Lương

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên tác giả xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc tới GS.TS. Thiều Quang Tuấn, TS. Nguyễn Công Thắng và PGS. TS Vũ Hoàng Hưng đã tận tình hướng dẫn tác giả trong suốt thời gian nghiên cứu và thực hiện luận án.

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn Ban Giám hiệu, phòng Đào tạo, khoa Công trình, bộ môn Kỹ thuật Công trình Biển, trường Đại Học Thủy Lợi, đã giúp đỡ tạo mọi điều kiện để tác giả hoàn thành luận án này.

Tác giả xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc tới công ty Nikken Kogaku của Nhật Bản đã cho phép sử dụng toàn bộ các mô hình khối phủ RAKUNA-IV phục vụ cho các thí nghiệm ổn định thủy lực trong máng sóng, hỗ trợ chế tạo và cung cấp các mô hình khối phủ i-RAK cho các thí nghiệm độ bền kết cấu. Tác giả cũng xin chân thành cảm ơn quý công ty và TS. Phạm Thanh Hải đã tài trợ và giúp đỡ cho tác giả trong suốt thời gian nghiên cứu.

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn tới gia đình, bạn bè và đồng nghiệp đã luôn sát cánh giúp đỡ, hỗ trợ và động viên về mọi mặt để tác giả có thể vượt qua mọi khó khăn, trở ngại khi thực hiện và hoàn thành luận án đúng tiến độ.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC HÌNH VẼ	vii
DANH MỤC BẢNG BIỂU	xi
DANH MỤC KÝ HIỆU	xii
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT & THUẬT NGỮ	xiv
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài	1
1.1 Thực tiễn việc áp dụng đê chắn sóng đá đổ ở Việt Nam	1
1.2 Tính cấp thiết của việc nghiên cứu độ bền của các khối phủ bê tông	1
2. Mục tiêu nghiên cứu	3
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	3
3.1 Đối tượng nghiên cứu	3
3.2 Phạm vi nghiên cứu	3
4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu	3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn	4
5.1 Ý nghĩa khoa học	4
5.2 Ý nghĩa thực tiễn	4
6. Cấu trúc của luận án	4
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KHỐI PHỦ BÊ TÔNG BẢO VỆ CHO ĐÊ CHẮN SÓNG ĐÁ ĐỔ 5	
1.1 Giới thiệu chung	5
1.1.1 Đê chắn sóng đá đổ	5
1.1.2 Cơ chế phá hỏng của đê chắn sóng	5
1.1.3 Các khối phủ bê tông	8
1.1.3.1 Phân loại khối phủ	9
1.1.3.2 Lịch sử hình thành và phát triển của khối phủ	10
1.1.4 Giới thiệu về khối phủ RAKUNA-IV	12
1.2 Tổng quan về ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ bê tông	16
1.2.1 Ổn định thủy lực của các khối phủ bê tông	16
1.2.1.1 Giới thiệu chung	16
1.2.1.1 Các công thức tính toán ổn định thủy lực của khối phủ trên mái nghiêng ..	17
1.2.2 Độ bền của các khối phủ bê tông	28
1.2.2.1 Giới thiệu chung	28
1.2.2.2 Các tải trọng có thể tạo ra ứng suất trong các khối phủ bê tông [35]	30

1.2.2.2 Các nghiên cứu về độ bền ứng suất của các khối phủ bê tông	32
1.4 Kết luận chương 1	39
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH VÀ ĐỘ BỀN CỦA KHỐI PHỦ TRÊN MÁI ĐÊ CHẮN SÓNG ĐÁ ĐỔ	40
2.1 Tổng quan về thí nghiệm nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ trên mái đê chắn sóng đá đổ	40
2.1.1 Ổn định thủy lực và mức độ hư hỏng của khối phủ trên mái đê chắn sóng đá đổ 40	
2.1.1.1 Các tham số liên quan đến mức độ hư hỏng của lớp phủ	40
2.1.1.2 Đánh giá mức độ hư hỏng của lớp phủ theo tiêu chuẩn	42
2.1.2 Xác định giá trị ứng suất trong các mô hình khối phủ để đánh giá độ bền ..	43
2.1.2.1 Các tải trọng lên khối phủ bê tông	43
2.1.2.2 Cơ sở để thiết lập sơ đồ và quy trình tính toán xác định độ bền kết cấu của các khối phủ	45
2.1.2.2 Đo đạc ứng suất trong các mô hình khối phủ	48
2.2 Phân tích thứ nguyên và xác định các tham số chi phối cơ bản	49
2.2.1 Giới thiệu chung	49
2.1.2 Xác định các tham số chi phối cơ bản	51
2.1.2.1 Giới thiệu chung	51
2.1.2.2 Tham số chi phối cơ bản đối với nghiên cứu ổn định thủy lực của khối phủ	52
2.1.2.3 Tham số chi phối cơ bản đối với nghiên cứu độ bền của khối phủ	54
2.3 Xây dựng mô hình vật lý nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV trên đê chắn sóng đá đổ	55
2.3.1 Lý thuyết tương tự	55
2.3.1.1 Giới thiệu chung	55
2.3.1.2 Các tiêu chuẩn tương tự thủy lực	55
2.3.2 Xác định tỉ lệ mô hình	57
2.3.2.1 Các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ	57
2.3.2.2 Xác định tỉ lệ mô hình	57
2.3.3 Thiết kế mô hình và bố trí thí nghiệm	60
2.3.3.1 Cấu tạo mô hình đê thí nghiệm	60
2.3.3.2 Máng sóng thí nghiệm	61
2.3.3.3 Xây dựng mô hình thí nghiệm	61
2.3.3.4 Bố trí các thiết bị đo	62
2.4 Thiết lập mô hình toán nghiên cứu độ bền của khối phủ RAKUNA-IV	65
2.4.1 Giới thiệu phần mềm ANSYS Mechanical APDL [47]	65

2.4.2	Sử dụng ANSYS Mechanical APDL trong nghiên cứu độ bền của khối phủ	66
2.4.2.1	Giới thiệu chung	66
2.4.2.2	Thiết lập mô hình thí nghiệm trong ANSYS Mechanical APDL.....	67
2.4.2.3	Tính toán tần số dao động riêng của mô hình i-RAK và kiểm tra hiện tượng cộng hưởng	68
2.4.2.4	Xác định hệ số chuyển đổi cho các giá trị ứng suất đo đặc được bằng cảm biến.....	69
2.5	Kết luận chương 2	70
CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH VÀ ĐỘ BỀN CỦA KHỐI PHỦ RAKUNA-IV		71
3.1	Nội dung nghiên cứu	71
3.1.1	Xây dựng các kịch bản và trình tự thí nghiệm	73
3.1.2	Các tham số và phương pháp đo đạc	74
3.1.2.1	Thí nghiệm nghiên cứu ổn định thủy lực.....	74
3.1.2.2	Thí nghiệm nghiên cứu độ bền kết cấu.....	75
3.2	Phân tích các kết quả thí nghiệm.....	78
3.2.1	Nghiên cứu ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV.....	78
3.2.1.1	Đánh giá mức độ hư hỏng của các khối phủ trên mái dè	78
3.2.1.3	Xác định hệ số ổn định K_D từ các kết quả thí nghiệm.....	79
3.2.1.4	Xác định công thức tính toán ổn định theo chỉ số ổn định N_s	81
3.2.2	Nghiên cứu độ bền của khối phủ RAKUNA-IV	83
3.2.2.1	Xác định công thức thực nghiệm tính toán giá trị ứng suất lớn nhất xuất hiện trong khối phủ khi bị xoay lắc dưới tác động của sóng.....	83
3.2.2.3	Xác định mô đun đàn hồi biểu kiến E_a và hệ số tỉ lệ mô đun đàn hồi (n_E).....	88
3.2.2.4	Khối lượng lớn nhất cho phép của khối phủ RAKUNA-IV theo độ bền ...	92
3.3	Kết luận chương 3	93
CHƯƠNG 4: ỨNG DỤNG KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀO TÍNH TOÁN THIẾT KẾ LỚP PHỦ MÁI CỦA ĐÊ CHẶN SÓNG CẢNG CHÂN MÂY, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ		95
4.1	Giới thiệu chung về khu vực nghiên cứu	95
4.1.1	Tổng quan về khu vực cảng Chân Mây [54]	95
4.1.1.1	Vị trí địa lý.....	95
4.1.1.2	Điều kiện địa hình.....	96
4.1.1.3	Điều kiện khí tượng	97
4.1.1.4	Điều kiện thủy hải văn.....	97
4.1.2	Các điều kiện biên thiết kế	97

4.1.2.1	Bình đồ và mặt cắt ngang thiết kế	97
4.1.2.2	Các tham số sóng	98
4.2	Tính toán thiết kế lớp phủ cho đê chắn sóng bảo vệ cảng Chân Mây.....	100
4.2.1	Tính toán xác định kích thước và khối lượng của khối phủ theo các công thức ổn định	101
4.2.1.1	Xác định kích thước và khối lượng của khối phủ theo công thức Hudson [1] [3]	101
4.2.1.2	Xác định kích thước và khối lượng của khối phủ theo công thức thực nghiệm về chỉ số ổn định N_s	102
4.2.1.3	Kết luận.....	106
4.2.2	Tính toán các kích thước lớp phủ mái đê	106
4.2.2.1	Chiều dày khối phủ.....	106
4.2.2.2	Mật độ xếp khối phủ trên mái đê.....	107
4.2.3	Tính toán kiểm tra độ bền của khối phủ RAKUNA-IV	107
4.3	Kết luận chương 4	109
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ		110
1.	Tóm tắt kết quả đã đạt được của luận án.....	110
1.1	Nghiên cứu tổng quan.....	110
1.2	Cơ sở khoa học để xây dựng mô hình vật lý và thiết lập mô hình toán để nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV	111
1.3	Nghiên cứu về ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV.....	111
1.4	Nghiên cứu ứng dụng cho công trình thực tế	112
2.	Những đóng góp mới của luận án	112
3.	Tồn tại và hướng nghiên cứu tiếp theo.....	113
3.1	Tồn tại	113
3.2	Hướng nghiên cứu tiếp theo.....	113
4.	Kiến nghị	114
DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....		115
TÀI LIỆU THAM KHẢO		116
PHỤ LỤC.....		121
PHỤ LỤC A	Máng sóng và mô hình đê thí nghiệm.....	121
PHỤ LỤC B	Tính toán tỉ lệ mô hình cho lõi đê chắn sóng dạng đá đổ	130
PHỤ LỤC C	Phân tích và xử lý ảnh và video thí nghiệm.....	135

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Các nguyên nhân chính gây hư hỏng cho kết cấu đê chắn sóng đá đổ dưới tác động của sóng [15] [16]	6
Hình 1.2 Tổng quan về các dạng hư hỏng của đê chắn sóng đá đổ [1]	6
Hình 1.3 Sự mất ổn định về mặt thủy lực của khối phủ chính cho kết cấu nhiều lớp thông dụng [1]	7
Hình 1.4 Hư hỏng công trình do sự nứt vỡ của các khối phủ bảo vệ mái [1]	7
Hình 1.5 Các dạng khối phủ trên thế giới [20]	8
Hình 1.6 Phân loại khối phủ bê tông bảo vệ mái đê đá đổ theo hình dạng [1]	9
Hình 1.7 Hư hỏng của Đê chắn sóng Sines (Bồ Đào Nha) năm 1978 [1]	11
Hình 1.8 Hư hỏng của Đê chắn sóng Arzew El-Djedid (Algeria) [1]	11
Hình 1.9 Hư hỏng của Đê chắn sóng Tripoli (Libya) năm 1982 [1].....	11
Hình 1.10 Đê chắn sóng bằng khối phủ Tetrapod bị phá hỏng ở El Kala, Algeria năm 1979 [1]	12
Hình 1.11 Các dạng khối phủ cải tiến với hình dạng tứ diện đều đẳng hướng [20]	12
Hình 1.12 Khối phủ RAKUNA-IV được phát minh bởi công ty Nikken Kogaku [22] [6]....	13
Hình 1.13 Các địa điểm khác nhau có áp dụng khối phủ RAKUNA-IV ở Nhật Bản [6].....	14
Hình 1.14 Khối phủ RAKUNA-IV được ứng dụng cho đê chắn sóng cảng Nghi Sơn và cảng Chân Mây ở Việt Nam [6] [7].....	15
Hình 1.15 Thi công lắp đặt các khối phủ RAKUNA-IV ở đoạn đầu đê [6]	15
Hình 1.16 Các dạng mất ổn định thông dụng của lớp phủ [1]	16
Hình 1.17 Minh họa ảnh hưởng của độ dốc mái đến sự ổn định của khối phủ nhờ các thành phần lực trọng trường, tính năng liên kết và ma sát bề mặt [1]	17
Hình 1.18 Mặt cắt mô hình đê chắn sóng trong nghiên cứu của Van der Meer, J.W. and Heydra, G., (1991)	23
Hình 1.19 Các mặt cắt ngang bố trí trong các thí nghiệm mô hình của Mase, H., Yasuda, T., Mori, N., Matsushita, H. và Reis, M.T. (2011).....	24
Hình 1.20 Ổn định của khối phủ Rakuna IV và khối Tetrapod [31].....	26
Hình 1.21 Kết quả phân tích hồi quy xác định công thức tính toán ổn định thủy lực cho khối phủ RAKUNA-IV [32]	26
Hình 1.22 Mô hình thí nghiệm trong máng sóng của Suh, Kyung-Duck & Hoon Lee, Tae & Matsushita, Hiroshi & Ki Nam, Hong. (2013).....	27
Hình 1.23 Minh họa sự nứt vỡ của các khối phủ bê tông [1].....	32
Hình 1.24 Thí nghiệm nghiên cứu độ bền về kết cấu của các loại khối phủ bằng bê tông.....	32
Hình 1.25 Các nghiên cứu về độ bền kết cấu của các khối phủ sử dụng nguyên lí cảm biến và lá điện trở	33

Hình 1.26 Mô hình khối phủ Dolos có gắn cảm biến tải trọng có khối lượng 200g (Aalborg Hydraulic Laboratory, AHL) [37].....	34
Hình 1.27 Bố trí thí nghiệm với các mô hình Dolos (Aalborg Hydraulic Laboratory, AHL) [37]	35
Hình 1.28 Mô hình thí nghiệm của khối Tetrapod có gắn cảm biến và các lá điện trở	36
Hình 1.29 Mô hình khối phủ Dolos 200g và Tetrapod 280g có gắn cảm biến ứng suất	36
Hình 1.30 Các nghiên cứu về mức độ nứt vỡ cho khối Dolos và Tetrapod của Burcharth (1993b), Burcharth và Liu (1995); Burcharth & cộng sự (1995b).....	37
Hình 1.31 Kết quả mô phỏng ứng suất của khối Dolos trong SAP 2000 [39].....	38
Hình 2.1 Sơ đồ xác định diện tích xói tương đối [40]	41
Hình 2.2 Mô tả định tính các giá trị ứng suất trong các khối phủ bê tông phức hợp theo kích cỡ của khối phủ (theo Burcharth và Brejnegaard-Nielsen, 1986) [41]	45
Hình 2.3 Minh họa các giá trị biến dạng nguyên hình bao gồm tất cả các dạng biến dạng/ứng suất (theo Burcharth và Howell, 1988) [41]	45
Hình 2.4 Đề xuất các tham số mặt cắt ngang, vật liệu và kết cấu [37].....	47
Hình 2.5 Mô hình khối phủ Dolos thí nghiệm có gắn cảm biến và các lá điện trở [2].....	49
Hình 2.6 Phân tách các giá trị ứng suất trong mô hình thí nghiệm theo thời gian [2].....	60
Hình 2.7 Mặt cắt ngang đề và bố trí mô hình thí nghiệm trong máng sóng	62
Hình 2.8 Hệ thống phân tích sóng phản xạ trong bộ phần mềm thu nhận và xử lý số liệu HR DAQ của HR Wallingford	63
Hình 2.9 Bộ phần mềm HR-DAQ của HR Wallingford.....	64
Hình 2.10 Các cấu kiện ở các vị trí khác nhau trên mái có màu sơn khác nhau: vàng-trắng-đỏ (theo chiều từ trên đỉnh xuống chân mái)	64
Hình 2.11 Các vị trí đo trên mái trong 3 trường hợp: ngang mép nước (a), trên dưới mực nước một khoảng H_s (b) và trên dưới mực nước một khoảng $0,5H_s$ (c)	65
Hình 2.12 Thiết lập mô hình tính toán với lưới phần tử hữu hạn cho các loại khối phủ dạng nguyên khối (a) và dạng đã điều chỉnh để gắn cảm biến (b) với các ngoại lực tác dụng dạng phân bố đều trên mặt đỉnh (c) trong mô hình ANSYS Mechanical APDL	67
Hình 2.13 Xác định tần số dao động riêng của cảm biến trong khối phủ thí nghiệm.....	68
Hình 2.14 Dầm tiêu chuẩn được sử dụng để xác định hệ số chuyển đổi cho các giá trị ứng suất đo đạc.....	69
Hình 3.1 Mô tả chung các nghiên cứu về ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV	72
Hình 3.2 Sơ đồ khối của nghiên cứu ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV xếp rời 2 lớp trên mái đê đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ.....	72
Hình 3.3 Sơ đồ khối của nghiên cứu độ bền của khối phủ RAKUNA-IV xếp rời 2 lớp trên mái phía biển của đê đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ.....	73

Hình 3.4 Quan sát sự xoay lắc (rocking) của các khối phủ RAKUNA-IV sử dụng hệ thống máy quay đặt ở thành bên của máng sóng kết hợp với bút chỉ laser.....	75
Hình 3.5 Cảm biến áp lực dạng lõi trụ nhôm (load cell) và các lá điện trở (strain gauge) áp dụng cho mô hình i-RAK.....	77
Hình 3.6 Đề xuất các tham số mặt cắt ngang, vật liệu và kết cấu [37].....	77
Hình 3.7 Phần lớp giữa bị lộ ra dưới tác động của sóng trong trường hợp hư hỏng nghiêm trọng nhất	80
Hình 3.8 Phân tích hồi quy cho các trường hợp số con sóng N_z khác nhau	83
Hình 3.9 Phân tích hồi quy tổng hợp cho tất cả các trường hợp số con sóng N_z	83
Hình 3.10 Xử lý và tính đổi số liệu đo đạc bằng phần mềm MatLab.....	85
Hình 3.11 Xác định các đỉnh ứng suất phát sinh và giá trị ứng suất tăng thêm tương ứng trên bề mặt lõi cảm biến trong mỗi kịch bản thí nghiệm độ bền.....	85
Hình 3.12 Kết quả tính toán kiểm tra vị trí các khối phủ trên mái dốc có ứng suất lớn nhất khi bị xoay lắc dưới tác động của sóng	86
Hình 3.13 Phân tích hồi quy xác định công thức thực nghiệm tính toán giá trị ứng suất xung kích lớn nhất xuất hiện trong khối phủ	87
Hình 3.14 Kết quả mô phỏng trường ứng suất trong mô hình khối phủ i-RAK khi gia tải trực tiếp trong mô hình ANSYS Mechanical APDL.....	89
Hình 3.15 Kết quả tính toán kiểm định hệ số chuyển đổi sử dụng các kết quả thí nghiệm trong mô hình ANSYS và trên mô hình vật lí.....	90
Hình 3.16 Tính toán xác định mô đun đàn hồi biểu kiến E_a cho khối phủ i-RAK	91
Hình 4.1 Khu vực cảng Chân Mây, Thừa Thiên Huế [54]	96
Hình 4.2 Bình đồ thiết kế khu vực cảng Chân Mây [54]	98
Hình 4.3 Mặt cắt thiết kế của Đê chắn sóng cảng Chân Mây [54]	98
Hình A.1 Sơ đồ bố trí chung cho các thí nghiệm trên mô hình vật lí trong máng sóng	121
Hình A.2 Mặt bằng thí nghiệm trong phòng thí nghiệm thủy lực tổng hợp	121
Hình A.3 Bố trí các thiết bị phục vụ thí nghiệm trong máng sóng Hà Lan	122
Hình A.4 Các thí nghiệm được tiến hành ở các phòng thí nghiệm thuộc trường Đại học Thủy lợi: Phòng thí nghiệm Thủy lực tổng hợp và Phòng Thí nghiệm Sức bền vật liệu & Cơ kết cấu.	123
Hình A.5 Vật liệu chế tạo mô hình đê thí nghiệm	123
Hình A.6 Xây dựng mặt cắt đê thí nghiệm trong máng sóng	124
Hình A.7 Các thiết bị máy quay và máy ảnh phục vụ thí nghiệm trong máng sóng	124
Hình A.8 Thiết kế các mô hình thí nghiệm cho khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) và bố trí thí nghiệm độ bền kết cấu	125
Hình A.9 Các cảm biến điện trở FLA-5 cùng keo dán chuyên dụng CN của hãng Tokyo Sokki Kenkyujo (Nhật Bản) và hệ thống dây dẫn & keo phủ chống nước.....	127

Hình A.10 Các thông số và đặc tính kỹ thuật của lá điện trở FLA-5 của hãng Tokyo Sokki Kenkyujo (Nhật Bản) [55]	127
Hình A.11 Bộ phần mềm NI SignalExpress của hãng NI (National Instrument) được sử dụng để hiển thị các tín hiệu đo đã được khuếch đại từ các máy đo SDA.....	128
Hình A.12 Các máy đo động SDA-830A và SDA-830C được sử dụng trong thí nghiệm độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV	129
Hình A.13 Xác định hệ số chuyển đổi tín hiệu trong Phòng thí nghiệm Sức bền – Kết cấu của trường Đại học Thủy lợi.....	129
Hình B.1 Các vị trí xác định lưu tốc đặc tính trong lớp lõi [18].....	130
Hình B.2 Biểu đồ xác định kích thước mô hình công trình dạng đá đổ theo sóng truyền trong các mô hình nguyên dạng [37].....	132
Hình C.1 Phân tích và xử lý số liệu thí nghiệm từ các máy quay trong thí nghiệm sử dụng kỹ thuật tách ảnh và chồng ảnh.....	135

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 Các dự án có sử dụng khối phủ RAKUNA-IV ở Nhật Bản [6].....	14
Bảng 1.2 Các tham số có ảnh hưởng đến ổn định thủy lực của lớp phủ bảo vệ mái dề chắn sóng đá đổ [1].....	20
Bảng 2.1 Phân loại hư hỏng theo Sổ tay Kỹ thuật bờ biển [1]	42
Bảng 2.2 Các dạng dịch chuyển của khối phủ bê tông trong các mô hình thí nghiệm vật lý cho dề chắn sóng đá đổ [15] [16].....	42
Bảng 2.3 Phân loại hư hỏng trong mô hình vật lý cho dề chắn sóng đá đổ [15] [16].....	43
Bảng 2.4 Loại và nguồn gốc của các tải trọng lên các khối phủ (Burcharth, 1981a) [41]	44
Bảng 2.5 Quy trình chung cho việc thiết lập các sơ đồ thiết kế cho độ bền kết cấu của các khối phủ bê tông.....	46
Bảng 2.6 Quy trình cho việc sử dụng các sơ đồ thiết kế cho việc tính toán xác định độ bền kết cấu của các khối phủ	47
Bảng 2.7 Các tham số có liên quan đến ổn định của dề chắn sóng [41].....	52
Bảng 2.8 Tỷ lệ của một số đại lượng vật lý cơ bản [42].....	57
Bảng 2.9 Các hệ số tỷ lệ áp dụng cho đề tài nghiên cứu	59
Bảng 2.10 Kích thước vật liệu sử dụng cho các lớp trong mô hình thí nghiệm	61
Bảng 3.1 Trình tự các bước nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV.....	71
Bảng 3.2 Kết quả tính toán mức độ hư hỏng tương đối và xác định chiều cao sóng gây mức hư hỏng thiết kế.....	81
Bảng 3.3 Kết quả mô phỏng ứng suất theo các phương bằng mô hình ANSYS Mechanical APDL	90
Bảng 3.4 Cường độ chịu kéo và chịu nén của bê tông [53]	92
Bảng 3.5 Khối lượng lớn nhất cho phép của các khối RAKUNA-IV cho các trường hợp cường độ bê tông khác nhau	93
Bảng 4.1 Các giá trị mực nước tại khu vực Chân Mây [54]	97
Bảng 4.2 Các tham số sóng nước sâu [54].....	99
Bảng 4.3 Các tham số sóng thiết kế [54]	99
Bảng 4.4 Các phương án tính toán và so sánh khối phủ áp dụng cho mái dề.....	100
Bảng 4.5 Giá trị hệ số ổn định K_D [1]	102
Bảng 4.6 Bảng tổng hợp kết quả tính toán cho hai phương án kết cấu cho lớp phủ mái theo công thức Hudson	103
Bảng 4.7 Mức độ hư hỏng N_{od} với các khối phủ bê tông [1].....	103
Bảng 4.8 Giá trị của n , K_t và n_v cho một số loại khối phủ [1]	106
Bảng 4.9 Bảng tổng hợp kết quả tính toán cho hai phương án kết cấu cho lớp phủ mái theo công thức thực nghiệm cho chỉ số ổn định N_s	108

DANH MỤC KÝ HIỆU

- $H_{1/3}$ - Chiều cao sóng có nghĩa (hay còn được ký hiệu là H_s), ứng với giá trị trung bình của 1/3 số con sóng cao nhất trong bảng ghi số liệu sóng. Đây là chiều cao sóng đặc trưng hay được dùng nhất trong thực tế và được tính như sau:
- $$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$
- với j là thứ tự của các giá trị chiều cao sóng đã được sắp xếp theo chiều giảm dần; N là tổng số con sóng trong thời đoạn quan trắc;
- $H_{1/10}$ - Chiều cao sóng ứng với giá trị trung bình của 1/10 con sóng cao nhất trong bảng ghi số liệu sóng (m);
- $H_{2\%}$ - Giá trị chiều cao sóng bị vượt quá bởi 2% tổng số con sóng tới chân công trình;
- H_D - Chiều cao sóng tính toán được sử dụng ứng với mức hư hỏng tham chiếu để thiết kế các kích bản sóng thí nghiệm (ứng với phạm vi từ mức độ hư hỏng ít đến hư hỏng nhiều);
- $H_{s,D}$ - Chiều cao sóng tính toán ứng với mức hư hỏng thiết kế (m);
- T_p - Chu kỳ đỉnh phổ (s);
- T_m - Chu kỳ trung bình (s);
- s_{0m} - Độ dốc sóng; theo Sổ tay sóng tràn EurOtop (2018), giá trị này được gọi là độ dốc sóng mang tính khái niệm và được sử dụng để tính toán giá trị chu kỳ sóng phi thứ nguyên, không phải là giá trị độ dốc sóng thực tế.
- ρ_s - Khối lượng riêng của bê tông (T/m^3);
- ρ_w - Khối lượng riêng của nước (T/m^3);
- Δ - Tỷ trọng tương đối của bê tông (-);
- D_n - Đường kính danh nghĩa của khối phủ bê tông đúc sẵn (m);
- N_s - Chỉ số ổn định (-);
- N_{s^*} - Chỉ số ổn định phổ (-);
- N_{od} - Số cấu kiện dịch chuyển trên một dải chiều rộng có kích thước là D_n ;
- $N_{o,mov}$ - Tổng số khối bị dịch chuyển trên bề rộng tính toán B ;
- N_z - Số con sóng tính toán;
- B - Bề rộng tính toán (m); trong luận án này bề rộng tính toán được xác định theo bề rộng của máng sóng ($B = 1m$);
- D - Mức độ hư hỏng tương đối (-);

- K_D - Hệ số ổn định của khối phủ (sử dụng trong công thức Hudson);
- k_Δ - Hệ số chiều dày lớp phủ, mô tả mật độ xếp khối phủ;
- S - Số khối bị rời ra khỏi mặt cắt;
- A_e - Diện tích bị xâm thực trên mặt cắt;
- E_b - Mô đun đàn hồi biểu kiến của khối phủ bằng bê tông đồng nhất (N/m^2);
- E_a - Mô đun đàn hồi biểu kiến của khối phủ khi bị thay đổi tính đồng nhất (N/m^2);
- $\sigma_{c,xk}$ - Ứng suất xung kích xuất hiện trong khối phủ khi khối phủ bị xoay lật dưới tác động của sóng (kPa);
- h - Độ sâu nước tại chân công trình (m);
- D - Mức độ hư hỏng tính theo phần trăm của lớp phủ (số cấu kiện bị dịch chuyển chia cho tổng số cấu kiện xếp trên mái);
- g - Gia tốc trọng trường (m/s^2);
- H - Chiều cao sóng đến trước chân công trình (m);
- l_a - Kích thước tuyến tính đặc tính của khối phủ;
- V_ω - Lưu tốc của nước ở khu vực gần lớp phủ (m/s);
- α - Góc nghiêng của mái phía biển so với phương ngang ($^\circ$);
- β - Góc sóng tới ($^\circ$);
- θ - Độ dốc đáy biển trước chân công trình (-);
- L - Chiều dài sóng (m);
- μ - Độ nhớt động học của nước ở gần khu vực công trình;
- ξ_a - Kích thước tuyến tính đặc tính cho độ nhám bề mặt khối phủ;
- ΔL - Bề rộng trung bình của mặt cắt ngang lõi đê (m);
- D_p - Đường kính đá hiệu quả (tính bằng cm) của lõi đê nguyên hình, và được xác định theo giá trị 10% nhỏ hơn đá theo đường cong cấp phối của lõi đê;
- P - Độ rỗng của lõi đê ($0 < P < 1$) (-);
- W_a - Khối lượng của khối phủ (tấn);
- P_{tk} - Tần suất thiết kế (%);
- B_r - Mức độ nứt vỡ tương đối;
- M - Khối lượng của khối phủ (tấn);
- f_T - Cường độ chịu kéo tĩnh của bê tông (MPa);
- C_0, C_1, C_2, C_3 - Các tham số hiệu chỉnh;

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT & THUẬT NGỮ

1. DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

- CEM - Coastal Engineering Manual (Sổ tay Kỹ thuật bờ biển);
SPM - Shore Protection Manual (Sổ tay bảo vệ bờ);
CAU - Concrete Armour Unit (Khối phủ bằng bê tông);
RAK - RAKUNA (khối phủ RAKUNA-IV);
i-RAK - Instrumented RAKUNA-IV (khối phủ có gắn thêm cảm biến áp lực);
TCVN - Tiêu chuẩn Việt Nam;
TCCS - Tiêu chuẩn cơ sở

2. GIẢI THÍCH THUẬT NGỮ

- **Đường kính danh nghĩa [1]**

Đường kính danh nghĩa của một khối vật liệu là chiều dài một cạnh của một hình lập phương có cùng thể tích với khối vật liệu đó;

- Đối với vật liệu là bê tông đúc sẵn, đường kính danh nghĩa được ký hiệu là D_n ;
- Đối với vật liệu đá cấp phối, đường kính danh nghĩa được ký hiệu là D_{n50} ;

- **Mô đun đàn hồi biểu kiến [2]**

Giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu khi tính đồng nhất của khối phủ đã bị thay đổi. Trong trường hợp nghiên cứu về độ bền của khối phủ bê tông, việc lắp đặt thêm cảm biến tải trọng đã phá vỡ tính đồng nhất của vật liệu bê tông. Khi đó các giá trị ứng suất đo được trong khối phủ khi bị xoay lác dưới tác động của sóng trong mỗi kịch bản thí nghiệm không thể được chuyển đổi ra nguyên hình bằng các công thức sử dụng tỉ lệ thông thường; việc này chỉ có thể khả thi bằng cách tính toán xác định thêm hệ số tỉ lệ tương ứng về mô đun đàn hồi thông qua giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến cho các mô hình khối phủ thí nghiệm.

- **Vùng tính toán [3]**

Vùng mà các cấu kiện dễ dịch chuyển nhất dưới tác động của sóng. Vùng này được xem xét khi tính toán hệ số ổn định và được xác định trong phạm vi từ dưới mực nước một khoảng bằng chiều cao sóng tính toán ứng với trường hợp mức độ hư hỏng bằng 0 đến vị trí giữa phần mái đê nằm trên mực nước tính toán. Trong trường hợp xác định hệ số ổn định trong công thức Hudson, vùng tính toán được xác định tương ứng với mức độ hư hỏng tương đối $D = 0 \div 5\%$ [3];

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

1.1 Thực tiễn việc áp dụng đê chắn sóng đá đổ ở Việt Nam

Hệ thống đê chắn sóng đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ các khu nước bề cảng và tuyến luồng nhằm đảm bảo sự đi lại và neo đậu an toàn của tàu thuyền. Hầu hết các công trình đê chắn sóng bảo vệ các cảng ở Việt Nam hiện nay đều là dạng đá đổ với lớp phủ ngoài sử dụng các dạng khối phủ truyền thống Tetrapod, với các ưu điểm là dễ chế tạo, tận dụng được vật liệu địa phương và đòi hỏi địa chất nền không cao, nhưng nhược điểm của dạng khối phủ này là tính năng ổn định thấp, do đó hiệu quả kinh tế chưa cao [4]. Ngày nay điều kiện áp dụng của đê chắn sóng mái nghiêng ngày càng được mở rộng cùng với sự ra đời và phát triển của nhiều dạng khối phủ bê tông dị hình cải tiến có hiệu quả tiêu giảm sóng tốt hơn và do đó mang lại hiệu quả kinh tế cao [5].

Theo xu thế phát triển khoa học-kỹ thuật, nhiều loại khối phủ mới đã được phát minh và nghiên cứu để tối ưu hóa cho lớp phủ của đê chắn sóng đá đổ. RAKUNA-IV là một trong những khối phủ mới được nghiên cứu, phát triển bởi công ty Nikken-Kogaku từ năm 2007 và đã được ứng dụng nhiều ở Nhật Bản [6]. Loại khối phủ cải tiến này có nhiều tính năng vượt trội và đem hiệu quả kinh tế cao hơn so với việc áp dụng các dạng khối phủ truyền thống khác [6] [7]. Hiện nay việc nghiên cứu các tính năng ổn định của RAKUNA-IV trong các điều kiện thủy lực khác nhau cũng đang thu hút được nhiều mối quan tâm nghiên cứu ở nhiều nơi trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Đây là một vấn đề thực tiễn mang tính cấp bách khi mà trong hầu hết các trường hợp (đặc biệt là khu vực có độ sâu lớn) các khối phủ cho đê chắn sóng đá đổ thường được thi công theo phương pháp xếp rời 2 lớp trên mái đê [8] [9].

1.2 Tính cấp thiết của việc nghiên cứu ổn định và độ bền của khối phủ bê tông xếp rời trên mái đê chắn sóng đá đổ

Trước đây, khi thiết kế các công trình đê chắn sóng đá đổ mái nghiêng, tiêu chí chủ yếu thường là sự ổn định về mặt thủy lực. Ổn định về mặt thủy lực là sự ổn định của các khối phủ bê tông không bị dịch chuyển hay bị bật ra dưới tác động trực tiếp của các cơn sóng và dòng chảy trong quá trình làm việc trên mái đê chắn sóng dạng đá đổ. Cơ chế mất ổn định do hiện tượng các khối phủ bê tông bị xoay lật dưới tác động của sóng (cơ chế

rocking) là một cơ chế thường gặp ở dạng khối phủ liên kết 2 lớp có hình dạng thanh mảnh và được xếp rời trên mái dề chắn sóng dạng đá đổ [3] [1].

Tuy nhiên, một điều chưa được xem xét đó là các khối phủ bê tông cũng có thể bị nứt vỡ do giá trị ứng suất phát sinh trên bề mặt khi bị rung lắc, xoay chuyển và va chạm vào nhau dưới tác động của sóng và dòng chảy vượt quá cường độ hay giá trị độ bền cơ học cho phép của vật liệu chế tạo khối phủ (thường là bê tông không có cốt thép). Trong thực tế, nhiều hư hỏng nghiêm trọng của nhiều công trình dề chắn sóng đá đổ được bảo vệ bằng dạng phức tạp của các loại khối phủ bê tông không có cốt thép dạng thanh mảnh như Dolosse và Tetrapod, đặc biệt là hiện tượng nứt vỡ nghiêm trọng trên các khối phủ xuất hiện trên dề chắn sóng Sines (Bồ Đào Nha), Arzew (Angiêri) và Tripoli (Libya) [10]. Hư hỏng kết cấu đối với một khối phủ riêng rẽ có thể dẫn đến hiện tượng mất ổn định thủy lực phát triển dần trên toàn bộ lớp phủ của dề chắn sóng đá đổ [3] [1]. Do đó, có thể thấy tầm quan trọng của việc xem xét thêm cả độ bền (structural integrity) của các khối phủ bên cạnh sự ổn định về mặt thủy lực khi được xếp rời nhiều lớp trên mái dề chắn sóng dạng đá đổ nhằm tránh hiện tượng nứt vỡ và đảm bảo tính ổn định tổng thể của các khối phủ trong quá trình làm việc [10].

Ở khu vực có độ sâu lớn, đặc biệt là đoạn đầu dề nằm ngoài vùng sóng vỡ, các khối phủ cho dề chắn sóng đá đổ thường bị xếp rời trên mái do công tác thi công lắp đặt các khối phủ này chịu ảnh hưởng của các điều kiện bất lợi do sóng, gió và dòng chảy. Như chúng ta đã biết, khi dề chịu sóng tràn thì một phần năng lượng của sóng sẽ được chuyển qua đỉnh dề và mái phía sau làm cho mái phía trước ổn định hơn, còn khi sóng không tràn điều kiện làm việc của các khối phủ nói riêng và dề chắn sóng nói chung sẽ trở lên bất lợi hơn.

Đã có một số nghiên cứu đã được tiến hành trước đây về khối phủ RAKUNA-IV nhưng mới chỉ tập trung vào ổn định thủy lực trong trường hợp xếp đều 2 lớp trên mái dề, chưa có nghiên cứu nào về ổn định của khối phủ này trong trường hợp xếp rời hoàn toàn trong trường hợp làm việc bất lợi do tác động của sóng không tràn (đỉnh dề cao so với mực nước) và sóng chưa vỡ (khi đầu dề nằm ở khu vực có độ sâu lớn), đặc biệt là chưa có nghiên cứu nào về độ bền của khối phủ bê tông trên mái dề khi bị xoay lắc và va đập trong quá trình làm việc.

Các nghiên cứu trong luận án này do vậy sẽ góp phần hoàn thiện các nghiên cứu cho khối phủ RAKUNA-IV, đây cũng sẽ là tài liệu tham khảo cho các kỹ sư thiết kế hoặc các nhà

tư vấn bên cạnh các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành như Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9901:2014 (Yêu cầu thiết kế đê biển) [11] và Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 02 : 2017/CHHVN (Yêu cầu thiết kế Đê chắn sóng) [12];

2. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV khi được xếp rôi trên đê chắn sóng đá đổ thông qua các thí nghiệm trên mô hình vật lý trong máng sóng và mô phỏng bằng mô hình toán. Các kết quả nghiên cứu sau đó được ứng dụng cho công trình cụ thể, từ đó đưa ra các kiến nghị và giải pháp cho công tác thiết kế, sản xuất và thi công các khối phủ RAKUNA-IV khi áp dụng cho các đê chắn sóng trong thực tế.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1 Đối tượng nghiên cứu

Khối phủ RAKUNA-IV xếp rôi hoàn toàn trên đê chắn sóng đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ.

3.2 Phạm vi nghiên cứu

Ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV được xếp rôi 2 lớp trên mái phía biển của đê chắn sóng đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ;

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Để giải quyết mục tiêu và nhiệm vụ đã nêu ở trên, luận án đã sử dụng các phương pháp nghiên cứu như sau:

- *Phương pháp thống kê*: thu thập và phân tích các tài liệu đã có cũng như các kết quả nghiên cứu đã có về vấn đề ổn định cũng như độ bền của khối phủ bê tông trên đê chắn sóng đá đổ;
- *Phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng*: ổn định của khối phủ RAKUNA-IV ở mái đê phía biển trong điều kiện sóng không tràn, không vỡ trong đó có xem xét cả cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc và độ bền tương ứng của khối phủ này khi bị va đập do chuyển động xoay lắc dưới tác động của sóng;
- *Phương pháp sử dụng mô hình toán*: sử dụng mô hình phần tử hữu hạn để mô phỏng, tính toán và xác định các tham số về ứng suất-biến dạng của khối phủ;
- *Phương pháp chuyên gia*: thông qua các hội thảo để lấy ý kiến đóng góp của các chuyên gia trong và ngoài nước về cách tiếp cận, nghiên cứu, các luận cứ khoa học và các giải pháp.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

5.1 Ý nghĩa khoa học

Luận án đã tiến hành nghiên cứu thông qua các thí nghiệm trên mô hình vật lý để nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV ở mái dề phía biển về mặt thủy lực trong trường hợp xếp rôi 2 lớp trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ. Ngoài ra, luận án cũng đã kết hợp cả mô hình toán dạng phần tử hữu hạn để nghiên cứu về độ bền của khối phủ RAKUNA-IV khi bị xoay lắc trên mái dề dưới tác động của sóng.

5.2 Ý nghĩa thực tiễn

Các kết quả nghiên cứu của luận án về ổn định thủy lực và độ bền trong các điều kiện thi công và làm việc thực tế, đặc biệt là khu vực có độ sâu lớn, có thể sẽ là tài liệu tham khảo, kết hợp với các tiêu chuẩn thiết kế để áp dụng trong thiết kế, tư vấn cho dề chắn sóng đá đổ sử dụng khối phủ RAKUNA-IV trong thực tế nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế, kỹ thuật, đồng thời giảm chi phí khắc phục hay sửa chữa đối với dề chắn sóng trong thời gian làm việc.

6. Cấu trúc của luận án

Ngoài các phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, luận án bao gồm 04 chương như sau:

CHƯƠNG 1: Tổng quan về khối phủ bê tông bảo vệ cho dề chắn sóng đá đổ;

CHƯƠNG 2: Cơ sở khoa học nghiên cứu ổn định và độ bền của khối phủ trên mái dề chắn sóng đá đổ;

CHƯƠNG 3: Kết quả nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV;

CHƯƠNG 4: Ứng dụng kết quả nghiên cứu vào tính toán thiết kế lớp phủ mái của dề chắn sóng bảo vệ cảng Chân Mây, tỉnh Thừa Thiên Huế.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ KHỐI PHỦ BÊ TÔNG BẢO VỆ CHO ĐÊ CHẮN SÓNG ĐÁ ĐỔ

1.1 Giới thiệu chung

1.1.1 Đê chắn sóng đá đổ

Đê chắn sóng từ lâu đã được xây dựng để bảo vệ các khu cảng, tàu thuyền trong cảng, môi trường sống và các bãi biển khỏi các tác động của sóng và dòng chảy. Trong đó, một trong những loại cơ bản nhất đó là dạng đá đổ mái nghiêng - một kết cấu được thành tạo từ các viên đá gồm có lớp lõi bằng các vật liệu mịn được bảo vệ bằng một lớp các khối phủ bê tông. Các khối phủ này chủ yếu không có cốt thép và luôn đa dạng về kích cỡ và dạng hình học. Điều này chủ yếu là do sự quan tâm và nhu cầu đạt được các tính chất về mặt kỹ thuật tối ưu và một hình dạng hiệu quả, qua đó giảm được các chi phí sản xuất.

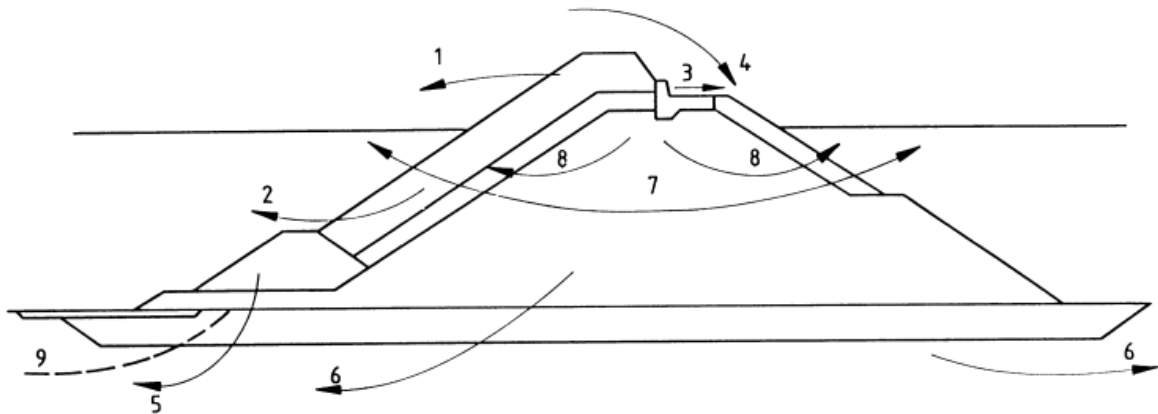
Đê chắn sóng đá đổ là giải pháp kết cấu thông dụng và là dạng công trình thường được áp dụng rộng rãi nhất trong thực tế nhằm tận dụng được các vật liệu sẵn có, tại chỗ như đá, bê tông v.v... Ngoài ra đê chắn sóng mái nghiêng còn ứng dụng nhiều khối bê tông có hình thù kì dị nhằm tiêu hao năng lượng sóng và liên kết với nhau. Ở Việt Nam, kết cấu đê chắn sóng dạng đá đổ có mặt tại hầu hết các khu cảng như Nghi Sơn, Chân Mây, Lạch Huyện, Cô Tô, Tiên Sa, Phú Quý, Bạch Long Vĩ, Phan Thiết, Vũng Áng, Dung Quất, Liên Chiểu v.v... với nhiều dạng khối phủ bê tông bảo vệ mái đê là Tetrapod, Accropode [13] [14] và gần đây là dạng khối phủ mới RAKUNA-IV được sử dụng cho các dự án mới ở cảng Nghi Sơn, Chân Mây, Vân Phong và Vĩnh Tân.

1.1.2 Cơ chế phá hỏng của đê chắn sóng

Dạng mặt cắt điển hình của đê chắn sóng đá đổ có kết cấu đa lớp [3] [1]: lõi đê bằng vật liệu cấp phối nhỏ hơn, được bảo vệ bằng các khối phủ lớn trong lớp phủ ngoài; để ngăn cho các vật liệu lõi đê không bị cuốn trôi qua lớp phủ ngoài, cần thiết phải bố trí thêm lớp lọc hay lớp giữa, nằm ngay bên dưới lớp phủ bảo vệ ngoài; phần cuối và thấp hơn của lớp phủ ngoài thường được chống đỡ bằng kết cấu cơ chân (trừ trường hợp công trình được xây dựng ở khu vực nước nông).

Ổn định tổng thể của đê chắn sóng đá đổ có liên quan đến cả kết cấu công trình và nền móng, và các tác động của tải trọng tĩnh và tải trọng động. Các tải trọng động có thể gây ra bởi động đất hoặc sóng biển, và các tác động này chịu ảnh hưởng bởi các biến đổi dài hạn đối với công trình và nền móng bên dưới như hiện tượng lún hoặc xói lở đáy biển.

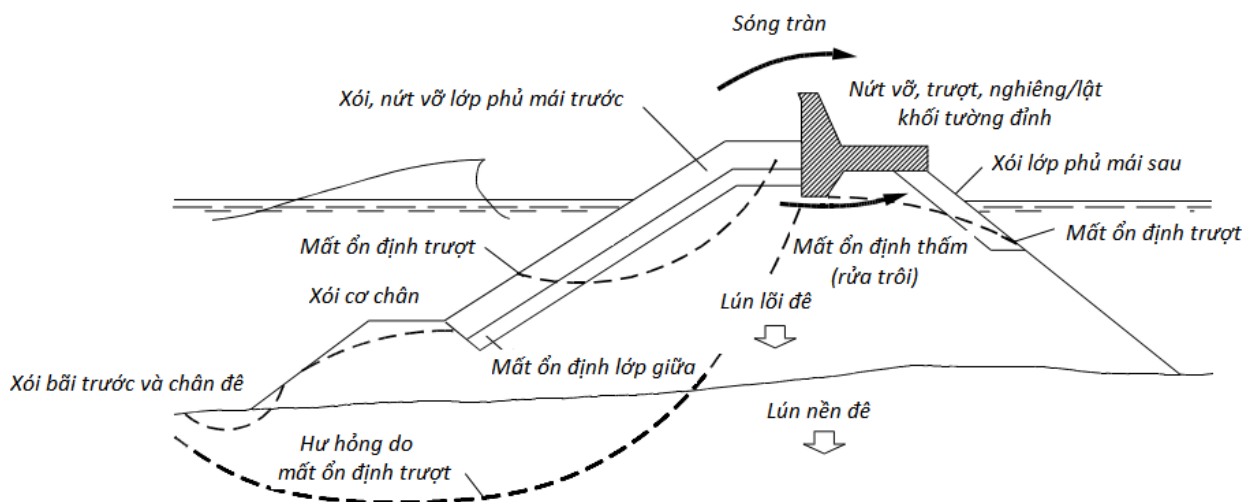
Hình 1.1 minh họa các kiểu hư hỏng chủ yếu của các bộ phận kết cấu của đê chắn sóng đá đổ.



Hình 1.1 Các nguyên nhân chính gây hư hỏng cho kết cấu đê chắn sóng đá đổ dưới tác động của sóng [15] [16]

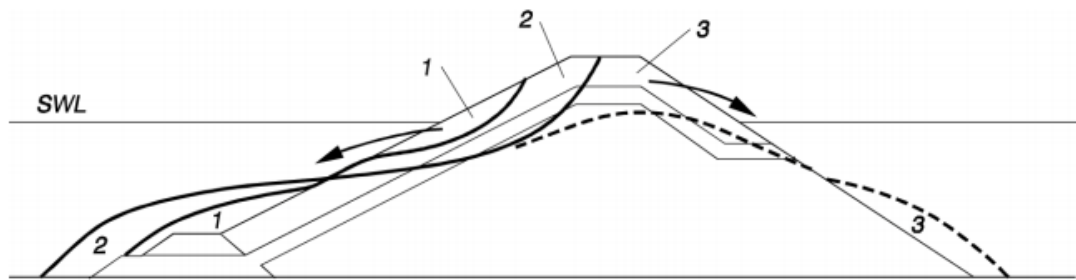
- | | |
|--|--|
| (1) Mất hoặc hư hỏng các khối phủ | (6) Hư hỏng nền đê |
| (2) Sự dịch chuyển của lớp phủ | (7) Mất vật liệu lõi đê |
| (3) Sự dịch chuyển của khối tường đỉnh | (8) Mất ổn định do áp suất lỗ rỗng quá mức |
| (4) Sóng tràn gây xói lở mái sau | (9) Xói bãi trước |
| (5) Xói chân đê | |

Burcharth (1993) cũng đã đưa ra tổng quan các dạng hư hỏng của đê chắn sóng đá đổ, trong đó nhấn mạnh sự tương tác qua lại với nhau giữa các cơ chế (xem Hình 1.2), ví dụ như hiện tượng xói cơ chân và sự nứt vỡ của các khối phủ bảo vệ sẽ làm tăng sự xói lở của lớp phủ ngoài, và sóng tràn quá mức cũng có thể gây ra sự hư hỏng của mái phía sau.



Hình 1.2 Tổng quan về các dạng hư hỏng của đê chắn sóng đá đổ [1]

Sự mất ổn định về mặt thủy lực của lớp phủ chính cho kết cấu đê chắn sóng dạng nhiều lớp thông dụng được minh họa ở Hình 1.3 dưới đây.

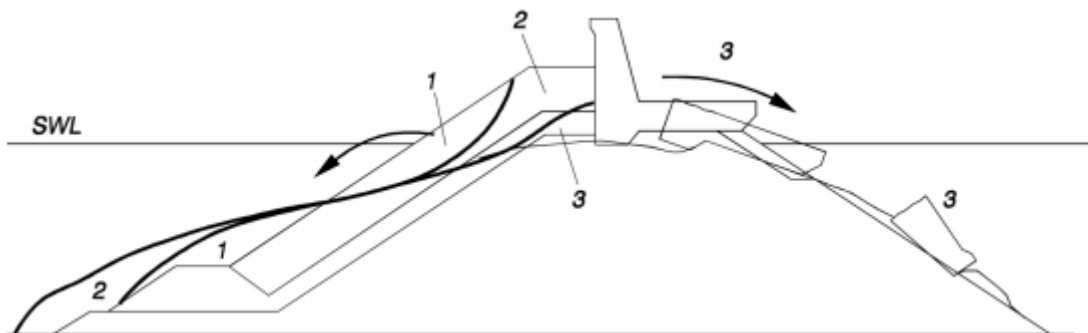


Hình 1.3 Sự mất ổn định về mặt thủy lực của khối phủ chính cho kết cấu nhiều lớp thông dụng [1]

- (1) Sự dịch chuyển của khối phủ quanh mực nước thiết kế;
- (2) Sự xói lở kéo theo của lớp giữa và lõi đê, tạo ra dạng mặt cắt hình chữ S;
- (3) Sự mất ổn định và hư hỏng của kết cấu đỉnh

Sự mất ổn định thủy lực và/hoặc sự nứt vỡ của các dạng phức hợp của khối phủ bảo vệ mái đê chắn sóng đá đổ có thể dẫn đến hư hỏng của kết cấu tường đỉnh (xem Hình 1.4).

Đê chắn sóng đá đổ mái nghiêng có thể bị hư hỏng bởi nhiều cơ chế khác nhau, từ hư hỏng của một bộ phận công trình như mất ổn định lớp khối phủ hay tường đỉnh cho đến mất ổn định tổng thể [17].



Hình 1.4 Hư hỏng công trình do sự nứt vỡ của các khối phủ bảo vệ mái [1]

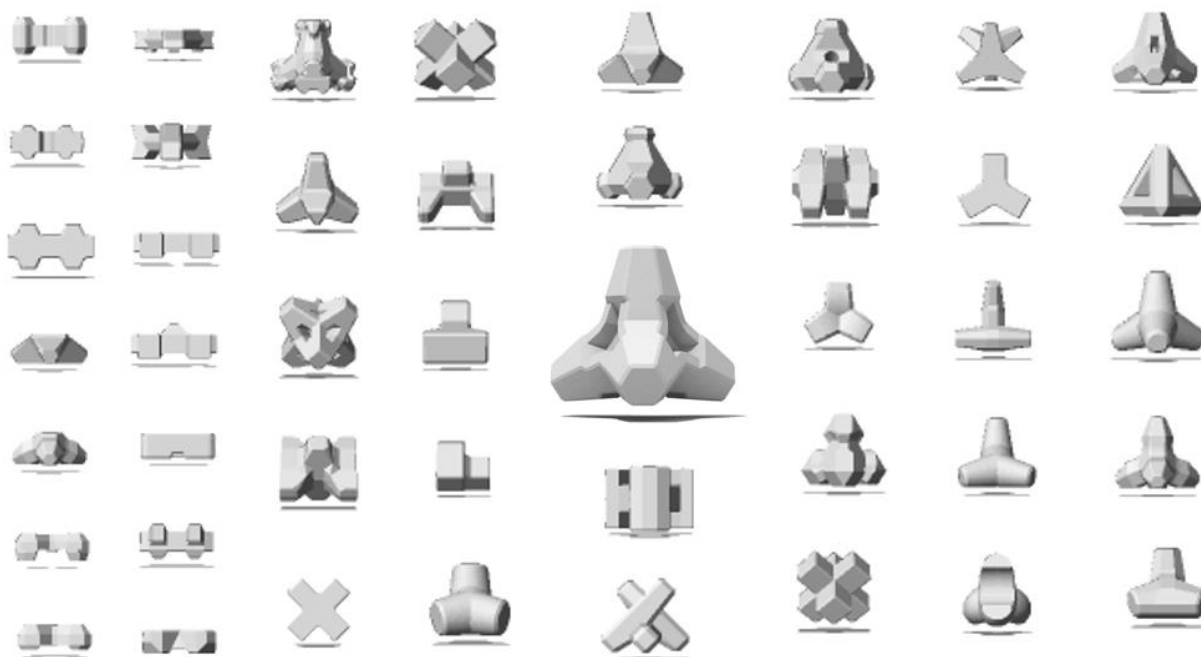
- (1) Sự dịch chuyển của các khối phủ còn nguyên vẹn hoặc đã bị nứt vỡ
- (2) Sự tiếp xúc trực tiếp của kết cấu tường đỉnh với các con sóng lớn và các áp lực đẩy nổi tương ứng
- (3) Sự nứt vỡ và hư hỏng do mất ổn định trượt/lật của kết cấu tường đỉnh

1.1.3 Các khối phủ bê tông

Các khối phủ bê tông ngoài khả năng liên kết với nhau thì còn có khả năng tiêu tán năng lượng sóng rất tốt, do đó có thể giảm áp lực lên kết cấu đê mái nghiêng. Các khối phủ bảo vệ chính thường được sử dụng để phủ mặt ở phía biển và phía bên trong (phía cảng) ở phần đầu đê [18].

Các khối phủ bê tông bảo vệ cho đê chắn sóng đá đổ chủ yếu không có cốt thép và luôn đa dạng về kích cỡ và dạng hình học, từ các khối lập phương kích thước lớn cho đến các hình dạng phức tạp hơn như Dolos, Tetrapod, Accropode, Xblock và gần đây là Grasp-P, Grasp-R và RAKUNA-IV. Điều này chủ yếu là do sự quan tâm và nhu cầu đạt được các tính chất về mặt kỹ thuật tối ưu và một hình dạng hiệu quả, qua đó giảm được các chi phí sản xuất. Trong những năm gần đây, các cấu kiện khối phủ rất lớn đã được sử dụng cho nhiều công trình bảo vệ bờ biển đặc biệt là đê chắn sóng đá đổ mái nghiêng ở các khu vực có độ sâu lớn (xem Hình 1.5) như Tribar (1958), Stabit (1961), Tripod (1962), Akmon (1962), Dolosse (1963), Antifer Cube (1973), Accropode (1981, SOGREAH), Core-loc (1994), X-block (2003), ...

Những dạng khối phủ được phát triển và cải tiến có tính năng phù hợp với những điều kiện sóng khác nhau, đáp ứng ngày càng tốt hơn những yêu cầu thực tế khó khăn và đa dạng của công tác xây dựng cảng nước sâu và công trình bảo vệ bờ biển [19].



<http://mcguffin.seesaa.net>

Hình 1.5 Các dạng khối phủ trên thế giới [20]

1.1.3.1 Phân loại khối phủ

Khối phủ dị hình có thể được phân loại theo hình dạng, cách xếp khối và số lớp.

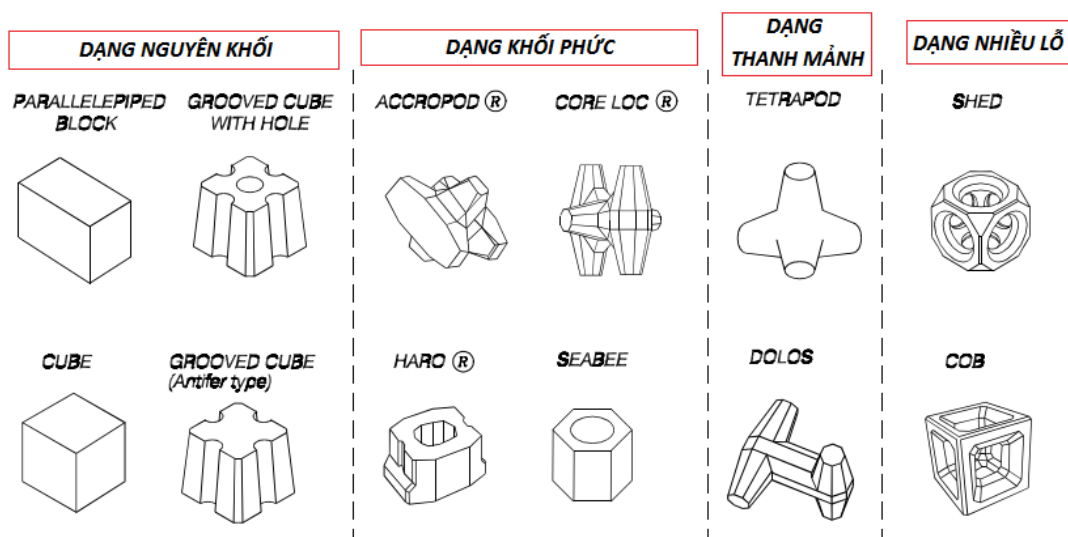
(1) Theo hình dạng:

Các khối phủ bê tông bảo vệ cho kết cấu đê chắn sóng đá đổ có thể được phân loại thành các nhóm như sau (xem Hình 1.6):

- Dạng khối lớn hoặc nguyên khối: ví dụ khối lập phương Cube, bao gồm cả dạng có rãnh và dạng khối dài);
- Dạng khối phức tạp: ví dụ như Accropode, Core Loc, Haro, Seabee;
- Dạng khối thanh mảnh: ví dụ như Tetrapod, Dolos;
- Dạng khối có nhiều lỗ: ví dụ như Shed, Cob.

Nhìn chung các khối phủ bảo vệ được chế tạo từ bê tông không có cốt thép, ngoại trừ một số dạng khối có nhiều lỗ có thể sử dụng thêm cốt sợi.

Đối với các dạng khối thanh mảnh như Dolos với tỉ lệ eo nhỏ, nhiều dạng bê tông cường độ cao và việc gia cường thêm bằng cốt thép (dạng thanh truyền thống, dạng dũa ứng lực, dạng sợi, dạng sắt vụn, dạng mặt cắt bằng thép) đã được xem xét. Tuy nhiên các giải pháp này nhìn chung ít mang lại hiệu quả về mặt chi phí, và do đó chúng ít khi được sử dụng trong thực tế.



Hình 1.6 Phân loại khối phủ bê tông bảo vệ mái đê đá đổ theo hình dạng [1]

(2) Theo cách xếp: khối phủ được xếp đều hoặc xếp rời trên mái đê;

- Xếp đều: tính năng ổn định phụ thuộc vào ma sát giữa các khối;

- Xếp rôi: tính năng ổn định phụ thuộc vào trọng lượng bản thân và lực liên kết gài cắm giữa các khối.

(3) *Theo số lớp*: khối phủ được xếp 1 hoặc 2 lớp.

Các khối phủ bê tông hầu hết được xếp đặt một cách ngẫu nhiên trên mái dốc trong lớp phủ có chiều dày bằng 2 lần kích thước cấu kiện bảo vệ, trừ các khối phủ Accropode và Core Loc chỉ xếp 1 lớp, và các dạng khối có nhiều lỗ được xếp đều cạnh nhau. Các ưu và nhược điểm của các cách xếp này như sau:

- Xếp 2 lớp: khối lượng bê tông lớn, khối lượng đá giảm, lắp đặt các khối phủ dễ dàng hơn;
- Xếp 1 lớp: khối lượng bê tông giảm, khối lượng đá tăng, công tác lắp đặt khối phủ khó khăn hơn do yêu cầu thi công cao hơn rất nhiều;

1.1.3.2 Lịch sử hình thành và phát triển của khối phủ

Vào năm 1949, P. Danel tại phòng thí nghiệm thủy lực Dauphinois (sau này là SOGREAH) đã thiết kế cấu kiện Tetrapod. Sự ra đời của khối phủ này đã thay thế cho dạng khối phủ truyền thống như đá và khối lập phương đã đánh dấu một bước ngoặt khởi đầu cho sự nghiên cứu và phát triển các dạng cấu kiện tiêu sóng mới ở nhiều nước trên thế giới [21]. Người Hà Lan sau đó đã phát triển một cấu kiện tương tự là Akmon với hệ số ổn định gần bằng Tetrapod. Theo sau sự phát triển của Akmon, Merrifield và Zwamborn ở Nam Phi đã nỗ lực để duy trì hình dạng cơ bản của Akmon, nhưng làm tăng độ rộng bằng cách tạo ra các cấu kiện Dolos với chân mảnh hơn. Ban đầu, điều này đã rất triển vọng, với hệ số ổn định cao hơn nó dường như đã cung cấp giải pháp tối ưu cho đến khi độ bền cơ học hạn chế của nó đã gây ra một loạt những sự cố cho các đê phá sóng. Một trong những sự cố đáng kể là sự phá hủy của đập chắn sóng Sines ở Bồ Đào Nha vào tháng 2 năm 1978 do độ bền cơ học của các cấu kiện bê tông đã không đủ để chống lại các lực tác động (xem Hình 1.7).

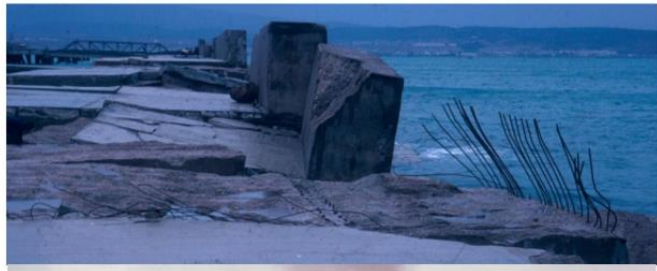
Ngoài ra, các hiện tượng nứt vỡ nghiêm trọng trên các cấu kiện còn được quan sát ở đê chắn sóng Arzew ở Algeria vào năm 1980 (xem Hình 1.8), Tripoli ở Libya khoảng 1 tháng sau đó (xem Hình 1.9), Gioia Tauro ở Ý vào năm 1979 trong quá trình thi công và San Ciprian ở Tây Ban Nha vào năm 1980. Điều này đã cho thấy tầm quan trọng của việc xem xét thêm cả tính ổn định về mặt kết cấu của các cấu kiện nhằm tránh hiện tượng nứt vỡ.



Hình 1.7 Hư hỏng của Đê chắn sóng Sines (Bồ Đào Nha) năm 1978 [1]



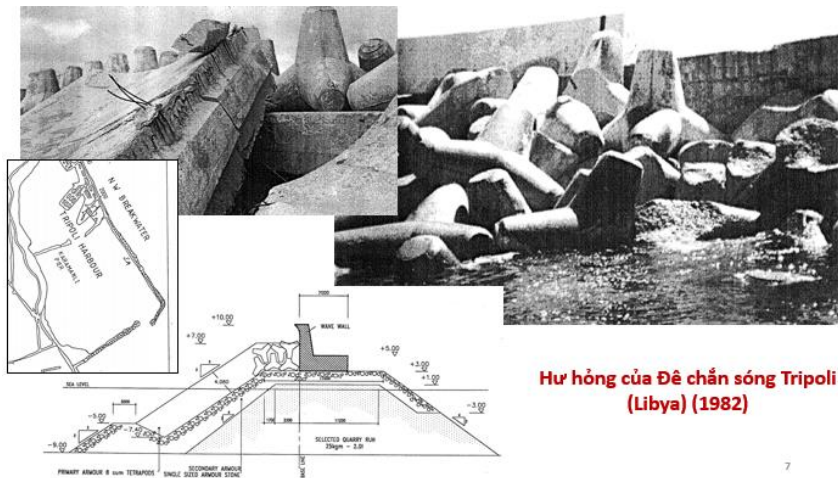
Hư hỏng của cấu kiện Core-Loc



Hư hỏng của Đê chắn sóng Arzew El-Djedid (Algeria)



Hình 1.8 Hư hỏng của Đê chắn sóng Arzew El-Djedid (Algeria) [1]



Hư hỏng của Đê chắn sóng Tripoli (Libya) (1982)

Hình 1.9 Hư hỏng của Đê chắn sóng Tripoli (Libya) năm 1982 [1]



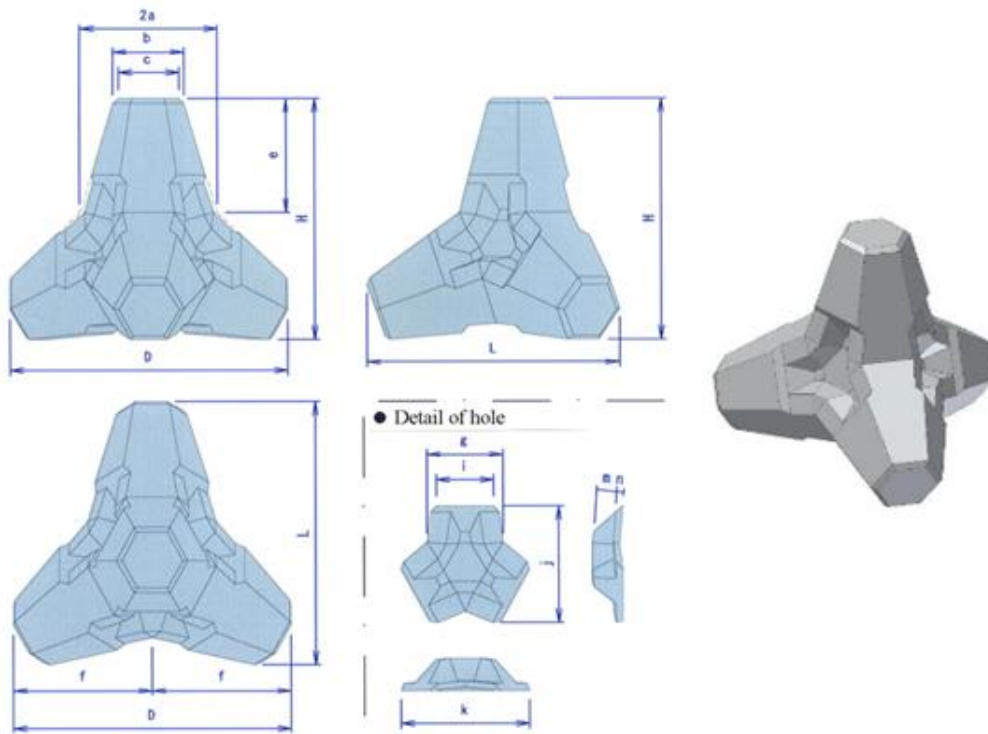
Hình 1.10 Đê chắn sóng bằng khối phủ Tetrapod bị phá hỏng ở El Kala, Algeria năm 1979 [1]

1.1.4 Giới thiệu về khối phủ RAKUNA-IV

Trong xu thế phát triển chung trên thế giới, khối phủ RAKUNA-IV là dạng kết cấu mới của Nhật Bản được phát minh bởi công ty Nikken Kogaku vào năm 2007 (mã đăng ký bản quyền HRK-080001-VE, số hiệu 1343) [53] và đã được ứng dụng cho 12 dự án khác nhau ở Nhật Bản trong giai đoạn từ 2008 đến 2009 [53] (xem Bảng 1.1 và Hình 1.13), gần đây là các cảng Nghi Sơn (Thanh Hóa) vào năm 2006, cảng Chân Mây (Thừa Thiên Huế) năm 2019 [58] (xem Hình 1.14) và sắp tới là các cảng Vân Phong và cảng Vĩnh Tân (năm 2020). RAKUNA-IV cũng có cấu tạo bốn chân như Tetrapod nhưng góc cạnh hơn và đặc biệt là có thêm 04 hốc lõm ở các chân như tên gọi của nó (xem Hình 1.12). Về mặt cấu tạo hình học đây có thể xem là một trong những dạng khối phủ tứ diện đều với nhiều tính năng vượt trội và đem hiệu quả kinh tế cao hơn so với dạng khối phủ Tetrapod (xem Hình 1.11).



Hình 1.11 Các dạng khối phủ cải tiến với hình dạng tứ diện đều đẳng hướng [20]



Hình 1.12 Khối phủ RAKUNA-IV được phát minh bởi công ty Nikken Kogaku [22] [6]

Các ưu điểm nổi bật của dạng khối phủ RAKUNA-IV của công ty Nikken Kogaku bao gồm:

(1) Cải thiện mức độ ổn định:

RAKUNA-IV là một trong những khối phủ có dạng tiêu tán năng lượng sóng. Các chân của dạng khối phủ này sẽ được cài lắp vào các hốc lõm của khối phủ khác, do vậy sẽ tăng khả năng kiểm soát được sự phát triển hư hỏng và từ đó tăng mức độ ổn định dưới tác động trực tiếp của sóng;

(2) Thân thiện với môi trường:

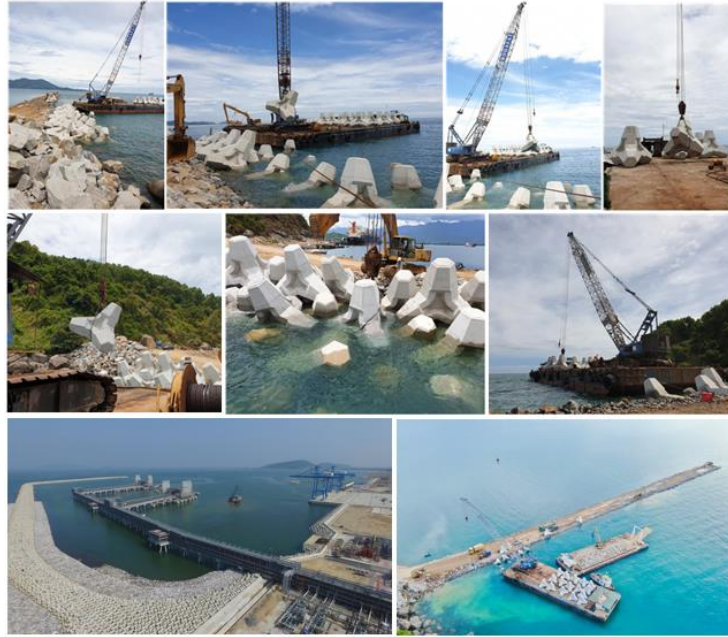
Dạng góc cạnh với nhiều mặt và không gian khác nhau tạo điều kiện cho các loại tảo sinh sống và phát triển; khoảng không gian trong các hốc lõm khá lộng tạo điều kiện cho các loài sinh vật biển như cá, tôm cua, sò hến v.v...

(3) Khả năng hấp thụ năng lượng sóng tốt:

Các hốc lõm của khối phủ RAKUNA-IV có tác dụng làm tăng độ nhám bề mặt, từ đó làm tăng hiệu quả tiêu tán năng lượng sóng;

(4) Mang lại hiệu quả kinh tế cao:

Các hốc lõm đặc trưng của khối phủ RAKUNA-IV đã tạo ra độ rỗng lớn (56,5%) từ đó sẽ làm giảm chi phí và tăng mức độ tối ưu và hiệu quả về mặt kinh tế;



Hình 1.14 Khối phủ RAKUNA-IV được ứng dụng cho đê chắn sóng cảng Nghi Sơn và cảng Chân Mây ở Việt Nam [6] [7]

Trong bối cảnh hiện nay, việc nghiên cứu về ổn định của RAKUNA-IV trong các điều kiện làm việc khác nhau cũng như việc ứng dụng khối phủ cải tiến RAKUNA-IV cho đê phá sóng nói chung và đê phá sóng đá đổ nói riêng nhằm nâng cao hiệu quả kỹ thuật, hạ giá thành xây dựng là một trong những vấn đề mang tính cấp thiết, đã và đang thu hút được nhiều mối quan tâm nghiên cứu ở nhiều nơi trên thế giới. Đã có một số nghiên cứu đã được tiến hành trước đây về ổn định của cấu kiện RAKUNA-IV nhưng mới chỉ tập trung vào ổn định thủy lực trong trường hợp khối phủ xếp đều như nghiên cứu của Viện Nghiên cứu Ngăn ngừa Thảm họa (DPRI) thuộc trường Đại học Kyoto, Nhật Bản cho trường hợp đê chắn sóng hỗn hợp ngang, các nghiên cứu của Tuấn & cộng sự (2012) [23], Giang (2015) [13]. Tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào về ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV cũng như kết cấu trong trường hợp xếp rời. Đây là một vấn đề thực tiễn mang tính cấp bách khi mà trong hầu hết các trường hợp (đặc biệt là khu vực có độ sâu lớn) các khối phủ cho đê chắn sóng đá đổ thường được thi công theo phương pháp xếp rời (xem Hình 1.15).



Hình 1.15 Thi công lắp đặt các khối phủ RAKUNA-IV ở đoạn đầu đê [6]

1.2 Tổng quan về ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ bê tông

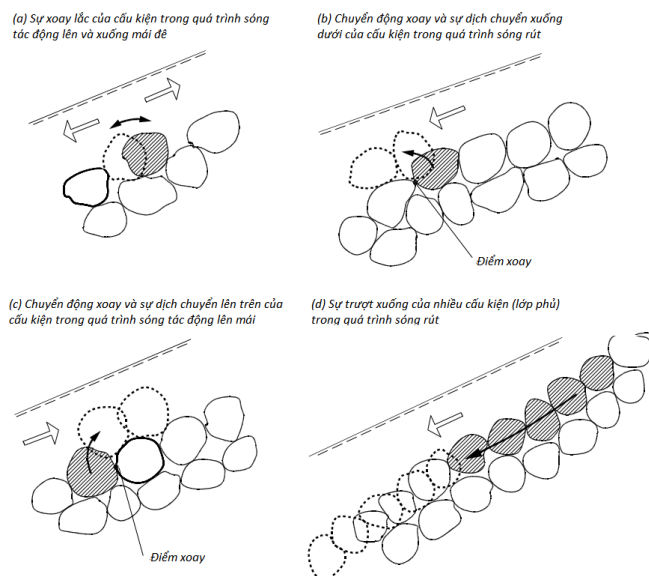
1.2.1 Ổn định thủy lực của các khối phủ bê tông

1.2.1.1 Giới thiệu chung

Áp lực do sóng tác động lên mái ngoài của đê chắn sóng đá đổ có thể gây ra sự dịch chuyển của các khối phủ. Sự dịch chuyển này được gọi là sự mất ổn định về mặt thủy lực (xem Hình 1.16). Sự nứt vỡ của các khối phủ là một dạng mất ổn định khác, có liên quan đến độ bền về mặt kết cấu của các khối phủ bê tông.

Các chuyển động của các khối phủ có thể là xoay lắc, dịch chuyển ra khỏi lớp phủ, trượt lớp phủ và hiện tượng lún cho sự nén chặt của lớp phủ. Hình 1.16 mô tả các dạng mất ổn định điển hình của lớp phủ bảo vệ đê chắn sóng đá đổ.

Dạng dòng chảy phức tạp do sóng tạo ra tác động lên các lớp phủ đã khiến cho việc tính toán các lực tác động trở nên cực kì khó khăn. Ngoài ra, hình dạng phức tạp của các khối phủ cùng với việc xếp đặt ngẫu nhiên đã gây trở ngại cho việc xác định các phản lực giữa các khối phủ cạnh nhau.



Hình 1.16 Các dạng mất ổn định thông dụng của lớp phủ [1]

Do đó các tính toán tất định về các điều kiện ổn định tức thời của khối phủ không thể thực hiện được, và đó là lý do tại sao các công thức về ổn định thủy lực đều được dựa trên các kết quả thí nghiệm trên mô hình thủy lực tỉ lệ nhỏ. Xét một cách định tính, sự khác nhau giữa các khối phủ có tính năng liên kết và không có liên kết được minh họa như Hình 1.17 dưới đây, trong đó thể hiện ảnh hưởng của góc nghiêng mái ngoài đến các tác động về

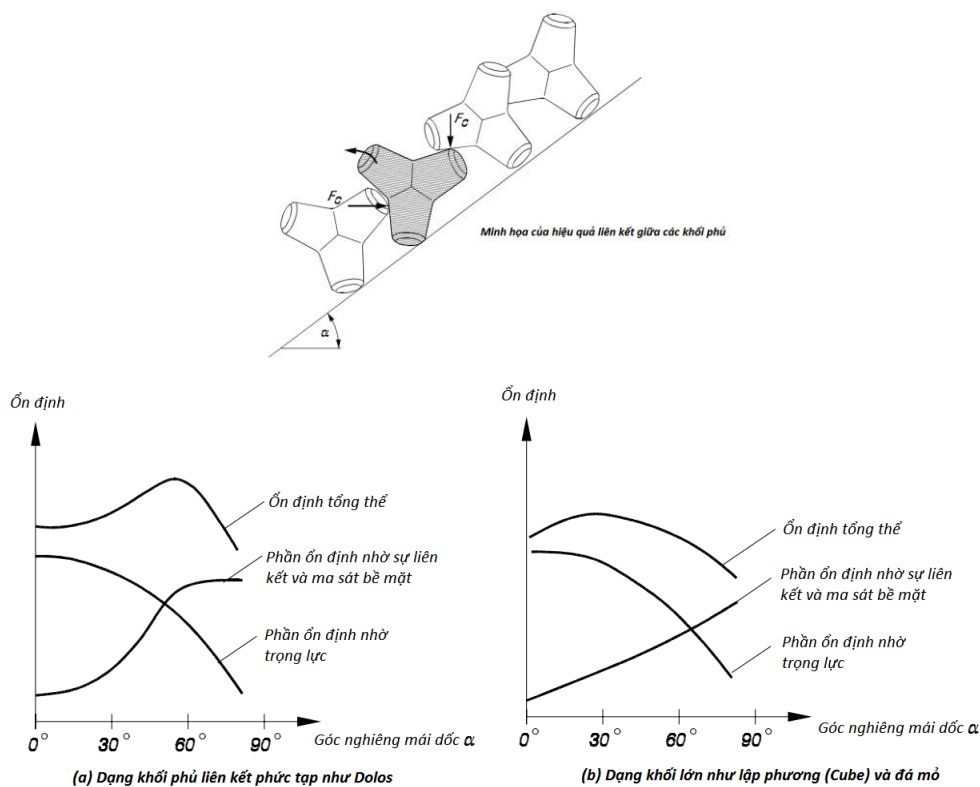
mặt ổn định thủy lực của lực trọng trường, tính năng liên kết và ma sát bề mặt. Hiệu năng liên kết chỉ đóng vai trò quan trọng đối với các mái dốc có độ dốc lớn hơn.

1.2.1.1 Các công thức tính toán ổn định thủy lực của khối phủ trên mái nghiêng

Các lực do dòng chảy tạo ra dưới tác động của sóng lên các khối phủ có thể được biểu thị bằng phương trình Morison bao gồm lực kéo F_D , lực nâng F_L và lực quán tính F_I . Lực ổn định chính là trọng lực F_G (xem Hình 1.17).

Giả sử ở thời điểm mất ổn định, lực kéo và lực nâng chiếm ưu thế so với lực quán tính, tỉ số ổn định mang tính chất định tính có thể được xác định giữa lực kéo cộng thêm lực nâng và lực trọng trường như sau [1]]:

$$\frac{F_D + F_L}{F_G} \approx \frac{\rho_w D_n^2 v^2}{g(\rho_s - \rho_w) D_n^3} = \frac{v^2}{g \Delta D_n} \quad (1-1)$$



Hình 1.17 Minh họa ảnh hưởng của độ dốc mái đến sự ổn định của khối phủ nhờ các thành phần lực trọng trường, tính năng liên kết và ma sát bề mặt [1]

- trong đó,
- D_n - Đường kính danh nghĩa;
 - ρ_s, ρ_w - Khối lượng riêng của bê tông chế tạo khối phủ và của nước;
 - v - Lưu tốc dòng chảy đặc trưng

Thay v ; $(gH)^{1/2}$ ứng với chiều cao sóng vỡ vào công thức trên ta có được tham số ổn định có dạng như sau:

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n} \quad (1-2)$$

với Δ là tỉ trọng tương đối của bê tông chế tạo khối phủ.

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \quad (1-3)$$

Khi đó biểu thức xác định điều kiện không vượt quá của sự mất ổn định hay mức độ hư hỏng nhất định sẽ có dạng tổng quát như sau [21]:

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n} \leq K_1^a K_2^b K_3^c \dots \quad (1-4)$$

trong đó các thành phần trong công thức phụ thuộc vào tất cả các tham số khác có ảnh hưởng đến sự ổn định thủy lực (trừ H , Δ và D_n).

Kể từ đó, hàng loạt các nghiên cứu về ổn định của khối phủ trên đê mái nghiêng phát triển và cho ra các công thức khác nhau như Tyrel (1949), Mathews (1951), Rodolf (1951), Iribarren và Nogales (1950), Larras (1952), Hedar (1953) ...

Bảng 1.2 mô tả tổng quan về các tham số về sóng và môi trường cũng như các tham số về mặt kết cấu có ảnh hưởng đến ổn định thủy lực của lớp phủ. Dựa trên việc xem xét sự cân bằng của các lực tác động lên một viên đá ở lớp phủ, đã có nhiều tác giả đã xác định được về phải của biểu thức (1-4).

Một số ví dụ được đưa ra dưới đây [1]:

- Công thức Iribarren (1938), Iribarren và Nogales (1954):

$$\frac{H}{\Delta D_n} = K(\tan \varphi \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (1-5)$$

với φ là góc ma sát trong của vật liệu lớp phủ.

- Công thức Hudson (1958, 1959):

$$\frac{H}{\Delta D_n} = (K \cot g \alpha)^{1/3} \quad (1-6)$$

- Công thức Svee (1962):

$$\frac{H}{\Delta D_n} = K \cos \alpha \quad (1-7)$$

Kể từ đó, hàng loạt các nghiên cứu về ổn định của khối phủ trên đê mái nghiêng phát triển và cho ra các công thức khác nhau như Tyrel (1949), Mathews (1951), Rodolf (1951), Iribarren và Nogales (1950), Larras (1952), Hedar (1953) ...

(1) Công thức dạng đơn giản để tính toán ổn định cho các khối phủ trong điều kiện sóng ngẫu nhiên [3]

Hudson (1959) đã đưa ra công thức tính toán ổn định cho viên đá dưới tác động của sóng đều dựa trên công thức nguyên thủy của Iribarren [3]:

$$W = \frac{\rho_s H_{1/3}^3}{K_D \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot g \alpha} \quad (1-8)$$

Công thức này sau đó đã được tổng quát hóa để có thể áp dụng cho các khối phủ nói chung (đá và khối bê tông dị hình) với điều kiện sóng ngẫu nhiên, trong đó kích thước của khối phủ được biểu thị thông qua một đại lượng đó là đường kính danh nghĩa D_n [3]:

$$N_s = \frac{H_{1/3}}{\Delta D_n} = (K_D \cot g \alpha)^{1/3} \quad (1-9)$$

trong đó,

N_s - Chỉ số ổn định (-);

$H_{1/3}$ - Chiều cao sóng có nghĩa, ứng với giá trị trung bình của 1/3 số con sóng cao nhất trong bảng ghi số liệu sóng (m).

[3] đã đề xuất lấy chiều cao sóng tính toán trong công thức Hudson là $H_{1/10}$ thay cho $H_{1/3}$.

Δ - Tỷ trọng tương đối của vật liệu (-);

D_n - Đường kính danh nghĩa (m);

α - Góc nghiêng của mái dốc ($^\circ$);

K_D - Hệ số ổn định đã được thống kê cho nhiều loại khối phủ bê tông dị hình khác nhau.

Bảng 1.2 Các tham số có ảnh hưởng đến ổn định thủy lực của lớp phủ bảo vệ mái đê chắn sóng đá đổ [1]

(1) Các tham số sóng	
<ul style="list-style-type: none"> • Chiều cao sóng đặc trưng: $H_s, H_{1/3}, H_{m0}, H_{1/10}, v.v\dots$ • Chiều dài sóng đặc trưng: $L_m, L_{0m}, L_p, v.v\dots$ • Độ dốc sóng đặc trưng: $s_m, s_{0m}, s_p, v.v\dots$ • Tính đối xứng của sóng; • Dạng phổ sóng: JONSWAP, P-M, TMA v.v... và dạng phổ song đỉnh; • Nhóm sóng; • Độ sâu nước: h • Góc sóng tới: β • Số con sóng: N_s; • Khối lượng riêng của nước: ρ_w 	
(2) Các tham số kết cấu	
<ul style="list-style-type: none"> • Mặt cắt ngang công trình, góc nghiêng của mái đê, chiều cao lưu không v.v... • Khối lượng riêng của vật liệu chế tạo khối phủ: ρ_s ; • Cấp phối của đá: $D_{n50}, D_{n15}, D_{n85}$ • Khối lượng và hình dạng của các khối phủ chính; • Mật độ xếp khối phủ, cách xếp và chiều dày của lớp phủ; • Độ rỗng và tính thấm của lớp giữa, lớp lọc và lõi đê. 	
(3) Các tham số tổng hợp	
$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$	
$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} \quad (\text{theo Sổ tay bảo vệ bờ - Shore Protection Manual SPM, 1984})$	
$N_s^* = N_s s_p^{-1/3} \quad (\text{theo Ahrens, 1987})$	
$H_0 T_0 = N_s T_m \sqrt{\frac{g}{D_n}} \quad (\text{theo Van der Meer, 1988})$	
$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_{0m}}} \quad (\text{theo Battjes, 1974b})$	
trong đó,	s_p - Độ dốc sóng cục bộ ứng với chu kỳ T_p ; $s_p = 2\pi H_s / g T_p^2$
	s_{0m} - Độ dốc sóng cục bộ ứng với chu kỳ T_m ; $s_{0m} = 2\pi H_s / g T_m^2$
	T_p, T_m - Lần lượt là chu kỳ sóng lớn nhất và chu kỳ sóng trung bình;

Có thể thấy rằng ngoài các ưu điểm về tính đơn giản cũng như dễ sử dụng (với các hệ số ổn định K_D) thì công thức Hudson vẫn còn có nhiều hạn chế như sau [1]:

- Chưa xét đến chu kỳ sóng;
- Chưa xét kiểu sóng vỡ (nhảy vỡ, dâng vỡ v.v...);
- Chưa xét đến mức độ hư hỏng;
- Chưa xét đến ảnh hưởng của thời gian bão (đặc biệt là số lượng cơn sóng);
- Chưa xem xét đến tính thấm của kết cấu.

(2) Công thức tính toán ổn định cho các khối phủ Tetrapod xếp 2 lớp trong điều kiện sóng không vỡ và không tràn [1]

Như chúng ta đã biết, công thức Hudson có những hạn chế như không xem xét tất cả các tham số có thể ảnh hưởng đến ổn định của lớp phủ (ví dụ như chu kỳ sóng và tính thấm của lớp giữa). Tuy nhiên, công thức này lại rất hữu ích khi ước tính trong thiết kế có liên quan đến các dạng cấu kiện khối lớn (ví dụ như đá và khối lập phương), nhưng nó lại không khả dụng cho các dạng khối phủ bê tông có liên kết phức tạp như Dolos hay nhiều khối phủ khác [24].

Dựa trên các kết quả từ nhiều thí nghiệm mô hình trong phòng thí nghiệm Delft Hydraulics, Van der Meer (1988) đã đưa ra dạng công thức bao quát hơn cho các khối phủ Tetrapod xếp 2 lớp trong điều kiện sóng không vỡ và không tràn có dạng như sau [1] [25]:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[3,75 \left(\frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}} \right)^{0,5} + 0,85 \right] \cdot s_{0m}^{-0,2} \quad (1-10)$$

trong đó,

- H_s - Chiều cao sóng có nghĩa ở trước đê chắn sóng;
- ρ_s, ρ_w - Khối lượng riêng của bê tông và nước;
- Δ - Tỷ trọng tương đối của bê tông; ;
- D_n - Đường kính danh nghĩa của khối Tetrapod;
- N_{od} - Mức độ hư hỏng tương đối; tham số này thể hiện bằng số cấu kiện dịch chuyển trên một dải chiều rộng có kích thước là D_n ;
- N_z - Số cơn sóng tính toán;
- $\frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}}$ - Tham số đặc trưng cho sự tích lũy hư hỏng;

s_{0m} - Độ dốc sóng; giá trị này được gọi là độ dốc sóng tượng trưng và được sử dụng để tính toán giá trị chu kỳ sóng phi thứ nguyên, không phải là giá trị độ dốc sóng thực tế [1].

$$s_{0m} = \frac{H_s}{L_{0m}} \quad (1-11)$$

Điều kiện áp dụng của công thức trên:

- Sóng ngẫu nhiên, tác động trực diện;
- Sóng không bị hạn chế bởi độ sâu; sóng không tràn;
- Chỉ số tương tự sóng vỡ ξ_m nằm trong phạm vi từ 3,5 đến 6;
- Các khối phủ xếp 2 lớp trên mái dốc; hệ số mái 1/1,5;

Trong trường hợp sóng bị hạn chế do độ sâu, công thức trên có dạng [1]:

$$N_s = \frac{H_{2\%}}{\Delta D_n} = 1,4 \times \left(3,75 \frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} + 0,85 \right) \cdot s_{0m}^{-0,2} \quad (1-12)$$

Ở khu vực nước sâu, tỉ số $H_{2\%}/H_s = 1,4$ đối với các con sóng có phân bố Rayleigh. Ở khu vực nước nông thì tỉ số này sẽ giảm khi độ sâu nước tương đối giảm do hiện tượng sóng vỡ.

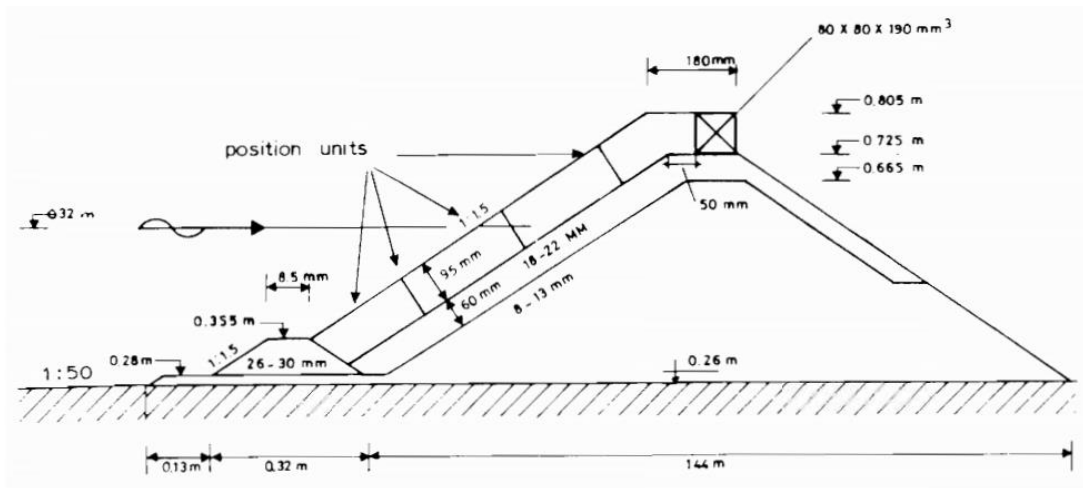
(3) Công thức tính ổn định khi xét đến cơ chế xoay lắc của khối phủ Tetrapod xếp 2 lớp trên đê chắn sóng dạng đá đổ [26]

Thí nghiệm được chia thành 2 phần: các thí nghiệm ổn định thủy lực và các thí nghiệm đo đặc gia tốc. Các thí nghiệm này được thực hiện cho cả các khối lập phương Cube và các khối Tetrapod với sóng ngẫu nhiên, số con sóng thí nghiệm là 2000. Đối với khối phủ Tetrapod trên mái dốc 1/1,5, khi đó xét thêm cơ chế xoay lắc (rocking), công thức ổn định có thể được hiệu chỉnh lại như sau [26]:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(3,75 \frac{N_{o,mov}^{0,5}}{N_z^{0,25}} + 0,85 \right) \cdot s_{0m}^{-0,2} - 0,5 \quad (1-13)$$

trong đó $N_{o,mov} = N_{od} + N_{o>0.5} + N_{o>0.5}$ là tổng số khối bị dịch chuyển trong thời gian thí nghiệm, với:

- N_{od} - Số khối bị bật ra khỏi lớp phủ (ít nhất là $2D_n$);
- $N_{o>0.5}$ - Số khối bị dịch chuyển một khoảng lớn hơn $0,5D_n$;
- $N_{o<0.5}$ - Số khối bị dịch chuyển một khoảng nhỏ hơn $0,5D_n$;



Hình 1.18 Mặt cắt mô hình đê chắn sóng trong nghiên cứu của Van der Meer, J.W. and Heydra, G., (1991)

Từ các kết quả thí nghiệm trên mô hình, Van der Meer, J.W. and Heydra, G. (1991) đã kết luận rằng hầu hết các cấu kiện mất ổn định theo cơ chế xoay lắc (rocking) tập trung ở khu vực quanh mực nước thiết kế.

Các kết quả thí nghiệm này được sử dụng để:

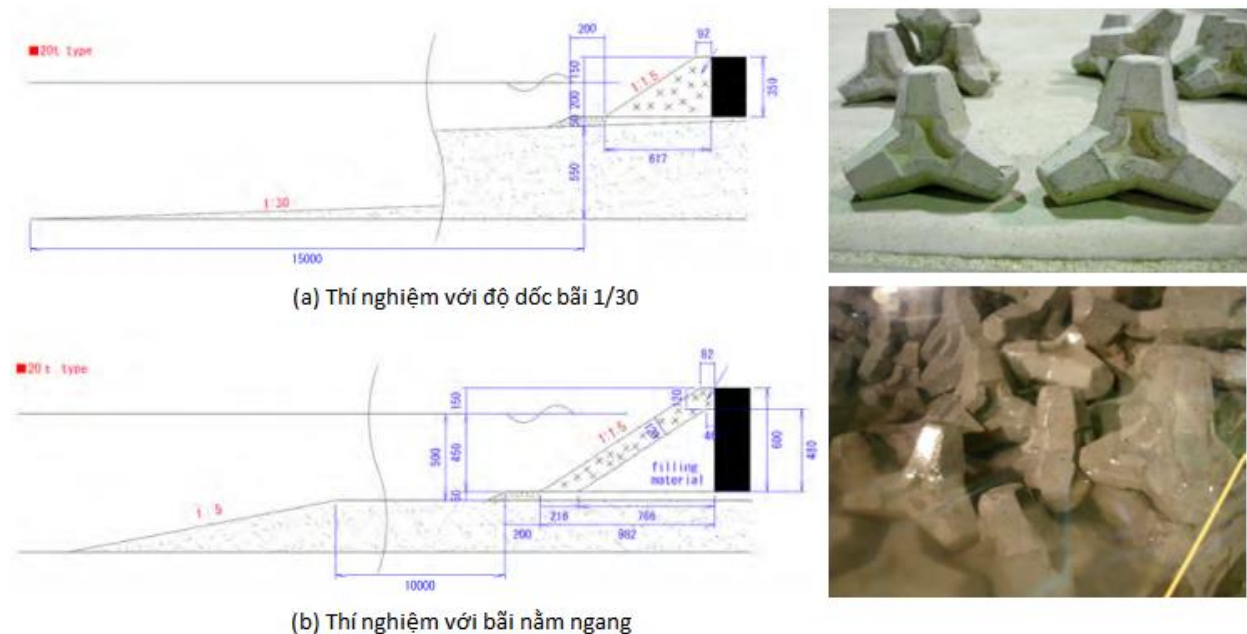
- Tính toán số viên dịch chuyển và số tác động sử dụng công thức ổn định đã hiệu chỉnh; áp dụng biểu đồ phân bố các tác động dọc theo mái dốc của công trình;
- Tính toán các hàm mật độ xác suất của các giá trị vận tốc va chạm sử dụng các công thức đã được xây dựng;
- Tính toán quan hệ tải trọng-thời gian cho các điều kiện nguyên hình sử dụng mô hình đã được phát triển ở giai đoạn khác của nghiên cứu, với nhiều giá trị vận tốc va chạm;
- Tính toán các giá trị ứng suất lớn nhất trong các khối phủ và số khối phủ có thể bị nứt vỡ, bao gồm cả sự phân bố khả dĩ của các điều kiện tải trọng, sự đông cứng của bê tông (ứng suất bên trong) và các hệ quả do va chạm đối với cường độ chịu kéo của bê tông.

Các phương pháp thí nghiệm và đo đạc này mang tính bổ sung cho phương pháp đã được đề xuất bởi Burcharth và Howell (1988) nhằm đo đạc trực tiếp các giá trị ứng suất trong khối phủ [27].

Ngoài ra, dạng khối phủ tứ diện đều như Tetrapod còn được nghiên cứu bởi Hanzawa và cộng sự (1996) với công thức thực nghiệm cho ổn định của các khối Tetrapod bảo vệ kết cấu đê chắn sóng hỗn hợp ngang [28] và De Jong, R. J. (1996) với công thức tính ổn định thủy lực của các khối phủ Tetrapod bảo vệ đê chắn sóng dạng đỉnh thấp [29].

(4) Công thức tính ổn định cho khối phủ RAKUNA-IV bảo vệ đê chắn sóng dạng hỗn hợp ngang [30]

Đê chắn sóng dạng hỗn hợp ngang bao gồm các khối phủ ở phía trước có vai trò giảm áp lực của sóng, giảm sóng phản xạ và giảm lưu lượng sóng tràn được sử dụng rộng rãi ở Nhật Bản. Mase, H., Yasuda, T., Mori, N., Matsushita, H. và Reis, M.T.(2011) đã tiến hành nghiên cứu về ổn định của loại cấu kiện mới là RAKUNA-IV với tính năng liên kết cao, đặc biệt tập trung vào các tác dụng của độ dốc sóng và sóng vỡ lên ổn định. Trong nghiên cứu này, 3 chuỗi thí nghiệm trên mô hình thủy lực đã được thực hiện để xem xét ảnh hưởng của độ dốc sóng và dạng sóng vỡ lên ổn định của các khối phủ này, bao gồm các thí nghiệm với độ dốc bãi 1/30, độ dốc bãi 1/15 và đáy ngang (độ sâu nước không đổi) (xem Hình 16). Dựa trên các kết quả thí nghiệm, các công thức ổn định thực nghiệm đã được đưa ra bằng việc xem xét các ảnh hưởng của độ dốc sóng và dạng sóng vỡ như đã nêu ở trên. Với việc sử dụng các công thức này, các giá trị xác suất hư hỏng đã được ước tính bằng phương pháp độ tin cậy bậc nhất (FORM) [30]:



Hình 1.19 Các mặt cắt ngang bố trí trong các thí nghiệm mô hình của Mase, H., Yasuda, T., Mori, N., Matsushita, H. và Reis, M.T. (2011)

- Trong điều kiện sóng không vỡ, sử dụng hàm lũy thừa:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = 2,46 \left(\frac{N_{od}}{N_z^{0.5}} \right)^{0.2} + 1,38 \quad (1-14)$$

- Trong điều kiện sóng không vỡ, sử dụng hàm mũ:

$$N_s = \frac{H_{1/3}}{\Delta D_n} = -1,80 \exp \left\{ -14,0 \left(\frac{N_{od}}{N_z^{0,5}} \right) \right\} + 3,50 \quad (1-15)$$

- Trong điều kiện sóng vỡ ($1,5 < h/H_0 < 2,5$), sử dụng hàm lũy thừa:

$$N_s = \frac{H_{1/3}}{\Delta D_n} = a \left(N_{od} / N^{0,5} \right)^{0,2} + b \quad (1-16)$$

với

$$\begin{cases} a = \frac{H_0 / L_0 + 2,01 \tan \beta + 0,0402}{0,955 \tan \beta + 0,0191} \\ b = \frac{H_0 / L_0 + 1,94 \tan \beta + 0,0389}{1,64 \tan \beta + 0,0327} \end{cases} \quad (1-17)$$

- Trong điều kiện sóng vỡ ($1,5 < h/H_0 < 2,5$), sử dụng hàm mũ:

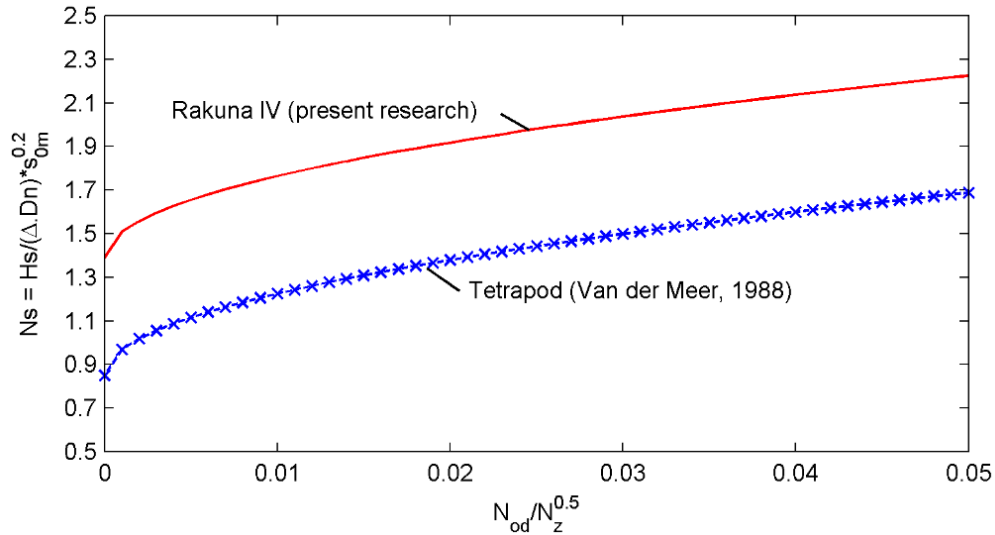
$$N_s = \frac{H_{1/3}}{\Delta D_n} = d \cdot \exp \left\{ f \left(N_{od} / N^{0,5} \right) \right\} + e \quad (1-18)$$

với

$$\begin{cases} d = \frac{H_0 / L_0 + 0,456 \tan \beta + 0,00913}{0,597 \tan \beta + 0,0119} \\ e = \frac{H_0 / L_0 + 1,56 \tan \beta + 0,0311}{0,603 \tan \beta + 0,0121} \\ f = \frac{H_0 / L_0 - 1,62 \tan \beta - 0,0323}{0,0302 \tan \beta + 0,000603} \end{cases} \quad (1-19)$$

(5) Công thức tính ổn định của khối phủ RAKUNA-IV xếp đều 2 lớp trên đê chắn sóng dạng đá đổ [31]

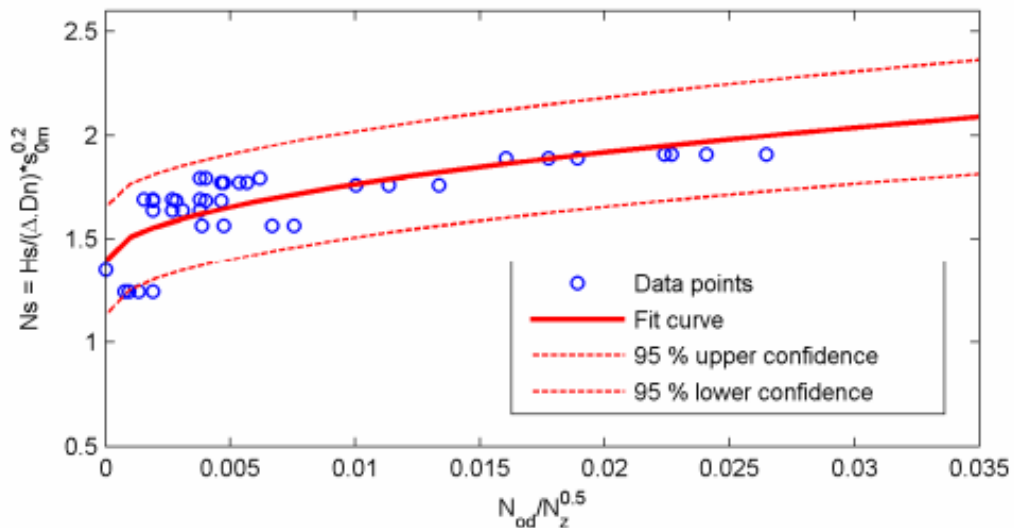
Dựa trên việc phân tích các kết quả nghiên cứu việc áp dụng khối phủ RAKUNA-IV xếp đều 2 lớp trên đê chắn sóng dạng đá đổ trong điều kiện sóng không tràn đã được tiến hành trong máng sóng Trường Đại học Thủy lợi từ năm 2010, Tuấn và cộng sự đã chỉ ra rằng ở trạng thái ban đầu RAKUNA-IV có tính ổn định cao vào khoảng 1,6 lần so với khối Tetrapod (xem Hình 1.20).



Hình 1.20 Ổn định của khối phủ Rakuna IV và khối Tetrapod [31]

Tuần và cộng sự (2012) cũng đã đưa ra công thức tính toán ổn định thủy lực cho khối phủ RAKUNA-IV, với dạng tương tự như khối phủ Tetrapod đã được đưa ra bởi Van der Meer (1998), thông qua việc phân tích hồi quy dựa vào các số liệu thí nghiệm thu được (xem Hình 1.21) như sau [13] [31] [32]:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[3,73 \left(\frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}} \right)^{0,5} + 1,39 \right] \cdot S_{om}^{-0,2} \quad (1-20)$$

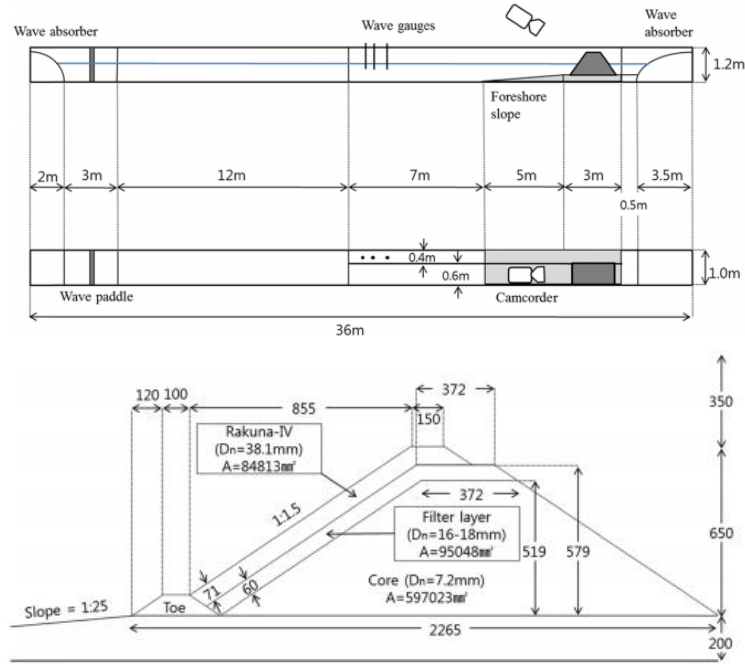


Hình 1.21 Kết quả phân tích hồi quy xác định công thức tính toán ổn định thủy lực cho khối phủ RAKUNA-IV [32]

Trong thiết kế, hệ số ổn định $K_D = 10,8$ được đề xuất sử dụng cho các khối RAKUNA-IV xếp đều 2 lớp trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ.

(6) Công thức ổn định cho khối phủ RAKUNA-IV bảo vệ cho đê chắn sóng dạng đá đổ

Trong các nghiên cứu của Suh, Kyung-Duck & Hoon Lee, Tae & Matsushita, Hiroshi & Ki Nam, Hong (2013), tổng số 51 kịch bản thí nghiệm mô hình đã được thực hiện cho nhiều điều kiện sóng và độ dốc mái khác nhau để thiết lập công thức ổn định cho khối phủ RAKUNA-IV bảo vệ cho đê chắn sóng dạng đá đổ [22] (xem HÌNH 1.22).



Hình 1.22 Mô hình thí nghiệm trong máng sóng của Suh, Kyung-Duck & Hoon Lee, Tae & Matsushita, Hiroshi & Ki Nam, Hong. (2013).

Số ổn định của công thức được biểu thị như một hàm số của mức độ hư hỏng tương đối, số con sóng đến, độ dốc mái đê và chỉ số tương tự sóng vỡ.

Công thức ổn định cho khối phủ RAKUNA-IV đã được các tác giả đề xuất có dạng như sau:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = ax \left[\left(11,78 \frac{N_0^{0,5}}{N^{0,25}} + 6,94 \right) \xi_z^{-1,02}, \left(2,67 \frac{N_0^{0,5}}{N^{0,25}} + 0,6 \right) (\cot g\theta)^{0,71} \xi_z^{0,7} \right] \quad (1-21)$$

(7) Công thức tính ổn định của khối phủ RAKUNA-IV cho đê đá đổ khi có sóng tràn [13]

Thông qua kết quả từ các thí nghiệm mô hình vật lý máng sóng, Giang (2015) đã đi vào phân tích đánh giá sự ổn định của khối phủ RAKUNA-IV dưới sự ảnh hưởng của sóng tràn và tính năng chiết giảm sóng tràn của khối phủ thay đổi theo tính chất tương tác của sóng trên mái đê. Sự kết hợp giữa máng sóng vật lý và máng sóng số đã đi sâu vào giải thích bản chất vật lý của hiệu ứng "đệm nước", yếu tố chi phối tính năng chiết giảm sóng tràn của khối phủ RAKUNA-IV [13].

Bằng phân tích lý luận và nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý tác giả đã xây dựng được công thức thực nghiệm xác định mức độ gia tăng ổn định của khối phủ RAKUNA-IV cho đá đổ mái nghiêng khi có sóng tràn phản ánh qua hệ số gia tăng ổn định F_s . Hệ số gia tăng này có thể được tích hợp trực tiếp vào công thức tính toán ổn định khối phủ RAKUNA-IV trong trường hợp không có sóng tràn của Tuấn và cộng sự (2012).

Trên cơ sở thí nghiệm mô hình vật lý, luận án đã xác định được hệ số chiết giảm sóng tràn γ_r của khối phủ RAKUNA-IV.

$$\begin{aligned} \gamma_r &= 0,41 & \text{khi} & \quad \xi_{m-1,0} = 2,0 - 4,0 \\ \gamma_r &= 0,51 & \text{khi} & \quad \xi_{m-1,0} > 4,0 \end{aligned} \tag{1-22}$$

Đây là cơ sở khoa học quan trọng cho việc ứng dụng loại khối phủ RAKUNA-IV trong thực tế và bổ sung luận cứ khoa học quan trọng trong tiêu chuẩn thiết kế đê chắn sóng hiện nay. Luận án cũng đã xác định được mối quan hệ tuyến tính giữa số Iribarren $\xi_{m-1,0}$ với hệ số chiết giảm sóng tràn γ_r của khối phủ RAKUNA-IV. Bằng cả mô hình máng sóng vật lý và máng sóng số tác giả cũng đã lý giải được bản chất vật lý của hiệu ứng "đệm nước" ảnh hưởng đến tính năng chiết giảm sóng tràn [33].

Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ nghiên cứu ổn định của khối phủ RAKUNA-IV trên đê mái nghiêng trong điều kiện sóng tràn và không vỡ;

1.2.2 Độ bền của các khối phủ bê tông

1.2.2.1 Giới thiệu chung

Vật liệu thường được sử dụng nhiều nhất cho các lớp phủ bảo vệ của các kết cấu đá đổ là đá mỏ thô. Các khối phủ bằng đá này thỉnh thoảng bị vỡ thành các viên nhỏ hơn; nhưng nhìn chung, hư hỏng của kết cấu do ứng suất gây nứt gãy các khối phủ bằng đá không phải là vấn đề đáng quan tâm. Trong những trường hợp thiết kế và xây dựng công trình ở các khu vực có độ sâu lớn, vấn đề ổn định thủy lực đòi hỏi các khối phủ lớn hơn, vượt quá kích cỡ lớn nhất mà các mỏ đá có thể cung cấp. Trong nhiều trường hợp khác, công trình thiết kế được đề xuất ở những khu vực không có nguồn đá phù hợp. Vì những nguyên nhân này, các khối phủ bê tông nhân tạo khác với nhiều kích cỡ và hình dạng khác nhau, ví dụ như Dolos, Tribar, Tetrapod, Accropode và các khối lập phương đặc đã được nghiên cứu ứng dụng. Trong khi tính ổn định về mặt thủy lực có thể được ước lượng một cách gần đúng bằng các công thức và được đánh giá một cách chi tiết hơn trong các thí nghiệm mô hình thủy lực thông dụng, việc đánh giá trình đồng nhất về mặt kết cấu của các cấu kiện

khối phủ sẽ phức tạp hơn rất nhiều. Đã có ngày càng nhiều các nghiên cứu về lĩnh vực này nhưng vẫn chưa đưa ra được các biểu đồ hoặc các công thức thiết kế khả dụng mà nhờ đó các cấu kiện khối phủ có thể được thiết kế như các thành phần kết cấu khác trong lĩnh vực xây dựng dân dụng.

Vấn đề với các khối phủ bê tông này sinh khi các kết cấu dạng thanh mảnh được chế tạo với kích cỡ ngày càng lớn hơn, và nhiều đê chắn sóng chịu các hư hỏng lớn với đặc trưng là sự nứt vỡ của các khối phủ bê tông nêu trên. Vấn đề này sẽ phức tạp và nghiêm trọng hơn khi các khối nứt vỡ nhỏ hơn này va đập vào các khối nguyên vẹn khác, gây nứt vỡ cho các khối phủ này. Do đó, cần thiết phải xác định các mức ứng suất trong các khối phủ bê tông bên cạnh vấn đề ổn định thủy lực. Có thể thấy rõ là các khối phủ dạng thanh mảnh có kích cỡ càng lớn thì có biên độ dao động càng nhỏ. Điều này đã dẫn đến các nghiên cứu trong đó sự chuyển động của các khối phủ được theo dõi trong mô hình vật lý với suy luận là sự nứt vỡ sẽ dễ xảy ra nhất trong các khối phủ di chuyển hoặc xoay lắc [34].

Các khối phủ dạng thanh mảnh phức tạp như Tetrapod và Dolos đã được sử dụng một cách rộng rãi cho đê chắn sóng dạng đá đổ. Sự nứt vỡ của các khối phủ này đã gây ra nhiều hư hỏng cho các đê chắn sóng, do vậy nhu cầu về việc nghiên cứu ứng suất trong các khối phủ dưới tác động của sóng đã được đặt ra. Do bản chất ngẫu nhiên của tải trọng sóng, hình dạng phức tạp của các khối phủ và việc lắp đặt ngẫu nhiên trên mái dốc, vấn đề nghiên cứu về ứng suất trong khối phủ không thể được giải quyết dựa trên cơ sở bài toán tất định, mà phải được coi là một bài toán xác suất.

Do đó, có rất nhiều kịch bản nghiên cứu cần phải đưa ra. Điều này có thể được thực hiện với chi phí hợp lý bằng các thí nghiệm trên mô hình tỉ lệ nhỏ. Ứng suất trong các mô hình của khối phủ được nghiên cứu bằng cách sử dụng các cảm biến tải trọng (load-cell) được đưa vào bên trong các mô hình thí nghiệm. Burcharth và cộng sự (1992) đã đưa ra các sơ đồ thiết kế cho sự ổn định về mặt kết cấu dựa trên xác suất vượt quá của các giá trị ứng suất, tuy nhiên các sơ đồ này vẫn chưa mô tả được tỉ lệ số khối phủ bị nứt vỡ. Burcharth và Zhou Liu (1995) đã giới thiệu một bộ các sơ đồ mới cho việc dự đoán định lượng cho hiện tượng nứt vỡ của các khối phủ bê tông trên mái dốc dưới tác động của sóng.

Phương pháp sử dụng cảm biến tải trọng có liên quan đến nhiều vấn đề khá phức tạp. Việc đưa một cảm biến tải trọng vào bên trong khối phủ đã làm cho các tính chất cơ lý của vật liệu chế tạo khối phủ trở nên sai khác so với các khối phủ nguyên hình đồng nhất và do đó

các giá trị ứng suất do tác động của sóng sẽ không thể được thể hiện một cách trực tiếp trong các thí nghiệm mô hình, và chúng phụ thuộc vào đặc tính đàn hồi của các khối vật liệu. Ngoài ra, các khối phủ bê tông có lắp đặt cảm biến này có thể chịu ảnh hưởng của hiện tượng cộng hưởng mang tính động lực. Thời gian chịu tác động trực tiếp của sóng, đặc biệt là các áp lực xung kích thường là cực kì nhanh (trong trường hợp nghiên cứu của Burcharth và Zhou Liu (1995) thì tần số tác động của sóng đạt 800 – 1500 Hz cho các mô hình khối phủ có gắn thêm cảm biến bên trong), do đó đòi hỏi tần số khi thu thập dữ liệu thường rất cao và dữ liệu thu được có dung lượng rất lớn.

1.2.2.2 Các tải trọng có thể tạo ra ứng suất trong các khối phủ bê tông [35]

Các tải trọng có thể tạo ra ứng suất trong các khối phủ bê tông đã được liệt kê bởi Burcharth (1983) và Burcharth và cộng sự (1991) như sau:

- (1) Các lực tĩnh do khối lượng của cấu kiện và sự nêch chèn trong quá trình lún;
- (2) Áp lực mạch động tạo ra bởi các áp lực sóng biến đổi một cách từ từ (bao gồm cả áp lực va của sóng);
- (3) Áp lực xung kích do sự xoay lắc, lăn tròn, va chạm bởi khối nứt vỡ khác và việc lắp đặt trong quá trình thi công;
- (4) Các tải trọng do nhiệt tạo ra bởi sự thay đổi nhiệt độ môi trường và sự đông cứng của bê tông.

Đối với bất kỳ công trình dạng đá đổ nhất định nào thì tất cả các tải trọng kể trên đều có thể là các nhân tố quan trọng góp phần tạo ra các giá trị ứng suất cho các khối phủ. Các áp lực xung kích được coi là các yếu tố quan trọng hơn đối với các khối phủ nằm ở các lớp bên trên vì chúng ít bị giới hạn hơn bởi các điều kiện biên và dễ có xu thế “xoay lắc” (rocking) dưới tác động của sóng. Ngoài ra, mức độ tương tác ngày càng tăng với sóng đến của lớp phủ đã làm tăng nguy cơ va đập với các khối vỡ nhỏ hơn hoặc các khối phủ bị xoay lắc khác. Các tải trọng tĩnh và mạch động thường xuất hiện ở các lớp dưới và các kết cấu được thiết kế với yêu cầu không cho phép dịch chuyển (Burcharth, 1983). Đặc trưng đối với các loại tải trọng tĩnh và động đó là không thể tính toán các giá trị ứng suất trong cấu kiện một cách tất định, chủ yếu là do bản chất ngẫu nhiên của tải trọng sóng, hình dạng phức tạp của các khối phủ và việc sắp xếp ngẫu nhiên của chúng.

Ổn định về mặt thủy lực của các lớp phủ bảo vệ sẽ giảm nếu các khối phủ bị phá hủy, vì điều này sẽ làm giảm giá trị các lực trọng trường ổn định tác dụng lên khối phủ, và có thể

làm giảm hiệu quả liên kết. Ngoài ra, các mảnh vỡ từ các khối phủ này có thể bị hất văng dưới tác động của sóng và có thể làm gia tăng hư hỏng do nứt vỡ. Nhằm làm giảm sự nứt vỡ, cần thiết phải đảm bảo độ bền hay ổn định về mặt kết cấu của các khối phủ bê tông. Bê tông không có cốt thép là loại vật liệu dễ gãy với cường độ chịu kéo thấp (thường nằm trong phạm vi từ 2 đến 5 MPa) và cường độ chịu nén cao hơn. Do vậy, việc hình thành các khe nứt và phá vỡ gần như luôn được gây ra bởi các giá trị ứng suất kéo dưới tác động của tải trọng vượt quá cường độ cho phép. Các khối phủ bê tông bị nứt vỡ khi các ứng suất gây ra bởi trọng lực và các tác động của sóng vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông. Sự nứt vỡ của các khối phủ bê tông dạng phức hợp có thể gây ra hư hỏng cho kết cấu lớp phủ mái ngoài nếu phần lớn các khối phủ bị nứt vỡ (với tỉ lệ khoảng 15%) [1].

Các khối phủ dạng thanh mảnh dễ bị nứt và phá vỡ nhất trong các dạng đã nêu do các diện tích mặt cắt ngang hạn chế làm tăng khả năng tạo ra ứng suất kéo tương đối lớn. Nhiều hư hỏng của đê chắn sóng được bảo vệ bởi các khối phủ Tetrapod và Dolos được gây ra bởi sự nứt vỡ của khối phủ trước khi sự mất ổn định của các khối nguyên vẹn bị vượt quá [10] (xem Hình 1.23). Nhiều hư hỏng có thể đã được phòng tránh nếu các sơ đồ thiết kế cho độ bền kết cấu của các khối phủ bê tông được xem xét trong quá trình thiết kế. Nhưng hư hỏng kể trên đã làm giảm xu thế sử dụng các khối có dạng thanh mảnh và chuyển sang sử dụng lại các dạng khối lớn, đặc biệt là khối Antifer. Điều này cũng dẫn đến việc phát triển các khối phức tạp như Haro, Accropode và Core Loc. Càng về sau này, các sơ đồ thiết kế cho độ bền mới chỉ được đưa ra cho khối Dolos [35] [36] [37] và khối Tetrapod [35] [38].

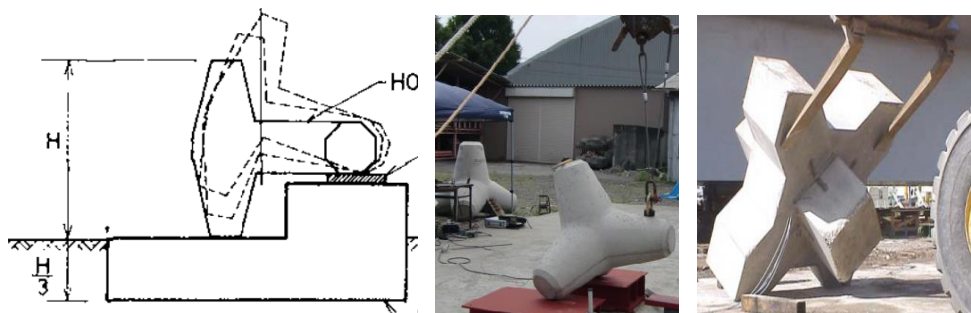
Các khối phủ dạng nguyên khối nhìn chung có giá trị ứng suất kéo nhỏ nhất do các diện tích mặt cắt ngang lớn. Tuy nhiên, nứt vỡ có thể xảy ra nếu các khối phủ bị dịch chuyển và va đập do mất ổn định thủy lực khi chịu tác động của sóng và vật liệu bê tông không đảm bảo về cường độ chịu kéo. Nếu các khối phủ được chế tạo bằng bê tông chất lượng tốt, các khối phủ sẽ không bị hư hỏng trong quá trình vận chuyển và lắp đặt, và nếu các khối phủ này được thiết kế với yêu cầu dịch chuyển ở mức độ giới hạn thì sẽ không nảy sinh các vấn đề về nứt vỡ gây hư hỏng.



Hình 1.23 Minh họa sự nứt vỡ của các khối phủ bê tông [1]

1.2.2.2 Các nghiên cứu về độ bền ứng suất của các khối phủ bê tông

Đã có nhiều nghiên cứu trên các mô hình thí nghiệm được xây dựng để đo đặc ứng suất trong các khối phủ Tetrapod, Dolos có gắn thiết bị đo sử dụng các ten-xơ ứng suất-biến dạng trong điều kiện chịu tác động của sóng. Điển hình là các nghiên cứu của Burcharth, Van de Meer, Angremond, Howell, Ligteringen, Nishigori, Terao và nhiều người khác. Đã có nhiều nghiên cứu trên các mô hình thí nghiệm được xây dựng để đo đặc ứng suất trong các khối phủ có gắn thiết bị đo sử dụng các ten-xơ ứng suất-biến dạng trong điều kiện chịu tác động của sóng. Điển hình là các nghiên cứu của Burcharth (1980, 1981, 1983, 1986, 1988, 1990, 1991, 1993, 1994), Van de Meer (1990, 1991), Angremond (1994), Howell (1988), Ligteringen (1985), Nishigori (1986), Terao (1982) và nhiều người khác (xem Hình 1-24 và Hình 1-25).

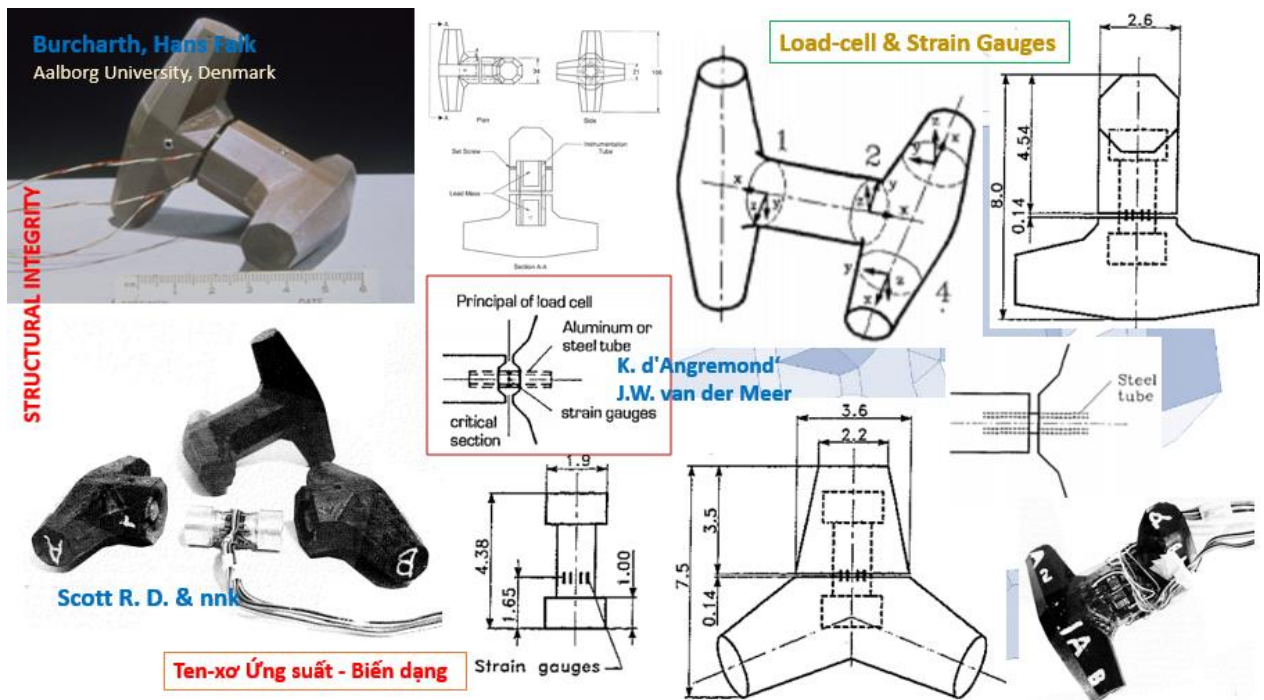


(a) Hans F. Burcharth (1981)

(b) Jun Mitsui & nnk

(c) Hakenberg & nnk

Hình 1.24 Thí nghiệm nghiên cứu độ bền về kết cấu của các loại khối phủ bằng bê tông.



Hình 1.25 Các nghiên cứu về độ bền kết cấu của các khối phủ sử dụng nguyên lí cảm biến và lá điện trở

(1) Nghiên cứu của H. F. Burcharth, G. L. Howell and Z. Liu (1991) về việc xác định các ứng suất trong các khối phủ bê tông bao gồm các kết quả nghiên cứu về khối Dolos

Nhiều hư hỏng nghiêm trọng gần đây của các đê chắn sóng dạng đá đổ mái nghiêng sử dụng các loại cấu kiện Dolos và Tetrapod gây ra bởi sự nứt vỡ của các cấu kiện khối phủ. Sự nứt vỡ xảy ra trước khi sự ổn định về mặt thủy lực của các cấu kiện nguyên dạng trong các lớp phủ bảo vệ không còn được duy trì. Do vậy tồn tại một sự mất cân bằng giữa độ bền (tính liên khối về mặt kết cấu) của các cấu kiện và sự ổn định về mặt thủy lực (sức kháng chống lại sự dịch chuyển) của lớp phủ bảo vệ [37].

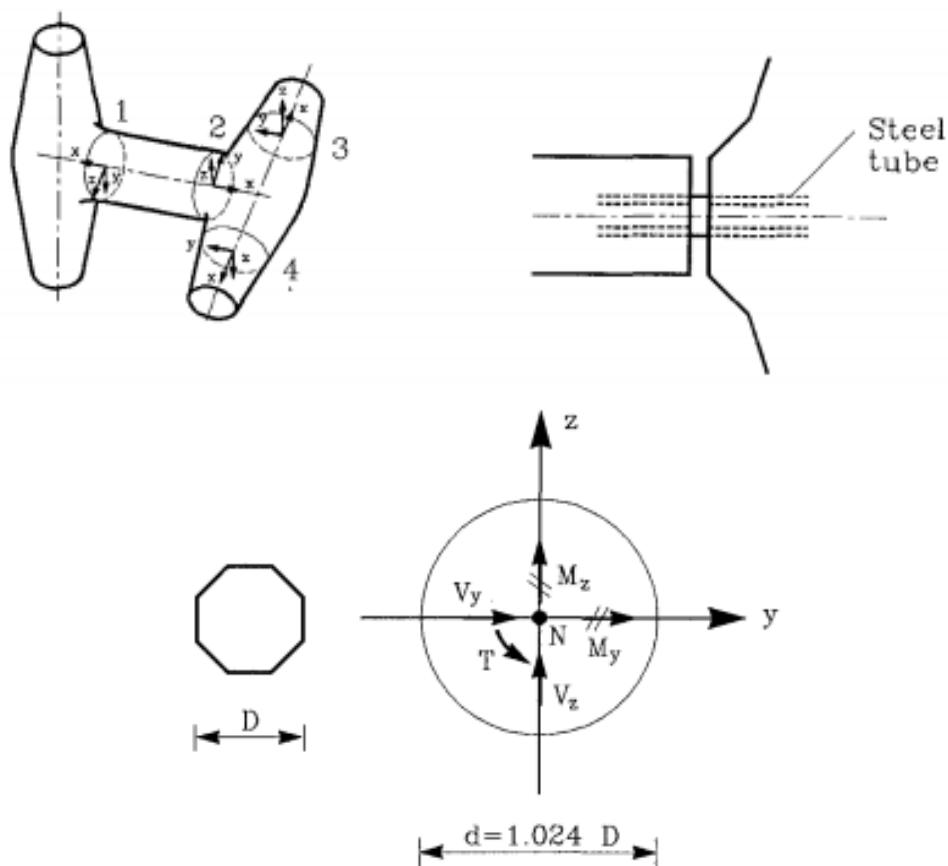
Mục tiêu của nghiên cứu là đưa ra một quy trình để ước tính các giá trị ứng suất của các cấu kiện khối phủ trong một kết cấu nhất định là hàm số của trạng thái mặt biển. Hay nói cách khác, nghiên cứu này nhằm xác định các hàm chuyển đổi với vai trò rất quan trọng, trong đó mô tả quan hệ giữa các giá trị ứng suất và trạng thái mặt biển. Nghiên cứu này đưa ra mô tả mang tính bao quát hơn về các vấn đề có liên quan đến việc xác định ứng suất trong các dạng thanh mảnh của các cấu kiện khối phủ và nhiều phương pháp khác nhau đã được sử dụng từ trước đến nay.

Ở đây cũng đưa ra mô tả chi tiết hơn về một phương pháp dựa trên các thí nghiệm nguyên hình và mô hình tỉ lệ, và cung cấp các kết quả riêng cho cấu kiện Dolos. Các cấu kiện khối

phủ Dolos được lựa chọn để nghiên cứu do tính ổn định cao về mặt thủy lực và độ bền về mặt kết cấu của chúng có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi tỉ số eo, hay nói cách khác là tỉ số giữa đường kính phần thân so với chiều cao của cấu kiện. Bằng cách tăng tỉ số eo để đạt được độ bền lớn hơn, độ ổn định về mặt thủy lực sẽ giảm xuống ở một mức độ nhất định, đây chính là vấn đề cần được xem xét trong công tác thiết kế.

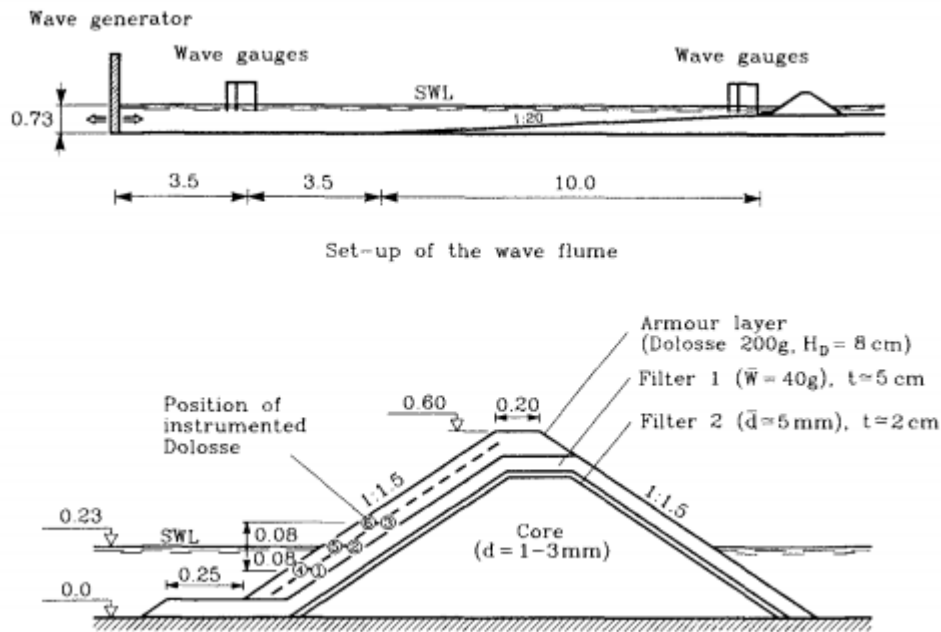
(2) Nghiên cứu về ứng suất trong khối Dolos (H.F.Burcharth, Liu Zhou, Gary L.Howell, W.G.McDougal, 1991)

Trong nghiên cứu này, Burcharth và cộng sự đã trình bày các kết quả và phân tích cho các thí nghiệm mô hình với cấu kiện Dolosse có khối lượng 200kg có gắn thiết bị cảm biến tải trọng (load-cell) có khối lượng 200g (xem Hình 1-26).



Hình 1.26 Mô hình khối phủ Dolos có gắn cảm biến tải trọng có khối lượng 200g (Aalborg Hydraulic Laboratory, AHL) [37]

Các giá trị ứng suất tĩnh và ứng suất do sóng tạo ra được nghiên cứu cùng với các hiệu ứng do mô hình và tỉ lệ. Một biểu đồ thiết kế sơ bộ cho cấu kiện Dolos cũng được đưa ra ở đây.

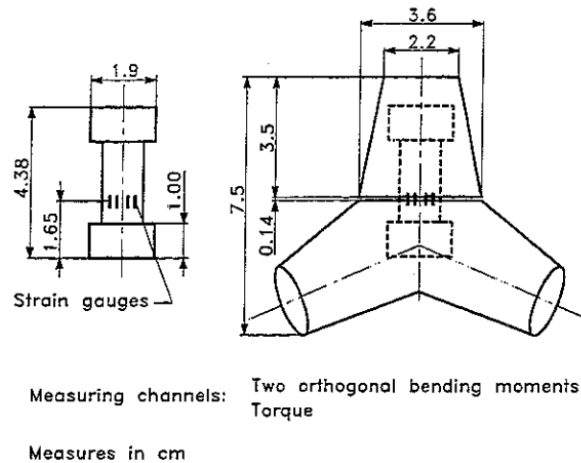


Hình 1.27 Bố trí thí nghiệm với các mô hình Dolos (Aalborg Hydraulic Laboratory, AHL) [37]

(3) Nghiên cứu về ứng suất trong khối phủ Tetrapod dưới tác động của sóng (Wakiro Nishigori, Taiji Endo và Atsuyuki Shimada)

Để nghiên cứu về ứng suất xảy ra trong các khối phủ, Terao và cộng sự (1982) và Burcharth (1981) đã tiến hành các thí nghiệm thả rơi sử dụng cấu kiện Dolos nguyên hình. Phòng thí nghiệm thủy lực Delft (1983) và Hall & cộng sự (1984) tương ứng đã đo đặc mômen uốn trong các mô hình cấu kiện Tetrapod và ứng suất trong các mô hình Dolos, trong đó cả hai mô hình đều làm từ các vật liệu mới, chịu tải trọng sóng và sử dụng các kỹ thuật đo đặc mới (xem Hình 1.28).

Ứng suất trong các khối phủ thường không được biết rõ khi chịu tải trọng sóng. Nếu ứng suất trong các khối phủ có thể được quan trắc và làm rõ, các kết quả nghiên cứu có thể góp phần vào công tác thiết kế các lớp phủ tốt hơn. Từ quan điểm này, một mô hình thủy lực đã được xây dựng để đo đặc biến dạng bề mặt trên các khối phủ trong điều kiện chịu tác động của sóng. Loại cấu kiện được sử dụng là Tetrapod vì nó được sử dụng khá phổ biến ở Nhật Bản. Trong mặt cắt thí nghiệm, các mô hình Tetrapod với khối lượng 50kg đã được đặt trong 2 lớp tiêu chuẩn và biến dạng bề mặt trên 2 cấu kiện Tetrapod có gắn thiết bị đo ở gần nhau ở ngay trên mực nước thiết kế đã được đo đặc sử dụng các cảm biến tenxomet.

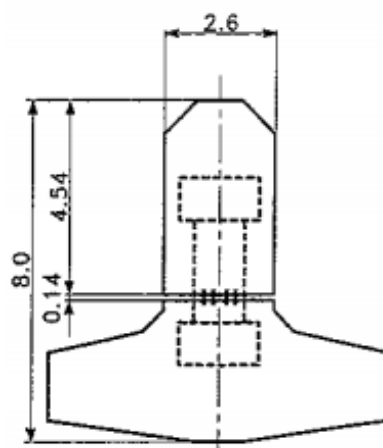


Hình 1.28 Mô hình thí nghiệm của khối Tetrapod có gắn cảm biến và các lá điện trở
Thí nghiệm đã được tiến hành để xác định biến dạng trên các khối phủ Tetrapod cho mỗi loại động thái như trên do tác động của sóng.

(4) *Nghiên cứu ứng dụng cảm biến tải trọng gắn lá điện trở đo ứng suất/biến dạng trong tính toán ổn định kết cấu của khối phủ bê tông (Burcharth và Zhou Liu (1995))*

Trong nghiên cứu này, các tác giả đã đưa ra các kết quả phân tích số liệu thí nghiệm về ứng suất dưới tác động của sóng của các khối phủ Dolos, đồng thời giới thiệu các sơ đồ thiết kế có xét cả ổn định thủy lực và ổn định về mặt kết cấu của các khối phủ này (xem Hình 1.29).

Theo Burcharth và Zhou Liu (1995), thời gian để thí nghiệm nghiên cứu độ bền về mặt kết cấu dưới tác động của sóng thường chỉ cần từ 100 đến 300 con sóng, do hầu hết các dịch chuyển sẽ xảy ra ở đầu của mỗi thí nghiệm.



Hình 1.29 Mô hình khối phủ Dolos 200g và Tetrapod 280g có gắn cảm biến ứng suất
Việc xác định tỉ lệ cho các giá trị ứng suất của khối phủ khi chịu tác động của sóng có liên quan đến mô đun đàn hồi của vật liệu chế tạo khối phủ. Tuy nhiên, việc đưa cảm biến tải

trọng vào trong mô hình thí nghiệm đã phá vỡ tính đồng nhất của vật liệu. Điều này có nghĩa là các giá trị ứng suất xung kích được ghi nhận trong các thí nghiệm mô hình không thể được chuyển đổi cho nguyên hình bằng các công thức xác định tỉ lệ thông thường.

Việc này chỉ có thể khả thi bằng cách xác định giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến cho các mô hình thí nghiệm của khối phủ có gắn cảm biến. Burcharth và Zhou Liu (1995) đã so sánh thời gian tác động của khối phủ thí nghiệm có gắn cảm biến với cùng giá trị đó ở các khối phủ nguyên hình có kích thước lớn.

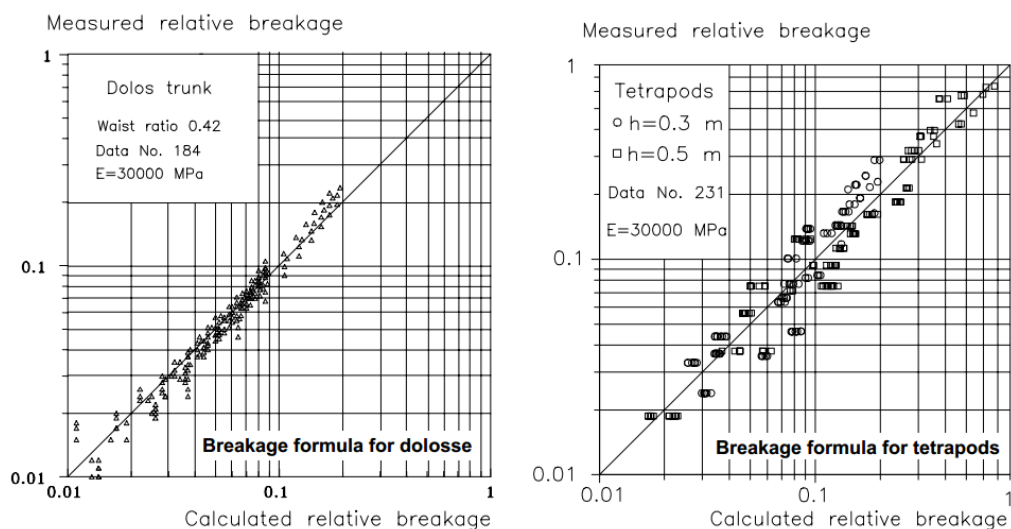
(5) *Nghiên cứu xác định công thức tính nứt vỡ cho khối Dolos và Tetrapod (Burcharth 1993b, Burcharth và Liu, 1995; Burcharth và cộng sự 1995b)*

Dựa trên các kết quả thí nghiệm trên các mô hình khối phủ có gắn thêm cảm biến, Burcharth (1993b), Burcharth và Liu (1995); Burcharth & cộng sự (1995b) đã đưa ra công thức để ước tính mức độ nứt vỡ tương đối của các khối Dolos và Tetrapod (theo tỉ lệ so với tổng số khối phủ) như sau [35]:

$$B_r = C_0 M^{C_1} f_T^{C_2} H_s^{C_3} \quad (1-23)$$

Trong đó,

- B_r - Mức độ nứt vỡ tương đối;
- M - Khối lượng của khối phủ ($M = 2,5 - 50$ tấn);
- f_T - Cường độ chịu kéo tĩnh của bê tông ($f_T = 2- 4$ MPa);
- H_s - Chiều cao sóng có nghĩa (m);
- C_0, C_1, C_2, C_3 - Các tham số hiệu chỉnh;

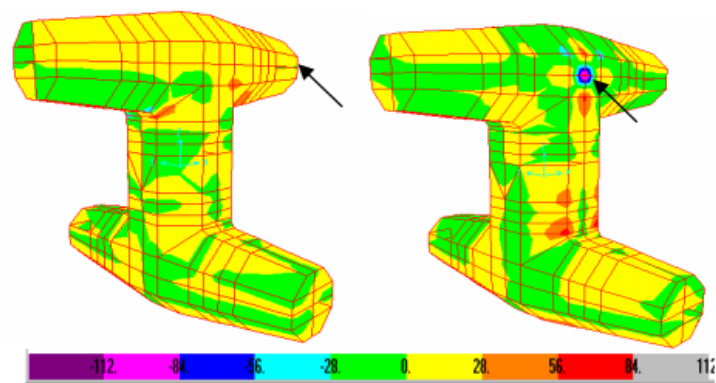


Hình 1.30 Các nghiên cứu về mức độ nứt vỡ cho khối Dolos và Tetrapod của Burcharth (1993b), Burcharth và Liu (1995); Burcharth & cộng sự (1995b) [35]

(6) *Nghiên cứu về ứng suất và biến dạng trong khối bê tông dị hình Dolos sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn và mô phỏng trong SAP 2000 của Đào Phương Bắc (2009)*

Khối Dolos là một trong các khối bê tông dị hình đã và đang được sử dụng trên thế giới nhưng chưa được phổ biến ở Việt Nam. Khối Dolos có hệ số ổn định cao, khối lượng nhỏ tiết kiệm được đáng kể vật liệu, tuy nhiên loại khối phủ này có độ mảnh khá lớn dẫn đến sự phá vỡ cục bộ của bản thân khối.

Trong nghiên cứu về khối phủ bê tông dị hình Dolos, tác giả đã đưa ra phân tích tổng quan các ưu điểm, nhược điểm của khối này so với các dạng khối phủ khác để đánh giá vai trò ứng dụng của nó trong các kết cấu mái nghiêng. Từ đó, tác giả đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô tả kết cấu khối rồi dùng phần mềm phân tích kết cấu SAP 2000 để tìm ra nội lực, ứng suất tại những điểm xung yếu nhất trong khối dưới tác dụng của các trường hợp tải trọng (xem Hình 1-31). Từ đây có thể đưa bài toán về việc tìm cách khắc phục những điểm xung yếu này và nâng cao khả năng ứng dụng của khối phủ này [39].



Hình 1.31 Kết quả mô phỏng ứng suất của khối Dolos trong SAP 2000 [39]

Có thể thấy rằng ứng với các trường hợp tải trọng thì ứng suất trong khối thường tập trung ở những vị trí xung yếu như chỗ tiếp giáp giữa thân với cánh hoặc những chỗ bị ngàm chặt. Những vùng này do bị tập trung ứng suất nên rất dễ bị phá hoại. Có thể thấy rằng khi trọng lượng bản thân của khối tăng lên bội ba thì kích thước và sức chịu tải của khối chỉ tăng lên bội hai. Do đó khi trọng lượng khối càng tăng, khối càng lớn thì độ mảnh tăng và khi trọng lượng tăng đến một giới hạn nào đó thì độ mảnh và sức chịu tải cũng đạt đến một giới hạn dẫn đến khối có thể bị phá hoại làm mất ổn định cục bộ. Khi đạt đến giới hạn đó ta cần phải gia cố tăng cường bằng cốt thép, khắc phục nội lực phá hoại, đặc biệt phải quan tâm chú ý đặt cốt thép ở những nơi ứng suất tập trung.

1.4 Kết luận chương 1

Hệ thống đê chắn sóng trên thế giới nói chung và ở Việt Nam nói riêng đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ các khu nước bề cảng và tuyến luồng nhằm đảm bảo sự đi lại và neo đậu an toàn của tàu thuyền. Với lợi thế sẵn có về nguồn vật liệu đá, dạng đê chắn sóng mái nghiêng được sử dụng khá phổ biến ở các cảng biển của nước ta. Hầu hết các công trình đê chắn sóng cũng như các công trình bảo vệ bờ hiện nay ở Việt Nam đều sử dụng các dạng khối phủ truyền thống Tetrapod được xếp 2 lớp, với các ưu điểm là dễ chế tạo, tận dụng được vật liệu địa phương và đòi hỏi địa chất nền không cao, nhưng nhược điểm của dạng khối phủ này là tính năng ổn định thấp, do đó hiệu quả kinh tế chưa cao. Ngày nay điều kiện áp dụng của đê chắn sóng mái nghiêng ngày càng được mở rộng cùng với sự ra đời và phát triển của nhiều dạng khối phủ bê tông dị hình cải tiến có hiệu quả tiêu giảm sóng tốt hơn và do đó mang lại hiệu quả kinh tế cao. RAKUNA-IV là một trong những khối phủ mới được nghiên cứu và phát triển bởi Công ty Nikken-Kogaku - Nhật Bản từ năm 2007 với nhiều tính năng vượt trội và đem hiệu quả kinh tế cao hơn so với việc áp dụng các dạng khối phủ truyền thống khác như Tetrapod. Hiện nay việc phát hiện các tính năng ổn định của RAKUNA-IV trong các điều kiện thủy lực khác nhau cũng đang thu hút được nhiều mối quan tâm nghiên cứu ở nhiều nơi trên thế giới.

Đã có một số nghiên cứu đã được tiến hành trước đây về ổn định của cấu kiện RAKUNA-IV nhưng mới chỉ tập trung vào ổn định thủy lực cho trường hợp xếp đều hoàn toàn, chưa có nghiên cứu nào về ổn định của khối phủ này trong trường hợp các khối phủ này được xếp rời trên mái đê, đặc biệt là độ bền kết cấu của các khối phủ khi chịu tác động của sóng. Đây là một vấn đề thực tiễn mang tính cấp bách khi mà trong hầu hết các trường hợp, đặc biệt là khu vực có độ sâu lớn (đoạn đầu đê), các khối phủ cho đê chắn sóng dạng đá đổ thường được thi công theo phương pháp xếp rời, các khối phủ rất dễ bị xoay lắc dưới tác động của sóng hoặc dòng chảy dẫn đến sự va đập và phát sinh các ứng suất có thể dẫn đến sự nứt vỡ và hư hỏng của các khối phủ này. Để hoàn thiện các nghiên cứu về ổn định thủy lực cũng như xem xét thêm cả độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV, tác giả đã tiến hành các thí nghiệm trên mô hình vật lý trong máng sóng và kết hợp với mô hình toán để xem xét ảnh hưởng của cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc (rocking) đến cả ổn định thủy lực và độ bền của các khối phủ này trên mái đê chắn sóng dạng đá đổ khi chịu tác động của sóng.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH VÀ ĐỘ BỀN CỦA KHỐI PHỦ TRÊN MÁI ĐÊ CHẮN SÓNG ĐÁ ĐỔ

Chương 1 của luận án đã trình bày tổng quan về đê chắn sóng dạng đá đổ và các khối phủ bê tông dị hình cũng như các nghiên cứu về ổn định thủy lực và độ bền của các khối phủ bê tông trên mái đê chắn sóng. Trong chương này, tác giả sẽ phân tích và xác định các tham số chi phối cơ bản và từ đó xây dựng mô hình vật lý cũng như thiết lập mô hình toán để nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của các khối phủ RAKUNA-IV xếp rời 2 lớp trên mái đê chắn sóng trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ.

2.1 Tổng quan về thí nghiệm nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ trên mái đê chắn sóng đá đổ

2.1.1 Ổn định thủy lực và mức độ hư hỏng của khối phủ trên mái đê chắn sóng đá đổ

2.1.1.1 Các tham số liên quan đến mức độ hư hỏng của lớp phủ

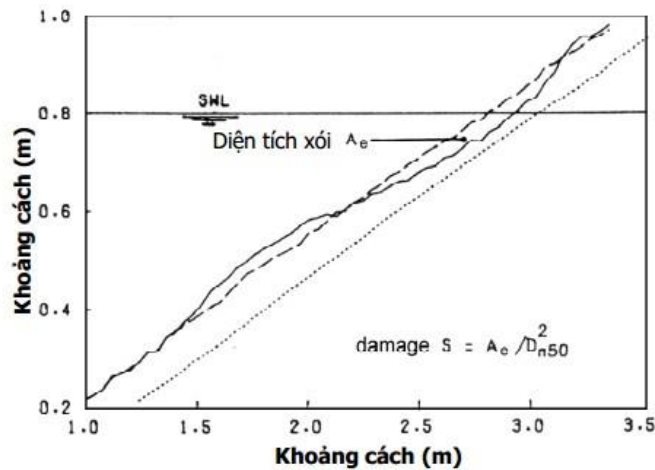
Dưới tác động của tải trọng sóng hoặc dòng chảy, mái công trình bảo vệ bằng các cấu kiện rời rạc (đá hoặc khối phủ bê tông) có thể bị mất ổn định làm mất chức năng thiết kế khi các cấu kiện bị dịch chuyển quá mức cho phép. Sự mất ổn định này của các cấu kiện trong mối liên hệ với sự dịch chuyển của các cấu kiện được gọi là sự mất ổn định thủy lực.

Hư hỏng đối với mái khối phủ có thể được mô tả bằng tỉ lệ phần trăm của các khối phủ bị dịch chuyển so với một diện tích nhất định (có thể là toàn bộ hoặc một phần của lớp phủ). Một khả năng khác đó là mô tả hư hỏng theo diện tích bị xói quanh mực nước tĩnh. Việc đánh giá mức độ hư hỏng này thường được áp dụng cho vật liệu lớp phủ là đá cấp phối. Khi khu vực bị xói này được liên hệ với kích cỡ của các viên đá, mức độ hư hỏng phi thứ nguyên không phụ thuộc vào kích thước của công trình (độ dốc mái hay chiều cao) có thể được sử dụng. Tham số này có thể được gọi là mức độ hư hỏng (S) và được xác định như sau [40]:

$$S = \frac{A_e}{D_{n50}^2} \quad (2-1)$$

trong đó,

- S - Mức độ hư hỏng, trong đó xem xét cả dạng mất ổn định do lún và dịch chuyển;
- A_e - Diện tích bị xói trên mặt cắt quanh mực nước (xem Hình 2.1);
- D_{n50} - Đường kính danh nghĩa của viên đá; giá trị này được xác định theo kích thước của một khối lập phương có cùng thể tích với viên đá;



Hình 2.1 Sơ đồ xác định diện tích xói tương đối [40]

Các giới hạn của tham số S chủ yếu phụ thuộc vào độ dốc mái của công trình. Giá trị hư hỏng ban đầu $S = 2 \div 3$ theo công thức Hudson ứng với mức độ hư hỏng $0 \div 5\%$. Lớp phủ được coi là bị hư hỏng nghiêm trọng khi lớp giữa bị lộ ra. Khi S đạt giá trị vượt quá $15 \div 20$ thì sự biến dạng của lớp phủ sẽ tạo ra mặt cắt hình chữ S và công trình khi đó sẽ thuộc dạng ổn định động.

Tham số S trong thực tế thường chỉ phù hợp cho dạng khối phủ đá, còn trong trường hợp khối phủ bê tông thì các tham số sau sẽ được sử dụng để đánh giá:

- Mức độ hỏng tương đối (D): Tỷ lệ phần trăm hư hỏng hay số khối phủ dịch chuyển tương đối trong vùng tính toán;
- Mức độ hư hỏng theo số khối phủ bị dịch chuyển tương đối (N_{od}): Tổng số khối phủ dịch chuyển tương đối N_{od} được tính toán thông qua việc xác định số khối bị dịch chuyển sau mỗi thí nghiệm, bao gồm các khối phủ bị bật ra khỏi mái đê, trượt lấp chỗ, di chuyển quá một khoảng cách $0,5D_n$ và hiện tượng xoay lắc (rocking);

Giá trị N_{od} phụ thuộc vào bề rộng mô hình (trong trường hợp thí nghiệm $B = 1\text{m}$) và đường kính danh nghĩa của khối phủ thí nghiệm.

Trong nghiên cứu về ổn định của khối phủ RAKUNA-IV, mức độ hư hỏng tương đối (D) được sử dụng để xác định hệ số ổn định K_D trong công thức của Hudson và mức độ hư hỏng theo số khối phủ bị dịch chuyển (N_{od}) được sử dụng để xây dựng công thức thực nghiệm cho ổn định thủy lực dạng phi thứ nguyên theo tham số ổn định N_s cho trường hợp

sóng không tràn và không vỡ. Các tham số tính toán này sẽ được trình bày chi tiết hơn trong Chương 3.

2.1.1.2 Đánh giá mức độ hư hỏng của lớp phủ theo tiêu chuẩn

[1] đã đưa ra phân loại mức độ hư hỏng và các giá trị có liên quan của các tham số đánh giá (xem Bảng 2.1). Các dạng dịch chuyển cũng như phân loại hư hỏng cho các mô hình đê chắn sóng trong thí nghiệm mô hình vật lý được cho ở Bảng 2.2 và Bảng 2.3 [13].

Bảng 2.1 Phân loại hư hỏng theo Sổ tay Kỹ thuật bờ biển [1]

Phân loại mức độ hư hỏng	Mô tả
Không xảy ra hư hỏng	Không có cấu kiện nào dịch chuyển
Hư hỏng ở mức độ ban đầu	Ít cấu kiện dịch chuyển. Mức hư hỏng này ứng với mức độ không xảy ra hư hỏng đã được sử dụng trong [3] có liên quan đến hệ số ổn định K_D , trong đó mức độ không xảy ra hư hỏng được định nghĩa là 0 - 5% số cấu kiện bị dịch chuyển trong phạm vi mái phía biển từ giữa phần trên mực nước tính toán đến độ sâu dưới mực nước bằng với giá trị chiều cao sóng gây ra mức hư hỏng $D = 0 - 5\%$.
Hư hỏng mức độ trung gian (từ mức độ vừa phải đến nghiêm trọng)	Các cấu kiện bị dịch chuyển nhưng không làm lộ ra lớp giữa hoặc lớp lọc dưới tác động trực tiếp của sóng
Hư hỏng hoàn toàn	Lớp giữa hoặc lớp lọc bị lộ ra dưới tác động của sóng

Bảng 2.2 Các dạng dịch chuyển của khối phủ bê tông trong các mô hình thí nghiệm vật lý cho đê chắn sóng đá đổ [15] [16]

Phân loại	Mô tả
0	Không có dịch chuyển rõ rệt
R	Các cấu kiện có xoay lắc nhưng không dịch chuyển hẳn
1	Cấu kiện bị dịch chuyển một khoảng nhỏ hơn $0,5D_n$
2	Cấu kiện bị dịch chuyển trong khoảng $0,5D_n - 1,0D_n$
3	Cấu kiện bị dịch chuyển một khoảng lớn hơn D_n

Ghi chú: D_n là giá trị đường kính danh nghĩa của cấu kiện bê tông;

Bảng 2.3 Phân loại hư hỏng trong mô hình vật lý cho đê chắn sóng đá đổ [15] [16]

Mức độ hư hỏng	Mô tả
Bị phá hủy	Lỗi đê bị ảnh hưởng
Nghiêm trọng	Lỗi đê bị lộ ra
Nhiều	Xuất hiện các khoảng hở rộng trên lớp phủ chính; 5% số cấu kiện bị dịch chuyển;
Vừa phải	Xuất hiện các khoảng hở trên lớp phủ chính; 3% số cấu kiện bị dịch chuyển;
Nhỏ	2% số cấu kiện bị dịch chuyển;
Ít	1% số cấu kiện bị dịch chuyển;
Không có	Không có hư hỏng

Ghi chú: D_n là giá trị đường kính danh nghĩa của cấu kiện bê tông.

2.1.2 Xác định giá trị ứng suất trong các mô hình khối phủ để đánh giá độ bền

2.1.2.1 Các tải trọng lên khối phủ bê tông

Trong khi tính ổn định về mặt thủy lực có thể được ước lượng một cách gần đúng bằng các công thức và được đánh giá một cách chi tiết hơn trong các thí nghiệm mô hình thủy lực thông dụng, việc đánh giá trính đồng nhất về mặt kết cấu của các cấu kiện khối phủ sẽ phức tạp hơn rất nhiều. Đã có ngày càng nhiều các nghiên cứu về lĩnh vực này nhưng vẫn chưa đưa ra được các biểu đồ hoặc các công thức thiết kế khả dụng mà nhờ đó các cấu kiện khối phủ có thể được thiết kế như các thành phần kết cấu khác trong lĩnh vực xây dựng dân dụng. Để giải quyết bài toán này, các loại tải trọng khác nhau lên các khối phủ và nguồn gốc của chúng có thể được liệt kê như trong Bảng 2.4 dưới đây.

Đặc trưng đối với các loại tải trọng tĩnh và động đó là không thể tính toán các giá trị ứng suất trong cấu kiện một cách tất định, chủ yếu là do bản chất ngẫu nhiên của tải trọng sóng, hình dạng phức tạp của các khối phủ và việc sắp xếp ngẫu nhiên của chúng. Một đặc trưng khác của các ứng suất này đó là chúng không có cùng tỉ lệ. Nhìn chung các ứng suất do các tải trọng loại mạch động sẽ tăng một cách tuyến tính cùng với chiều dài đặc tính của các khối phủ, trong khi ứng suất do tải trọng xung kích sẽ tăng lên theo căn bậc hai của chiều dài đặc tính (xem Hình 2.2).

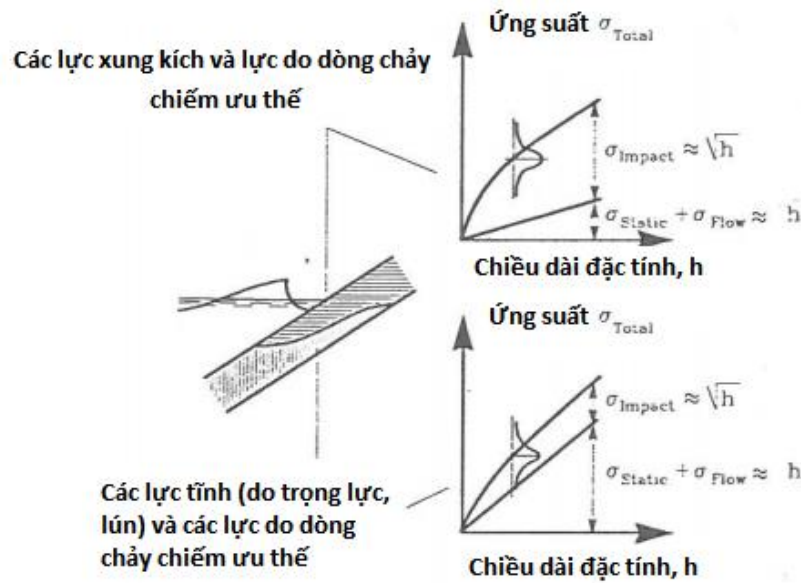
Bảng 2.4 Loại và nguồn gốc của các tải trọng lên các khối phủ (Burcharth, 1981a) [41]

LOẠI TẢI TRỌNG	NGUỒN GỐC CỦA TẢI TRỌNG						
TĨNH	<ul style="list-style-type: none"> Khối lượng cấu kiện Ứng suất trước do: <ul style="list-style-type: none"> - Hiện tượng lún của các lớp dưới - Hiệu ứng nê-m hoặc hiệu ứng vòm do chuyển động gây ra bởi các tải trọng động 						
ĐỘNG	<table style="border: none; width: 100%;"> <tr> <td style="border: none; vertical-align: middle;"> <ul style="list-style-type: none"> Va đập Mạch động </td> <td style="border: none; padding: 0 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> Chuyển động lắc/xoay của các cấu kiện Mảnh rời của các cấu kiện bị vỡ Công tác lắp đặt trong quá trình thi công </td> <td style="border: none; vertical-align: middle;">} Sự va đập của các khối rắn</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;"> <ul style="list-style-type: none"> Áp lực sóng thay đổi một cách từ từ bao gồm cả sự va sóng Động đất </td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> Va đập Mạch động 	<ul style="list-style-type: none"> Chuyển động lắc/xoay của các cấu kiện Mảnh rời của các cấu kiện bị vỡ Công tác lắp đặt trong quá trình thi công 	} Sự va đập của các khối rắn		<ul style="list-style-type: none"> Áp lực sóng thay đổi một cách từ từ bao gồm cả sự va sóng Động đất 	
<ul style="list-style-type: none"> Va đập Mạch động 	<ul style="list-style-type: none"> Chuyển động lắc/xoay của các cấu kiện Mảnh rời của các cấu kiện bị vỡ Công tác lắp đặt trong quá trình thi công 	} Sự va đập của các khối rắn					
	<ul style="list-style-type: none"> Áp lực sóng thay đổi một cách từ từ bao gồm cả sự va sóng Động đất 						
MÀI MÒN	<ul style="list-style-type: none"> Bùn cát lơ lửng 						
NHIỆT	<ul style="list-style-type: none"> Các ứng suất do sai khác nhiệt độ trong quá trình đông cứng của bê tông Đóng băng - băng tan 						
HÓA HỌC	<ul style="list-style-type: none"> Sự ăn mòn cốt thép Các phản ứng sunphát v.v... 						

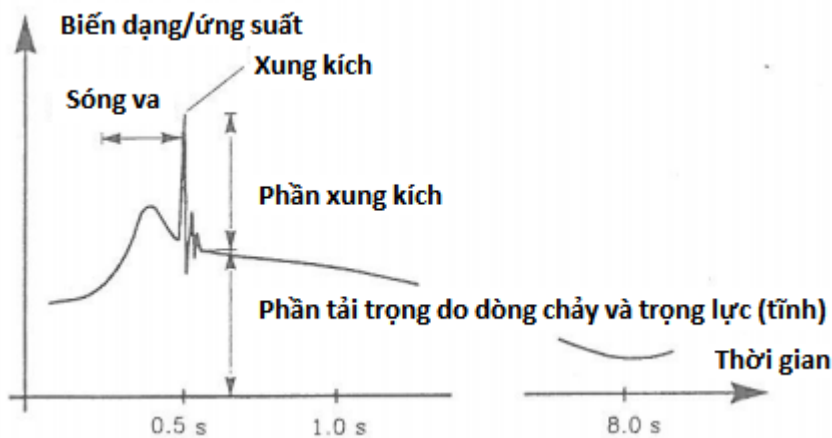
Tầm quan trọng tương đối của các giá trị ứng suất xung kích phụ thuộc vào kích cỡ và dạng hình học của các cấu kiện, vị trí của chúng trên mái dốc .v.v... Cần chú ý rằng tỉ số giữa giá trị xung kích và phi xung kích phụ thuộc phần lớn vào yêu cầu thiết kế. Tỉ số này sẽ có giá trị bé trong trường hợp thiết kế yêu cầu mức độ dịch chuyển rất hạn chế của các khối phủ.

Việc chuyển đổi chính xác theo tỉ lệ chỉ có thể được thực hiện nếu tỉ số giữa hai loại ứng suất này đã được xác định, đòi hỏi việc phải phân tích các kết quả thí nghiệm thu được về ứng suất/biến dạng. Khoảng thời gian xảy ra ứng suất xung kích ngắn hơn nhiều so với các ứng suất phi xung kích [41]. Nhìn chung, kết quả ứng suất-biến dạng thu được phải được phân tích như trên Hình 2.3 dưới đây.

Do vậy có rất nhiều trường phải được nghiên cứu. Điều này có thể được thực hiện với chi phí hợp lý bằng các thí nghiệm với mô hình tỉ lệ nhỏ, đặc biệt là việc nghiên cứu các giá trị ứng suất trong các cấu kiện bê tông khối phủ bằng việc sử dụng thiết bị cảm biến tải trọng có gắn tenxomet có độ nhạy rất cao vào bên trong.



Hình 2.2 Mô tả định tính các giá trị ứng suất trong các khối phủ bê tông phức hợp theo kích cỡ của khối phủ (theo Burcharth và Brejnegaard-Nielsen, 1986) [41]



Hình 2.3 Minh họa các giá trị biến dạng nguyên hình bao gồm tất cả các dạng biến dạng/ứng suất (theo Burcharth và Howell, 1988) [41]

2.1.2.2 Cơ sở để thiết lập sơ đồ và quy trình tính toán xác định độ bền kết cấu của các khối phủ

Tất cả các thí nghiệm mô hình vật lý với tỉ lệ nhỏ đã từng được thực hiện chưa cung cấp một cách đầy đủ các thông tin về phân bố ứng suất của các khối phủ cũng như chưa xem xét tất cả các hiệu ứng về tỉ lệ trên các mô hình khác nhau. Do vậy, trong quy trình thí nghiệm cần thiết phải đề cập đến việc kiểm tra và hiệu chỉnh các mô hình tỉ lệ nhỏ theo các trường hợp nguyên hình để đảm bảo không có các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ có liên quan đến vấn đề ổn định thủy lực hay độ bền kết cấu.

Bảng 2.5 dưới đây giới thiệu quy trình chung cho việc thiết lập các sơ đồ thiết kế cho độ bền kết cấu của các khối phủ bê tông. Sau khi đã thiết lập được các sơ đồ thiết kế như trên, quy trình cho việc sử dụng các sơ đồ thiết kế cho việc tính toán xác định độ bền kết cấu của các khối phủ có thể được đưa ra (xem Bảng 2.6).

Theo Burcharth và cộng sự (1991), trong trường hợp nghiên cứu các khối phủ có hình dạng thanh mảnh không có cốt thép được đúc bằng vật liệu bê tông thông thường và được xếp một cách ngẫu nhiên theo hai lớp trên mái dốc của đê chắn sóng dạng đá đổ, các tham số về mặt cắt ngang của công trình cũng cần phải được xem xét ngoài các tham số hình học mô tả các tính chất dọc trục của kết cấu (phân đoạn thẳng, đoạn uốn cong và đoạn đầu đê).

Bảng 2.5 Quy trình chung cho việc thiết lập các sơ đồ thiết kế cho độ bền kết cấu của các khối phủ bê tông

- (1) Xem xét các giá trị ứng suất nguyên hình trong các cấu kiện khối phủ;
- (2) Thí nghiệm mô hình tỉ lệ nhỏ trong phòng thí nghiệm cho đê chắn sóng nguyên dạng đã được xem xét bao gồm các trường hợp trạng thái mặt biển nguyên hình đã được ghi lại;
- (3) So sánh các kết quả của nguyên hình và mô hình tỉ lệ nhỏ bao gồm việc nghiên cứu các ảnh hưởng của mô hình và ảnh hưởng về mặt tỉ lệ; việc kiểm định các phương pháp thí nghiệm mô hình tỉ lệ nhỏ đã áp dụng;
- (4) Việc tiến hành nhiều thí nghiệm mô hình tỉ lệ nhỏ bao gồm các dạng đặc trưng của đê chắn sóng để thiết lập các sơ đồ thiết kế chung cho các ứng suất phát sinh trong các khối phủ bê tông, trong đó có xem xét cả độ mỏi và các tác động mang tính lâu dài khác có thể có.

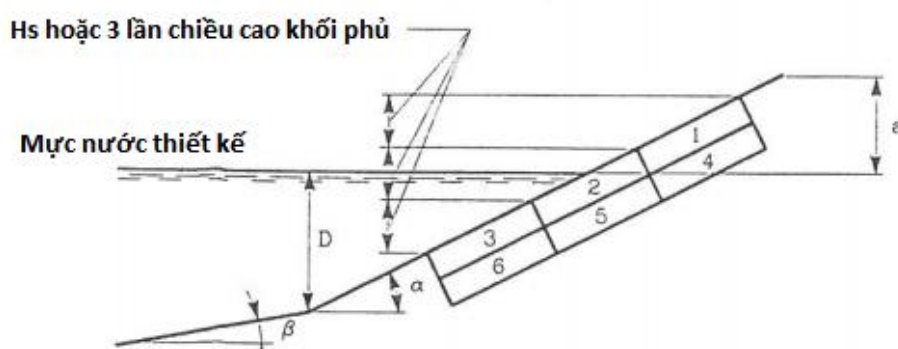
Các tham số góc nghiêng của mái và độ sâu nước đã được xem xét trong các tham số về điều kiện biên về mặt môi trường và do đó có thể bỏ qua khi xem xét các tham số về mặt kết cấu.

Ngoài tham số chiều cao sóng có nghĩa (H_s) thì giá trị chiều cao đặc tính (h) của khối phủ, ví dụ như 3 lần chiều cao của cấu kiện (xem Hình 2.4), cũng có thể được sử dụng để xác định phạm vi 6 điểm đặt khối phủ trên mái dốc của mô hình đê thí nghiệm.

Bảng 2.6 Quy trình cho việc sử dụng các sơ đồ thiết kế cho việc tính toán xác định độ bền kết cấu của các khối phủ

- (1) Ước tính kích thước của khối phủ dựa trên các yêu cầu về mặt ổn định thủy lực;
- (2) Xác định giá trị ứng suất nguyên hình lớn nhất cho phép dựa trên cường độ chịu kéo của bê tông và độ mỏi trong thời gian làm việc của kết cấu; đồng thời xem xét cả hệ số an toàn;
- (3) Tính toán chuyển đổi ứng suất từ các kết quả trên mô hình thí nghiệm thành các giá trị nguyên hình, trong đó xem xét cả tỉ lệ các ứng suất xung kích so với ứng suất tổng cộng;
- (4) So sánh giá trị tính toán được với giá trị cho phép ở bước 2: nếu giá trị này vượt quá giá trị cho phép thì có thể thay đổi kích cỡ hoặc loại khối phủ cho đến khi thỏa mãn điều kiện cho phép; có thể xem xét việc bổ sung thêm cốt thép;
- (5) Kiểm tra lại tính năng ổn định thủy lực cho khối phủ; nếu cần thiết có thể quay lại bước 1.

Trong cả 2 trường hợp thì phạm vi đã chỉ ra (từ 1 đến 6) trên mái dốc đã bao quát toàn bộ khu vực có thể phát sinh ứng suất lớn nhất trong các khối phủ, với điều kiện là các khối phủ này được đặt trên lớp giữa bằng vật liệu đá đổ thông thường. Trường hợp nếu lớp giữa được chế tạo bằng vật liệu có độ nhám thấp hơn nhiều lần thì các giá trị ứng suất tĩnh lớn ở các vị trí thấp hơn các khu vực 3 và 6 [37].



Hình 2.4 Đề xuất các tham số mặt cắt ngang, vật liệu và kết cấu [37]

Các tham số về khối phủ: loại khối phủ; thể tích hoặc chiều cao khối phủ; tỉ trọng bê tông chế tạo khối phủ; mô đun đàn hồi của bê tông chế tạo khối phủ; mật độ xếp khối phủ trên mái dốc; vị trí thí nghiệm trên mái dốc (từ 1 đến 6); tính thấm hay độ rỗng của các lớp giữa; tính lún của các lớp bên dưới.

2.1.2.2 Đo đặc ứng suất trong các mô hình khối phủ

Có 2 phương pháp có thể được sử dụng để đo đặc ứng suất trong các mô hình khối phủ:

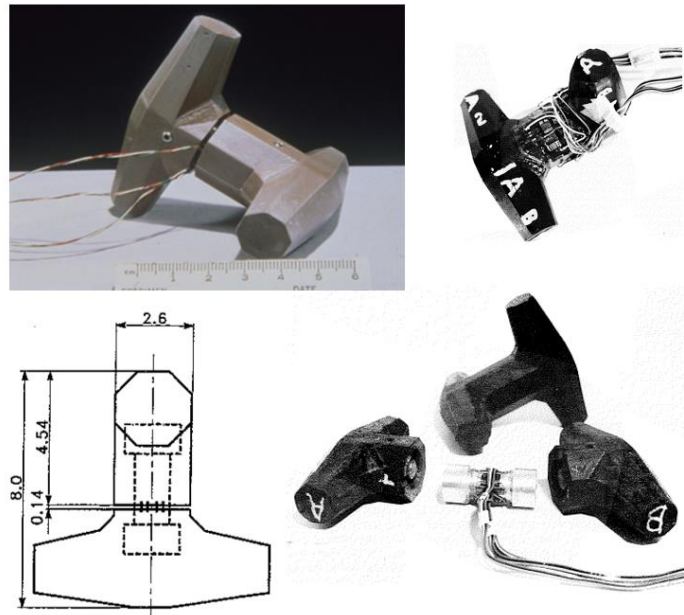
- (1) Các lá điện trở được gắn ngoài mô hình khối phủ;
- (2) Các cảm biến tải trọng có gắn các lá điện trở được đặt bên trong mô hình khối phủ;
Các lá điện trở này được sắp xếp và bố trí phù hợp để có thể đo được các giá trị biến dạng và từ đó có thể tính toán và xác định các giá trị ứng suất như mong muốn.

Các hạn chế của phương pháp thứ nhất đó là các giá trị biến dạng có thể quá nhỏ để có thể thu được các giá trị ứng suất chính xác. Ngoài ra, một vấn đề khác khi sử dụng phương pháp này đó là yêu cầu phải bảo vệ các lá điện trở không bị hư hỏng trong suốt cả quá trình thí nghiệm.

Phương pháp thứ 2 được sử dụng bởi Phòng thí nghiệm của Delft Hydraulics (Hà Lan) vào năm 1980, khi đó cảm biến được đặt bên trong các khối phủ Tetrapod để đo đặc các giá trị ứng suất gây ra do lõi biến dạng (load cell) bị uốn khi mô hình khối phủ bị va đập vào nhau dưới tác động của sóng và dòng chảy (Burcharth và cộng sự, 1991). Ngoài ra, phương pháp này còn được áp dụng trong các nghiên cứu độ bền kết cấu của khối Dolos (xem Hình 2.5) được thực hiện bởi Scott và cộng sự (1986, 1990), Anglin và cộng sự (1990), Markle (1990), Markle và Greer (1992).

Do tỉ lệ mô hình áp dụng cho các giá trị ứng suất khác nhau là ứng suất xung kích và ứng suất phi xung kích, cần thiết phải phân tách các giá trị ứng suất thành các phần khác nhau tương ứng, trong đó ứng suất phi xung kích bao gồm cả ứng suất tĩnh và ứng suất mạch động [2]. Thực tế trong nhiều nghiên cứu đã được thực hiện, các tác giả đã sử dụng các cảm biến tải trọng có gắn các lá điện trở được đặt bên trong mô hình khối phủ. Tham số cần đo đặc và xác định là giá trị ứng suất tăng thêm lớn nhất xuất hiện trong khối phủ ứng với mỗi kịch bản thí nghiệm khi khối phủ bị va đập do hiện tượng xoay lắc liên tục dưới tác động trực tiếp của sóng.

Với các cảm biến được gắn bên trong khối phủ, các số liệu thô dưới dạng tín hiệu về điện thế (đơn vị V) có thể thu được và từ đó được tính toán chuyển đổi ra giá trị ứng suất tương ứng (đơn vị MPa).



Hình 2.5 Mô hình khối phủ Dolos thí nghiệm có gắn cảm biến và các lá điện trở [2]

2.2 Phân tích thứ nguyên và xác định các tham số chi phối cơ bản

2.2.1 Giới thiệu chung

Cơ sở lý thuyết về thí nghiệm mô hình - lý thuyết tương tự được xây dựng từ phép phân tích thứ nguyên, vì vậy phép phân tích thứ nguyên đóng vai trò quan trọng trong lịch sử phát triển của các nghiên cứu về chuyển động chất lỏng. Phép phân tích thứ nguyên là một biện pháp hữu hiệu thường được sử dụng để giảm thiểu số biến trong quá trình thiết kế mô hình vật lý và phân tích kết quả thí nghiệm.

Năm 1889, Reyleigh là người đầu tiên vận dụng nguyên lý điều hòa thứ nguyên nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đối với tính nhớt của khí Ar. Năm 1914, Buckingham đã phát triển định lý tổng quát về phép phân tích thứ nguyên, hay còn được biết đến rất rộng rãi là định luật Π . Đối với những hiện tượng có các đại lượng vật lý ít, ví dụ ít hơn 5, thì định luật Reyleigh hay định luật Π đều có thể xác định dạng kết cấu của phương trình vật lý, và dựa vào số liệu đo đạc thực địa hoặc thí nghiệm để xác định các hệ số. Đối với các hiện tượng vật lý bao gồm nhiều biến, chỉ số biến không vượt quá 6, vận dụng định luật Π có thể xác định 3 tổ hợp không thứ nguyên, dựa vào các số liệu thực tế, lấy một trị số hàm Π làm tham số, hai trị số Π còn lại làm tung độ và hoành độ, vẫn có thể xác định quan hệ định lượng của hiện tượng vật lý này. Nếu số biến nhiều hơn nữa, thì số tổ hợp không thứ

nguyên sẽ lớn hơn 3, chỉ có thể nghiên cứu một cách cô lập các biến lượng hoặc ảnh hưởng của các tổ hợp không thứ nguyên mới có thể xác định quan hệ định lượng của chúng.

Định luật Pi (Π) của Buckingham (1914) là phép phân tích thứ nguyên có ý nghĩa phổ biến hơn. Sử dụng phương pháp này, có thể chuyển đổi một quan hệ hàm số chưa biết có nhiều biến lượng dạng [42]:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (2-2)$$

thành dạng một quan hệ hàm số khác nhau bao gồm $n-k$ tổ hợp không thứ nguyên như sau:

$$\phi(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-k}) = 0 \quad (2-3)$$

$$\text{hay} \quad \Pi_1 = \phi_i(\Pi_2, \dots, \Pi_{n-k}) \quad (2-4)$$

Từ đây có thể thấy rằng quy luật chuyển động vật lý có n biến (trong đó bao gồm k biến cơ bản) có thể được biểu thị bằng quan hệ hàm số gồm $(n-k)$ số hạng không thứ nguyên Π tạo thành. Trong 2 hệ thống cơ học tương tự (ϕ giống nhau), nếu các trị số Π_2 đến Π_{n-k} đều giống nhau từng cặp tương ứng, thì trị số Π_1 phải như nhau. Hay nói cách khác, trong 2 hệ thống cơ học, nếu các trị số Π_1 đến Π_{n-k} giống nhau từng cặp đối ứng, thì hàm số ϕ phải giống nhau, hay hiện tượng chuyển động của 2 hệ thống nhất định phải tương tự. Từ đó có thể thấy rằng nếu có thể làm cho các số hạng p ảnh hưởng đến chuyển động trong mô hình (bao gồm cả điều kiện đơn vị) giống nhau từng cặp đối ứng với các số hạng Π trong nguyên hình, thì hiện tượng vật lý xuất hiện trong mô hình sẽ tương tự với các hiện tượng vật lý trong nguyên hình.

Phương pháp phân tích thứ nguyên theo định luật Π sử dụng một số đại lượng vật lý cơ bản mới, độc lập với nhau bao gồm được toàn bộ thứ nguyên cơ bản hoặc chọn một cách tỉ mỉ để mô tả các đại lượng vật lý khác, hoặc cũng có thể dùng các đại lượng vật lý cơ bản mới làm đơn vị để đo lường các đại lượng vật lý khác. Giả thiết chọn các đại lượng vật lý x_{n-2} ; x_{n-1} và x_n trong phương trình trên làm đại lượng vật lý cơ bản mới, dùng tích hàm số mũ của chúng $x_{n-2}^{\alpha_{1i}} x_{n-1}^{\alpha_{2i}} x_n^{\alpha_{3i}}$ để mô tả hoặc đo lường các đại lượng x_1, x_2, \dots, x_n . Khi đó ta có [42]:

$$f\left(\frac{x_1}{x_{n-2}^{\alpha_{11}} x_{n-1}^{\alpha_{21}} x_n^{\alpha_{31}}}, \frac{x_2}{x_{n-2}^{\alpha_{12}} x_{n-1}^{\alpha_{22}} x_n^{\alpha_{32}}}, \dots, \frac{x_n}{x_{n-2}^{\alpha_{1n}} x_{n-1}^{\alpha_{2n}} x_n^{\alpha_{3n}}}\right) = 0 \quad (2-5)$$

Tích hàm mũ giữa các đại lượng vật lý được mô tả và các đại lượng vật lý cơ bản mới phải đồng nhất về thứ nguyên, do đó ta có [42]:

$$\left. \begin{aligned} [x_1] &= [x_{n-2}]^{\alpha_{11}} [x_{n-1}]^{\alpha_{21}} [x_n]^{\alpha_{31}} \\ [x_2] &= [x_{n-2}]^{\alpha_{12}} [x_{n-1}]^{\alpha_{22}} [x_n]^{\alpha_{32}} \\ &\dots \\ [x_n] &= [x_{n-2}]^{\alpha_{1n}} [x_{n-1}]^{\alpha_{2n}} [x_n]^{\alpha_{3n}} \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

Thay thứ nguyên của x_1, x_2, \dots, x_n vào phương trình trên sẽ xác định được $\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}$ (với $i = 1, 2, \dots, n$).

2.1.2 Xác định các tham số chi phối cơ bản

2.1.2.1 Giới thiệu chung

Vấn đề ổn định của công trình đê chắn sóng đá đổ có liên quan đến nhiều tham số. Việc xác định các quan hệ tương tự chính xác phải được thực hiện thông qua việc phân tích thứ nguyên. Các tham số liên quan đến ổn định của đê chắn sóng dạng đá đổ khi chịu tác động của sóng đã được liệt kê bởi Hudson và cộng sự (1979) như trong Bảng 2.7, trong đó dạng hàm số có thể được đưa ra dựa trên việc xem xét các quan hệ về mặt thứ nguyên như sau [41]:

$$f(V_\omega, H, L, h, \beta, \theta, g, \rho_w, \rho_a, l_a, \mu, \xi_a, \alpha, \Delta, D) = 0 \quad (2-7)$$

6 tham số đầu tiên ($V_\omega, H, L, h, \beta, \theta$) trong phương trình trên có liên quan đến hàm lực thủy động lực học (sóng). 4 tham số tiếp theo (g, ρ_w, ρ_a, l_a) được sử dụng để mô tả sự đẩy nổi của khối phủ (hoặc sức kháng chống lại trọng lực).

Các tham số μ và ξ_a lần lượt có liên quan đến các giá trị lực nhớt và lực ma sát, và các tham số α và Δ lần lượt có liên quan đến dạng hình học của kết cấu.

Một trong những sự kết hợp có thể được áp dụng cho các tham số đã liệt kê ở trên đó là các tham số phi thứ nguyên được đưa ra bởi Hudson và cộng sự như sau [41]:

$$F\left(\frac{l_a}{h}, \frac{H}{L}, \frac{h}{L}, \alpha, \beta, \Delta, \theta, \frac{V_\omega}{\sqrt{gl_a}}, \frac{V_\omega l_a}{\mu / \rho_w}, \frac{\xi_a}{l_a}, \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w}, D\right) = 0 \quad (2-8)$$

Đây là biểu thức phi thứ nguyên của bài toán ổn định của kết cấu đá đổ. Nếu giá trị hư hỏng (D) được coi là biến phụ thuộc, sự tương tự hoàn toàn về mặt hư hỏng trong mô hình vật lý có thể đạt được với điều kiện là mọi tham số phi thứ nguyên còn lại trong phương trình trên là giống nhau giữa mô hình và nguyên hình cho một kịch bản nhất định về các tham số sóng.

Bảng 2.7 Các tham số có liên quan đến ổn định của đê chắn sóng [41]

h	Độ sâu nước tại chân công trình
D	Mức độ hư hỏng tính theo phần trăm của lớp phủ (số cấu kiện bị dịch chuyển chia cho tổng số cấu kiện xếp trên mái);
g	Gia tốc trọng trường;
H	Chiều cao sóng;
l_a	Kích thước tuyến tính đặc tính của khối phủ;
V_ω	Lưu tốc của nước ở khu vực gần lớp phủ;
α	Góc nghiêng của mái phía biển so với phương ngang;
β	Góc sóng tới;
Δ	Hình dạng của khối phủ;
θ	Độ dốc đáy biển trước chân công trình;
L	Chiều dài sóng;
μ	Độ nhớt động học của nước ở gần khu vực công trình;
ξ_a	Kích thước tuyến tính đặc tính cho độ nhám bề mặt khối phủ;
ρ_a	Khối lượng riêng của vật liệu chế tạo khối phủ;
ρ_w	Khối lượng riêng của nước trong khu vực gần công trình;

2.1.2.2 Tham số chi phối cơ bản đối với nghiên cứu ổn định thủy lực của khối phủ

Các tham số chi phối cơ bản đối với nghiên cứu ổn định thủy lực của các khối phủ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ bao gồm [41]:

(a) Tham số môi trường

- Chiều cao sóng tính toán: H_{m0} ;
- Chu kỳ sóng tính toán: T_m ;
- Độ dốc sóng tính toán: s_{0m} ;
- Tổng số con sóng N_z .

(b) Tham số kết cấu

- Tỷ trọng tương đối của vật liệu khối phủ: Δ ;
- Đường kính danh nghĩa của vật liệu: D_n ;
- Số ổn định của khối phủ: N_s ;
- Tổng số khối dịch chuyển tương đối: N_{od} .

Qua phân tích những tham số chi phối cơ bản đến ổn định thủy lực của khối phủ khi không có sóng tràn, có thể viết dưới dạng quan hệ hàm số như sau:

$$f(N_s, H_s, T_m, s_{om}, N_{od}, N_z, D_n, \Delta) = 0 \quad (2-9)$$

Trong phương trình (2-16), có một số tham số mà có thể được suy ra từ những tham số khác như T_m . Chỉ số ổn định N_s cũng có mối liên hệ với D_n và qua biểu thức $N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n}$ nên không đưa đại lượng D_n và Δ vào trong phương trình (2-9). Từ các phân tích ở trên, ta có phương trình quan hệ gồm các biến cơ sở sau:

$$N_s = F(H_s, s_{om}, N_{od}, N_z) \quad (2-10)$$

Các biến không thứ nguyên Π_j được xác định dựa trên phép cân bằng thứ nguyên. Tuy nhiên trong một số trường hợp Π_j còn được xác định dựa vào ý nghĩa của các đại lượng vật lý cụ thể.

Trong nghiên cứu này, chỉ số ổn định N_s phụ thuộc vào đại lượng N_{od} và độ dốc sóng s_{om} . Ngoài ra, trong các dạng công thức ổn định cho các khối phủ có dạng tương tự, tham số phi thứ nguyên $\frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}}$ được sử dụng để xét mối liên hệ giữa tổng số khối dịch chuyển tương đối và tổng số con sóng đến chân đê. Do vậy, các biến không thứ nguyên Π_j được xác định như sau:

$$\begin{cases} \Pi_1 = \frac{H_s}{\Delta D_n} = N_s \\ \Pi_2 = s_{om} \\ \Pi_3 = \frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}} \end{cases} \quad (2-11)$$

Hàm số chung biểu thị sự ảnh hưởng của các tham số đến ổn định khối phủ khi không có sóng tràn và sóng không vỡ:

$$F\left(N_s, \frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}}, s_{om}\right) = 0 \quad (2-12)$$

Đây là cơ sở thiết kế các kịch bản thí nghiệm để xây dựng công thức tính ổn định khối phủ RAKUNA-IV trên đê mái nghiêng khi không có sóng tràn. Cũng giống như các khối phủ nhân tạo khác, ổn định của khối phủ RAKUNA-IV trên đê đá đổ khi không có sóng tràn và sóng không vỡ phụ thuộc vào các đại lượng phi thứ nguyên theo phương trình (2-12).

2.1.2.3 Tham số chi phối cơ bản đối với nghiên cứu độ bền của khối phủ

Các tham số chi phối cơ bản đối với nghiên cứu độ bền của khối phủ bao gồm [41]:

(a) Tham số môi trường:

- Chiều cao sóng tính toán: H_{m0} ;
- Chu kỳ sóng tính toán: T_m ;
- Độ dốc sóng tính toán: s_{0m} ;

(b) Tham số kết cấu:

- Tỷ trọng tương đối của vật liệu khối phủ: Δ ;
- Đường kính danh nghĩa của vật liệu: D_n ;
- Ứng suất tăng thêm lớn nhất trong khối phủ khi bị xoay lắc do sóng: $\sigma_{c,xk}$;

Qua phân tích những tham số chi phối cơ bản đến độ bền kết cấu của khối phủ, có thể viết dưới dạng quan hệ hàm số như sau:

$$f(\sigma_{c,xk}, H_s, s_{0m}, N_{od}, D_n, \Delta) = 0 \quad (2-13)$$

Từ đó ta có phương trình quan hệ gồm các biến cơ sở sau:

$$\sigma_{c,xk} = f(H_s, s_{0m}, N_s) \quad (2-14)$$

Mặt khác, vị trí khối phủ xuất hiện ứng suất tăng thêm lớn nhất trong nghiên cứu này được lựa chọn theo khoảng cách đặt khối phủ so với mực nước tĩnh theo các tỉ lệ với chiều cao

sóng, do đó tham số phi thứ nguyên $\frac{\sigma_{c,xk}}{\rho g H_s}$ đã được xét đến. Khi đó các biến không thứ

nguyên Π_j được xác định như sau:

$$\begin{cases} \Pi_1 = \frac{\sigma_{c,xk}}{\rho g H_s} \\ \Pi_2 = N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} \\ \Pi_3 = s_{0m} \end{cases} \quad (2-15)$$

hay
$$f\left(\frac{\sigma_{c,xk}}{\rho g H_s}, N_s, s_{0m}\right) = 0 \quad (2-16)$$

Một tham số khác có xét đến chiều cao và chu kỳ sóng (hoặc độ dốc sóng) với đường kính danh nghĩa đã được đề xuất, trong đó xem xét cả độ dốc sóng cục bộ trong tham số số ổn định hiệu chỉnh N_s^* , được xác định theo công thức [43]:

$$N_s^* = N_s s_p^{-1/3} = \frac{H_s}{\Delta D_n} s_p^{-1/3} \quad (2-17)$$

Trong công thức này s_p là độ dốc sóng cục bộ tại vị trí thiết kế được tính theo chu kỳ đỉnh T_p (giá trị này không phải là độ dốc sóng nước sâu).

Khi đó phương trình (2-16) có thể được viết lại thành :

$$f\left(\frac{\sigma_{c,xk}}{\rho g H_s}, N_s^*\right) = 0 \quad (2-18)$$

2.3 Xây dựng mô hình vật lý nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV trên đê chắn sóng đá đổ

2.3.1 Lý thuyết tương tự

2.3.1.1 Giới thiệu chung

Một mô hình vật lý tương tự với nguyên hình cần phải đảm bảo có đủ đặc trưng tương tự ở cả 3 phương diện: hình học, động học và động lực [42]:

(1) *Tương tự hình học*: tương tự về hình thái hình học giữa mô hình và nguyên hình. Bất kỳ độ dài tuyến tính tương ứng nào của nguyên hình và mô hình phải có cùng một tỷ lệ, trong đó biểu thị hằng số tỷ lệ độ dài hay còn gọi là tỷ xích độ dài hoặc tỷ xích hình học. Tỷ lệ hình học giữa tất cả các kích thước cạnh là như nhau.

Với mô hình không biến dạng hay mô hình chính thái (tỉ lệ theo phương ngang và phương đứng như nhau) chỉ có một giá trị hằng số tỉ lệ N_L .

(2) *Tương tự động học*: tương tự về trạng thái chuyển động giữa mô hình và nguyên hình. Tốc độ, gia tốc của bất kỳ điểm tương ứng nào của mô hình và nguyên hình bắt buộc phải song song với nhau và có cùng một tỷ lệ.

(3) *Tương tự động lực*: sự tương tự hay đồng dạng của lực tác dụng giữa mô hình và nguyên hình nhằm đảm bảo tỉ lệ như nhau của các véc tơ lực giữa mô hình và nguyên hình.

Lực tác dụng lên bất cứ điểm tương ứng nào của mô hình và nguyên hình phải song song với nhau và có cùng một tỷ lệ.

2.3.1.2 Các tiêu chuẩn tương tự thủy lực

Đối với hầu hết các mô hình thủy lực, hai tiêu chuẩn tương tự quan trọng nhất bao gồm tiêu chuẩn Froude và tiêu chuẩn Reynold [42].

(1) Tiêu chuẩn tương tự Froude:

Tiêu chuẩn Froude áp dụng cho các dòng chảy có mặt thoáng trong tự nhiên. Tiêu chuẩn này thể hiện sự tương quan tương đối giữa lực quán tính và lực trọng trường (mức độ quan trọng tương đối giữa lực quán tính tác động lên hạt chuyển động và trọng lượng bản thân của hạt).

Chế độ thủy động lực học của dòng chảy trong mô hình kết cấu đá đổ phải tuân theo tiêu chuẩn Froude. Tiêu chuẩn này cho rằng các lực quán tính tương đối so với trọng lực được thu phóng một cách chính xác.

$$\left(\frac{V_w}{\sqrt{gl_a}} \right)_p = \left(\frac{V_w}{\sqrt{gl_a}} \right)_m \quad (2-19)$$

Điều kiện này đảm bảo tính đồng dạng của số Froude cho lớp phủ, và trong cùng điều kiện đã được xác định theo tiêu chí tỉ lệ Froude trong các mô hình thủy động lực học.

Tỉ lệ thời gian theo Froude:

$$N_g = 1 \Rightarrow N_t = \sqrt{N_L} \quad (2-20)$$

(2) Tiêu chuẩn Reynolds

Tiêu chuẩn Reynolds mô phỏng dòng chảy có lực nhớt chiếm ưu thế là dòng chảy tầng ở lớp biên, lực tác động lên tốc bin thủy lực. Tiêu chuẩn này thể hiện mức độ quan trọng tương đối giữa lực quán tính và lực nhớt tác động lên hạt chuyển động.

$$\left(\frac{\rho LV}{\mu} \right)_p = \left(\frac{\rho LV}{\mu} \right)_m \Rightarrow N_{Re} = \frac{N_v N_L N_p}{N_\mu} = 1 \quad (2-21)$$

Tỉ lệ thời gian theo Reynolds :

$$N_t = \frac{(N_L)^2 N_p}{N_\mu} \quad (2-22)$$

Các mô hình kết cấu đá đổ phải có các điều kiện dòng chảy rời trên khắp lớp phủ chính

$$\left(\frac{V_w l_a}{\mu / \rho_w} \right)_p = \left(\frac{V_w l_a}{\mu / \rho_w} \right)_m \quad (2-23)$$

Điều kiện này đảm bảo tính đồng dạng của số Reynolds cho lớp phủ dựa trên kích thước dài đặc trưng của các khối phủ (thường là giá trị đường kính trung bình của đá), khi đó mô hình thí nghiệm cần đảm bảo một tỉ lệ đủ lớn để đảm bảo dòng chảy qua lớp phủ chính vẫn duy trì trạng thái rời.

Căn cứ vào phạm vi áp dụng của hai tiêu chuẩn đã trình bày ở trên và nội dung nghiên cứu của đề tài, tác giả đã thiết kế mô hình thí nghiệm vật lý theo tiêu chuẩn tương tự Froude về mặt động học và động lực học về các tham số sóng, cũng như các tham số độ dài, diện tích, thể tích (xem Bảng 2.8).

Bảng 2.8 Tỷ lệ của một số đại lượng vật lý cơ bản [42]

TT	Đại lượng	Ký hiệu	Thứ nguyên	Tỷ lệ theo tiêu chuẩn Froude
1	Độ dài	l	L	λ_l
2	Diện tích	A	L^2	λ_l^2
3	Thể tích	V	L^3	λ_l^3
4	Thời gian	t	T	$\lambda_l^{1/2}$
5	Khối lượng	m	M	$\lambda_l^3 \lambda_\rho$
6	Lực	P	MLT^{-2}	$\lambda_l^3 \lambda$

2.3.2 Xác định tỉ lệ mô hình

2.3.2.1 Các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ

Các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ trong các mô hình thủy động lực học với sóng ngắn chủ yếu là do giả thiết trọng lực là lực vật lý chủ đạo để cân bằng các lực quán tính. Việc định tỉ lệ dựa trên giả thiết này (tỉ lệ Froude) đã mô phỏng một cách thiếu chính xác các lực vật lý khác về độ nhớt, độ đàn hồi, sức căng bề mặt .v.v... với giả thiết đặt ra là các lực này không đáng kể trong các quá trình vật lý. Các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ trong các mô hình vật lý tương tự với việc giảm độ chính xác xảy ra trong các mô hình số khi các quá trình vật lý phức tạp được biểu thị bằng các công thức toán học đã được đơn giản hóa. Trong các mô hình thủy lực sóng ngắn được định tỉ lệ theo tiêu chuẩn Froude, tính không đồng dạng của các lực nhớt và sức căng bề mặt có thể dẫn đến các ảnh hưởng có liên quan đến các hiện tượng sóng phản xạ, sóng nhiễu xạ, sự tiêu tán năng lượng sóng do ma sát và do sóng vỡ [41].

2.3.2.2 Xác định tỉ lệ mô hình

a. Lựa chọn tỉ lệ mô hình vật lý cho các thí nghiệm

Việc chọn tỉ lệ mô hình phụ thuộc vào điều kiện cụ thể ở nguyên hình như kích thước của các cấu kiện và vật liệu, các tham số sóng và khả năng đáp ứng của thiết bị trong phòng thí nghiệm. Các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ trong các mô hình thủy động lực học với sóng ngắn chủ yếu là do giả thiết trọng lực là lực vật lý chủ đạo để cân bằng các lực quán tính. Việc

định tỉ lệ dựa trên giả thiết này (tỉ lệ Froude) đã mô phỏng một cách thiếu chính xác các lực vật lí khác về độ nhớt, độ đàn hồi, sức căng bề mặt .v.v... với giả thiết đặt ra là các lực này không đáng kể trong các quá trình vật lí.

Với các mô hình khối phủ RAKUNA-IV đã được sản xuất ở Nhật Bản được cấp phép sử dụng bởi công ty Nikken Kogaku có sẵn trong phòng thí nghiệm và dựa vào số liệu về sóng và mực nước ở vùng biển Việt Nam cũng như khả năng đáp ứng của hệ thống máng sóng Hà Lan của Phòng thí nghiệm Thủy lực Tổng hợp tại trường Đại học Thủy Lợi với các thông số kĩ thuật đã cho trong Bảng A.1, luận án đã lựa chọn tỉ lệ mô hình nghiên cứu là 1/20.

Khi đó theo tiêu chuẩn tương tự Froude, tỉ lệ về thời gian cũng như chu kỳ sóng được xác định như sau:

$$\lambda_T = \sqrt{\lambda_L} = \sqrt{20} = 4,47 \quad (2-24)$$

b. Xác định tỉ lệ mô hình thí nghiệm của lõi đê

Đối với các lớp và đặc biệt là lõi đê, vai trò của dòng chảy vào và ra đê chắn sóng trở nên quan trọng [44]. Khi tính toán tỉ lệ cho lớp phủ, quy tắc Froude có thể áp dụng. Tuy nhiên, điều này không còn đúng cho lõi đê do cỡ hạt trở nên nhỏ hơn rất nhiều và khi đó lõi đê trong mô hình thí nghiệm có độ thấm rất nhỏ hay khả năng thấm sẽ giảm đi rất nhiều.

Nếu các công trình dạng đá đổ và hấp thụ sóng được mô hình với cỡ đá và vật liệu lõi được thu nhỏ về mặt hình học theo tỉ lệ, sóng truyền qua mô hình sẽ giảm đi tương đối. Có thể thấy rằng tính thấm của đê chắn sóng có ảnh hưởng đến sóng leo, sóng tràn và ổn định của khối phủ. Ảnh hưởng về mặt tỉ lệ này được khắc phục bằng việc tăng kích thước các viên đá trong mô hình so với giá trị thu phóng theo tỉ lệ dài theo công thức sau [45]:

$$\frac{L_p}{L_m} = K \frac{D_p}{D_m} \quad (2-25)$$

hay
$$N_L = KN_D \quad (2-26)$$

trong đó L là chiều dài đặc trưng của mô hình nguyên dạng, D là kích thước dài của viên đá, K là hệ số lớn hơn 1; p và m lần lượt biểu thị cho nguyên hình và mô hình.

Le Méhauté (1965) và Keulegan (1973) đã đề xuất các phương pháp để xác định kích thước của các lớp phủ bảo vệ của đê chắn sóng đá đổ và vật liệu lõi đê để mô phỏng chính xác hiện tượng sóng truyền. Hudson và cộng sự (1979) đã đề xuất hệ số tỉ lệ K cần được tính

toán bằng cả hai phương pháp và giá trị trung bình từ các tính toán này sẽ được sử dụng trong công thức trên. Phương pháp tính toán được trình bày trong Phụ lục B.

Kết quả tính toán và xác định các hệ số tỉ lệ cho mô hình vật lí của đề tài nghiên cứu được thống kê ở Bảng 2.9 dưới đây.

Bảng 2.9 Các hệ số tỉ lệ áp dụng cho đề tài nghiên cứu

Tham số	Hệ số tỉ lệ	Ghi chú
Lớp phủ và khối phủ	$n_L = 20$	Theo tiêu chuẩn Froude
Lớp giữa	$n_L = 20$	
Lõi đê	$n_{L,c} = 15$	Theo Le Méhauté (1965) và Keulegan (1973) (xem Phụ lục B)
Thời gian	$n_T = 4,47$	Theo tiêu chuẩn Froude
Mô đun đàn hồi	$n_E = 4,5$	Tính toán trong Chương 3

c. Xác định tỉ lệ về ứng suất trong thí nghiệm độ bền kết cấu

Cần thiết phải phân tách các giá trị ứng suất thành các phần khác nhau tương ứng, trong đó ứng suất phi xung kích bao gồm cả ứng suất tĩnh và ứng suất mạch động [2]. Việc chuyển đổi các giá trị ứng suất cực đại ra nguyên hình cho các khối phủ bê tông ($\sigma_{T,P}$) với cùng loại vật liệu chế tạo được cho bởi công thức sau [19]:

$$\sigma_{T,P} = n_L \sigma_{ni,M} + \sqrt{n_L n_E} \sigma_{i,M} \quad (2-27)$$

trong đó,

n_L và n_E - Lần lượt là các hệ số tỉ lệ về chiều dài và hệ số tỉ lệ về mô đun đàn hồi. Hệ số tỉ lệ về mô đun đàn hồi cho khối phủ nghiên cứu trong luận án được xác định như sau:

$$n_E = \frac{E_b}{E_a} \quad (2-28)$$

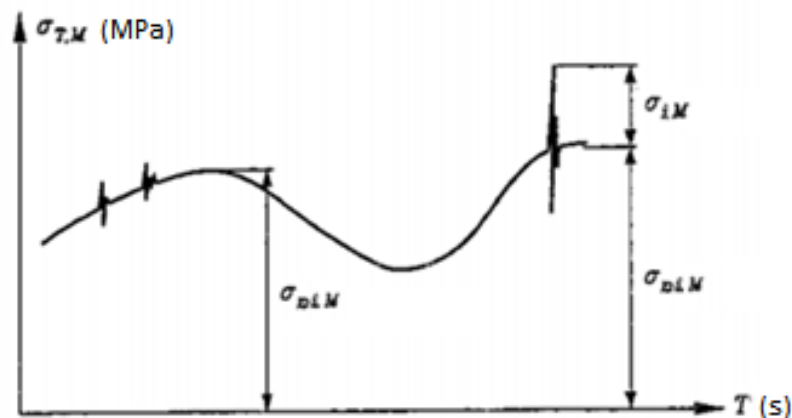
E_b - Mô đun đàn hồi của khối phủ bê tông nguyên khối và đồng nhất, có thể tra theo [6];

E_a - Giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến của mô hình khối phủ thí nghiệm có xét đến tính không đồng nhất của vật liệu do sự thay đổi cấu tạo bên trong khối phủ để gắn thêm một phần cánh và một cảm biến dạng lõi hình trụ bằng nhôm cùng hệ thống dây dẫn để đo đặc ứng suất phát sinh trên bề mặt lõi nhôm [2]. Do E_b là giá trị có thể tra theo tiêu chuẩn đã có [6], để tính toán hệ số tỉ lệ mô đun đàn hồi n_E theo công thức (2-28) cần thiết phải tính được giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến E_a . Việc này có thể được thực hiện bằng phương

pháp mô phỏng và so sánh các giá trị ứng suất phát sinh trong 2 loại khối phủ thí nghiệm (khối phủ nguyên hình và khối phủ có gắn cảm biến bên trong) trong cùng điều kiện thí nghiệm và ngoại lực tác dụng (trong trường hợp thí nghiệm là lực phân bố đều trên mặt đỉnh của khối phủ theo phương thẳng đứng) sử dụng mô hình ANSYS Mechanical APDL, kết hợp với phương trình định luật Hooke khối [46] để xây dựng biểu thức xác định mô đun đàn hồi biểu kiến thông qua các giá trị ứng suất thành phần theo các phương.

$\sigma_{ni,M}$ và $\sigma_{i,M}$ - lần lượt là thành phần ứng suất phi xung kích và ứng suất xung kích tăng thêm do tác động của sóng (xem Hình 2.6) đã được tính chuyển từ lõi cảm biến trong mô hình i-RAK ra bề mặt của mô hình khối phủ RAKUNA-IV nguyên dạng;

Các giá trị ứng suất ban đầu được đo tại bề mặt của lõi cảm biến gắn bên trong mô hình khối phủ i-RAK thông qua biến dạng của các lá điện trở được gắn quanh lõi cảm biến tại vị trí bất lợi nhất về mặt ứng suất và độ bền (phần giao giữa phần cánh và phần thân khối phủ). Sử dụng các tính toán mô phỏng bằng mô hình ANSYS, các giá trị ứng suất này có thể được tính chuyển ra bề mặt của khối phủ dạng liên khối và nguyên hình, từ đó có thể kiểm tra và đánh giá được độ bền của khối phủ dựa vào các giá trị ứng suất kéo lớn nhất cho phép theo tiêu chuẩn, đảm bảo không có hiện tượng nứt vỡ hay hư hỏng của các khối phủ thiết kế cho lớp phủ của công trình đê chắn sóng đá đổ.



Hình 2.6 Phân tách các giá trị ứng suất trong mô hình thí nghiệm theo thời gian [2]

2.3.3 Thiết kế mô hình và bố trí thí nghiệm

2.3.3.1 Cấu tạo mô hình đê thí nghiệm

Mô hình đê thí nghiệm gồm có 3 lớp: lớp ngoài (lớp phủ), lớp giữa và lõi đê. Cao trình đỉnh đê mô hình được đặt ở vị trí +0,90m so với đáy máng (xem như đáy máng ở vị trí

0,0m), với hệ số mái trong tất cả các kích bản thí nghiệm là $m = 1,5$. Mặt cắt ngang đê mô hình trong máng sóng được thể hiện trên Hình 2.7.

Kích thước lớp ngoài và lớp thứ hai được thu nhỏ theo tỉ lệ mô hình thông thường (theo tiêu chuẩn Froude). Thông số vật liệu cho mô hình thí nghiệm được thống kê ở Bảng 2.10.

Bảng 2.10 Kích thước vật liệu sử dụng cho các lớp trong mô hình thí nghiệm

Hạng mục	Độ rỗng (%)	Nguyên hình	Tỉ lệ	Mô hình
		D_n (cm)		D_n (cm)
Lớp phủ	56,5	134	$n_L = 20$	6,7
Lớp giữa	40	68	$n_L = 20$	3,4
Lõi đê	40	23,8	$n_{L,c} = 15$	1,4

2.3.3.2 Máng sóng thí nghiệm

Các thí nghiệm được thực hiện trong máng sóng Hà Lan (Holland Wave Flume) tại phòng thí nghiệm thủy lực tổng hợp của trường Đại học Thủy Lợi. Các thông số và đặc tính kỹ thuật của máng sóng và máy tạo sóng của hệ thống máng sóng Hà Lan được cho trong Phụ lục A của luận án.

Thí nghiệm được tiến hành với sóng ngẫu nhiên phổ JONSWAP, được coi là phù hợp với điều kiện sóng bão ở vùng Biển Đông Việt Nam. Sóng tới trước đê là sóng không vỡ, tương ứng với điều kiện sóng ở khu vực có độ sâu lớn (đoạn đầu đê, nằm ngoài vùng sóng vỡ).

2.3.3.3 Xây dựng mô hình thí nghiệm

Các vật liệu đã được sử dụng để xây dựng mô hình đê thí nghiệm bao gồm:

- Các khối phủ RAKUNA-IV (được sản xuất ở Nhật Bản) với các thông số như sau:

+ Đường kính danh nghĩa: $D_n = 6,7$ cm;

+ Thể tích: 301.5 cm³;

+ Khối lượng: 691 g;

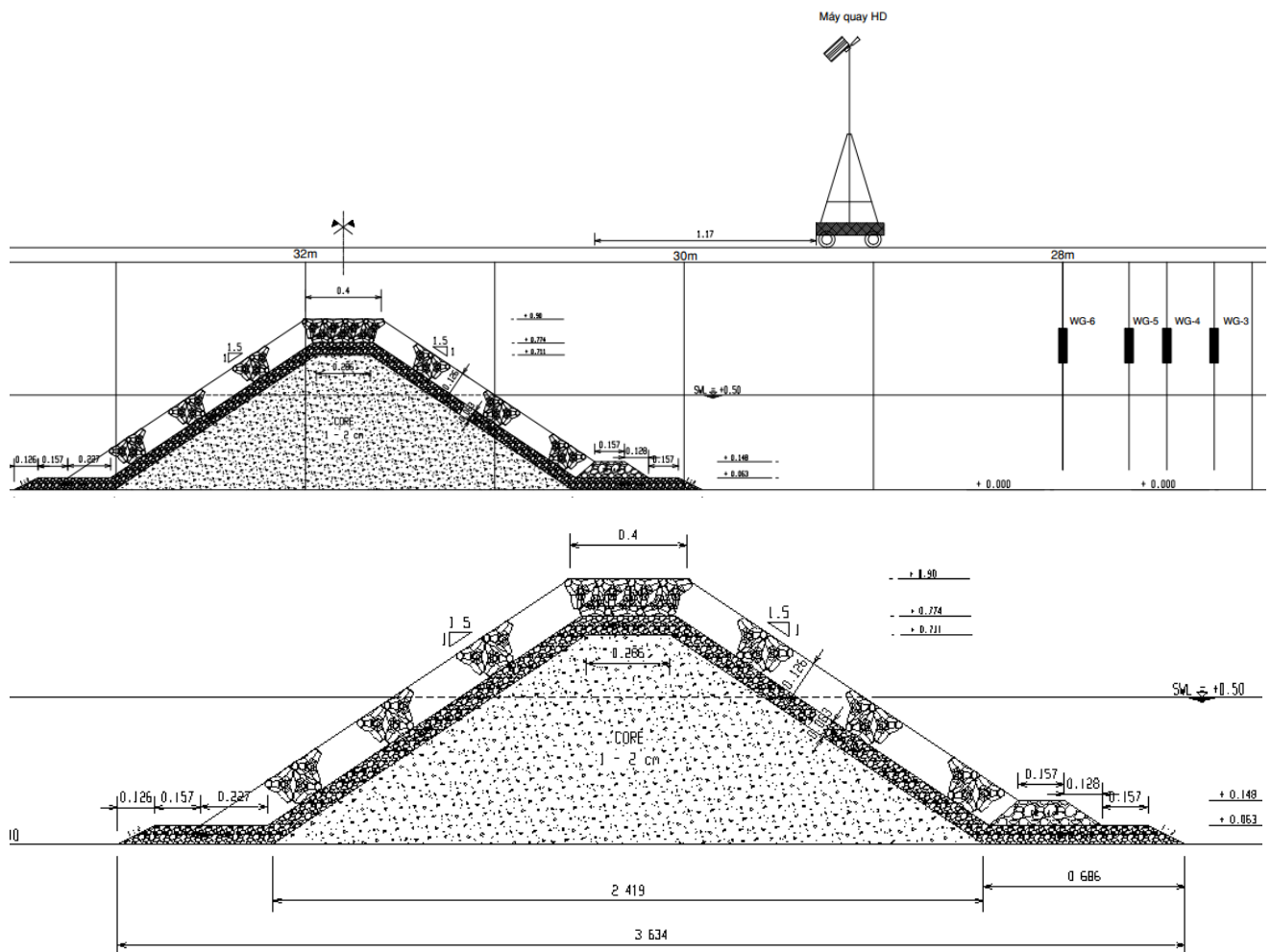
+ Độ rỗng lớp phủ thiết kế: $56,5\%$;

- Đá đã sàng lọc và chọn theo cấp phối: đá cấp phối 1-2cm, đá 2-3cm và đá 3-4cm cho các lớp (lõi đê, lớp giữa và cơ chân) và được sơn theo các màu khác nhau để dễ phân biệt;

Đối với chuỗi thí nghiệm nghiên cứu độ bền kết cấu, các mô hình khối phủ có gắn các thiết bị đo (instrumented RAKUNA-IV, gọi tắt là i-RAK) đã được chế tạo với phần thân bằng bê tông; phần mũ và phần cảm biến lực (dạng trụ tròn) được chế tạo bằng vật liệu nhôm, trong đó thiết bị cảm biến lực (load cell) có dán thêm các dây điện trở (strain gauge) xung

quanh và đặt vào bên trong mô hình khối phủ (xem cấu tạo mô hình khối phủ ở Hình 3.6), gắn với hệ thống dây dẫn tín hiệu đến thiết bị đo động SDA Dynamic Stress Measurement (mã hiệu 830A & 830C) (xem Hình A.12) và bộ phần mềm thu nhận và xử lý tín hiệu đo Signal Express của hãng NI – National Instrument (xem Hình A.11 trong Phụ lục A của luận án).

Đối tượng của các thí nghiệm độ bền là các mô hình khối phủ có gắn cảm biến i-RAK (được đánh số i-RAK1 và i-RAK2) xếp trên mái phía biển của đê chắn sóng bị xoay lắc khi chịu tác động trực tiếp của sóng. Các thí nghiệm được tiến hành với các cấu kiện có gắn cảm biến điện trở mã hiệu FLA-5 của hãng Tokyo Sokki Kenkyujo (xem Hình A.9 và A.10).



Hình 2.7 Mặt cắt ngang đê và bố trí mô hình thí nghiệm trong máng sóng

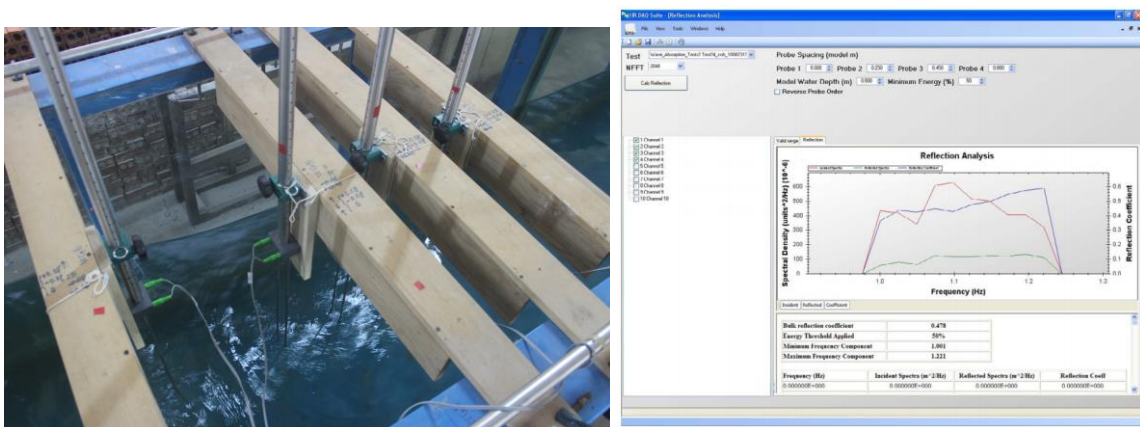
2.3.3.4 Bố trí các thiết bị đo

(1) Hệ thống đầu đo sóng và bộ thu nhận-xử lý số liệu sóng

Bốn đầu đo sóng (loại điện dung) được bố trí phía trước đê ở các khoảng cách 0,25 – 0,20 – 0,35m nhằm phân tách sóng phản xạ với sóng tới theo phương pháp của Zelt và Skjelbreia (1992) (xem Hình 2.8. Tín hiệu từ các đầu đo sóng được truyền trực tiếp đến và lưu trữ trong hệ thống đầu thu HR Wallingford và máy tính chuyên dụng. Các bước hiệu chỉnh đầu đo, thu nhận và xử lý số liệu sóng được tiến hành trong bộ phần mềm HR-DAQ (Data Acquisition and Analysis Software) của HR Wallingford (xem Hình 2.9). Các kết quả phân tích ổn định được thực hiện bằng công cụ Excel và phần mềm MatLab.

(2) Hệ thống máy quay và máy ảnh

Để phục vụ cho việc phân tích và đánh giá độ ổn định của khối phủ, trong quá trình thí nghiệm sử dụng 3 camera tốc độ cao đặt tại 3 vị trí cố định, một camera đặt ở bên trên phía trước đê, một camera đặt vuông góc với tường kính của máng sóng để ghi lại toàn bộ quá trình chuyển động của khối phủ và một camera được đặt xa vuông góc với trục máng tại vị trí thí nghiệm để ghi lại toàn cảnh sóng đến và tương tác với các cấu kiện RAKUNA-IV trong suốt quá trình thí nghiệm. Ngoài ra đề tài còn sử dụng thêm máy ảnh để chụp và ghi lại chuyển động của các khối phủ khi cần.



Hình 2.8 Hệ thống phân tích sóng phản xạ trong bộ phần mềm thu nhận và xử lý số liệu HR DAQ của HR Wallingford

Các khối phủ còn được sơn và xếp thành bốn dải màu khác nhau: trắng-xanh-vàng đỏ (xem Hình 2.10) để có thể dễ dàng theo dõi sự dịch chuyển của các cấu kiện ở các khu vực khác nhau trên mái đê. Dựa vào mặt cắt ngang mô hình đê, kích thước hình học của máng sóng và mật độ yêu cầu khi xếp các mô hình cấu kiện RAKUNA-IV (block clearance) là 0,105m, cũng như sau nhiều lần xếp thử trên mái cứng, nhìn bên ngoài máng, tổng số cấu kiện RAKUNA-IV trên mô hình đê thí nghiệm đã được xác định là 493 cấu kiện (= 221 mái trước + 51 đỉnh + 221 mái sau).



Hình 2.9 Bộ phần mềm HR-DAQ của HR Wallingford



(a)

(b)

Hình 2.10 Các cấu kiện ở các vị trí khác nhau trên mái có màu sơn khác nhau: vàng-trắng-đỏ (theo chiều từ trên đỉnh xuống chân mái)

(a) Ảnh chụp mái bê tông trước khi thí nghiệm;

(b) Ảnh chụp mái bê tông sau khi thí nghiệm;

(3) Bố trí thí nghiệm nghiên cứu độ bền kết cấu

Theo các cơ sở đã phân tích ở mục 2.1.2.2 của luận án, các trường hợp vị trí đặt cấu kiện thí nghiệm khác nhau cũng như các loại thí nghiệm khác nhau được minh họa ở Hình 2.11 dưới đây.



Hình 2.11 Các vị trí đo trên mái trong 3 trường hợp: ngang mức nước (a), trên dưới mực nước một khoảng H_s (b) và trên dưới mực nước một khoảng $0,5H_s$ (c)

2.4 Thiết lập mô hình toán nghiên cứu độ bền của khối phủ RAKUNA-IV

Các tham số như E_a và n_E trong công thức (2-30) và (2-31) đã được xác định thông qua các giá trị ứng suất được mô phỏng theo các phương trong mô hình ANSYS Mechanical APDL. Ngoài ra, mô hình ANSYS cũng đã được sử dụng trong nghiên cứu của luận án để tính chuyển ứng suất đã đo đạc được thông qua các lá điện trở được dán trên lõi cảm biến bằng nhôm ra mặt ngoài của khối phủ RAKUNA-IV nguyên dạng tại vị trí bất lợi nhất về mặt độ bền.

2.4.1 Giới thiệu phần mềm ANSYS Mechanical APDL [47]

ANSYS Mechanical APDL (ANSYS Parametric Design Language hay Ngôn ngữ thiết kế dạng tham số) là một trong những mô đun chính của phần mềm ANSYS có dạng ngôn ngữ lập trình FORTRAN, cung cấp đầy đủ các chức năng như tham số, hàm, véc tơ, ma trận, lặp, v.v...

ANSYS Mechanical APDL là phần mềm mô phỏng tương tác đa môi trường cung cấp một công cụ phân tích kết hợp các mô đun như tính toán kết cấu, vật liệu mới, nhiệt, động lực học dòng chảy, âm học và điện từ; với giao diện nâng cao, cho phép người dùng tham số hóa cũng như kiểm soát nhiều hơn các biến đầu vào. Đây là phần mềm rất cần thiết cho các bài toán mô phỏng phức tạp hay có quy mô lớn.

ANSYS Mechanical APDL có thể thích hợp cho các bài toán như sau:

- (1) Mô hình phức tạp;
- (2) Mô hình cần chỉnh sửa;
- (3) Giải bài toán lặp;

(4) Tạo các module thông dụng;

(5) Trao đổi thông tin;

2.4.2 Sử dụng ANSYS Mechanical APDL trong nghiên cứu độ bền của khối phủ

2.4.2.1 Giới thiệu chung

Cùng với các thí nghiệm mô hình vật lí của đê chắn sóng đá đổ trong máng sóng, đề tài nghiên cứu cũng sử dụng mô hình toán ANSYS Mechanical APDL để mô phỏng khối phủ RAKUNA-IV dạng nguyên khối và khối phủ RAKUNA-IV đã điều chỉnh để gắn thêm lá điện trở và cảm biến áp lực (mô hình i-RAK) (xem Hình 2.9).

Trong nghiên cứu của luận án, mô hình ANSYS Mechanical APDL đã được sử dụng để:

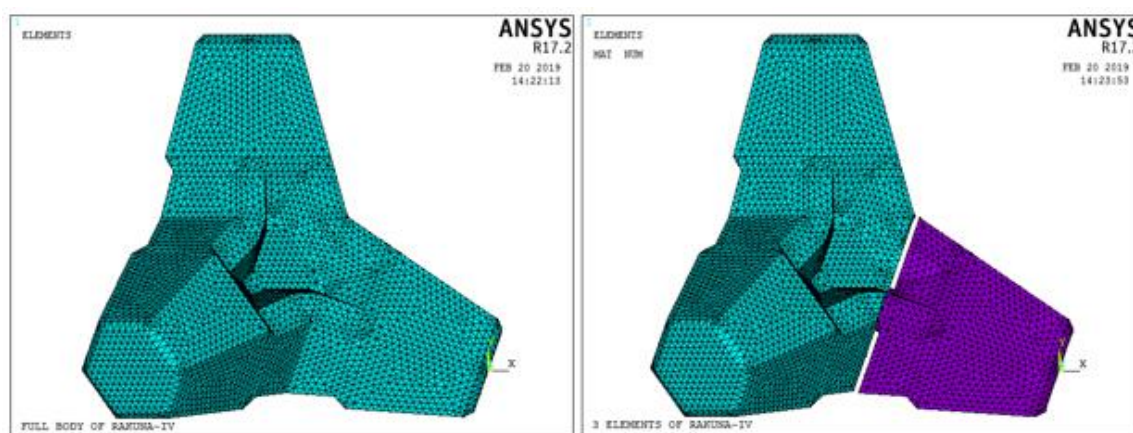
- (1) Tính toán và kiểm tra tần số dao động riêng của mô hình i-RAK để kiểm tra khả năng xảy ra hiện tượng cộng hưởng, tức là đảm bảo tần số dao động riêng khác với tần số đo đạc (sampling frequency) đã chọn và đảm bảo các kết quả đo đạc ứng suất sử dụng lá điện trở và cảm biến áp lực gắn trong mô hình khối phủ là chính xác và đáng tin cậy;
- (2) Mô phỏng trường ứng suất của khối phủ RAKUNA-IV dạng nguyên khối và khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) khi chịu các tải trọng tiêu chuẩn; trích xuất các giá trị ứng suất tại các vị trí tương ứng với mô hình khối phủ được sử dụng trong mô hình vật lí;
- (3) Chuyển đổi các giá trị ứng suất pháp đã đo đạc được tại lõi cảm biến trong mô hình i-RAK ra bề mặt của khối phủ bê tông nguyên dạng tại vị trí bất lợi nhất về mặt độ bền, từ đó xác định giá trị ứng suất tăng thêm cũng như ứng suất tổng cộng lớn nhất phát sinh tại đây và dựa trên các giá trị cho phép về cường độ chịu kéo theo tiêu chuẩn để kiểm tra và đánh giá độ bền của khối phủ;
- (4) Xác định mô đun đàn hồi biểu kiến (E_a) của mô hình thí nghiệm có gắn cảm biến (i-RAK) dựa theo các kết quả mô phỏng trường ứng suất cho đồng thời 2 loại mô hình thí nghiệm nguyên khối và mô hình thí nghiệm có gắn cảm biến với cùng điều kiện thí nghiệm và ngoại lực tác dụng, kết hợp với định luật Hooke khối [6] để xây dựng biểu thức xác định mô đun đàn hồi theo các giá trị ứng suất phát sinh theo phương gia tải (ở đây là phương thẳng đứng trong nghiên cứu của luận án). Từ giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến này, có thể xác định được tỉ lệ mô đun đàn hồi (n_E) tương ứng theo công thức (2-28); khi đó có thể xác định được giá trị ứng suất tổng cộng lớn nhất phát sinh tại bề mặt khối phủ và từ đó có thể kiểm tra và đánh giá độ bền của khối phủ RAKUNA-IV;

2.4.2.2 Thiết lập mô hình thí nghiệm trong ANSYS Mechanical APDL

Hai mô hình khối phủ đã được xây dựng trong mô hình ANSYS bao gồm: mô hình RAKUNA-IV dạng nguyên khối bằng bê tông và mô hình RAKUNA-IV đã được điều chỉnh với một đầu cánh cùng một lõi cảm biến bằng nhôm có dán các lá điện trở (mô hình i-RAK) tại vị trí mặt cắt giao tuyến giữa phần thân và phần cánh của khối phủ (xem Hình 2.12).

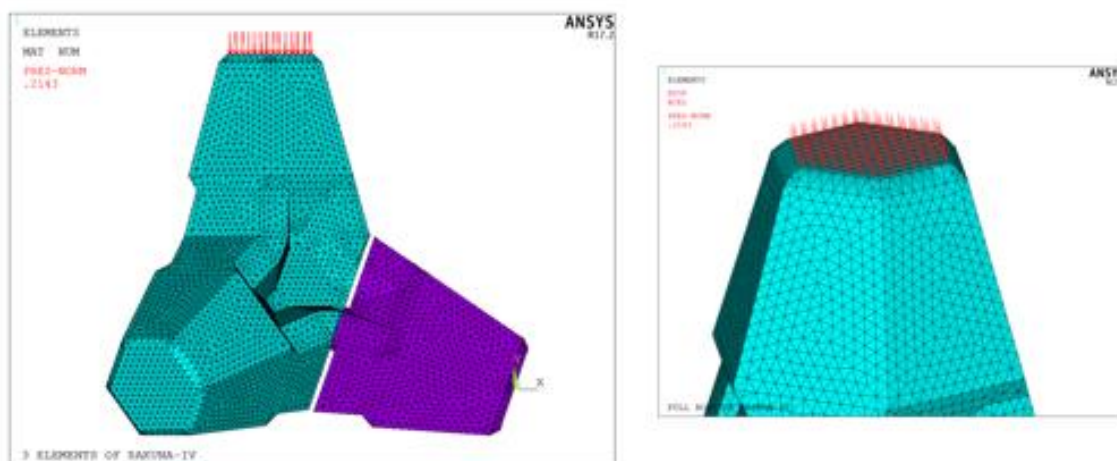
Các thông số đầu vào khác của mô hình thí nghiệm như sau:

- Phương gia tải: thẳng đứng (phương y);
- Dạng ngoại lực tác dụng: lực phân bố đều trên mặt đỉnh của 2 loại khối phủ;



(a)

(b)

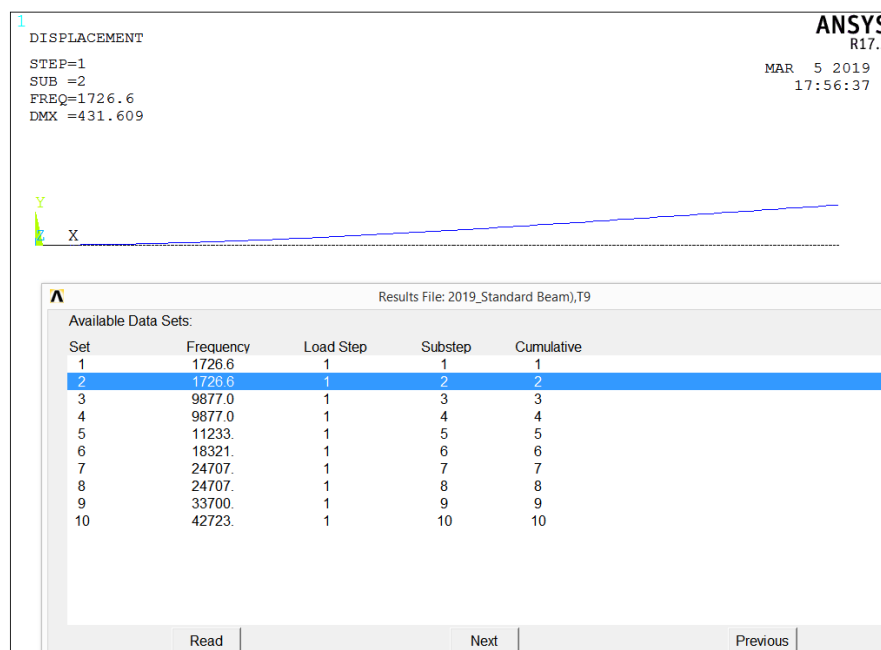


(c)

Hình 2.12 Thiết lập mô hình tính toán với lưới phần tử hữu hạn cho các loại khối phủ dạng nguyên khối (a) và dạng đã điều chỉnh để gắn cảm biến (b) với các ngoại lực tác dụng dạng phân bố đều trên mặt đỉnh (c) trong mô hình ANSYS Mechanical APDL

2.4.2.3 Tính toán tần số dao động riêng của mô hình i-RAK và kiểm tra hiện tượng cộng hưởng

Để tránh hiện tượng cộng hưởng động lực, tần số dao động riêng của lõi cảm biến bằng nhôm được đặt trong mô hình khối phủ sử dụng cho các thí nghiệm về độ bền kết cấu cần đảm bảo nhỏ hơn so với tần số lấy mẫu trong quá trình đo đặc ứng suất, qua đó đảm bảo độ chính xác và tin cậy của các số liệu thí nghiệm về độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV. Giá trị tần số dao động riêng của lõi cảm biến đã được xác định bằng mô đun Modal Analysis trong mô hình ANSYS Mechanical APDL, trong đó cảm biến áp lực dạng lõi nhôm được mô phỏng và tính toán như một dầm có ngàm với mặt cắt hình tròn trong ANSYS. Các kết quả tính toán từ mô hình ANSYS cho giá trị tần số dao động riêng ứng với trường hợp nghiên cứu là $f = 1727 \text{ Hz}$ (xem Hình 2.13), nhỏ hơn rất nhiều so với giá trị tần số lấy mẫu (sampling frequency) $f = 5000 \text{ Hz}$ đã được lựa chọn trong phần mềm thu nhận tín hiệu NI Signal Express và do đó đảm bảo không có hiện tượng cộng hưởng xảy ra trong quá trình đo đặc các giá trị ứng suất phát sinh thông qua các lá điện trở được dán trên bề mặt lõi cảm biến, và các số liệu đo đặc đã thu được từ các chuỗi thí nghiệm về độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV đảm bảo độ tin cậy và chuẩn xác. Khi đó các bộ số liệu này đã được tác giả tiếp tục phân tích và xử lý để xác định các tham số cần thiết nhằm thiết lập được công thức kinh nghiệm về các giá trị ứng suất trong khối phủ bị xoay lắc dưới tác động của sóng.



Hình 2.13 Xác định tần số dao động riêng của cảm biến trong khối phủ thí nghiệm

2.4.2.4 Xác định hệ số chuyển đổi cho các giá trị ứng suất đo đạc được bằng cảm biến

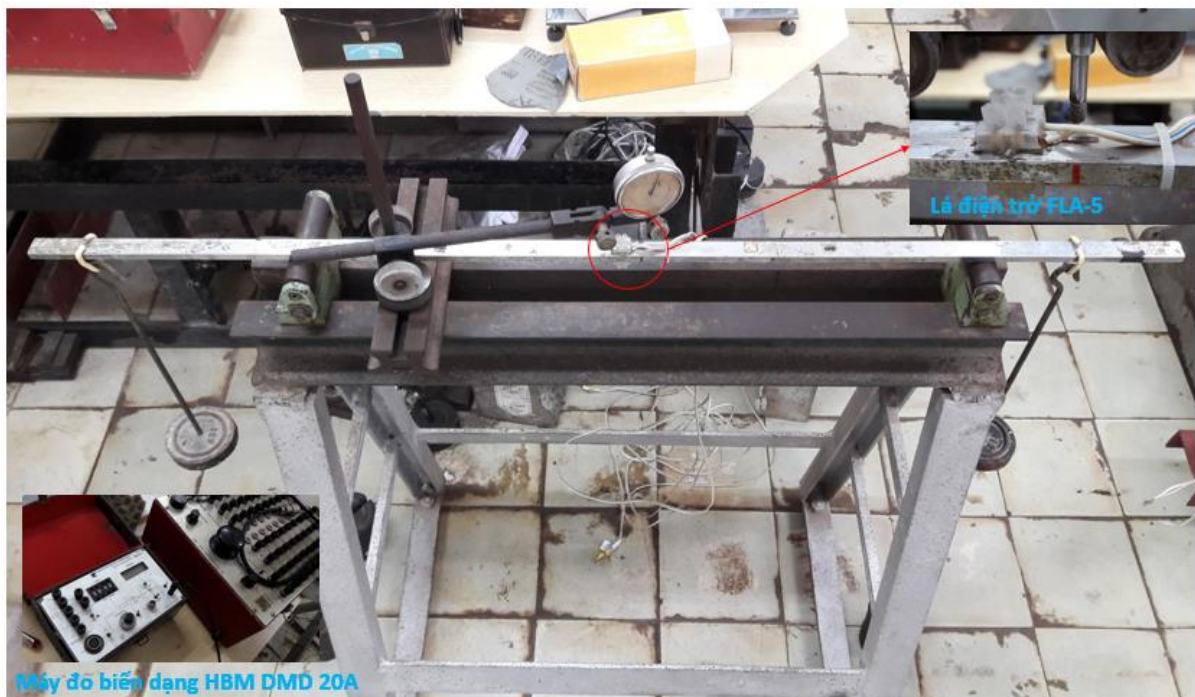
Để xác định hệ số chuyển đổi điện thế của các tín hiệu thu được sang thành giá trị ứng suất, tác giả đã tiến hành thí nghiệm với thiết bị dầm tiêu chuẩn được tiến hành trong phòng thí nghiệm Sức bền-Kết cấu của trường Đại học Thủy lợi.

Dầm tiêu chuẩn có các thông số kỹ thuật như sau:

- Vật liệu: thép;
- Chiều dài: 100 cm;
- Chiều rộng: 1,85 cm;
- Chiều dày: 0,7 mm;
- Vị trí của 2 gối đỡ: 20 cm tính từ 2 đầu của dầm;

Lá điện trở FLA-5 (cùng loại với các lá điện trở được dán trên lõi cảm biến của các khối phủ i-RAK trong các thí nghiệm độ bền) của hãng Tokyo Sokki Kenkyujo đã được dán ở vị trí giữa dầm (xem Hình 2.14).

Dầm tiêu chuẩn bằng thép được gia tải bằng các quả nặng tiêu chuẩn có khối lượng là 1kg kết hợp với máy đo biến dạng HBM DMD 20A để xem xét mức độ thay đổi của biến dạng của các lá điện trở được dán trên bề mặt của dầm.



Hình 2.14 Dầm tiêu chuẩn được sử dụng để xác định hệ số chuyển đổi cho các giá trị ứng suất đo đạc

Từ thí nghiệm với dầm tiêu chuẩn và các quả nặng tiêu chuẩn kết hợp với máy đo biến dạng, hệ số chuyển đổi đã xác định được là 1 mV sẽ ứng với 10^{-6} biến dạng. Với giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu nhôm sử dụng cho cảm biến gắn trong các mô hình khối phủ RAKUNA-IV là $E_n = 7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 = 70000 \text{ MPa}$ [6], hệ số chuyển đổi từ tín hiệu điện thế thu được trong các chuỗi thí nghiệm ra các giá trị ứng suất tương ứng được xác định là $1 \text{ mV} = 70 \text{ KPa}$ hay $1 \text{ V} = 70 \text{ MPa}$. Giá trị hệ số chuyển đổi này sẽ được sử dụng trong việc phân tích số liệu thí nghiệm bằng phần mềm MatLab để xác định các giá trị ứng suất tương ứng.

2.5 Kết luận chương 2

Ổn định thủy lực cũng như độ bền của các khối phủ bê tông nói chung và khối phủ RAKUNA-IV trên mái dè chắn sóng đá đổ nói riêng khi chịu tác động của sóng phụ thuộc nhiều yếu tố và tham số. Luận án đã sử dụng phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng kết hợp với việc mô phỏng bằng mô hình toán theo phương pháp phần tử hữu hạn để xác định các hệ số thực nghiệm cũng như thiết lập các công thức thực nghiệm về ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV.

Chương 2 của luận án đã trình bày việc phân tích các tham số chi phối cũng như việc xây dựng mô hình vật lý trong máng sóng theo tiêu chuẩn tương tự Froude về mặt động học và động lực học về các tham số sóng, cũng như các tham số độ dài, diện tích, thể tích và thiết lập mô hình toán phục vụ nghiên cứu. Để xây dựng mô hình vật lý và thiết lập mô hình toán, tác giả đã áp dụng phép phân tích thứ nguyên Buckingham để xác định được mối quan hệ giữa các tham số chi phối làm cơ sở để thiết kế kích bản thí nghiệm trên mô hình vật lý cũng như mô phỏng bằng mô hình toán.

Để xác định được tỉ lệ của ứng suất trong khối phủ, cần thiết phải xác định giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến thông qua việc kết hợp mô phỏng thông qua mô hình toán (ANSYS) dạng phần tử hữu hạn để xác định tỉ lệ mô đun đàn hồi tương ứng do mô hình khối phủ thí nghiệm độ bền đã có sự điều chỉnh về mặt kết cấu và vật liệu để gắn thêm các cảm biến áp lực và các lá điện trở nhằm đo đạc số liệu về ứng suất - biến dạng.

Trong chương tiếp theo, tác giả sẽ trình bày và phân tích các kết quả thí nghiệm về ổn định thủy lực và độ bền của các khối phủ RAKUNA-IV xếp rôi 2 lớp trên mái dè chắn sóng đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ.

CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH VÀ ĐỘ BỀN CỦA KHỐI PHỦ RAKUNA-IV

Chương 2 của luận án đã trình bày việc phân tích các tham số chi phối cũng như việc xây dựng mô hình vật lý trong máng sóng và thiết lập mô hình toán phục vụ nghiên cứu. Trong chương này, tác giả sẽ trình bày và phân tích các kết quả thí nghiệm về ổn định thủy lực và độ bền của các khối phủ RAKUNA-IV xếp rôi 2 lớp trên mái dề chắn sóng đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ (có xét đến cơ chế mất ổn định dạng xoay lật).

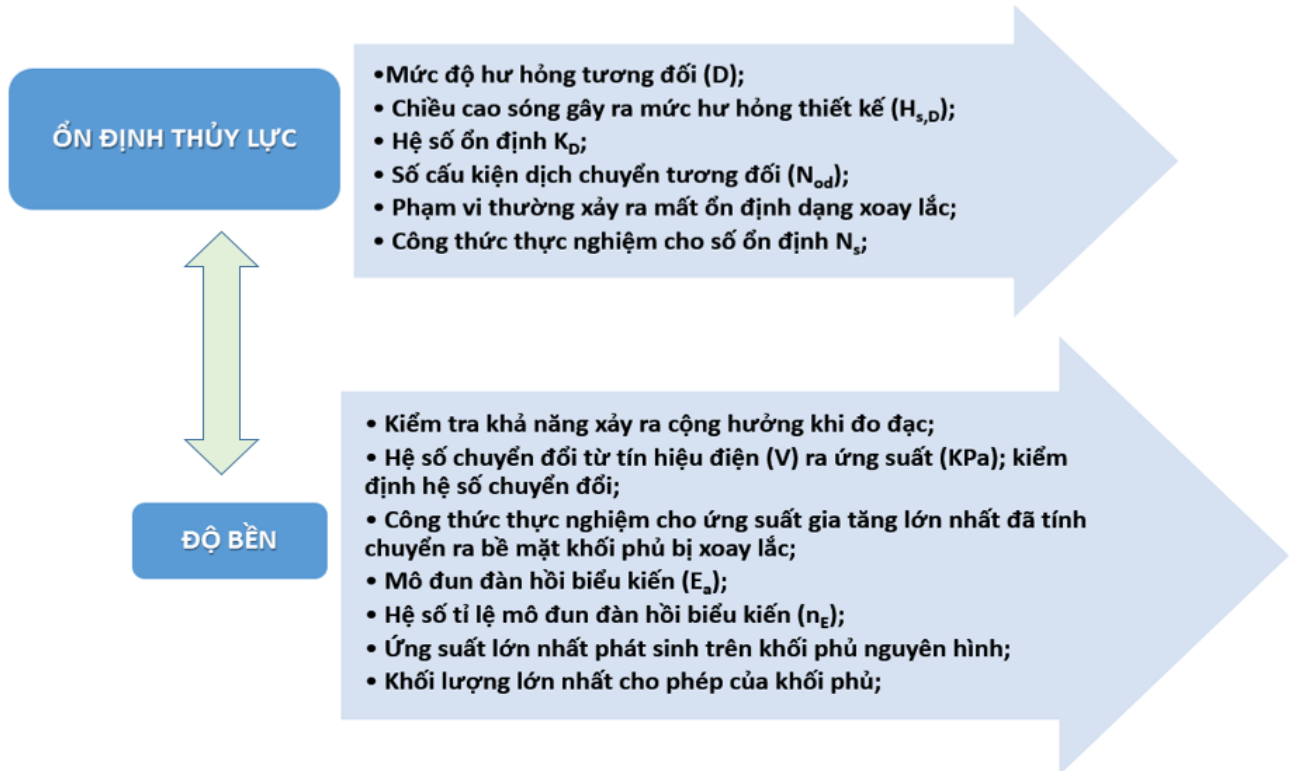
3.1 Nội dung nghiên cứu

Trình tự nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV được trình bày trong Bảng 3.1.

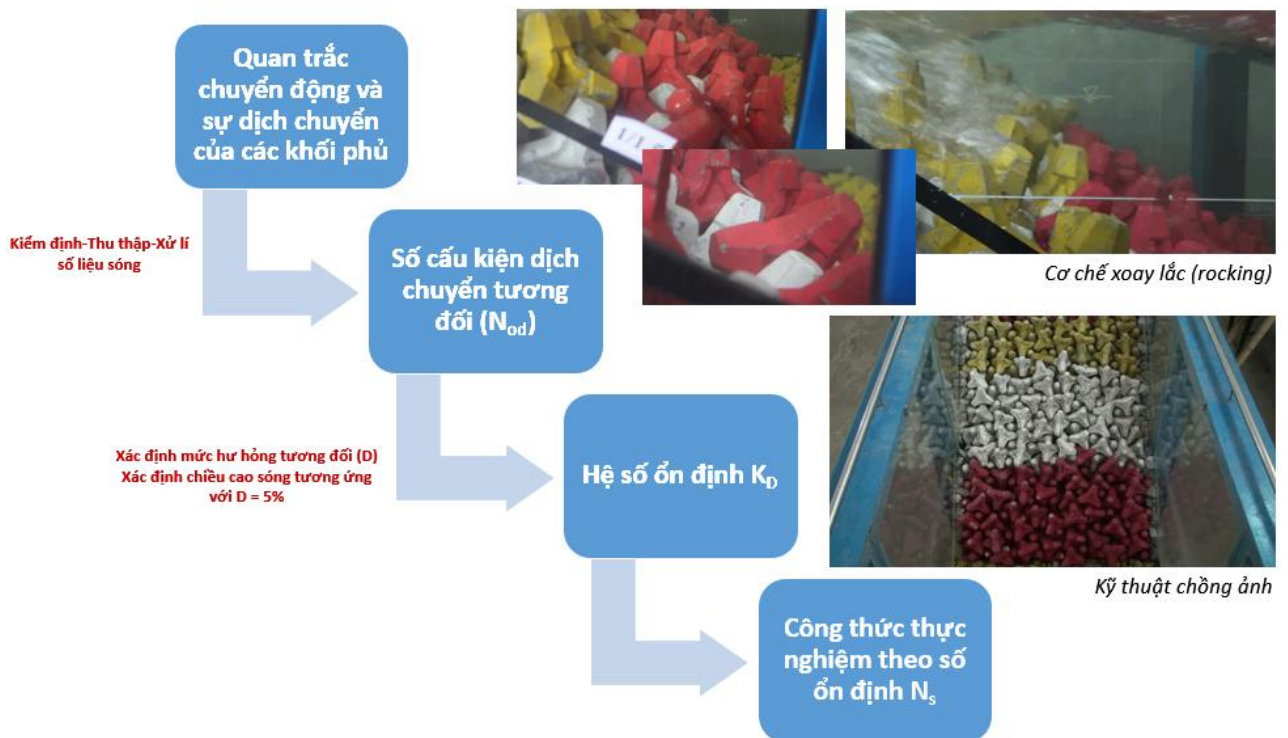
Bảng 3.1 Trình tự các bước nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV

TT	Nội dung nghiên cứu	Mục đích
(1)	Xác định mức độ hư hỏng tương đối D và chiều cao sóng tính toán tương ứng với mức hư hỏng $D = 5\%$;	Xác định giá trị hệ số ổn định K_D và so sánh với tiêu chuẩn
(2)	Xác định công thức tính ổn định thủy lực theo số ổn định (N_s) có xét đến cơ chế xoay lật;	Đưa ra công thức thực nghiệm cho ổn định thủy lực
(3)	Vị trí xuất hiện ứng suất tăng thêm lớn nhất;	Khuyến nghị vị trí bất lợi nhất
(4)	Xác định hệ số chuyển đổi từ số liệu thí nghiệm sang các giá trị ứng suất tăng thêm (xung kích) lớn nhất sử dụng dầm tiêu chuẩn có gắn các lá điện trở;	Tính toán chuyển đổi từ số liệu thí nghiệm dạng điện thế ra ứng suất trên lõi cảm biến
(5)	Thiết lập mô hình tính toán cho khối phủ nguyên hình và i-RAK trong ANSYS Mechanical APDL;	Tính toán mô đun đàn hồi biểu kiến, tính đổi các giá trị áp lực
(6)	Thí nghiệm với dầm tiêu chuẩn và các quả nặng tiêu chuẩn (1 kg);	Kiểm định mô hình ANSYS để đảm bảo kết quả đủ tin cậy
(7)	Xây dựng công thức thực nghiệm về độ bền theo ứng suất tăng thêm lớn nhất phát sinh trên bề mặt khối phủ do bị xoay lật dưới tác động của sóng;	Đưa ra công thức kinh nghiệm về ứng suất tăng thêm lớn nhất
(8)	Xác định mô đun đàn hồi biểu kiến (E_a) và hệ số tỉ lệ tương ứng (n_E);	Xác định hệ số tỉ lệ cho ứng suất lớn nhất phát sinh trên bề mặt khối phủ
(9)	Xác định tần số dao động riêng của mô hình cấu kiện có gắn cảm biến sử dụng mô hình ANSYS;	Kiểm tra để đảm bảo không xảy ra hiện tượng cộng hưởng;
(10)	Xác định ứng suất lớn nhất phát sinh trên bề mặt khối phủ nguyên hình và khối lượng lớn nhất cho phép của khối phủ RAKUNA-IV mà chưa cần phải bố trí cốt thép ứng với từng trường hợp;	Khuyến nghị các giá trị cho phép về khối lượng lớn nhất ứng với điều kiện thiết kế

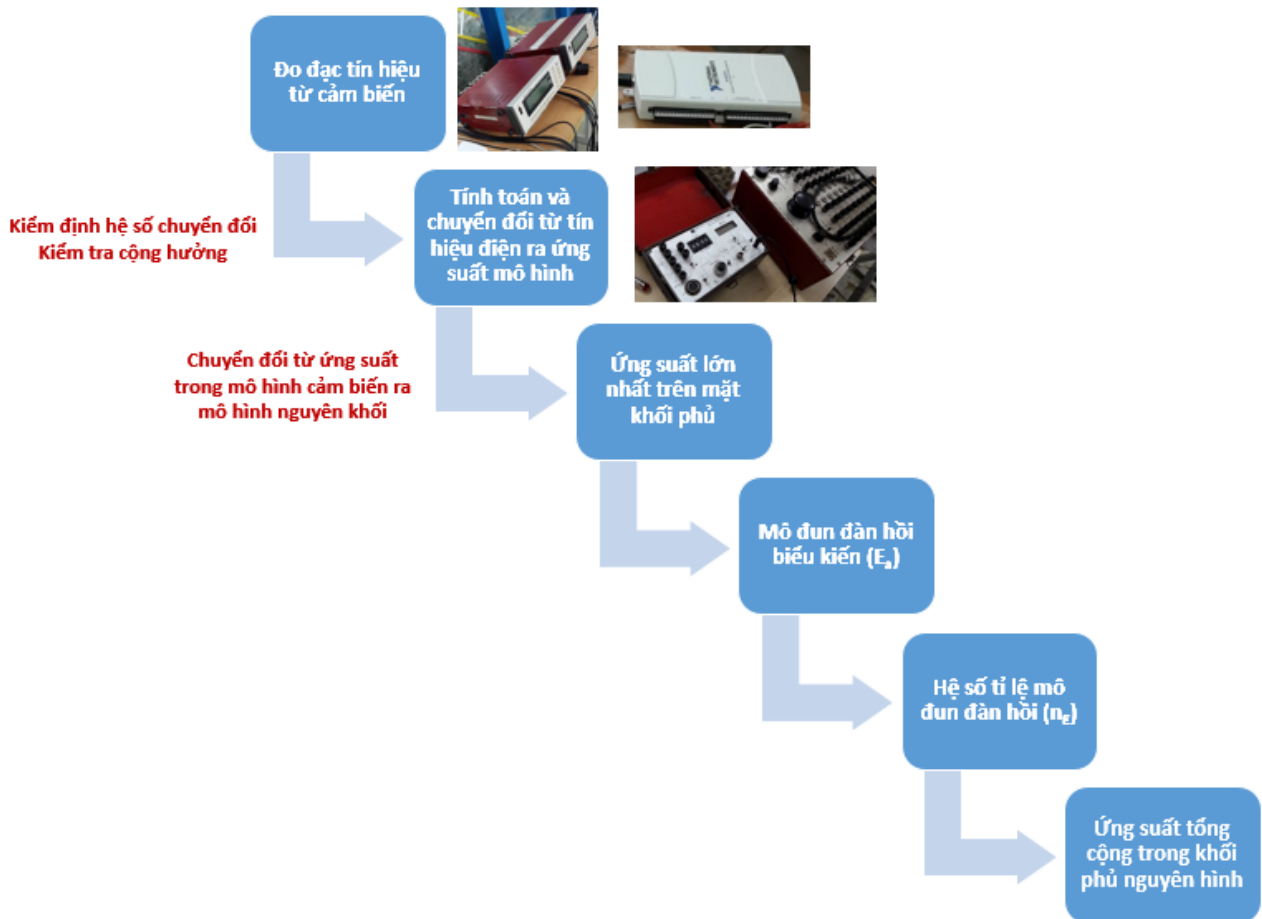
Các sơ đồ khối của nghiên cứu về ổn định thủy lực và độ bền trong luận án được trình bày ở Hình 3.1, 3.2 và 3.3 dưới đây.



Hình 3.1 Mô tả chung các nghiên cứu về ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV



Hình 3.2 Sơ đồ khối của nghiên cứu ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV xếp rôi 2 lớp trên mái dề đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ



Hình 3.3 Sơ đồ khối của nghiên cứu độ bền của khối phủ RAKUNA-IV xếp rôi 2 lớp trên mái phía biển của đê đá đổ trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ

3.1.1 Xây dựng các kịch bản và trình tự thí nghiệm

Hiện tượng mất ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ (do cơ chế xoay lắc) thường xảy ra xung quanh giá trị chiều cao sóng thiết kế ứng với kích cỡ khối phủ xem xét (H_D). Do vậy, để có cơ sở xây dựng các kịch bản sóng thí nghiệm, đề tài đã sử dụng công thức Hudson theo tiêu chuẩn SPM 1984 với hệ số K_D tạm lấy bằng 10,8 cho đê đá đổ mái nghiêng để tính giá trị chiều cao sóng H_D như sau [3]:

$$H_D \approx 0,787 \Delta D_n (K_D \cot g \alpha)^{1/3} \quad (3-1)$$

Trong phạm vi từ $0,5H_D$ (ít hư hỏng) đến $1,5H_D$ (hư hỏng nhiều), 6 kịch bản chiều cao sóng đã được xác định. Mỗi chiều cao sóng được kết hợp với các chu kỳ sóng (s_0) khác nhau là 0,02; 0,03; 0,04 và 0,05. Do điều kiện thí nghiệm là sóng không vỡ, độ sâu nước được lấy ít nhất bằng $2,5H_{m0}$ (H_{m0} là chiều cao sóng tại chân công trình) để đảm bảo không xảy ra hiện tượng sóng vỡ trước công trình. Mực nước trong máng là $d = 50\text{cm}$ cho các kịch bản

chiều cao sóng là $H = 0,10\text{m}$, $0,12\text{m}$ và $0,15\text{m}$ và $d = 55\text{cm}$ cho các kịch bản chiều cao sóng là $H = 0,17\text{m}$, $0,20\text{m}$ và $0,21\text{m}$ (xem Bảng A.2).

Với mục đích nghiên cứu về ổn định của khối phủ thì một thí nghiệm được coi là hoàn chỉnh khi đạt tới 3000 con sóng [1], nghĩa là thời gian thí nghiệm tối đa cho một kịch bản ổn định là 3000 lần giá trị T_p . Đối với các thí nghiệm nghiên cứu độ bền kết cấu, số con sóng thí nghiệm là khoảng 300 (con) ứng với các kịch bản sóng khác nhau [38]. Vị trí của các mô hình khối phủ i-RAK ở trên mái bao gồm: ngang mực nước thiết kế (LOC-1), trên dưới mực nước một khoảng bằng giá trị chiều cao sóng tính toán (LOC-2) và trên dưới mực nước một khoảng bằng $\frac{1}{2}$ giá trị chiều cao sóng tính toán (LOC-3), ngoài ra còn xét thêm trường hợp các mô hình i-RAK được đặt ở lớp 1 (trên bề mặt lớp giữa) (LOC-4), trường hợp lặn trên mái xuống chân và trường hợp thả rơi trong nước (điều kiện thi công). Trong quá trình thí nghiệm, một số trường hợp được chạy nhắc lại (Run 2) để kiểm tra độ tin cậy và chính xác của kết quả chạy trước (Run 1).

Các kịch bản thí nghiệm trên mô hình đê chắn sóng được trình bày trong Bảng A.5 phần Phụ lục của luận án. Trình tự và các công tác triển khai các thí nghiệm theo kịch bản đã đưa ra được mô tả trong Bảng A.6. Thời gian chuẩn bị từ tháng 4/2017 đến tháng 5/2017. Thời gian tiến hành thí nghiệm chính thức từ tháng 5/2017 đến tháng 9/2017.

3.1.2 Các tham số và phương pháp đo đạc

3.1.2.1 Thí nghiệm nghiên cứu ổn định thủy lực

a. Các tham số đo đạc

Các tham số đo đạc trong các thí nghiệm nghiên cứu ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ bao gồm:

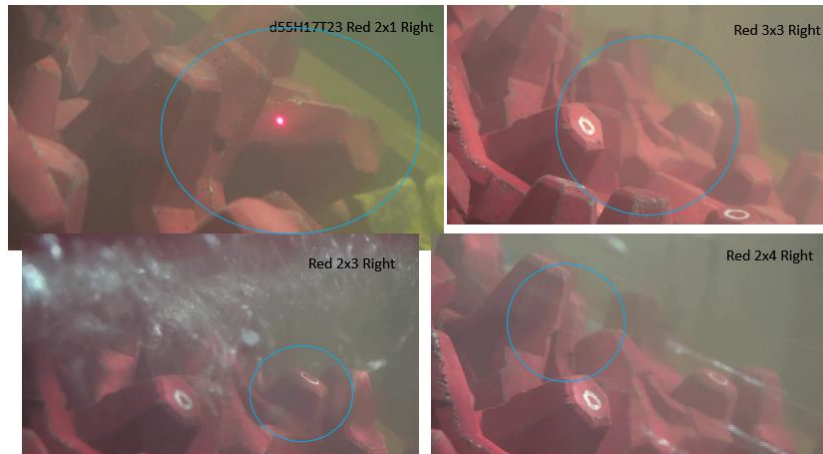
- Các tham số sóng: chiều cao sóng, chu kỳ sóng;
- Sự dịch chuyển và xoay lắc của các khối phủ;

b. Phương pháp thí nghiệm và đo đạc

Phân tích và đánh giá ổn định thủy lực sử dụng phương pháp chồng ảnh, phân tích ảnh trong quá trình thí nghiệm. Kết quả đo đạc trong quá trình thí nghiệm của luận án gồm các thông số sóng tại chân công trình và số khối dịch chuyển và xoay lắc. Trong đó:

- Thông số sóng được đo bằng cách sử dụng 04 đầu đo sóng bố trí phía trước chân công trình (các đầu đo này cũng được sử dụng để phân tách sóng phản xạ). Các đầu đo sóng được hiệu chỉnh và xác định hệ số chuyển đổi trước mỗi kịch bản thí nghiệm;

- Số khối dịch chuyển được đếm nhờ các phần mềm tách ảnh và chồng ảnh. Với thí nghiệm nào có kết quả nghi ngờ thì được chạy lại để loại trừ sai số.
- Số khối xoay lắc sẽ được quan sát trong cả quá trình thí nghiệm sử dụng bút chỉ có tia laser kết hợp với hệ thống máy quay cố định và máy ảnh cầm tay (xem Hình 3.4); có ghi chép nhật kí để lưu trữ và đối chiếu, kiểm tra khi cần.



Hình 3.4 Quan sát sự xoay lắc (rocking) của các khối phủ RAKUNA-IV sử dụng hệ thống máy quay đặt ở thành bên của máng sóng kết hợp với bút chỉ laser

3.1.2.2 Thí nghiệm nghiên cứu độ bền kết cấu

a. Các tham số đo đạc

Các đại lượng được quan sát đo đạc chủ yếu từ các thí nghiệm bao gồm tham số sóng trước chân đề, sự dịch chuyển của các khối phủ, các giá trị ứng suất phát sinh trong các khối phủ.

b. Phương pháp thí nghiệm và đo đạc

Dưới tác động của lực cơ học, trong môi trường chịu ứng lực (ứng suất) xuất hiện biến dạng. Sự biến dạng của các cấu trúc ảnh hưởng rất lớn tới khả năng làm việc cũng như độ an toàn khi làm việc của kết cấu chịu lực. Mặt khác giữa ứng suất và biến dạng có mối quan hệ với nhau, dựa vào mối quan hệ đó người ta có thể xác định được ứng suất khi đo biến dạng do nó gây ra. Có 2 phương pháp có thể được sử dụng để đo đạc ứng suất trong các mô hình khối phủ [2] [41]:

(1) Các lá điện trở được gắn ngoài mô hình khối phủ;

Các hạn chế của phương pháp này đó là các giá trị biến dạng có thể quá nhỏ để có thể thu được các giá trị ứng suất chính xác. Ngoài ra, một vấn đề khác khi sử dụng phương pháp này đó là yêu cầu phải bảo vệ các lá điện trở không bị hư hỏng trong suốt cả quá trình thí nghiệm.

(2) Các cảm biến tải trọng có gắn các lá điện trở được đặt bên trong mô hình khối phủ; các lá điện trở này được sắp xếp và bố trí phù hợp để có thể đo được các giá trị biến dạng và từ đó tính toán và xác định các giá trị ứng suất phát sinh trong và trên bề mặt khối phủ. Phương pháp này được sử dụng bởi Phòng thí nghiệm của Delft Hydraulics (Hà Lan) vào năm 1980, khi đó cảm biến được đặt bên trong các khối phủ Tetrapod để đo đạc các giá trị ứng suất uốn [48]. Ngoài ra, phương pháp này còn được áp dụng trong các nghiên cứu độ bền kết cấu của khối Dolos được thực hiện bởi Scott và cộng sự (1986, 1990), Anglin và cộng sự (1990), Markle (1990), Markle và Greer (1992) .

Đo biến dạng theo nguyên lý điện – ten xơ mét điện trở (đát-tric điện trở) là phương pháp đo biến dạng dài được dùng phổ biến hiện nay. Bộ thiết bị đo này gồm 2 bộ phận chính: máy đo và đầu đo. Máy đo được gọi là máy đo biến dạng, còn đầu đo thông dụng nhất là cảm biến điện trở. Đo biến dạng bằng phương pháp này cần phải sử dụng một tấm điện trở (strain gauge). Đầu đo điện trở kim loại có cấu tạo dạng lưới. Các lá điện trở này được dán bằng keo dán chuyên dụng CN Adhesive lên lõi trụ nhôm đóng vai trò như cảm biến lực (load cell) (xem Hình 3.5) và phủ bằng keo chống nước (xem Hình A.5). Trong nghiên cứu này, loại lá điện trở được sử dụng là FLA-5 của hãng Tokyo Sokki Kenkyujo, với các thông số được mô tả trong Hình A10 [49].

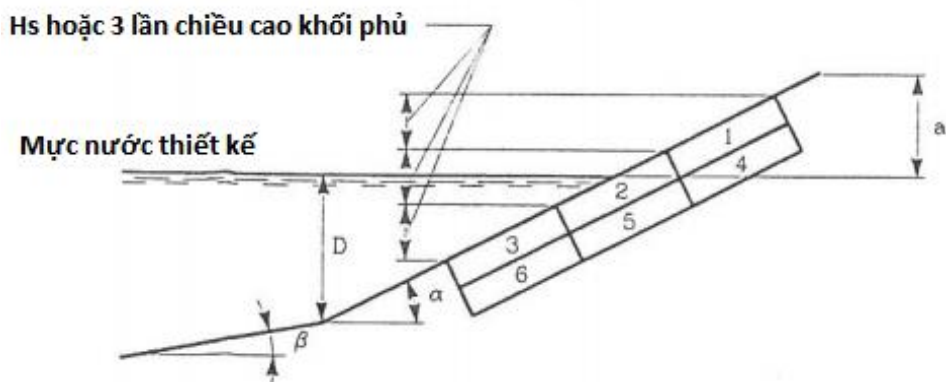
c. Vị trí đặt các khối phủ RAKUNA-IV có gắn cảm biến (i-RAK)

Ngoài tham số chiều cao sóng có nghĩa (H_s) thì giá trị chiều cao đặc tính (h) của khối phủ, ví dụ như 3 lần chiều cao của cấu kiện, cũng có thể được sử dụng để xác định phạm vi 6 điểm đặt khối phủ trên mái dốc của mô hình thí nghiệm (xem Hình 3.6). Trong cả 2 trường hợp thì phạm vi đã chỉ ra (từ 1 đến 6) trên mái dốc đã bao quát toàn bộ khu vực có thể phát sinh ứng suất lớn nhất trong các khối phủ [37], với điều kiện là các khối phủ này được đặt trên lớp giữa bằng vật liệu đá đổ thông thường. Trường hợp nếu lớp giữa được chế tạo bằng vật liệu có độ nhám thấp hơn nhiều lần thì các giá trị ứng suất tĩnh lớn ở các vị trí thấp hơn các khu vực 3 và 6 [37].

Ngoài ra, từ kết quả quan trắc các khu vực thường xảy ra sự xoay lắc (rocking) của các khối phủ trong các kịch bản thí nghiệm về ổn định thủy lực, các khối phủ thí nghiệm độ bền kết cấu i-RAK được bố trí đặt trong lớp phủ mái dề phía biển ứng với các kịch bản thí nghiệm khác nhau và bao gồm các vị trí như sau:



Hình 3.5 Cảm biến áp lực dạng lõi trụ nhôm (load cell) và các lá điện trở (strain gauge) áp dụng cho mô hình i-RAK



Hình 3.6 Đề xuất các tham số mặt cắt ngang, vật liệu và kết cấu [37]

- (1) Trên mực nước thiết kế một khoảng chiều cao sóng $+H_s$; lớp 2;
- (2) Trên mực nước thiết kế một khoảng chiều cao sóng $+H_s$; lớp 1;
- (3) Trên mực nước thiết kế một khoảng bằng $\frac{1}{2}$ chiều cao sóng $+0,5H_s$; lớp 2;
- (4) Trên mực nước thiết kế một khoảng bằng $\frac{1}{2}$ chiều cao sóng $+0,5H_s$; lớp 1;
- (5) Ngang mực nước thiết kế; lớp 2;
- (6) Ngang mực nước thiết kế; lớp 1;
- (7) Dưới mực nước thiết kế một khoảng bằng $\frac{1}{2}$ chiều cao sóng $-0,5H_s$; lớp 2;
- (8) Dưới mực nước thiết kế một khoảng bằng $\frac{1}{2}$ chiều cao sóng $-0,5H_s$; lớp 1;
- (9) Dưới mực nước thiết kế một khoảng chiều cao sóng $-H_s$; lớp 2;
- (10) Dưới mực nước thiết kế một khoảng chiều cao sóng $-H_s$; lớp 1;

- Thu thập và xử lý số liệu:

Các máy đo động SDA-830A và SDA-830C được sử dụng trong các thí nghiệm độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV (xem Hình A.12).

Các tham số được thiết lập gồm: SENSE = 1000 me; L.P.F = 30 Hz; R.O. = 1 V. Các kết quả thí nghiệm được hiển thị và ghi lại bằng bộ phần mềm NI Signal Express 2014 (xem Hình 3.10). 12 kênh đo ứng với 12 lá điện trở dán trên 2 mô hình thí nghiệm độ bền (i-RAK1 và i-RAK2, với 6 lá điện trở ứng với 6 mặt trên mỗi khối) được đánh số từ a₀₁ đến a₀₁₁ và được hiển thị bằng các màu khác nhau. Số mẫu đọc (Samples to Read) và tần suất ghi số liệu đo (Sampling Rate) lần lượt là 500 và 5000 Hz. Các kết quả đo đạc được từ các thiết bị này đã được tiếp tục phân tích và xử lý trong bộ phần mềm MabLab (xem Hình 3.11) để thiết lập các công thức thực nghiệm cần thiết.

3.2 Phân tích các kết quả thí nghiệm

Các số liệu thu được từ các thí nghiệm về ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV đã được phân tích và xử lý bằng các công cụ tính toán và phần mềm chuyên dụng để xác định các thông số đã xác định như trên bên cạnh các tham số sóng trước chân công trình.

3.2.1 Nghiên cứu ổn định của khối phủ RAKUNA-IV

3.2.1.1 Đánh giá mức độ hư hỏng của các khối phủ trên mái dè

a. Tổng số khối phủ dịch chuyển tương đối N_{od}

Tổng số khối phủ dịch chuyển tương đối N_{od} được tính toán thông qua việc xác định số khối bị dịch chuyển sau mỗi thí nghiệm. Các dạng dịch chuyển của cấu kiện gồm bật ra khỏi mái dè, trượt lấp chỗ, di chuyển quá một khoảng cách $0,5D_n$ và hiện tượng xoay lắc (rocking) có thể dẫn đến hiện tượng gãy vỡ của các cấu kiện;

Giá trị N_{od} phụ thuộc vào bề rộng mô hình (trong trường hợp thí nghiệm $B = 1\text{m}$) và đường kính danh nghĩa của khối thể hiện qua công thức sau [1]:

$$N_{od} = \frac{N_{o,mov}}{B / D_n} \quad (3-2)$$

với $N_{o,mov}$ - tổng số khối bị dịch chuyển theo các cơ chế hư hỏng xem xét.

$$N_{o,mov} = N_{o-s} + N_{o-out} + N_{o-r} \quad (3-3)$$

trong đó,

N_{o-s} và N_{o-out} - Số cấu kiện bị dịch chuyển dạng trượt hẳn (với khoảng cách lớn hơn $0,5D_n$) hoặc bị xoay khỏi vị trí ban đầu và số cấu kiện bị bật hẳn ra khỏi vị trí ban đầu một khoảng cách lớn hơn $2D_n$, cả 2 giá trị này đều được xác định bằng việc so sánh ảnh chụp mái dè trước và sau thí nghiệm kết hợp với phần mềm

tạo ảnh động GIF để phát hiện vị trí của các khối phủ bị dịch chuyển hay xoay lắc;

N_{o-r} - Số cấu kiện xoay lắc (rocking) quan sát được trong quá trình thí nghiệm và kiểm tra lại bằng các video đã quay bằng máy quay đặt phía bên cạnh thành máng; góc xoay cũng như khoảng cách dịch chuyển theo cơ chế xoay lắc có thể được xác định bằng việc chồng ảnh tách từ máy quay (với góc quay cố định) kết hợp với phần mềm tạo ảnh động GIF để xác định;

Tiêu chuẩn thiết kế cho dè chắn sóng là giá trị N_{od} không vượt quá giá trị 0,5 trong điều kiện tính toán ($N_{od} < 0,5$) [1].

Trong các kịch bản thí nghiệm nghiên cứu ổn định, trường hợp hư hỏng nghiêm trọng nhất xảy ra đối với lớp phủ là khi các khối phủ ở khu vực quanh mép nước bị bật ra khỏi vị trí và lăn xuống cơ chân, làm lộ ra lớp giữa (xem Hình 3.7).

b. Mức độ hư hỏng tương đối (D)

Mức độ hư hỏng của mô hình dè chắn sóng cũng có thể được xác định theo tỉ lệ phần trăm hư hỏng (D), là số khối phủ dịch chuyển tương đối trong vùng tính toán [1]:

$$D = N_{o,mov}/N_a \quad (3-4)$$

Trong đó N_a là tổng số khối phủ trong vùng tính toán, được xác định là vùng mà các cấu kiện dễ chịu dịch chuyển nhất dưới tác động của sóng [1].

Trong trường hợp xác định hệ số ổn định trong công thức Hudson, vùng này được xác định từ vị trí dưới mực nước một khoảng bằng giá trị chiều cao sóng tính toán ứng với trường hợp mức độ hư hỏng bằng 0 đến vị trí giữa phần mái trên mực nước. Giá trị ngưỡng mức độ hư hỏng $D = 0 \div 5\%$ thường được sử dụng để xác định hệ số K_D trong công thức Hudson [1] [3].

Theo công thức (3-4), mức độ hư hỏng tương đối D đã được xác định ứng với các kịch bản sóng khác nhau (xem Bảng 3.2). Từ đó, có thể xác định được giá trị chiều cao sóng gây ra mức hư hỏng thiết kế ($D = 5\%$) và hệ số ổn định K_D tương ứng.

3.2.1.3 Xác định hệ số ổn định K_D từ các kết quả thí nghiệm

Hệ số ổn định K_D thực nghiệm cho trường hợp thí nghiệm trong nghiên cứu này có thể được rút ra từ công thức của Hudson như sau [1] [3]:



Hình 3.7 Phân lớp giữa bị lộ ra dưới tác động của sóng trong trường hợp hư hỏng nghiêm trọng nhất

$$\frac{H_{1/10}}{\Delta D_n} = (K_D \cot g\alpha)^{1/3} \quad (3-5)$$

trong đó $H_{1/10} = 1,27H_{s,D}$ (3-6)

hay $K_D = \frac{1}{\cot g\alpha} \cdot \left(\frac{1,27H_{s,D}}{\Delta D_n} \right)^3$ (3-7)

với $H_{s,D}$ là giá trị chiều cao sóng tương ứng với mức hư hỏng thiết kế $D = 5\%$ [40]. Theo kết quả phân tích số liệu thí nghiệm ở trên ta có $H_{s,D} = 0,165\text{m}$; $\cot g\alpha$ là hệ số mái phía bên của mô hình đê chắn sóng thí nghiệm; hệ số mái của mô hình đê được lựa chọn theo giá trị đặc trưng cho các dạng khối phủ bê tông dạng tứ diện đều là $\cot g\alpha = 1,5$.

Khi đó có thể xác định được hệ số ổn định thực nghiệm cho trường hợp nghiên cứu theo công thức (3-7) như sau:

$$K_D = \frac{1}{4} \times \left(\frac{1,27 \times 0,165}{1,29 \times 0,067} \right)^3 \approx 10,6$$

Như vậy hệ số ổn định thực nghiệm của khối phủ RAKUNA-IV áp dụng cho trường hợp xếp rối hoàn toàn trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ là $K_D = 10,6$. Có thể thấy giá trị này xấp xỉ hệ số ổn định $K_D = 10,8$ đã được xác định cho trường hợp xếp đều 2 lớp của đê lõi đá đổ mái nghiêng đã cho trong tiêu chuẩn hiện hành [11] [12].

Bảng 3.2 Kết quả tính toán mức độ hư hỏng tương đối và xác định chiều cao sóng gây mức hư hỏng thiết kế

STT	$H_{1/3}$ (cm)	N_a (vùng tham khảo) (khối)	N_a (dịch chuyển) (khối)	D (%)
1	10.9	93	2	2.1
2	11.0	93	3	3.2
3	11.1	93	2	2.1
4	9.9	93	0	0.0
5	12.1	93	1	1.1
6	13.4	93	4	4.3
7	12.6	93	1	1.1
8	12.4	93	3	3.2
9	14.7	93	3	3.2
10	15.8	93	4	4.3
11	15.6	93	3	3.2
12	14.9	93	2	2.1
13	17.4	85	5	5.9
14	18.3	85	4	4.7
15	17.8	85	5	5.9
16	18.7	85	4	4.7
17	19.2	85	5	5.9
18	19.1	85	5	5.9
19	19.3	85	6	7.0
20	19.2	85	6	7.0
21	19.0	85	5	5.9
22	18.9	85	5	5.9
23	22.3	85	5	5.9
24	22.1	85	4	4.7

3.2.1.4 Xác định công thức tính toán ổn định theo chỉ số ổn định N_s

Công thức tính toán ổn định thủy lực của khối RAKUNA-IV được xây dựng dựa theo chỉ số ổn định N_s và có dạng giống như dạng công thức mà Van der Meer đã xây dựng cho khối phủ có dạng tứ diện đều đẳng hướng tương tự là Tetrapod trong trường hợp có xét cả cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc. Khi đó, dạng công thức tổng quát theo chỉ số ổn định N_s như sau [1]:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[a \left(\frac{N_{od}^{0.5}}{N_z^{0.25}} \right) + b \right] \cdot s_{0m}^{-0.2} - 0,5 \quad (3-8)$$

hay

$$\left(\frac{H_s}{\Delta D_n} + 0,5 \right) s_{0m}^{0.2} = a \left(\frac{N_{od}^{0.5}}{N_z^{0.25}} \right) + b \quad (3-9)$$

trong đó,

- H_s - Chiều cao sóng có nghĩa trước chân công trình;
- Δ - Tỷ trọng tương đối của vật liệu khối phủ;
- N_{od} - Số cấu kiện bị dịch chuyển ra khỏi vị trí trên một dải bề rộng D_n ;
- N_z - Số con sóng đến công trình; ở đây các mức hư hỏng được xác định ứng với các trường hợp số con sóng thí nghiệm lần lượt là $N_z = 500, 1000, 2000$ và 3000 nhằm thiết lập công thức thực nghiệm;
- s_{0m} - Độ dốc sóng ứng với chu kỳ trung bình T_m ;

Mối quan hệ giữa 2 tham số phi thứ nguyên $\left(\frac{H_s}{\Delta D_n} + 0,5 \right) s_{0m}^{0,2}$ và $\frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}}$ có thể được xác định

qua việc phân tích hồi quy, từ đó có thể xác định được các tham số trong công thức trên. Theo kết quả phân tích hồi quy, các hệ số a, b lần lượt được xác định bằng 4,47 và 0,85, với hệ số tương quan là $0,78 \approx 0,8$, và các điểm thí nghiệm đều nằm trong khoảng giới hạn độ tin cậy 95% (xem Hình 3.9). Khi đó ta sẽ có công thức tính toán ổn định thủy lực cho các khối phủ RAKUNA-IV trong trường hợp xếp rời 2 lớp trên đê chắn sóng đá đổ với sóng không tràn và không vỡ như sau:

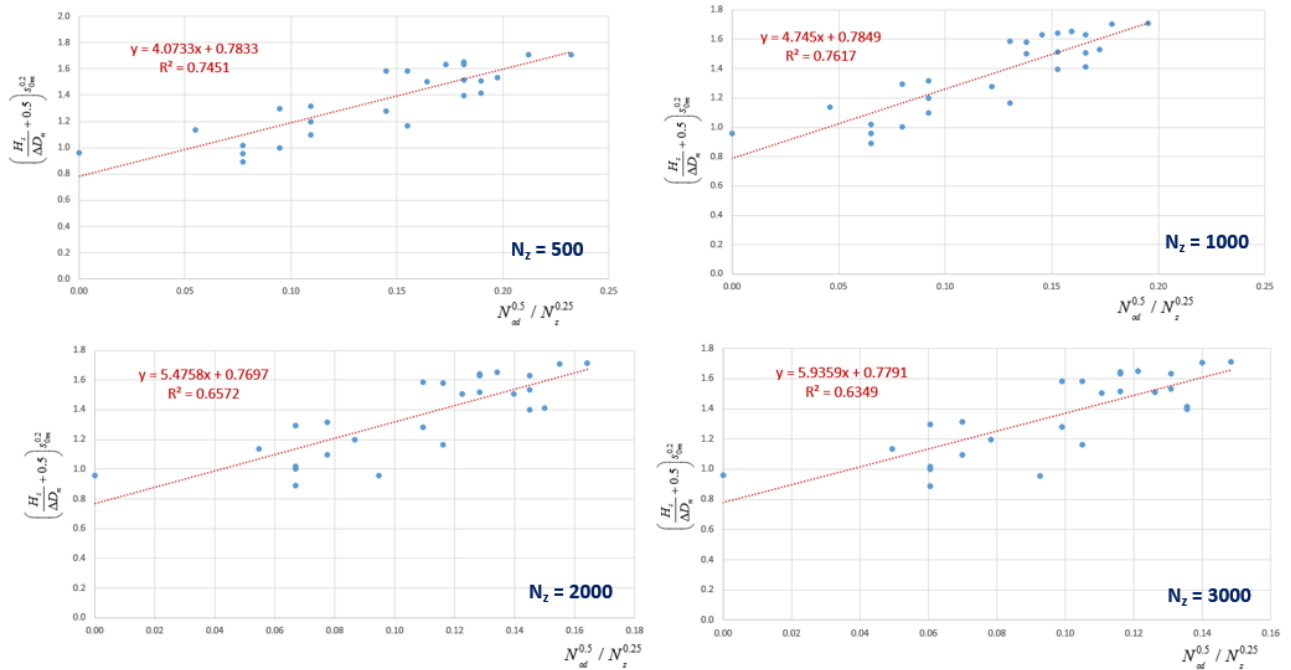
$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[4,47 \left(\frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} \right) + 0,85 \right] \cdot s_{0m}^{-0,2} - 0,5 \quad (3-10)$$

Ảnh hưởng của cơ chế xoay lắc được thể hiện qua số hạng -0,5. Có thể thấy với cùng một điều kiện sóng và xem xét cả cơ chế xoay lắc thì giá trị đường kính danh nghĩa và do đó là khối lượng tương ứng của khối RAKUNA-IV sẽ nhỏ hơn của khối phủ tương tự là Tetrapod [49] và do vậy sẽ mang lại hiệu quả kinh tế cao hơn so với dạng khối phủ truyền thống. Trường hợp không xem xét cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc, chỉ số ổn định sẽ lớn hơn và kích thước khối phủ sẽ nhỏ hơn. Công thức ổn định của khối phủ khi đó có dạng:

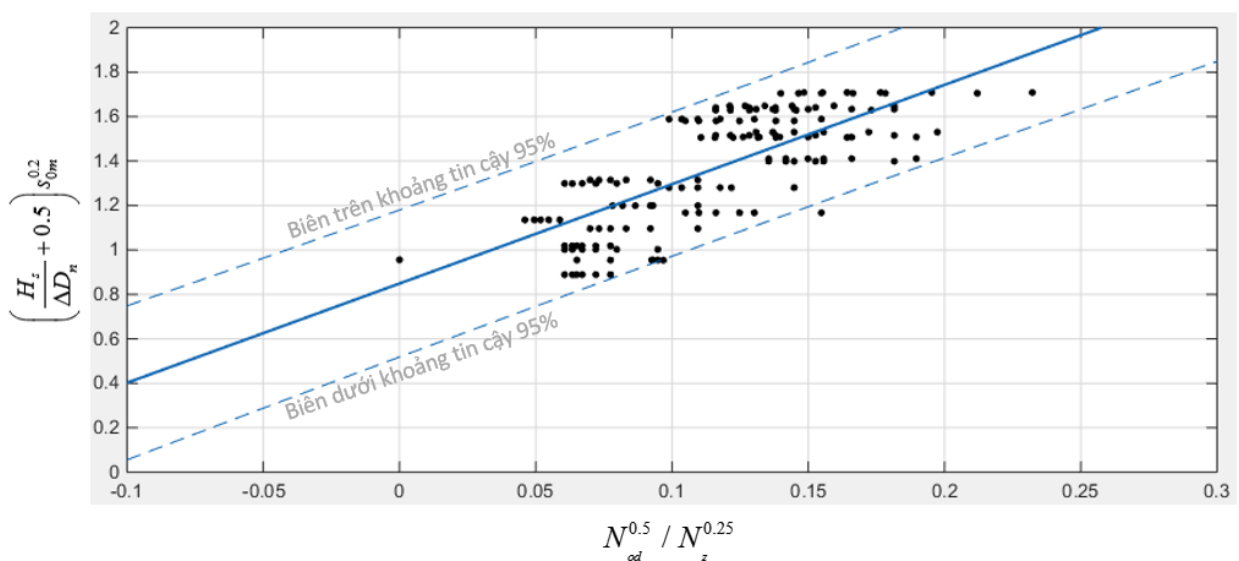
$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[4,47 \left(\frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} \right) + 0,85 \right] \cdot s_{0m}^{-0,2} \quad (3-11)$$

Phạm vi áp dụng của công thức (3-7) và (3-8) bao gồm:

- Khối phủ RAKUNA-IV được xếp rời 2 lớp trên mái đê phía biển với hệ số mái 1/1,5;
- Sóng ngẫu nhiên không tràn và không vỡ;
- Xét cả cơ chế mất ổn định của các khối phủ dạng xoay lắc khi chịu tác động của sóng.



Hình 3.8 Phân tích hồi quy cho các trường hợp số con sóng N_z khác nhau



Hình 3.9 Phân tích hồi quy tổng hợp cho tất cả các trường hợp số con sóng N_z

3.2.2 Nghiên cứu độ bền của khối phủ RAKUNA-IV

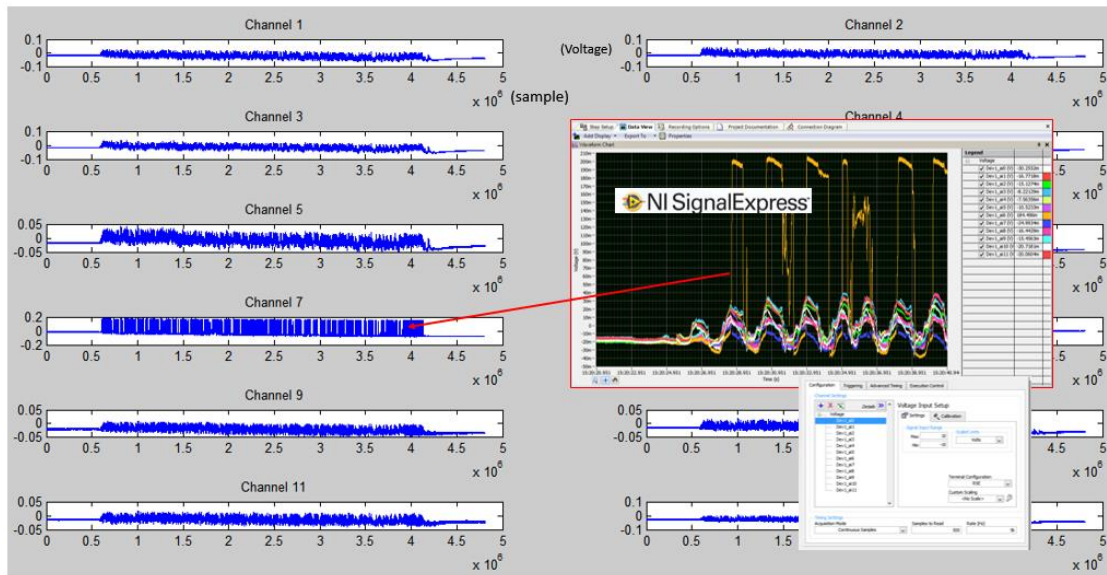
3.2.2.1 Xác định công thức thực nghiệm tính toán giá trị ứng suất lớn nhất xuất hiện trong khối phủ khi bị xoay lắc dưới tác động của sóng

Các tải trọng có thể tạo ra ứng suất trong các khối phủ bê tông bao gồm: các lực tĩnh do khối lượng của cấu kiện và sự nêchèn trong quá trình lún; áp lực mạch động tạo ra bởi các áp lực sóng biến đổi một cách từ từ; áp lực xung kích do sự xoay lắc, lăn tròn, va chạm bởi khối nút vỡ khác và việc lắp đặt trong quá trình thi công; các tải trọng do nhiệt tạo ra

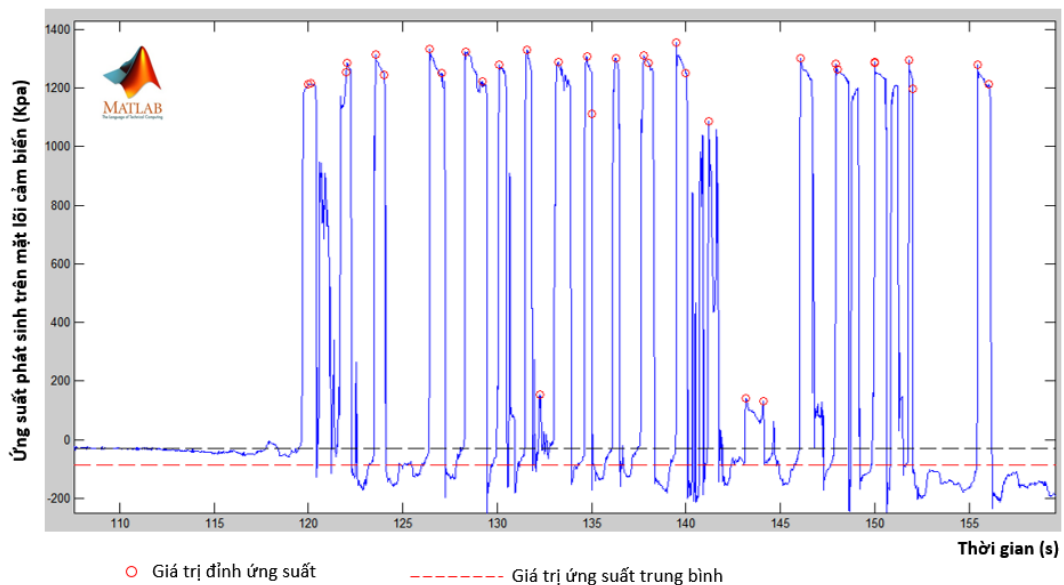
bởi sự thay đổi nhiệt độ môi trường và sự đông cứng của bê tông. Đối với đề chấn sóng dạng đá đổ, các áp lực xung kích là nhân tố quan trọng góp phần tạo ra các giá trị ứng suất cho các khối phủ, đặc biệt là các khối phủ nằm ở các lớp bên trên và trong phạm vi 0,5 lần giá trị chiều cao sóng trên mực nước tĩnh vì các khối phủ này dễ bị “xoay lắc” dưới tác động trực tiếp của sóng [38]. Ngoài ra, mức độ tương tác ngày càng tăng với sóng đến của lớp phủ đã làm tăng nguy cơ va đập với các khối vữa nhỏ hơn hoặc các khối phủ bị xoay lắc khác. Do sự mất ổn định thủy lực do bị dịch chuyển hay xoay lắc dưới tác động của sóng, các khối phủ có thể va đập vào nhau trong quá trình làm việc và do vậy có thể sinh ra các giá trị ứng suất trong các khối phủ này.

Trong nghiên cứu về độ bền của luận án, các giá trị ứng suất phát sinh trên bề mặt lõi cảm biến đã được đo đạc thông qua biến dạng và điện thế tương ứng của các lá điện trở được dán trên đó. Tham số cần đo đạc và xác định là giá trị ứng suất tăng thêm lớn nhất xuất hiện trong khối phủ ứng với mỗi kịch bản thí nghiệm khi khối phủ bị xoay lắc liên tục dưới tác động trực tiếp của sóng, đặc biệt là trường hợp bất lợi nhất khi mà sóng tác động lên mái theo dạng xung kích gây ra chuyển động xoay lắc bất lợi nhất cho độ bền của khối phủ RAKUNA-IV ở trên mái phía biển. Với các vị trí thí nghiệm đã xác định ở phần trước, các kết quả phân tích số liệu thí nghiệm đã cho thấy vị trí xuất hiện giá trị ứng suất tăng thêm khi khối phủ bị xoay lắc dưới tác động của sóng lớn nhất là ở lớp 2, tại vị trí nằm trên mực nước thiết kế một khoảng bằng 0,5 lần giá trị chiều cao sóng tính toán (xem Hình 3.12). Từ đó các mô hình vật lý của khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) đã được đặt ở những vị trí đã xác định, đảm bảo sự xoay lắc và va đập (với các khối phủ bên cạnh) xảy ra thường xuyên đối với các mô hình này trong quá trình thí nghiệm. Với 6 lá điện trở đã được dán ứng với 6 mặt của phần cánh của mỗi mô hình khối phủ, các giá trị ứng suất xuất hiện tại các lá điện trở này khi các mô hình khối phủ i-RAK chịu tác động của sóng sẽ được đo đạc một cách đầy đủ (xem Hình 3.10). Trong liệt số liệu thí nghiệm, các giá trị đỉnh ứng suất trong mỗi kịch bản sóng sẽ được xác định và từ đó xác định được giá trị ứng suất tăng thêm tương ứng so với giá trị ứng suất trung bình trong thời đoạn thí nghiệm (xem Hình 3.11). Với việc sử dụng mô hình ANSYS để mô phỏng và tính toán, các giá trị ứng suất lớn nhất (ứng với các đỉnh trong liệt số liệu đo đạc) tại bề mặt lõi cảm biến của mô hình khối phủ i-RAK đã được tính chuyển ra bề mặt của mô hình khối phủ RAKUNA-IV nguyên khối

tương ứng tại vị trí bất lợi nhất về mặt độ bền (vị trí phát sinh ứng suất lớn nhất có thể gây nứt vỡ bề mặt khối phủ).



Hình 3.10 Xử lí và tính toán số liệu đo đạc bằng phần mềm MatLab

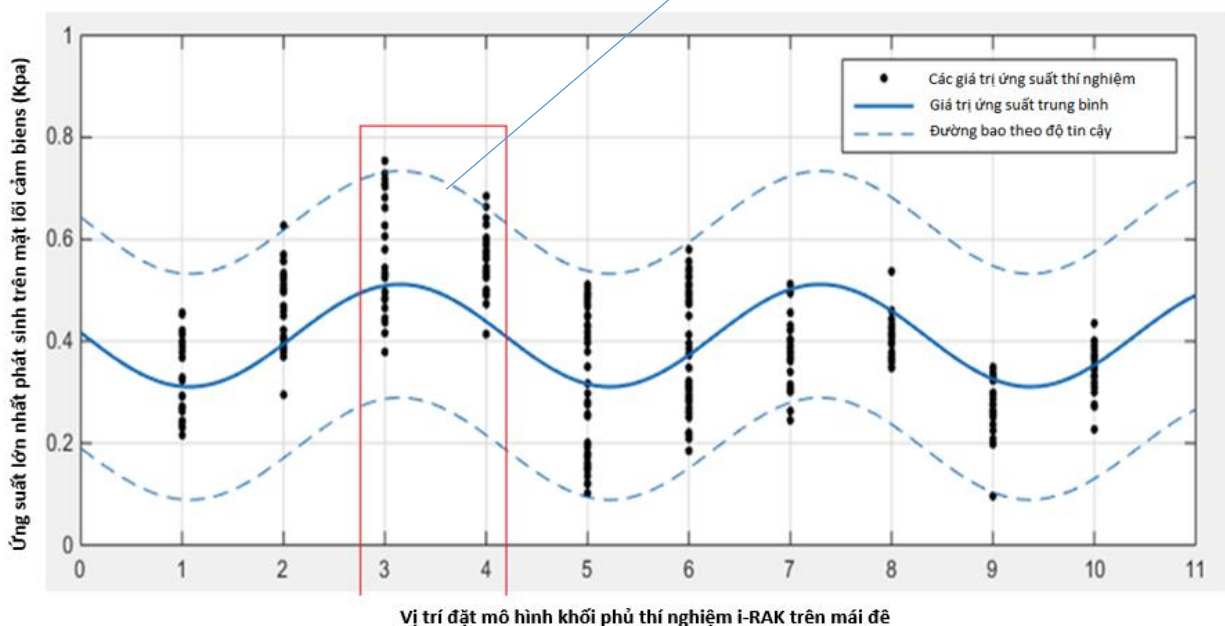


Hình 3.11 Xác định các đỉnh ứng suất phát sinh và giá trị ứng suất tăng thêm tương ứng trên bề mặt lõi cảm biến trong mỗi kịch bản thí nghiệm độ bền

Dựa vào liệt số liệu thu được này, tác giả tiến hành phân tích và xác định giá trị ứng suất lớn nhất $\sigma_{c,xk}$ ứng với trường hợp bất lợi nhất về độ bền là khối phủ bị xoay lắc và va đập vào các khối phủ bên cạnh. Các giá trị ứng suất xung kích xuất hiện trong khối phủ sẽ phụ thuộc chủ yếu vào tham số ổn định (N_s) và các tham số sóng (H_s, s_{0m}). Các tham số phi thứ

nguyên để xây dựng công thức thực nghiệm cho giá trị ứng suất này khi đó có thể được

xác định là $\frac{\sigma_{c,xx}}{\rho g H_s} : \left(\frac{H_s}{\Delta D_n}, s_{0m}^{-1/3} \right)$ với $N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n}$ là chỉ số ổn định.



Hình 3.12 Kết quả tính toán kiểm tra vị trí các khối phủ trên mái dốc có ứng suất lớn nhất khi bị xoay lắc dưới tác động của sóng

Từ các kết quả tính toán xác định mối quan hệ giữa ứng suất tăng thêm lớn nhất do sự va đập gây ra bởi cơ chế xoay lắc dưới tác động của sóng xuất hiện trong khối phủ và chiều cao sóng cũng như độ dốc sóng, các tham số phi thứ nguyên có thể được thiết lập và đưa vào phân tích hồi quy bằng công cụ phân tích hồi quy trong MatLab để thiết lập công thức xác định ứng suất xung kích lớn nhất xuất hiện trong mô hình thí nghiệm.

Để xây dựng công thức thực nghiệm cho ứng suất tăng thêm lớn nhất trong mỗi thí nghiệm, chỉ số ổn định hiệu chỉnh hay chỉ số ổn định phổ N_s^* sẽ được đưa vào phân tích [50] [51]:

$$N_s^* = N_s \cdot s_{0m}^{-1/3} \quad (3-12)$$

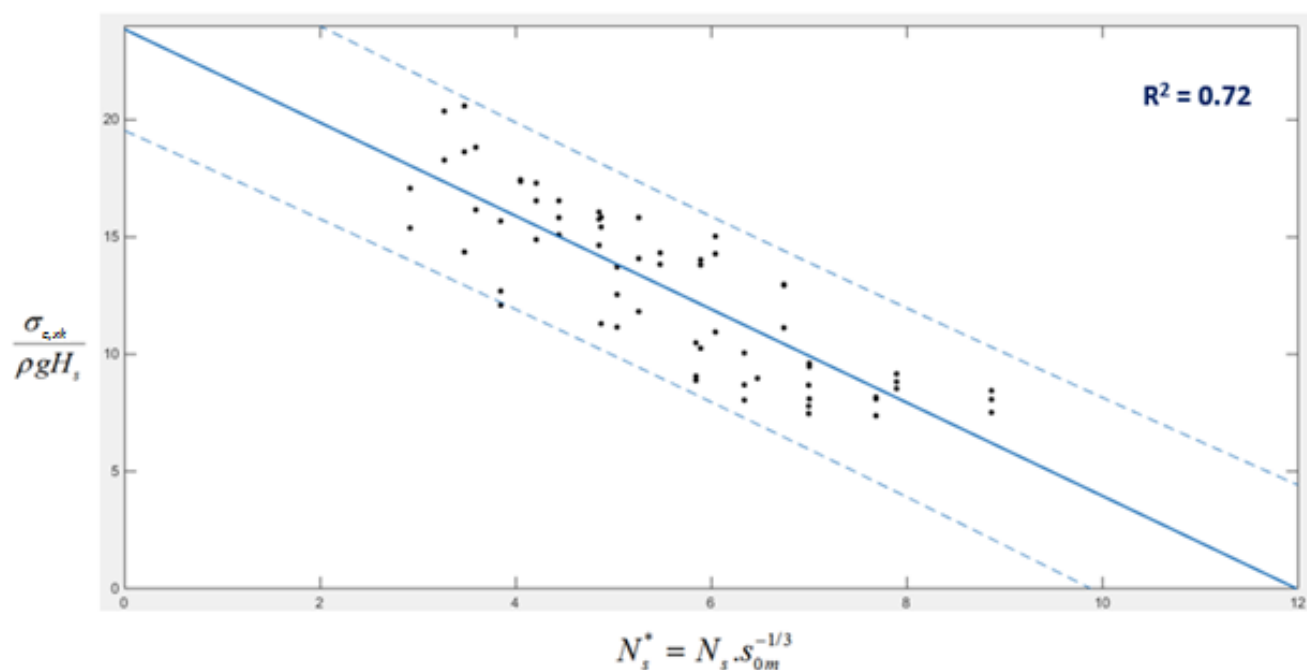
Từ kết quả phân tích hồi quy (xem Hình 3.13), công thức thực nghiệm để xác định giá trị ứng suất lớn nhất trong khối phủ bị xoay lắc dưới tác động của sóng đã được thiết lập có dạng như sau:

$$\frac{\sigma_{c,xk}}{\rho g H_s} = 23,9 - \frac{2H_s}{\Delta D_n} S_{0m}^{-1/3} \quad \text{hay} \quad \sigma_{c,xk} = \rho g H_s \left(23,9 - \frac{2H_s}{\Delta D_n} S_{0m}^{-1/3} \right) \quad (3-13)$$

Phạm vi áp dụng của công thức (3-13) như sau:

- Khối phủ RAKUNA-IV được xếp rời 2 lớp trên mái dề phía biển với hệ số mái 1/1,5;
- Khối phủ bị xoay lắc khi chịu tác động của sóng ngẫu nhiên không tràn và không vỡ;

Theo công thức thực nghiệm này có thể thấy rằng giá trị ứng suất tăng thêm trong khối phủ bị xoay lắc khi chịu tác động trực tiếp của sóng sẽ phụ thuộc vào các tham số sóng tới (chiều cao sóng, độ dốc sóng) và thông số kỹ thuật của khối phủ (kích thước, tỉ trọng). Từ giá trị ứng suất tăng thêm này trong khối phủ, có thể tính được giá trị ứng suất tổng cộng tại vị trí bất lợi và xung yếu nhất của khối phủ, ở đây là phần giao tuyến giữa phần cánh và phần thân. Từ đó có thể so sánh và đánh giá dựa vào các tiêu chuẩn về ứng suất kéo cho phép của bê tông để đánh giá về khả năng đảm bảo độ bền của khối phủ này.



Hình 3.13 Phân tích hồi quy xác định công thức thực nghiệm tính toán giá trị ứng suất xung kích lớn nhất xuất hiện trong khối phủ

3.2.2.3 Xác định mô đun đàn hồi biểu kiến E_a và hệ số tỉ lệ mô đun đàn hồi (n_E)

Việc xác định tỉ lệ cho các giá trị ứng suất của khối phủ khi chịu tác động của sóng có liên quan đến mô đun đàn hồi của vật liệu chế tạo khối phủ. Tuy nhiên, việc lắp đặt thêm cảm biến tải trọng bằng nhôm đã phá vỡ tính đồng nhất của vật liệu bê tông. Khi đó các giá trị áp lực xung kích đo được trong các thí nghiệm không thể được chuyển đổi cho nguyên hình bằng các công thức xác định tỉ lệ thông thường. Việc này chỉ có thể khả thi bằng cách xác định giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến (E_a) cho các mô hình thí nghiệm của khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK).

a. Xác định mô đun đàn hồi biểu kiến (E_a)

Trong trường hợp trạng thái ứng suất khối, mối liên hệ giữa biến dạng dài tương đối và ứng suất được tổng quát hóa và có dạng như sau [46]:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \end{cases} \quad (3-14)$$

hay

$$\begin{cases} \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x} = E + \nu \left(\frac{\sigma_y + \sigma_z}{\varepsilon_x} \right) \\ \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y} = E + \nu \left(\frac{\sigma_x + \sigma_z}{\varepsilon_y} \right) \\ \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z} = E + \nu \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{\varepsilon_z} \right) \end{cases} \quad (3-15)$$

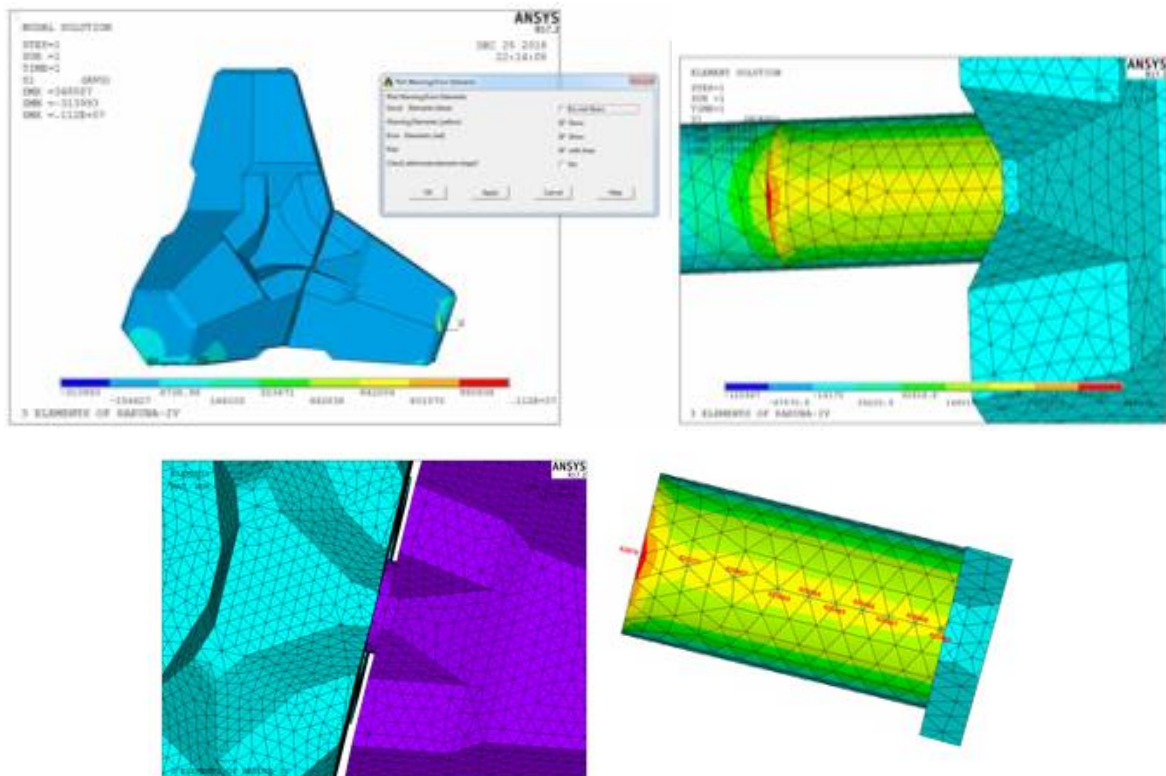
Trong nghiên cứu này, cả 2 mô hình số đã được xây dựng tương ứng cho khối phủ nguyên khối và khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) và cùng chịu tải trọng tiêu chuẩn. Các kết quả mô phỏng theo 2 trường hợp ứng với phương gia tải sẽ được phân tích và so sánh để từ đó xác định được giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến E_a [52].

Theo phương gia tải (phương y như trên Hình 3.14), giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến E_a được xác định từ tỉ số giữa ứng suất và biến dạng của bê tông theo phương này như sau:

$$E_a = \frac{\sigma_{y,bt}}{\varepsilon_{y,bt}} \quad (3-16)$$

b. Mô phỏng các giá trị ứng suất phát sinh trong khối phủ bằng phần mềm ANSYS Mechanical APDL

Các mô hình khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) được gia tải trực tiếp bằng các quả nặng tiêu chuẩn (1kg) tương ứng như các thí nghiệm gia tải trên mô hình vật lý. Các kết quả tính toán xác định các giá trị ứng suất theo các phương khác nhau của từng loại mô hình (nguyên khối và có gắn cảm biến) từ phần mềm ANSYS được trình bày trong Hình 2.12 và Bảng 2.8.



Hình 3.14 Kết quả mô phỏng trường ứng suất trong mô hình khối phủ i-RAK khi gia tải trực tiếp trong mô hình ANSYS Mechanical APDL

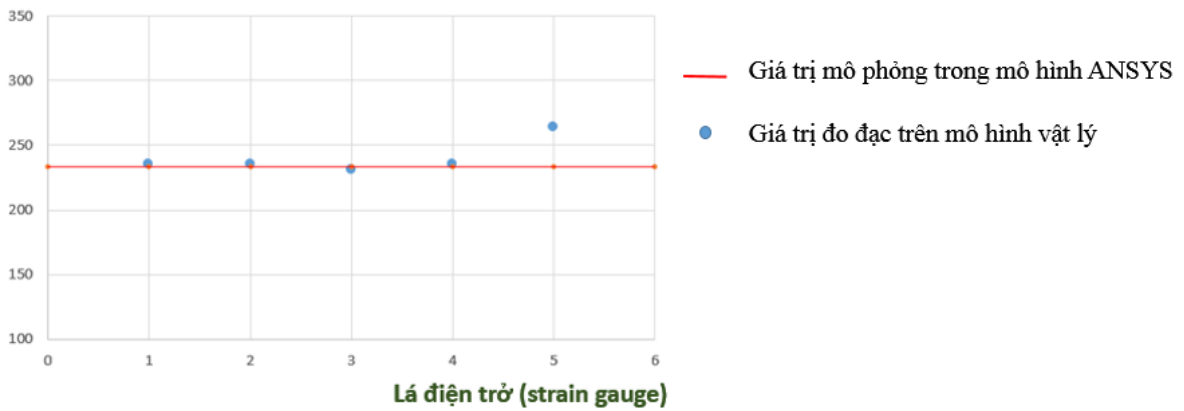
Theo kết quả mô phỏng bằng mô hình ANSYS, giá trị ứng suất tăng thêm khi khoảng gia tải là 1kg được xác định là: $\Delta\sigma = 0,355 - 0,121 = 0,234 \text{ MPa} = 234 \text{ KPa}$. Giá trị này được minh họa bằng đường nằm ngang màu đỏ trên đồ thị minh họa ở Hình 3.15. Giá trị ứng suất tại các cảm biến lần lượt là 235,3; 235,3; 230,6; 235,3 và 263,6 kPa. Theo Hình 3.15, các giá trị đo được này không sai khác đáng kể so với giá trị mô phỏng nêu trên. Có thể thấy giá trị ứng suất khi mô phỏng bằng mô hình toán và giá trị tương ứng khi tiến hành thí nghiệm trên mô hình vật lý (được biểu thị bằng các chấm tròn xanh) không có sự sai

khác đáng kể. Như vậy các kết quả mô phỏng bằng phần mềm ANSYS đảm bảo độ tin cậy và chính xác khi sử dụng trong nghiên cứu của luận án.

Bảng 3.3 Kết quả mô phỏng ứng suất theo các phương bằng mô hình ANSYS Mechanical APDL

ỨNG SUẤT TRONG KHỐI PHỦ NGUYÊN KHỐI									
Tải trọng	NODE	σ_X (N/mm ²)	σ_Y	σ_Z	τ_{XY}	τ_{YZ}	τ_{XZ}	σ_U	τ_{UV}
0kg	35574	0.0043794	-0.0004446	0.0025662	-0.0005630	-0.0000014	0.0000056	0.003490	-0.003470
1kg		1.25E-02	-1.19E-03	8.54E-03	-1.60E-03	-1.07E-05	1.02E-05	0.010004	-0.009868
2kg		0.0206850	-0.0019355	0.0145210	-0.0026340	-0.0000195	0.0000156	0.016516	-0.016266
3kg		0.0288380	-0.0026808	0.0205000	-0.0036693	-0.0000285	0.0000204	0.023030	-0.022664
4kg		0.0369910	-0.0034256	0.0264770	-0.0047044	-0.0000377	0.0000253	0.029544	-0.029061
5kg		0.0451420	-0.0041711	0.0324540	-0.0057401	-0.0000465	0.0000320	0.04	-0.04
ỨNG SUẤT TRONG KHỐI PHỦ CÓ GẮN CẢM BIẾN (i-RAK)									
Tải trọng	NODE	σ_X (N/mm ²)	σ_Y	σ_Z	τ_{XY}	τ_{YZ}	τ_{XZ}	σ_U	τ_{UV}
0kg	420469	0.1775200	0.0213340	-0.0001	-0.0616660	0.0000184	0.0000178	0.121411	-0.1461280
1kg		0.51863	6.23E-02	-0.0004	-0.18025	9.03E-05	-1.24E-04	0.354641	-0.4270275
2kg		0.8594500	0.1031600	-0.0007	-0.2987400	0.0001206	-0.0001653	0.587668	-0.7076943
3kg		1.2004000	0.1440700	-0.0010	-0.4172700	0.0001677	-0.0002546	0.820787	-0.9884645
4kg		1.5414000	0.1849800	-0.0014	-0.5358000	0.0002232	-0.0003550	1.053951	-1.2692661
5kg		1.8824000	0.2259000	-0.0017	-0.6543400	0.0002720	-0.0004358	1.287110	-1.5500692

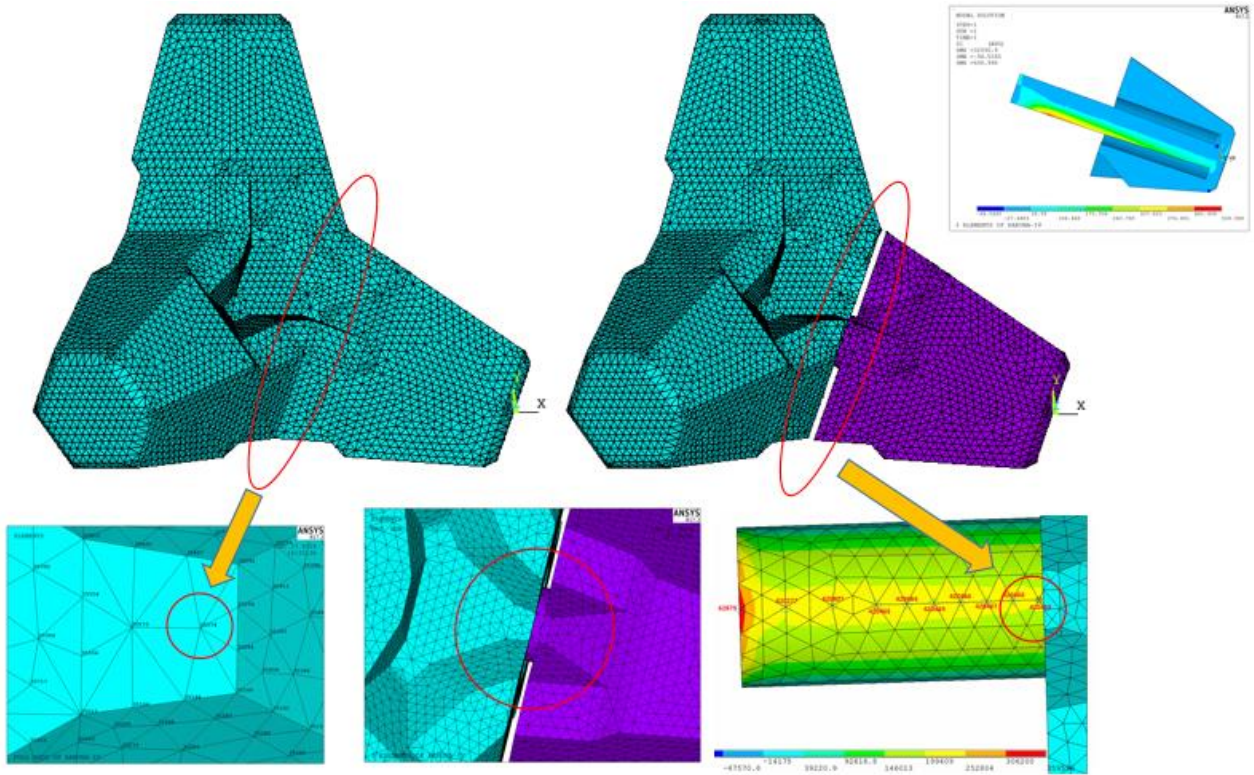
Ứng suất lớn nhất (kPa)



Hình 3.15 Kết quả tính toán kiểm định hệ số chuyển đổi sử dụng các kết quả thí nghiệm trong mô hình ANSYS và trên mô hình vật lý

Từ kết quả phân tích số liệu thí nghiệm bằng phần mềm ANSYS (xem Bảng 3.3), các biểu thức liên hệ giữa ứng suất và biến dạng của hai mô hình số tương ứng cho hai trường hợp mô phỏng có thể được xây dựng như sau:

$$\begin{cases} \sigma_{y,bl} = \frac{\sigma_{y,n}}{52,3} \\ \varepsilon_{y,bl} = \frac{\varepsilon_{y,n}}{7,2} \end{cases} \quad (3-17)$$



Hình 3.16 Tính toán xác định mô đun đàn hồi biểu kiến E_a cho khối phủ i-RAK

trong đó $\sigma_{y,bt}$ và $\sigma_{y,n}$ lần lượt là ứng suất theo phương gia tải trong trường hợp nguyên khối (bê tông) và trong trường hợp có gắn cảm biến (lõi nhôm); $\varepsilon_{y,bt}$ và $\varepsilon_{y,n}$ lần lượt là biến dạng theo phương gia tải trong trường hợp nguyên khối (bê tông) và trong trường hợp có gắn cảm biến (lõi nhôm).

Thay biểu thức (3-17) vào (3-16), ta có:

$$E_a = \frac{\sigma_{y,bt}}{\varepsilon_{y,bt}} \approx 0,138 \times \frac{\sigma_{y,n}}{\varepsilon_{y,n}} \quad (3-18)$$

Mặt khác, từ hệ phương trình (3-15) ta có tỉ số:

$$\frac{\sigma_{y,n}}{\varepsilon_{y,n}} = E_n + \nu_n \left(\frac{\sigma_{x,n} + \sigma_{z,n}}{\varepsilon_{y,n}} \right) \quad (3-19)$$

Khi đó giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến E_a có thể được xác định theo công thức:

$$E_a \approx 0.138 \left[E_n + \nu_n \left(\frac{\sigma_{x,n} + \sigma_{z,n}}{\varepsilon_{y,n}} \right) \right] \quad (3-20)$$

Thay các giá trị đo được vào (3-20) ta có $E_a = 5400 \text{ MPa}$.

c. Tỷ lệ mô đun đàn hồi (n_E)

Với $E_a = 5400$ MPa, thay vào công thức (2-28) ta có hệ số tỉ lệ về mô đun đàn hồi tương ứng được xác định là $n_E = 4,5$. Thay giá trị này vào công thức (2-27) ta sẽ xác định được giá trị ứng suất của khối phủ RAKUNA-IV nguyên hình, với giá trị ứng suất phát sinh dạng phi xung kích đã đo đạc và xác định được là $\sigma_{ni,M} \approx 0,0068$ MPa = 6,8 Kpa. Từ đó, có thể xác định được khối lượng lớn nhất cho phép của khối phủ RAKUNA-IV theo độ bền thiết kế.

3.2.2.4 Khối lượng lớn nhất cho phép của khối phủ RAKUNA-IV theo độ bền

Với kết quả nghiên cứu về độ bền kết cấu, có thể xác định được giá trị ứng suất lớn nhất xuất hiện trên bề mặt khối phủ ứng với các điều kiện sóng nhất định và khả năng nứt vỡ hay hư hỏng các khối phủ hoàn toàn có thể được kiểm tra và đánh giá theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2012 (Kết cấu bê tông và Bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế) (xem Bảng 3.4).

Bảng 3.4 Cường độ chịu kéo và chịu nén của bê tông [53]

Trạng thái	Loại bê tông	Cấp độ bền chịu nén của bê tông																			
		B1	B1,5	B2	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	
Nén dọc trục (cường độ lắng trụ) R_b	Bê tông nặng, bê tông hạt nhỏ	-	-	-	-	2,1	2,8	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0	
	Bê tông nhẹ	-	-	-	1,5	2,1	2,8	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	-	-	-	-	
	Bê tông tổ ong	0,63	0,95	1,3	1,6	2,2	3,1	4,6	6,0	7,0	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kéo dọc trục R_{tr}	Bê tông nặng	-	-	-	-	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	1,45	1,55	1,60	1,65	
	Bê tông hạt nhỏ	nhóm A	-	-	-	-	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	-	-	-	-
		nhóm B	-	-	-	-	0,17	0,27	0,40	0,45	0,51	0,64	0,77	0,90	1,00	-	-	-	-	-	-
		nhóm C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	1,45	1,55	1,60	1,65
	Bê tông nhẹ	cốt liệu đặc	-	-	-	0,20	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	-	-	-	-
		cốt liệu rỗng	-	-	-	0,20	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,74	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	-	-	-	-
Bê tông tổ ong		0,06	0,09	0,12	0,14	0,18	0,24	0,28	0,39	0,44	0,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Dựa theo công thức kinh nghiệm đã thiết lập được, khối lượng lớn nhất của khối phủ mà vẫn đảm bảo được độ bền kết cấu (không cần gia cường thêm cốt thép) có thể được xác định trong các trường hợp điều kiện biên nhất định và đảm bảo sự ổn định tổng thể của công trình đề chắn sóng.

Khối lượng lớn nhất của khối RAKUNA-IV mà không cần gia cường thêm cốt thép ứng với các giá trị cường độ chịu kéo khác nhau có thể được xác định theo các công thức (2-30) và (3-7) và được trình bày trong Bảng 3.5 dưới đây. Trong nghiên cứu này đưa ra các giá trị khối lượng lớn nhất theo điều kiện sóng bất lợi với chiều cao 8m.

Bảng 3.5 Khối lượng lớn nhất cho phép của các khối RAKUNA-IV cho các trường hợp cường độ bê tông khác nhau

Cường độ/mác bê tông		Ứng suất chịu kéo lớn nhất cho phép (MPa)	Khối lượng lớn nhất của khối phủ không cần gia cường thêm cốt thép (tấn)	Chiều cao sóng lớn nhất tương ứng (m)
20 MPa	M200/B15	0.75	25	8
25 MPa	M250/B20	0.9	40	8
30 MPa	M350/B25	1.05	80	8

3.3 Kết luận chương 3

Chương 3 của luận án đã trình bày các kết quả phân tích số liệu thí nghiệm và đưa ra các hệ số cũng như công thức thực nghiệm về ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV trên mái dè chắn sóng dạng đá đổ. Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, tác giả đã xây dựng và thiết lập chuỗi các thí nghiệm trên mô hình vật lý kết hợp với mô hình toán theo phương pháp phần tử hữu hạn nhằm nghiên cứu ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV trên dè chắn sóng đá đổ mái nghiêng.

- (1) Ổn định: xác định hệ số ổn định thực nghiệm; thiết lập công thức thực nghiệm cho dạng khối phủ nghiên cứu trong phạm vi của luận án;
- (2) Độ bền: thiết lập công thức thực nghiệm cho giá trị ứng suất phát sinh lớn nhất ở bề mặt khối phủ bị xoay lắc khi chịu tác động của sóng; kiểm tra và đánh giá độ bền của khối phủ dựa theo tiêu chuẩn đã có.

Các kết quả phân tích số liệu thí nghiệm đã cho thấy:

- Hệ số ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV theo các kết quả thí nghiệm trong điều kiện nghiên cứu đã xác định được là $K_D = 10,6$;
- Giá trị ứng suất xung kích xuất hiện trong khối phủ thường xuất hiện trong phạm vi từ mép nước đến vị trí bằng 0,5 lần giá trị chiều cao sóng tính toán; giá trị này phụ thuộc vào vị trí tương đối của khối phủ, chỉ số ổn định của khối phủ và tham số sóng tính toán;
- Việc lắp đặt thêm cảm biến tải trọng bằng nhôm đã phá vỡ tính đồng nhất của vật liệu bê tông. Khi đó các giá trị ứng suất của khối phủ khi bị xoay lắc dưới tác động của sóng đo được trong các kịch bản thí nghiệm không thể được chuyển đổi cho nguyên hình bằng các

công thức xác định tỉ lệ thông thường. Do đó tác giả đã tiến hành tính toán và xác định giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến (E_a) cho các mô hình thí nghiệm của khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) và xác định tỉ lệ tương ứng cho mô đun đàn hồi, từ đó tính toán được hệ số tỉ lệ cho các giá trị ứng suất tổng cộng trong khối phủ khi bị xoay lắc dưới tác động của sóng.

Trong chương tiếp theo, tác giả sẽ ứng dụng các kết quả nghiên cứu đã nêu ở trên cho một công trình cụ thể là đê chắn sóng bảo vệ cảng Chân Mây - Thừa Thiên Huế, trong đó đưa ra những phân tích và so sánh với một dạng khối phủ truyền thống và đề xuất khả năng áp dụng trong thực tế.

CHƯƠNG 4: ỨNG DỤNG KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀO TÍNH TOÁN THIẾT KẾ LỚP PHỦ MÁI CỦA ĐÊ CHẮN SÓNG CẢNG CHÂN MÂY, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ

Chương 3 của luận án đã trình bày các kết quả phân tích số liệu thí nghiệm và đưa ra các hệ số cũng như công thức thực nghiệm về ổn định thủy lực và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV trên mái đê chắn sóng dạng đá đổ. Trong chương này, tác giả sẽ ứng dụng các kết quả nghiên cứu đó cho công trình cụ thể là đê chắn sóng bảo vệ cảng Chân Mây - Thừa Thiên Huế, trong đó đưa ra những phân tích và so sánh khi áp dụng các kết quả này và đề xuất khả năng áp dụng trong thực tế.

4.1 Giới thiệu chung về khu vực nghiên cứu

4.1.1 Tổng quan về khu vực cảng Chân Mây [54]

4.1.1.1 Vị trí địa lý

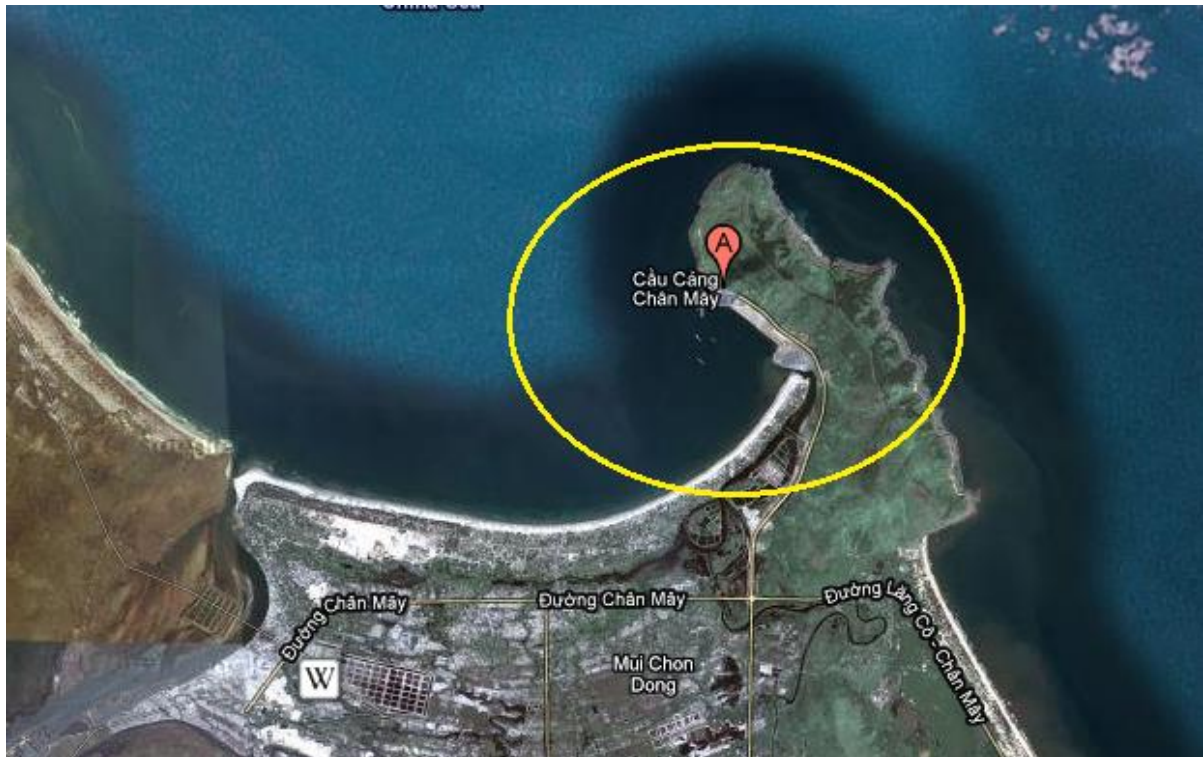
Cảng Chân Mây được xây dựng tại vịnh Chân Mây (hay gọi là vịnh Cảnh Dương) thuộc địa phận xã Lộc Vĩnh, huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế (xem Hình 4.1), cách trung tâm thành phố Huế 49 km về phía đông nam, cách quốc lộ 1A và đường sắt khoảng 5 km. Trung tâm vịnh có tọa độ địa lý khoảng $16^{\circ}20'00''\text{N} - 108^{\circ}00'00''\text{E}$.

Cửa vịnh dài 7 km, quay về phía bắc bề rộng trung bình của vịnh khoảng 3 km. Diện tích mặt nước của vịnh vào khoảng 20 km^2 . Phía đông vịnh là mũi Chân Mây đông với chiều dài 2 km, đỉnh cao nhất khoảng 215m chắn gió đông và gió đông bắc. Phía tây vịnh là mũi Chân Mây Tây có đỉnh cao 60 m, đỉnh núi Vinh Phong cao 482 m và đỉnh núi Đông Nhật cao 592 m. Phía nam vịnh sau dải đồng bằng ven biển là dãy núi cao 800 – 1000 m.

Cảng Chân Mây có tầm quan trọng cả về kinh tế và quân sự, bên cạnh đó nó còn có một hệ thống cơ sở hạ tầng và hệ thống giao thông đường bộ quan trọng của tuyến vận tải Đông-Tây đi qua, các dịch vụ cung cấp điện nước, hệ thống thông tin liên lạc, sinh hoạt khá hoàn chỉnh nhằm phục vụ cho khu kinh tế Chân Mây – Lăng Cô. Cảng Chân Mây thuộc nhóm cảng Trung Trung Bộ, đó là nhóm cảng chủ yếu phục vụ cho các tỉnh Trung Trung Bộ, Tây Nguyên và các nước láng giềng như Lào, Thái Lan và Campuchia thông qua các quốc lộ 1 và quốc lộ 14.

Cùng với sự phát triển và thu hút đầu tư của khu kinh tế Chân Mây – Lăng Cô, cảng Chân Mây sẽ tiếp tục phát triển trở thành một cảng quan trọng của đất nước và có khả năng tiếp

nhận tàu 60.000 DWT phục vụ giao lưu hàng hóa và phát triển kinh tế của khu vực Trung Trung Bộ đồng thời giao lưu buôn bán với các nước trong khu vực Đông Nam Á. Chính vì vậy, cảng Chân Mây không những có vai trò là đầu mối giao thông mà còn đóng vai trò trong việc hình thành, thúc đẩy sự phát triển của khu kinh tế Chân Mây – Lăng Cô và các khu công nghiệp, trung tâm thương mại, văn hóa, du lịch và dịch vụ cho khu vực Trung Trung Bộ.



Hình 4.1 Khu vực cảng Chân Mây, Thừa Thiên Huế [54]

4.1.1.2 Điều kiện địa hình

Theo tài liệu khảo sát địa hình với tỷ lệ 1:10000 trên diện tích 2500 ha dưới nước, tài liệu khảo sát địa hình với tỷ lệ 1:2000 phục vụ bước lập báo cáo nghiên cứu khả thi và bình đồ địa hình tỷ lệ 1:500 phục vụ bước thiết kế kỹ thuật do Công ty Tư vấn xây dựng Cảng – Đường thủy lập, cho thấy địa hình khu vực xây dựng công trình có một số đặc điểm sau:

- Vịnh có độ sâu trung bình từ 9m đến 12m. Vùng có độ sâu lớn hơn 12m có diện tích khoảng 8 km², chiếm 40% diện tích toàn vịnh;
- Đáy biển rất thoải. Bờ vịnh phía Tây có độ thoải $i = 0,0125 - 0,004$, phía Đông – Nam có độ thoải $i = 0,007$.

4.1.1.3 Điều kiện khí tượng

Theo số liệu trạm khí tượng Huế cho thấy hướng gió Bắc và Tây Bắc chiếm ưu thế từ tháng 11 đến tháng 4, các đợt gió hướng Đông xuất hiện từ tháng 5 đến tháng 8. Gió Nam và Tây Nam thường xảy ra từ tháng 5 đến tháng 8. Gió mạnh xảy ra do bão và lốc thường xuất hiện vào khoảng từ tháng 9 đến tháng 11.

4.1.1.4 Điều kiện thủy hải văn

(1) Mực nước

Vịnh Chân Mây nằm trong vùng bán nhật triều không đều (tương tự thủy triều khu vực vịnh Đà Nẵng).

Bảng 4.1 Các giá trị mực nước tại khu vực Chân Mây [54]

Giá trị mực nước	Tần suất (%)						
	1	3	5	10	50	97	99
Mực nước đỉnh triều	169	157	152	143	116	92	87
Mực nước chân triều	95	85	79	70	44	22	20
Mực nước giờ	149	137	131	121	90	42	36

(2) Sóng

Sự phân bố xác suất chiều cao sóng tại Sơn Trà do Trung tâm Khí tượng - Thủy văn biển lập cho thấy chiều cao sóng với tần suất 2% là 8m, và 1% là 9m.

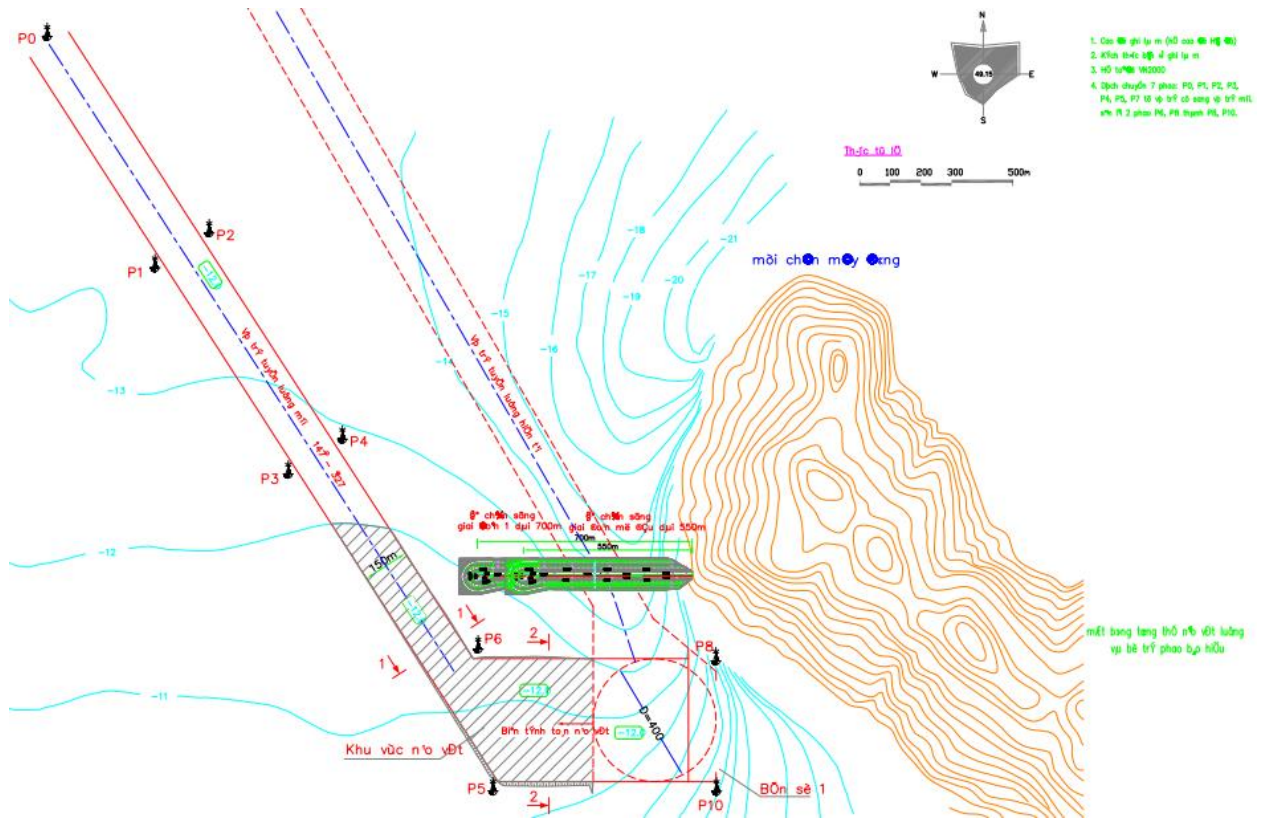
Theo các số liệu quan trắc sóng cùng thời kỳ quan trắc gió từ năm 1997 đến năm 2010 tại đài khí tượng Huế độ cao sóng lớn nhất là 4.5m, tại khu vực vịnh Chân Mây ở độ sâu - 15,0 m do JICA thực hiện, tần suất xuất hiện sóng theo hướng NW, NE và sóng lạng lạt lượt là 38%, 20% và 41%.

4.1.2 Các điều kiện biên thiết kế

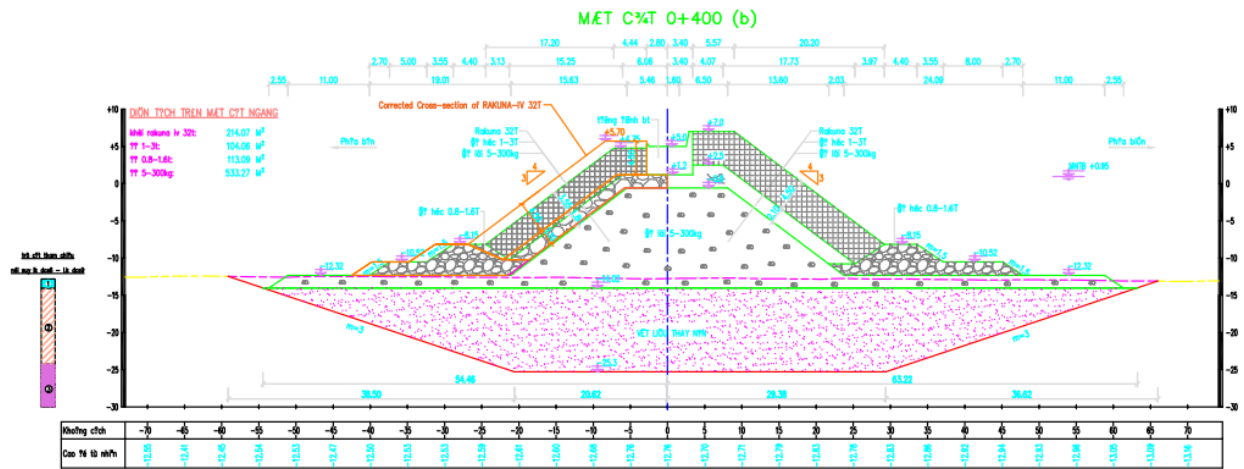
Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, các điều kiện biên thiết kế được tham khảo và kế thừa từ các hồ sơ thiết kế công trình đê chắn sóng cảng Chân Mây đã có [58].

4.1.2.1 Bình đồ và mặt cắt ngang thiết kế

Bình đồ thiết kế khu vực cảng và dạng mặt cắt ngang thiết kế của đê chắn sóng cảng Chân Mây được thể hiện ở Hình 4.3 và Hình 4.4 dưới đây.



Hình 4.2 Bình đồ thiết kế khu vực cảng Chân Mây [54]



Hình 4.3 Mặt cắt thiết kế của Đê chắn sóng cảng Chân Mây [54]

4.1.2.2 Các tham số sóng

a. Các tham số sóng nước sâu

Các tham số tại biên nước sâu được trình bày trong Bảng 4.2 và được xác định như sau:

- Chu kỳ đỉnh phổ [3]:

$$T_p = 12,1 \sqrt{\frac{H_0}{g}} = 12,1 \sqrt{\frac{8,4}{9,81}} \approx 11,2 \text{ (s)}$$

- Chiều dài sóng tại biên nước sâu [3]:

$$L_0 = \frac{gT_p^2}{2\pi} \approx 1,56T_p^2 = 1,56 \times 11,2^2 \approx 195,69 \text{ (m)}$$

Bảng 4.2 Các tham số sóng nước sâu [54]

Chiều cao sóng nước sâu H₀ (m)	Chu kỳ đỉnh phổ T_p (s)	Chiều dài sóng L₀ (m)
8,4	11,2	195,69

b. Các tham số sóng thiết kế

Các tham số sóng thiết kế được trình bày trong Bảng 4.3 và được xác định như sau:

- Chu kỳ trung bình (T_m) [1]:

$$T_m \approx \frac{T_p}{1,15} = 9,74 \text{ (s)}$$

- Chiều dài sóng tương ứng (L_m) [1]:

$$L_m = \frac{gT_m^2}{2\pi} \approx 1,56T_m^2 = 147,97 \text{ (m)}$$

- Độ dốc sóng tương ứng (s_{0m}) [1]:

$$s_{0m} = \frac{H_s}{L_m} = \frac{5,45}{147,97} \approx 0,037$$

Bảng 4.3 Các tham số sóng thiết kế [54]

Chiều cao sóng thiết kế H_s (m)	Chu kỳ trung bình T_m (s)	Chiều dài sóng L_m (m)	Độ dốc sóng s_{0m}
5,45	9,74	147,97	0,037

4.2 Tính toán thiết kế lớp phủ cho đê chắn sóng bảo vệ cảng Chân Mây

Trong phần tính toán thiết kế lớp phủ cho đê chắn sóng cảng Chân Mây, 2 dạng khối phủ được sử dụng để phân tích và so sánh là khối phủ Tetrapod (khối phủ truyền thống) và khối phủ mới là RAKUNA-IV (đối tượng nghiên cứu trong luận án này) trong cùng điều kiện biên về sóng (sóng không tràn và sóng không vỡ). Ở đây các khối phủ được tính toán theo tiêu chí đảm bảo ổn định theo 2 công thức như sau:

(1) Công thức Hudson theo hệ số ổn định K_D :

Đây là dạng công thức truyền thống để tính toán kích thước của các vật liệu bảo vệ mái đê theo tiêu chí ổn định về mặt thủy lực dựa vào các hệ số ổn định đã được xác định cho từng loại vật liệu.

(2) Công thức thực nghiệm theo chỉ số ổn định N_s :

Ổn định của các khối phủ được xem xét trong 2 trường hợp có xét và không xét đến ảnh hưởng của cơ chế xoay lắc (rocking).

Bảng 4.4 Các phương án tính toán và so sánh khối phủ áp dụng cho mái đê

PHƯƠNG ÁN 1	PHƯƠNG ÁN 2
<ul style="list-style-type: none">- Loại khối: TETRAPOD;- Xếp đều, 2 lớp;- Hệ số mái: 1/1,5- Điều kiện áp dụng: sóng không tràn, sóng không vỡ [1]; 	<ul style="list-style-type: none">- Loại khối: RAKUNA-IV- Xếp rời, 2 lớp;- Hệ số mái: 1/1,5- Điều kiện áp dụng: sóng không tràn, sóng không vỡ; 

Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, các tiêu chí sau đây đã được áp dụng để phân tích và đánh giá:

- (1) Kích thước và khối lượng khối phủ theo tiêu chí ổn định về mặt thủy lực;
- (2) Kích thước lớp phủ (chiều dày, mật độ);
- (3) Chi phí thi công đúc và chi phí lắp đặt các khối phủ;

Đối với khối phủ RAKUNA-IV, tác giả áp dụng các kết quả đã nghiên cứu trong luận án bao gồm hệ số ổn định thủy lực, công thức thực nghiệm tính toán ổn định thủy lực cũng như công thức thực nghiệm kiểm tra độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV đã được thiết lập cho trường hợp xếp rôi 2 lớp trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ.

4.2.1 *Tính toán xác định kích thước và khối lượng của khối phủ theo các công thức ổn định*

4.2.1.1 *Xác định kích thước và khối lượng của khối phủ theo công thức Hudson [1] [3]*

Áp dụng công thức Hudson cho giá trị chiều cao sóng tính toán ta có:

$$\frac{H_{1/10}}{\Delta D_n} = (K_D \cot g\alpha)^{1/3}$$

hay
$$D_n = \frac{H_{1/10}}{\Delta (K_D \cot g\alpha)^{1/3}} \quad (4-1)$$

trong đó,

$H_{1/10}$ - Chiều cao sóng có nghĩa ứng với giá trị trung bình của 1/10 số con sóng cao nhất trong bảng ghi số liệu sóng (m) [36];

$$H_{1/10} = 1,27H_s = 1,27 \times 5,45 = 6,92 (m)$$

Δ - Tỷ trọng tương đối của vật liệu chế tạo khối phủ (-);

ρ_{bt} - Khối lượng riêng của bê tông ($\rho_{bt} = 2,35 \text{ T/m}^3$);

ρ_n - Khối lượng riêng của nước biển ($\rho_n = 1,025 \text{ T/m}^3$);

$$\text{Với vật liệu là bê tông: } \Delta = \frac{\rho_{bt} - \rho_n}{\rho_n} = \frac{2,35 - 1,025}{1,025} \approx 1,29$$

D_n - Đường kính danh nghĩa của khối phủ bê tông (m); xác định bằng cạnh của một hình lập phương có cùng thể tích với khối phủ này [1] [3];

α - Góc nghiêng của mái đê phía biển so với phương nằm ngang ($^\circ$);

Với các loại khối phủ dạng tứ diện đều, hệ số mái thông dụng là:
 $\cot g\alpha = m = 1,5$ [21];

K_D - Hệ số ổn định đã được thống kê cho nhiều loại khối phủ bê tông dị hình khác nhau (xem Bảng 4.5).

- Đối với khối phủ Tetrapod trong điều kiện sóng không vỡ ta có $K_D = 8$;

- Đối với khối phủ RAKUNA-IV trong điều kiện nghiên cứu (sóng không tràn và không vỡ), hệ số ổn định đã xác định được từ thực nghiệm là $K_D = 10,6$;

Bảng 4.5 Giá trị hệ số ổn định K_D [1]

Khối phủ	Số lớp	Thân đê		Đầu đê	
		Sóng vỡ	Không vỡ	Sóng vỡ	Không vỡ
Tetrapod	2	7,0	8,0	4,5*	5,5*
Dolos	2	15,8	31,8	8,0	16,0*
Akmon	2	8	9	-	-
Accropode	1	12	15		

Khối phủ sau khi tính toán được lựa chọn theo khối lượng và kích thước đã có sẵn của nhà sản xuất.

Các kết quả tính toán cho 2 loại khối phủ được trình bày trong Bảng 4.6 dưới đây.

4.2.1.2 Xác định kích thước và khối lượng của khối phủ theo công thức thực nghiệm về chỉ số ổn định N_s

a. Khối phủ Tetrapod

(1) Trường hợp không xét đến cơ chế xoay lật

Đối với dạng khối phủ truyền thống thường được sử dụng là Tetrapod, công thức ổn định khi không xét đến cơ chế xoay lật có thể được áp dụng như sau [1]:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(3,75 \frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} + 0,85 \right) s_{om}^{-0,2} \quad (4-1)$$

hay

$$D_n = \frac{H_s}{\Delta \left[\left(3,75 N_{od}^{0,5} / N_z^{0,25} + 0,85 \right) s_{om}^{-0,2} \right]} \quad (4-2)$$

trong đó,

- H_s - Chiều cao sóng có nghĩa trước chân công trình (xem Bảng 4.3);
- Δ - Tỷ trọng tương đối của vật liệu khối phủ (xem mục 4.2.1.1 ở trên);
- N_{od} - Số cấu kiện bị dịch chuyển ra khỏi vị trí trên một dải bề rộng D_n ; tham số này phụ thuộc vào loại cấu kiện và được xác định theo Bảng 4.7;
Với mức độ hư hỏng trung gian cho các khối phủ có dạng tứ diện đều được xếp 2 lớp trên mái đê có thể lấy $N_{od} = 0,5$ để tính toán.

Bảng 4.6 Bảng tổng hợp kết quả tính toán cho hai phương án kết cấu cho lớp phủ mái theo công thức Hudson

	PA-1 Khối phủ Tetrapod	PA-2 Khối phủ RAKUNA-IV
Đường kính danh nghĩa tính toán của khối phủ D_n (m)	2,34	2,13
Khối lượng tính toán tương ứng của khối phủ W_a (T)	30,06	22,69
Khối lượng được chọn theo loại có sẵn của nhà sản xuất W_a (T)	32	25
Đường kính danh nghĩa tương ứng với loại khối phủ được chọn D_n (m)	2,39	2,2
Chiều dày lớp phủ t_a (m)	4,97	4,49
Mật độ xếp khối phủ N_a (cấu kiện/100 m ²)	18	18
Chi phí thi công đúc khối phủ (VN đồng/cấu kiện)	49.576.629	48.353.929
Chi phí lắp đặt khối phủ (VN đồng/cấu kiện)	9.284.657	6.958.657
Tổng chi phí thi công và lắp đặt khối phủ (VN đồng/cấu kiện)	58.861.286	55.312.586
Chi phí thi công đúc khối phủ ứng với 100m ² mái dê (VN đồng/100m ²)	902.639.908	886.555.302
Chi phí thi công lắp đặt khối phủ ứng với 100m ² mái dê (VN đồng/100m ²)	169.045.417	127.584.963
Tổng chi phí thi công và lắp đặt khối phủ ứng với 100m ² mái dê (VN đồng/100m ²)	1.071.685.325	1.014.140.265

Bảng 4.7 Mức độ hư hỏng N_{od} với các khối phủ bê tông [1]

Loại cấu kiện	Mái dê	Bắt đầu	Trung gian	Hư hỏng
Tetrapod	1:1.5	0	-	1.5
Accropode	1:1.33	0	-	0.5

N_z - Số con sóng đến công trình, kể đến ảnh hưởng hư hỏng tích lũy gây ra bởi các con sóng của các trận bão trong suốt tuổi đời phục vụ của công trình. Trong khoảng giá trị $N_z = 1000 \div 7000$ con sóng, chỉ số ổn định N_s tăng theo dạng tuyến tính. Khi N_z lớn hơn 7000 thì giá trị N_s gần như không đổi [49]. Thực tế giá trị $N_z \geq 7000$ thường được sử dụng để xác định kích thước khối phủ; trong nghiên cứu này giá trị biên $N_z = 7000$ đã được áp dụng cho công thức (4-2);

s_{0m} - Độ dốc sóng ứng với chu kỳ trung bình T_m (xem Bảng 4.3);

Điều kiện áp dụng của công thức này bao gồm [21]:

- Sóng ngẫu nhiên và không bị hạn chế do độ sâu;
- Sóng không tràn; sóng không vỡ (số Iribarren $3,5 < \xi_m < 6$);
- Các khối phủ Tetrapod được xếp 2 lớp trên mái dốc là 1:1,5;

Khối phủ sau khi tính toán được lựa chọn theo kích thước đã có sẵn của nhà sản xuất.

Thay các giá trị của các tham số vào công thức (4-2) ta có:

$$D_n = \frac{5,45}{1,29 \times \left[(3,75 \times 0,5^{0,5} / 7000^{0,25} + 0,85) \times 0,037^{-0,2} \right]} \approx 1,91 (m)$$

Khối lượng của khối phủ Tetrapod tương ứng là: $W_a = \rho D_n^3 = 2,35 \times 1,91^3 \approx 16,40 (T)$

Khi đó loại khối phủ Tetrapod được lựa chọn theo nhà sản xuất là $W_a = 18 (T)$

Đường kính danh nghĩa tương ứng với loại khối phủ này là: $D_n = \sqrt[3]{\frac{W_a}{\rho_{bt}}} = \sqrt[3]{\frac{18}{2,35}} \approx 1,97 (m)$

(2) Trường hợp có xét cả cơ chế xoay lắc:

Trường hợp ổn định có xét đến cơ chế xoay lắc, kích thước yêu cầu của khối phủ Tetrapod có thể được xác định như sau [43]:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(3,75 \frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} + 0,85 \right) s_{om}^{-0,2} - 0,5 \quad (4-3)$$

hay
$$D_n = \frac{H_s}{\Delta \left[\left(3,75 \frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} + 0,85 \right) s_{om}^{-0,2} - 0,5 \right]} \quad (4-4)$$

Khối phủ sau khi tính toán được lựa chọn theo kích thước đã có sẵn của nhà sản xuất.

Thay các giá trị của các tham số vào công thức (4-4) ta có:

$$D_n = \frac{5,45}{1,29 \times \left[\left(3,75 \times 0,5^{0,5} / 7000^{0,25} + 0,85 \right) \times 0,037^{-0,2} - 0,5 \right]} \approx 2,47 (m)$$

Khối lượng của khối phủ Tetrapod tương ứng là: $W_a = \rho D_n^3 = 2,35 \times 2,47^3 \approx 35,46 (T)$

Khi đó loại khối phủ Tetrapod được lựa chọn theo nhà sản xuất là $W_a = 36 (T)$

Đường kính danh nghĩa tương ứng với loại khối phủ này là:

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{W_a}{\rho_{bt}}} = \sqrt[3]{\frac{36}{2,35}} \approx 2,48 \text{ (m)}$$

b. Khối phủ RAKUNA-IV

(1) Trường hợp có xét cả cơ chế xoay lắc:

Theo kết quả nghiên cứu trong luận án, kích thước yêu cầu của khối phủ RAKUNA-IV đảm bảo ổn định trong điều kiện sóng thiết kế và có xét thêm cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc có thể được xác định theo công thức:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[4,47 \left(\frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} \right) + 0,85 \right] \cdot s_{0m}^{-0,2} - 0,5 \quad (4-5)$$

hay

$$D_n = \frac{H_s}{\Delta \left[\left(4,47 N_{od}^{0,5} / N_z^{0,25} + 0,85 \right) s_{0m}^{-0,2} - 0,5 \right]} \quad (4-6)$$

Khối phủ sau khi tính toán được lựa chọn theo kích thước đã có sẵn của nhà sản xuất.

Thay các giá trị của các tham số vào công thức (4-6) ta có:

$$D_n = \frac{5,45}{1,29 \times \left[\left(4,47 \times 0,5^{0,5} / 7000^{0,25} + 0,85 \right) \times 0,037^{-0,2} - 0,5 \right]} \approx 2,32 \text{ (m)}$$

Khối lượng của khối phủ RAKUNA-IV tương ứng là: $W_a = \rho D_n^3 = 2,35 \times 2,32^3 \approx 29,51 \text{ (T)}$

Khi đó loại khối phủ RAKUNA-IV được lựa chọn theo nhà sản xuất [53] là $W_a = 32 \text{ (T)}$

Đường kính danh nghĩa tương ứng với loại khối phủ này là:

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{W_a}{\rho_{bt}}} = \sqrt[3]{\frac{32}{2,35}} \approx 2,39 \text{ (m)}$$

(2) Trường hợp không xét đến cơ chế xoay lắc

Trường hợp ổn định không xét đến cơ chế đá nhảy, kích thước yêu cầu của khối phủ RAKUNA-IV có thể được xác định như sau:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[4,47 \left(\frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} \right) + 0,85 \right] \cdot s_{0m}^{-0,2} \quad (4-7)$$

hay

$$D_n = \frac{H_s}{\Delta \left[4,47 \left(N_{od}^{0,5} / N_z^{0,25} \right) + 0,85 \right] \cdot s_{0m}^{-0,2}} \quad (4-8)$$

Khối phủ sau khi tính toán được lựa chọn theo kích thước đã có sẵn của nhà sản xuất.

Thay các giá trị của các tham số vào công thức (4-8) ta có:

$$D_n = \frac{5,45}{1,29 \times \left[(4,47 \times 0,5^{0,5} / 7000^{0,25} + 0,85) \times 0,037^{-0,2} \right]} \approx 1,82 \text{ (m)}$$

Khối lượng của khối phủ RAKUNA-IV tương ứng là: $W_a = \rho D_n^3 = 2,35 \times 1,82^3 \approx 14,22 \text{ (T)}$

Khi đó loại khối phủ RAKUNA-IV được lựa chọn theo nhà sản xuất [53] là $W_a = 16 \text{ (T)}$

Đường kính danh nghĩa tương ứng với loại khối phủ này là:

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{W_a}{\rho_{bt}}} = \sqrt[3]{\frac{16}{2,35}} \approx 1,9 \text{ (m)}$$

4.2.1.3 Kết luận

Trong phạm vi nghiên cứu của đề tài cũng như áp dụng cho công trình đê chắn sóng bảo vệ cảng Chân Mây, các kết quả cho thấy khối lượng của khối phủ khi xác định theo dạng công thức thực nghiệm về ổn định thủy lực theo chỉ số ổn định cho kết quả lớn hơn giá trị tính theo công thức Hudson do có xét thêm nhiều tham số và cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc, thiên về mặt an toàn cho công trình cả về mặt ổn định và độ bền trước các tác động của sóng (xem Bảng 4.6 và Bảng 4.9).

Ngoài ra, có thể thấy khối lượng của các khối phủ khi được tính toán xác định theo công thức thực nghiệm không xét cơ chế xoay lắc nhỏ hơn rất nhiều so với kết quả tính toán khi có xét thêm cơ chế xoay lắc. Cách tính toán theo công thức này thực tế sẽ thiên về mặt kinh tế, tuy nhiên sẽ không đảm bảo về mặt ổn định và độ bền cho các khối phủ (xem Bảng 4.8).

4.2.2 Tính toán các kích thước lớp phủ mái đê

4.2.2.1 Chiều dày khối phủ

Bề dày của lớp phủ được xác định theo công thức sau [1]:

$$t_a = nK_t D_n \quad (4-9)$$

trong đó,

- t_a - Bề dày của lớp phủ.
- n - Số lớp cấu kiện, đối với khối phủ Tetrapod và RAKUNA-IV ta có $n = 2$;
- K_t - Hệ số xếp lớp của khối phủ; giá trị này phụ thuộc vào loại cấu kiện và phương pháp thi công, được tra theo Bảng 4.8 dưới đây;
- D_n - Đường kính danh nghĩa của khối phủ; giá trị này đã được xác định ở 4.2.1.1 và 4.2.1.2 của luận án.

Bảng 4.8 Giá trị của n , K_t và n_v cho một số loại khối phủ [1]

Loại khối phủ	Số lớp n	Phương pháp thi công	K _t	Độ rỗng n _v
Tetrapod	2	Xếp rôi	1,04	0,5
Dolos	2	Xếp rôi	0,94	0,56
Akmon	2	Xếp rôi	0,94	0,5

Các kết quả tính toán cho 2 loại khối phủ được trình bày trong Bảng 4.9 dưới đây.

4.2.2.2 Mật độ xếp khối phủ trên mái dề

Mật độ khối phủ cần thiết trên mái dề chắn sóng thường được xác định bằng tổng số khối phủ tính trên đơn vị diện tích mái bằng 100 m² theo công thức sau [1]:

$$N_a = \frac{n \cdot K_t \cdot (1 - n_v)}{D_n^2} \cdot 100 \quad (4-10)$$

trong đó,

- N_a - Mật độ khối phủ cần thiết, thường được xác định bằng tổng số khối phủ tính trên đơn vị diện tích mái bằng 100 m²;
- n_v - Độ rỗng của lớp phủ; khối phủ Tetrapod và RAKUNA-IV có độ rỗng tương ứng là 0,5 (50%) và 0,565 (56.5%).

Các kết quả tính toán cho 2 loại khối phủ được trình bày trong Bảng 4.9 dưới đây.

Lưu ý rằng để xác định tổng số lượng khối phủ cần thiết phải sử dụng mặt cắt ngang thực tế (phần tiết diện xếp khối phủ) dọc theo tuyến công trình.

4.2.3 Tính toán kiểm tra độ bền của khối phủ RAKUNA-IV

Với loại khối phủ lớn nhất là 32 T đã xác định như trên, áp dụng công thức thực nghiệm đã xây dựng, giá trị ứng suất tăng thêm lớn nhất xuất hiện trên bề mặt khối phủ khi bị xoay lật dưới tác động của sóng tại vị trí bất lợi nhất về mặt độ bền như sau:

$$\sigma_{i,xk} = \rho g H_s \left(23,9 - \frac{2H_s}{\Delta D_n} s_{0m}^{-1/3} \right) \approx 0,05 \text{ MPa}$$

Với các giá trị đã xác định trong Chương 3 và $\sigma_{ni,M} = 0,0068 \text{ MPa}$, giá trị ứng suất tổng cộng trong khối phủ tại vị trí bất lợi và xung yếu nhất khi đó sẽ được xác định như sau:

$$\sigma_{T,P} = n_L \sigma_{ni,M} + \sqrt{n_L n_E} \sigma_{i,M} \approx 0,84 \text{ MPa}$$

Với mức bê tông chế tạo các khối phủ là M350 [53] và các giá trị cường độ chịu kéo cho phép [10] có thể kết luận là các khối phủ này đảm bảo độ bền, khối phủ không bị nứt vỡ hay hư hỏng khi chịu tác động của sóng và không cần phải gia cường thêm cốt thép.

Bảng 4.9 Bảng tổng hợp kết quả tính toán cho hai phương án kết cấu cho lớp phủ mái theo công thức thực nghiệm cho chỉ số ổn định N_s

	PA-1		PA-2	
	Khối phủ Tetrapod		Khối phủ RAKUNA-IV	
	Không xét cơ chế xoay lắc	Có xét thêm cơ chế xoay lắc	Không xét cơ chế xoay lắc	Có xét thêm cơ chế xoay lắc
Đường kính danh nghĩa tính toán của khối phủ D_n (m)	1,91	2,47	1,82	2,32
Khối lượng tính toán tương ứng của khối phủ W_a (T)	16,4	35,46	14,22	29,51
Khối lượng được chọn theo loại có sẵn của nhà sản xuất W_a (T)	18	36	16	32
Đường kính danh nghĩa tương ứng với loại khối phủ được chọn D_n (m)	1,97	2,48	1,9	2,39
Chiều dày lớp phủ t_a (m)	4.10	5.16	3.88	4.88
Mật độ xếp khối phủ N_a (cấu kiện/100 m ²)	27	17	25	16
Chi phí thi công đúc khối phủ (VN đồng/cấu kiện)	29.749.229	55.241.600	35.607.743	58.267.629
Chi phí lắp đặt khối phủ (VN đồng/cấu kiện)	4.632.657	10.613.800	3.968.086	9.284.657
Chi phí thi công đúc khối phủ ứng với 100m ² mái dè (VN đồng/100m ²)	797.217.093	1.480.359.298	875.299.478	905.213.389
Chi phí thi công lắp đặt khối phủ ứng với 100m ² mái dè (VN đồng/100m ²)	124.145.515	284.427.633	97.542.369	144.241.253
Tổng chi phí thi công và lắp đặt khối phủ ứng với 100m ² mái dè (VN đồng/100m ²)	921.362.608	1.764.786.931	972.841.846	1.049.454.642

4.3 Kết luận chương 4

Trong chương này, tác giả đã ứng dụng các kết quả nghiên cứu để tính toán và kiểm tra ổn định cả về mặt thủy lực và kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV cho đê chắn sóng cảng Chân Mây – Thừa Thiên Huế trong điều kiện tương ứng với phạm vi nghiên cứu của luận án, trong đó bao gồm các nội dung sau:

- Ổn định: Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, khối phủ RAKUNA-IV được tính toán và so sánh với dạng khối phủ truyền thống có dạng tương tự là Tetrapod về các tiêu chí kinh tế và kỹ thuật. Các kết quả nghiên cứu sơ bộ trên 100 m² đơn vị diện tích mái đê cho thấy khối phủ RAKUNA-IV không chỉ đảm bảo các tiêu chí về mặt kỹ thuật mà còn mang lại hiệu quả về mặt kinh tế, với các chi phí về sản xuất, chế tạo và thi công lắp đặt nhỏ hơn khoảng 40%;

- Độ bền: với các kích thước và khối lượng của khối phủ đã tính toán theo tiêu chí ổn định, độ bền về mặt kết cấu hay điều kiện đảm bảo không xảy ra nứt vỡ của các khối phủ này được tính toán và kiểm tra theo công thức thực nghiệm đã xây dựng cho khối phủ RAKUNA-IV trong phạm vi nghiên cứu của luận án;

Như vậy có thể áp dụng các hệ số cũng như công thức thực nghiệm đã xây dựng được trong đề tài nghiên cứu này để tính toán thiết kế hoặc kiểm tra và đánh giá thiết kế khối phủ nói riêng và mặt cắt ngang đê chắn sóng nói chung tại khu vực cảng Chân Mây nhằm đảm bảo sự an toàn và hiệu quả của công trình cả về mặt ổn định thủy lực và độ bền.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Tóm tắt kết quả đã đạt được của luận án

1.1 Nghiên cứu tổng quan

Hệ thống đê chắn sóng trên thế giới nói chung và ở Việt Nam nói riêng đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ các khu nước bề cảng và tuyến luồng nhằm đảm bảo sự đi lại và neo đậu an toàn của tàu thuyền. Với lợi thế sẵn có về nguồn vật liệu đá, dạng đê chắn sóng mái nghiêng được sử dụng khá phổ biến ở các cảng biển của nước ta. Hầu hết các công trình đê chắn sóng cũng như các công trình bảo vệ bờ hiện nay ở Việt Nam đều sử dụng các dạng khối phủ truyền thống Tetrapod được xếp 2 lớp, với các ưu điểm là dễ chế tạo, tận dụng được vật liệu địa phương và đòi hỏi địa chất nền không cao, nhưng nhược điểm của dạng khối phủ này là tính năng ổn định thấp, do đó hiệu quả kinh tế chưa cao. Ngày nay điều kiện áp dụng của đê chắn sóng mái nghiêng ngày càng được mở rộng cùng với sự ra đời và phát triển của nhiều dạng khối phủ bê tông dị hình cải tiến có hiệu quả tiêu giảm sóng tốt hơn và do đó mang lại hiệu quả kinh tế cao. RAKUNA-IV là một trong những khối phủ mới được nghiên cứu và phát triển bởi Công ty Nikken-Kogaku - Nhật Bản năm từ 2007 với nhiều tính năng vượt trội và đem hiệu quả kinh tế cao hơn so với việc áp dụng các dạng khối phủ truyền thống khác như Tetrapod. Hiện nay việc phát hiện các tính năng ổn định của RAKUNA-IV trong các điều kiện thủy lực khác nhau cũng đang thu hút được nhiều mối quan tâm nghiên cứu ở nhiều nơi trên thế giới.

Đã có một số nghiên cứu đã được tiến hành trước đây về ổn định của cấu kiện RAKUNA-IV nhưng mới chỉ tập trung vào ổn định cho trường hợp xếp đều, chưa có nghiên cứu nào về ổn định của khối phủ này trong trường hợp các khối phủ này được xếp rời trên mái đê, đặc biệt là độ bền kết cấu của các khối phủ khi chịu tác động của sóng. Đây là một vấn đề thực tiễn mang tính cấp bách khi mà trong hầu hết các trường hợp, đặc biệt là khu vực có độ sâu lớn (thường là đoạn đầu đê), các khối phủ cho đê chắn sóng dạng đá đổ thường được thi công theo phương pháp xếp rời, các khối phủ rất dễ bị xoay lắc dưới tác động của sóng hoặc dòng chảy dẫn đến sự va đập và phát sinh các ứng suất có thể dẫn đến sự nứt vỡ và hư hỏng của các khối phủ này. Để hoàn thiện các nghiên cứu về ổn định thủy lực cũng như xem xét thêm cả độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV, tác giả đã tiến hành các thí nghiệm trên mô hình vật lý trong máng sóng và kết hợp với mô hình toán để xem xét ảnh

hưởng của cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc (rocking) đến cả ổn định thủy lực và độ bền của các khối phủ này trên mái dè chắn sóng dạng đá đổ khi chịu tác động của sóng.

1.2 Cơ sở khoa học để xây dựng mô hình vật lý và thiết lập mô hình toán để nghiên cứu ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV

Để xác định các hệ số thực nghiệm cũng như thiết lập các công thức thực nghiệm về ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV, cần thiết phải sử dụng phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng kết hợp với việc mô phỏng bằng mô hình toán theo phương pháp phần tử hữu hạn. Để xây dựng mô hình vật lý và thiết lập mô hình toán, tác giả đã áp dụng phép phân tích thứ nguyên để xác định được mối quan hệ giữa các tham số chi phối làm cơ sở để thiết kế kích bản thí nghiệm trên mô hình vật lý cũng như mô phỏng bằng mô hình toán.

Theo phạm vi và nội dung nghiên cứu, tác giả đã thiết kế và xây dựng mô hình thí nghiệm vật lý theo tiêu chuẩn tương tự Froude về mặt động học và động lực học về các tham số sóng, cũng như các tham số độ dài, diện tích, thể tích. Đối với các thí nghiệm về độ bền kết cấu, mô hình khối phủ đã có sự điều chỉnh về mặt kết cấu và vật liệu để gắn thêm các cảm biến áp lực và các lá điện trở nhằm đo đạc số liệu về ứng suất - biến dạng. Do vậy, để xác định được tỉ lệ của ứng suất trong khối phủ, cần thiết phải xác định giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến thông qua việc kết hợp mô phỏng thông qua mô hình ANSYS Mechanical APDL đã được kiểm định để xác định tỉ lệ mô đun đàn hồi tương ứng.

1.3 Nghiên cứu về ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV

Sự nứt vỡ hay hư hỏng về mặt kết cấu đối với một khối phủ riêng rẽ có thể dẫn đến hư hỏng lan truyền về mặt thủy lực đối với toàn bộ lớp phủ bảo vệ. Trong thiết kế dè chắn sóng do đó cần xem xét không chỉ ổn định về mặt thủy lực mà còn cả độ bền về mặt kết cấu của các cấu kiện lớp phủ.

Các thí nghiệm đã được tiến hành trên mô hình vật lý trong máng sóng áp dụng cho trường hợp các khối phủ RAKUNA-IV xếp rời 2 lớp trên mái dè chắn sóng trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ. Các kết quả phân tích và xử lý số liệu thu được từ các chuỗi thí nghiệm này cho thấy:

- Hệ số ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV theo các kết quả thí nghiệm trong điều kiện nghiên cứu đã xác định được là $K_D = 10,6$;

- Giá trị ứng suất xung kích xuất hiện trong khối phủ thường xuất hiện trong phạm vi từ mép nước đến vị trí bằng 0,5 lần giá trị chiều cao sóng tính toán; giá trị này phụ thuộc vào vị trí tương đối của khối phủ, chỉ số ổn định của khối phủ và tham số sóng tính toán;
- Việc lắp đặt thêm cảm biến tải trọng bằng nhôm đã phá vỡ tính đồng nhất của vật liệu bê tông. Khi đó các giá trị áp lực xung kích đo được trong các thí nghiệm không thể được chuyển đổi cho nguyên hình bằng các công thức xác định tỉ lệ thông thường. Do đó tác giả đã tiến hành tính toán và xác định giá trị mô đun đàn hồi biểu kiến (E_a) cho các mô hình thí nghiệm của khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) và xác định tỉ lệ tương ứng cho mô đun đàn hồi, từ đó tính toán được hệ số tỉ lệ cho các giá trị ứng suất tổng cộng trong khối phủ khi bị xoay lắc dưới tác động của sóng.

1.4 Nghiên cứu ứng dụng cho công trình thực tế

Luận án đã ứng dụng được các kết quả nghiên cứu để tính toán ổn định thủy lực và so sánh với dạng khối phủ truyền thống là Tetrapod, cũng như kiểm tra độ bền của khối phủ RAKUNA-IV cho đê chắn sóng cảng Chân Mây – tỉnh Thừa Thiên Huế trong điều kiện tương ứng với phạm vi nghiên cứu của luận án.

- *Ổn định*: Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, khối phủ RAKUNA-IV đã được tính toán và so sánh với dạng khối phủ truyền thống có dạng tương tự là Tetrapod về các tiêu chí kinh tế và kỹ thuật. Các kết quả nghiên cứu sơ bộ trên 100 m² đơn vị diện tích mái đê cho thấy khối phủ RAKUNA-IV không chỉ đảm bảo các tiêu chí về mặt kỹ thuật mà còn mang lại hiệu quả về mặt kinh tế, với các chi phí về sản xuất, chế tạo và thi công lắp đặt nhỏ hơn khoảng 40%;

- *Độ bền*: với các kích thước và khối lượng của khối phủ đã tính toán theo tiêu chí ổn định thủy lực, độ bền về mặt kết cấu hay điều kiện đảm bảo không xảy ra nứt vỡ của các khối phủ này được tính toán và kiểm tra theo công thức thực nghiệm đã xây dựng cho khối phủ RAKUNA-IV trong phạm vi nghiên cứu của luận án;

2. Những đóng góp mới của luận án

Luận án có 2 đóng góp mới như sau:

(1) Xác định được các tham số quan trọng có liên quan đến ổn định của khối phủ RAKUNA-IV được xếp rôi 2 lớp trên mái phía biển trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ thông qua việc phân tích các số liệu đo đạc từ các thí nghiệm trên mô hình vật lý trong máng sóng, bao gồm:

- Hệ số ổn định thủy lực $K_D = 10,6$ cho trường hợp khối phủ RAKUNA-IV được xếp rời hoàn toàn trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ (mục 3.2.1.3, công thức (3-5));
- Công thức thực nghiệm theo chỉ số ổn định N_s có xét đến cơ chế mất ổn định dạng xoay lắc của khối phủ RAKUNA-IV được xếp rời hoàn toàn trong điều kiện sóng không tràn và không vỡ (mục 3.2.1.4, công thức (3-10));

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left[4,47 \left(\frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} \right) + 0,85 \right] \cdot s_{0m}^{-0,2} - 0,5$$

- (2) Xây dựng được công thức thực nghiệm để tính toán và kiểm tra độ bền của khối phủ RAKUNA-IV thông qua giá trị ứng suất tăng thêm xuất hiện trong khối phủ khi va đập do chuyển động xoay lắc dưới tác động của sóng không tràn và không vỡ (mục 3.2.2.1, công thức (3-13)):

$$\sigma_{c,xk} = \rho g H_s \left(23,9 - \frac{2H_s}{\Delta D_n} s_{0m}^{-1/3} \right)$$

Từ đó có thể xác định được giá trị ứng suất tổng cộng xuất hiện trên bề mặt của khối phủ RAKUNA-IV trong điều kiện va đập vào nhau do ảnh hưởng của sự mất ổn định dạng xoay lắc dưới tác động của sóng không tràn và không vỡ;

3. Tồn tại và hướng nghiên cứu tiếp theo

3.1 Tồn tại

Trong phạm vi nghiên cứu về ổn định và độ bền của khối phủ RAKUNA-IV, luận án vẫn còn một số tồn tại như sau:

- Luận án mới chỉ nghiên cứu ổn định của khối phủ trong điều kiện sóng không tràn và sóng không vỡ;
- Luận án chưa xét đến ảnh hưởng của bãi trước;
- Luận án mới chỉ xét ổn định và độ bền cho khối phủ RAKUNA-IV trên mái dề có hệ số mái được áp dụng phổ biến là 1/1,5;
- Luận án chưa xét đến độ bền do ứng suất nhiệt; độ bền trong quá trình thi công.

3.2 Hướng nghiên cứu tiếp theo

Các hướng nghiên cứu tiếp theo có thể áp dụng cho khối phủ RAKUNA-IV bao gồm:

- (1) Ổn định và độ bền của các khối phủ RAKUNA-IV xếp rời trong các trường hợp khác:
- Mái thoải hơn (mái 1/2);
 - Sóng tràn và sóng vỡ;

- Mái dề chắn sóng phía cảng.
- Độ bền của khối phủ do công tác thi công; do ứng suất nhiệt

(2) Độ bền của khối phủ RAKUNA IV dạng nguyên hình tại hiện trường;

4. Kiến nghị

Trong phạm vi nghiên cứu, các kết quả của luận án có thể được tham khảo và áp dụng trong tính toán thiết kế các công trình dề chắn sóng đá đổ mái nghiêng trong thực tế nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế, kỹ thuật và giảm chi phí khắc phục hay sửa chữa đối với dề chắn sóng trong thời gian làm việc.

Các kết quả nghiên cứu cũng có thể được sử dụng để làm tài liệu tham khảo cho các cán bộ kỹ thuật làm công tác tư vấn thiết kế và thi công công trình biển nói chung và dề chắn sóng dạng đá đổ nói riêng.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Luong N.Q.** (2020) Hydraulic stability of randomly-placed RAKUNA-IV for rubble mound breakwaters in case of non-breaking and non-overtopping waves using physical models. In: Trung Viet N., Xiping D., Thanh Tung T. (eds) APAC 2019. APAC 2019. Springer, Singapore; pp. 891-897.
2. **Nguyễn Quang Lương** (2018). Nghiên cứu ổn định thủy lực của khối phủ RAKUNA-IV trong trường hợp xếp rỏi và sóng không tràn. Hội nghị Khoa học thường niên 2018, trường Đại học Thủy lợi.
3. **Nguyễn Quang Lương** (2018). Nghiên cứu tính năng ổn định thủy lực và kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV xếp rỏi trên đê chắn sóng dạng đá đổ sử dụng thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng. Hội thảo khoa học xây dựng công trình biển & dầu khí: thành tựu và các giải pháp mới (10/3/2018), trường Đại học Xây dựng.
4. **Nguyễn Quang Lương**, Nguyễn Văn Thìn (2017). Xác định hệ số tỉ lệ cho kết cấu lõi đê chắn sóng dạng đá đổ trong các thí nghiệm mô hình vật lý. Hội nghị Khoa học thường niên 2017, trường Đại học Thủy lợi.
5. **Nguyễn Quang Lương** (2016). Tổng quan về việc nghiên cứu ổn định thủy lực và độ bền kết cấu của các khối phủ bê tông xếp rỏi trên đê chắn sóng dạng đá đổ. Hội nghị Khoa học thường niên 2016, trường Đại học Thủy lợi.
6. Thieu Quang Tuan, Hiroshi Matsushita, Yasuomi Taki, **Nguyen Quang Luong** (2012). Stability of newly-improved wave dissipating blocks for rubble mound breakwaters. Proceedings of the 4th International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2012), Hanoi, Vietnam, 8-11 October 2012. pp. 361-369.
7. Hiroshi Matsushita, Thieu Quang Tuan, **Nguyen Quang Luong**, Le Tuan Hai, Yasuomi Taki (2012). Experimental study on stability of new wave dissipating block for sloping breakwater. Journal of JSCE, Ser. B3 (Civil Engineering in the Ocean), Vol. 68, No. 2, pp. I_318-I_323.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Coastal Engineering Manual (CEM), 2006. Engineer Manual 1110-2-1100. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC., (in 6 volumes).
- [2]. Burcharth, H.F., Zhou Liu (1994). Application of load-cell technique in the study of armour unit responses to impact loads. Proc. ASCE 24th International Conference on Coastal Engineering, Kobe, Japan.
- [3]. Shore Protection Manual (SPM), 1984. U.S. Army Corps of Engineers, CERC, US Govt. Printing Office, Washington, DC.
- [4]. Lương Phương Hậu (2001). Công trình bảo vệ Bờ biển và Hải đảo. NXB Xây dựng. ISBN: 79308.
- [5]. PIANC (1993). Analysis of Rubble Mound Breakwaters. Report of Working Group No. 12 of the Permanent Technical Committee II. Supplement to Bulletin No. 78/79. Brussels, Belgium.
- [6]. "Nikken Kogaku Co.,Ltd.," [Online]. Available: <https://www.nikken-kogaku.co.jp/English/Product/Coast/>.
- [7]. "Japanese Infrastructure Newsletter - June 2016 No.72," [Online]. Available: <http://www.idi.or.jp/wp/wp-content/uploads/2018/05/idi72.pdf>.
- [8]. Van der Meer, J.W (1999). Design of concrete armour layers. Proc. Coastal Structures '99, Santander, Spain. Losada (ed.), Balkema, Rotterdam, pp. 213-221.
- [9]. Min, E.J., Cheon, S., Suh, K.C., & Matsushita, H. (2015). Stability Coefficients of Tetrapod, RAKUNA-IV and Dimple Depending on Placement Methods.
- [10]. Burcharth, H. F. (1987). The Lessons From Recent Breakwater Failures: developments in breakwater design. Paper presented at Technical Congress On Inshore Engineering, Vancouver, Canada.
- [11]. Tiêu chuẩn quốc gia (2014). TCVN 9901:2014 Công trình Thủy lợi - Yêu cầu thiết kế Đê biển.
- [12]. Tiêu chuẩn cơ sở (2017). TCCS 02:2017/CHHVN Đê chắn sóng - Yêu cầu thiết kế.

- [13]. Lê Thị Hương Giang (2015). Nghiên cứu đánh giá ổn định của khối phủ RAKUNA-IV cho đê chắn sóng đá đổ mái nghiêng. Luận án Tiến sĩ.
- [14]. Phạm Văn Giáp, Nguyễn Hữu Đầu, Nguyễn Ngọc Huệ, Đinh Đình Trường (2000). Bể cảng và đê chắn sóng. NXB Xây dựng.
- [15]. British Standard (1991). BS 6349-7-1991 Maritime Structures – Part 7: Guide to the Design and Construction of Breakwaters.
- [16]. Nguyễn Hữu Đầu (2001). Sách dịch tiêu chuẩn BS 6349-7-1991. Công trình Biển: Chỉ dẫn thiết kế và thi công Đê chắn sóng. NXB Xây dựng. ISBN: 82437.
- [17]. Jeffrey A Melby (1999). Damage progression on rubble-mound breakwaters. Technical report (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station), CHL-99-17. Vicksburg, Miss. : U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1999.
- [18]. WL | Delft Hydraulics (2005). BREAKWAT 3.1.1 User & Technical Manual version 3.1.02.
- [19]. CUR/CIRIA Manual (1991). Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering. CUR report 154, Gouda, The Netherlands. CIRIA special publication 83, London, United Kingdom.
- [20]. "仮想ブロック - 消波ブロックの Web3D - Virtual Blocks - Wave Dissipation Block Web3D, " [Online]. Available: <http://mcguffin.seesaa.net/article/132844106.html>.
- [21]. Suh, Kyung-Duck. (2012). Stability Formula for Tetrapods. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. 138. 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000124.
- [22]. Suh, Kyung-Duck & Hoon Lee, Tae & Matsushita, Hiroshi & Ki Nam, Hong. (2013). Stability Formula for RAKUNA-IV Armoring Rubble-mound Breakwater. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers. 25. 10.9765/KSCOE.2013.25.4.181.
- [23]. Hiroshi Matsushita, Thieu Quang Tuan, Nguyen Quang Luong, Le Tuan Hai, Yasuomi Taki (2012). Experimental study on stability of new wave-dissipating block for sloping breakwater. Journal of JSCE, Ser. B3 (Civil Engineering in the Ocean), Vol. 68, No. 2, pp. I_318-I_323.

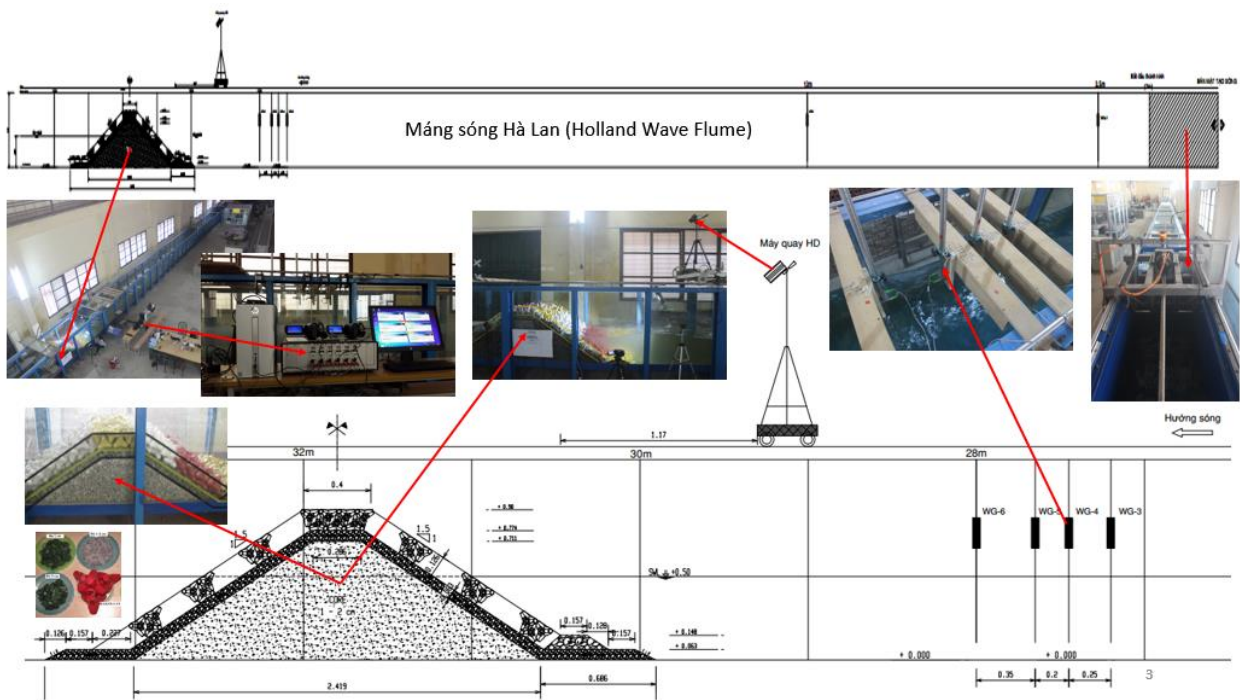
- [24]. Van der Meer, J.W. (1987). Stability of breakwater armour layers – Design formulas. Elsevier. *Journal of Coastal Engineering*, 11, pp219-239.
- [25]. "Van der Meer Consulting B.V.," [Online]. Available: <http://www.vandermeerconsulting.nl/>.
- [26]. Van der Meer, J.W. and Heydra, G. (1991). Rocking armour units: number, location and impact velocity. *Journal of Coastal Engineering*, special issue "Breakwaters", 15 (1991) 3-19, Elsevier. Also Delft Hydraulics Publication Number 435.
- [27]. Jun Mitsui, Masato Yamamoto, Satoshi Noboru, Ichiro Nishiwaki. Impact force analysis on wave dissipating concrete blocks during rocking motion. *Coastal Engineering*, 32 (2010).
- [28]. Hanzawa, M., Sato, H., Takahashi, S., Shimosako, K., Takayama, T. and Tanimoto, K. (1996). New stability formula for wave-dissipating concrete blocks covering horizontally composite breakwaters. *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, Orlando, U.S.A.*, 1665-1678.
- [29]. Mase, H., Yasuda, T., Mori, N., Matsushita, H. and Reis, M.T. (2011). Effects of wave steepness and wave breaking on stability of wave-dissipating blocks. *Proc. Coastal Structures 2011, Yokohama, Japan*.
- [30]. De Jong, R. J. (1996). Wave transmission at low-crested structure, Stability of tetrapods at front, crest and rear of a low-crested breakwater. Master thesis, Delft Univ. of Technology, Netherlands.
- [31]. Nguyễn Văn Ngọc (2016). Nghiên cứu bằng máng sóng số tính năng chiết giảm sóng tràn của khối phủ cải tiến RAKUNA-IV, ứng dụng cho đê chắn sóng nhà máy lọc dầu Nghi Sơn – Thanh Hóa. Luận văn Thạc sĩ.
- [32]. Thieu Quang Tuan, Hiroshi Matsushita, Yasuomi Taki, Nguyen Quang Luong (2012). Stability of newly-improved wave dissipating blocks for rubble mound breakwaters. *Proceedings of the 4th International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2012), Hanoi, Vietnam, 8-11 October 2012*. pp. 361-369.
- [33]. Le T.H.G. (2019) On the Use of Armour Block Rakuna-IV in Breakwaters and Coastal Protection Works in Vietnam. In: Randolph M., Doan D., Tang A., Bui M., Dinh V. (eds) *Proceedings of the 1st Vietnam Symposium on Advances in*

- Offshore Engineering. VSOE 2018. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 18. Springer, Singapore.
- [34]. Van der Meer, J.W (1989). Impact velocities of rocking armor units. Proc. Workshop Stresses in concrete armor units, Vicksburg.
- [35]. Burcharth, H.F., d'Angremond, K., Van der Meer, J.W. and Liu, Z (2000). Empirical formula for breakage of Dolosse and Tetrapods. Journal of Coastal Engineering 40 (2000); pp. 183-206.
- [36]. Burcharth, H.F. and Liu, Z. (1992). Design of Dolos armour units. ASCE, 23rd ICCE, Venice, Italy; pp. 1053-1066.
- [37]. Burcharth, H.F., Howell, G.L. và Liu, Z. (1991). On the determination of concrete armour unit stresses including specific results related to Dolosse. In: J.W. van der Meer, H.F. Burcharth và W.A. Price (Editors), Breakwaters. Coastal Eng., 15; pp. 107-165.
- [38]. Burcharth, H. F., Jensen, M. S., Liu, Z., Van der Meer, J. W., and D'Angremond, K. (1995). Design Formula for Tetrapod Breakage. Proceedings of the Final Workshop, Rubble Mound Breakwater Failure Modes, Sorrento, Italy.
- [39]. Đào Phương Bắc (2009). Một số vấn đề về ứng suất và biến dạng trong khối bê tông dị hình Dolos, nâng cao ứng dụng của nó trong gia cố mái đê. Tạp chí Biển & Bờ số 5-6, 2009.
- [40]. Van der Meer, J.W., Ligteringen H. (2006). Breakwater Design. Lecture notes, UNESCO-IHE, LN0026/06/1.
- [41]. Lương Phương Hậu và Trần Đình Hợi (2003). Lý thuyết thí nghiệm mô hình Công trình thủy. NXB Xây dựng. ISBN: 111321.
- [42]. Steven A. Hughes (1993). Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering.
- [43]. Ahrens, J.P. (1989). Stability of reef breakwaters. ASCE, Journal of WPC and OE, Vol. 115, No. 2.
- [44]. Burcharth, H.F., Liu, Z, Troch, P. (1999). Scaling of core material in rubble mound breakwater model tests. Proc. International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC), No. 5, Cape Town, South Africa; pp. 1518-1528.

- [45]. Keulegan, G. G. (1973). Wave Transmission Through Rock Structures. Research Report H-73-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- [46]. Phạm Ngọc Khánh (chủ biên), Nguyễn Ngọc Oanh, Đoàn Văn Đào, Đỗ Khắc Phương, Nguyễn Công Thắng (2006). Sức bền vật liệu. NXB Từ điển Bách Khoa.
- [47]. Vũ Hoàng Hưng (2018). ANSYS - Ví Dụ Thực Tế Phân Tích Kết Cấu Công Trình Thủy Lợi Thủy Điện - Practical Applications On Structural Analysis Of Hydraulic Works And Hydropower Dams. NXB Xây dựng. ISBN: 9786048225094.
- [48]. d'Angremond, K., Van der Meer, J.W. and Van Nes, C.P (1994). Stresses in tetrapod armour units induced by wave actions. ASCE, proc. 24th ICCE, Kobe, Japan, pp. 1713-1726.
- [49]. Van der Meer, J.W. and Pilarczyk, K.W (1984). Stability of rubble mound slopes under random wave attack. ASCE, Proc. 19th ICCE, Houston. Also Delft Hydraulics Publication No. 332.
- [50]. Van der Meer, J.W. (1988c). Stability of Cubes, Tetrapods and Accropode. Proc. Breakwaters '88, Eastbourne, Thomas Telford.
- [51]. Van der Meer, J.W. (1998a). Stability of Cubes, Tetrapods and Accropodes. In: ICE, Design of Breakwaters. Proc. Conf. Breakwaters '88. Thomas Telford, London, Ch.6L pp. 59-68.
- [52]. Dowling, Norman E. (2012). Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. Pearson; 4th Edition.
- [53]. Tiêu chuẩn quốc gia (2012). TCVN 5574:2012 Kết cấu bê tông và Bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [54]. "Cảng Chân Mây - Chan May Port," [Online]. Available: <http://www.chanmayport.com.vn/>.
- [55]. "Foil Strain Gauges Series F," Tokyo Measuring Instruments Lab, [Online]. Available: https://tml.jp/eng/documents/strain_gauge/Fseries.pdf.

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC A Máng sóng và mô hình đê thí nghiệm



Hình A.1 Sơ đồ bố trí chung cho các thí nghiệm trên mô hình vật lí trong máng sóng



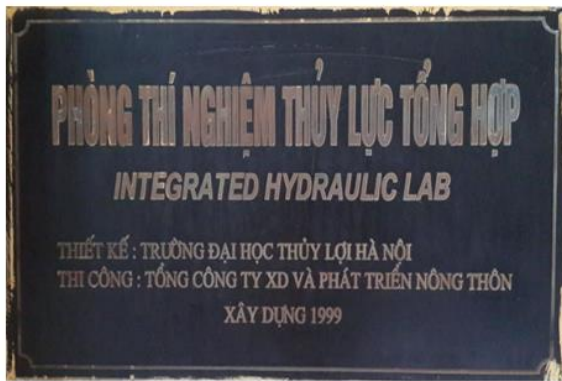
Hình A.2 Mặt bằng thí nghiệm trong phòng thí nghiệm thủy lực tổng hợp



Hình A.3 Bố trí các thiết bị phục vụ thí nghiệm trong máng sóng Hà Lan

Bảng A.1 Các thông số và đặc tính kỹ thuật của máng sóng và máy tạo sóng

Máng sóng	Máy tạo sóng
<ul style="list-style-type: none"> - Chiều dài tổng cộng: 50 m; - Chiều dài hiệu quả: 45 m; - Chiều cao: 1,2 m; - Chiều rộng: 1 m; - Chiều cao sóng tối đa: 0,3 m; - Chu kỳ sóng tối đa: 3 s; 	<ul style="list-style-type: none"> - Dạng piston; - Khoảng chạy (hành trình): 2 m; - Vận tốc cực đại: 1,2 m/s; - Gia tốc cực đại: 4,7 m/s²; - Công suất: 3,3 kW (liên tục); 7 kW (đỉnh); - Hệ thống hấp thụ sóng phản xạ chủ động (ARC = Active Reflection Compensation) cho phép tạo sóng với độ chính xác cao. - Tạo sóng đều hoặc sóng ngẫu nhiên theo một số dạng phổ sóng phổ biến biến như phổ JONSWAP (Joint North Sea Wave Project) hay phổ Pierson-Moskowitz (PM).



Hình A 4 Các thí nghiệm được tiến hành ở các phòng thí nghiệm thuộc trường Đại học Thủy lợi: Phòng thí nghiệm Thủy lực tổng hợp và Phòng Thí nghiệm Sức bền vật liệu & Cơ kết cấu.



Hình A.5 Vật liệu chế tạo mô hình đê thí nghiệm



Hình A.6 Xây dựng mặt cắt đê thí nghiệm trong máng sóng



Hình A.7 Các thiết bị máy quay và máy ảnh phục vụ thí nghiệm trong máng sóng



Hình A.8 Thiết kế các mô hình thí nghiệm cho khối phủ có gắn cảm biến (i-RAK) và bố trí thí nghiệm độ bền kết cấu

Bảng A.2 Các kịch bản thí nghiệm trên mô hình đê chắn sóng

TT	Kịch bản	Độ sâu nước	Chiều cao sóng	Chu kỳ sóng	Thời gian			Số con sóng
		(cm)	(cm)	(s)	(h)	(phút)	(s)	
1	d50H10T18	50	10	1.8	1.5	90	5400	3000
2	d50H10T15			1.5	1.25	75	4500	3000
3	d50H10T13			1.3	1.08	65	3900	3000
4	d50H10T11			1.1	0.92	55	3300	3000
5	d50H12T20	50	12	2	1.67	100	6000	3000
6	d50H12T16			1.6	1.33	80	4800	3000
7	d50H12T14			1.4	1.17	70	4200	3000
8	d50H12T12			1.2	1.00	60	3600	3000
9	d50H15T22	50	15	2.2	1.83	110	6600	3000
10	d50H15T18			1.8	1.50	90	5400	3000
11	d50H15T16			1.6	1.33	80	4800	3000
12	d50H15T14			1.4	1.17	70	4200	3000
13	d55H17T23	55	17	2.3	1.92	115	6900	3000
14	d55H17T19			1.9	1.58	95	5700	3000
15	d55H17T17			1.7	1.42	85	5100	3000
16	d55H17T15			1.5	1.25	75	4500	3000
17	d55H20T25	55	20	2.5	2.08	125	7500	3000
18	d55H20T21			2.1	1.75	105	6300	3000
19	d55H20T18			1.8	1.50	90	5400	3000
20	d55H20T16			1.6	1.33	80	4800	3000
21	d55H21T26	55	21	2.6	2.17	130	7800	3000
22	d55H21T21			2.1	1.75	105	6300	3000
23	d55H21T18			1.8	1.50	90	5400	3000
24	d55H21T16			1.6	1.33	80	4800	3000

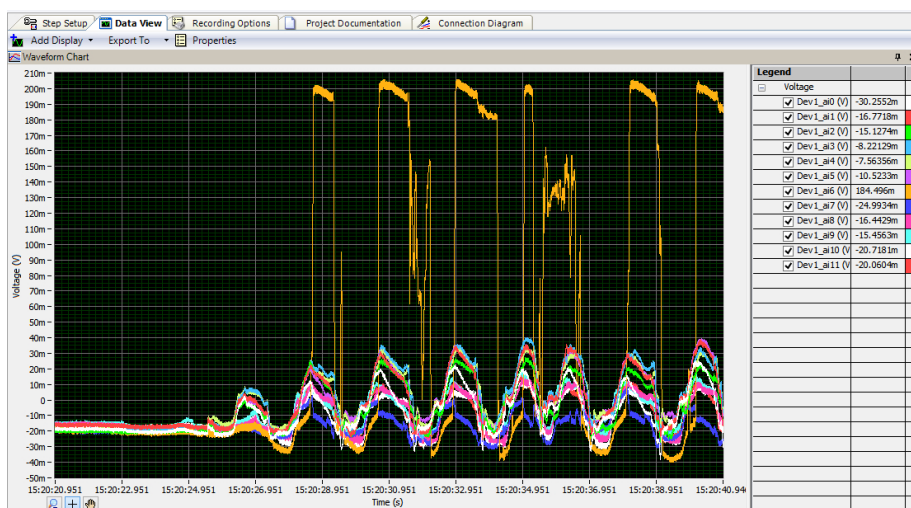


FLA-5 Strain Gauges
(from TML – Tokyo Sokki Kenkyujo)

Hình A.9 Các cảm biến điện trở FLA-5 cùng keo dán chuyên dụng CN của hãng Tokyo Sokki Kenkyujo (Nhật Bản) và hệ thống dây dẫn & keo phủ chống nước

Gauge pattern	Basic type	Gauge size		Backing		Resist- ance Ω	
		L	W	L	W		
<p>Tokyo Sokki Kenkyujo</p>		FLG-02	0.2	1.4	3.5	2.5	120
		FLG-1	1	1.1	6.5	2.5	120
		FLA-03	0.3	1.4	3	2	120
		FLA-05	0.5	1.2	5	2.2	120
		FLA-1	1	1.3	5	2.5	120
		FLA-2	2	1.5	6.5	3	120
		FLA-3	3	1.7	8.8	3.5	120
		FLA-3-60	3	1.2	8	3	60
		FLA-5	5	1.5	10	3	120
		FLA-6	6	2.2	12.5	4.3	120
	FLA-10	10	2.5	16.7	5	120	
	FLA-30	30	2	36.1	5.1	120	

Hình A.10 Các thông số và đặc tính kỹ thuật của lá điện trở FLA-5 của hãng Tokyo Sokki Kenkyujo (Nhật Bản) [55]



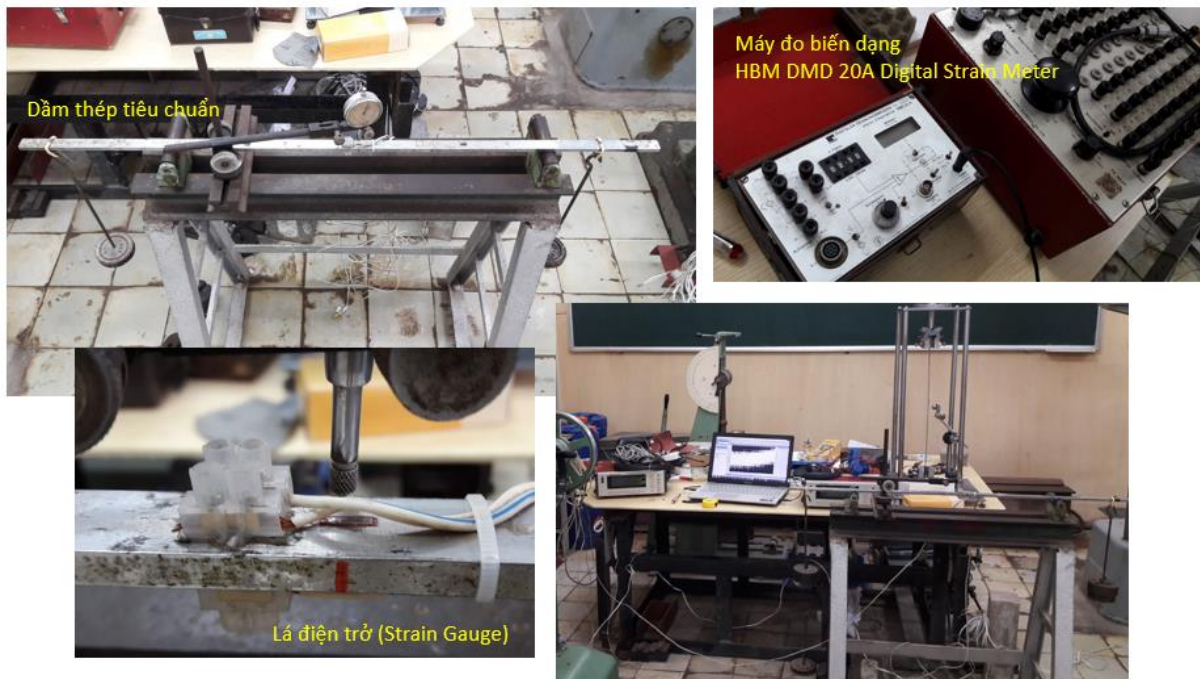
Hình A.11 Bộ phần mềm NI SignalExpress của hãng NI (National Instrument) được sử dụng để hiển thị các tín hiệu đo đã được khuếch đại từ các máy đo SDA

Bảng A.3 Trình tự thí nghiệm trong ngày cho mỗi kịch bản

TT	Buổi	Thời gian	Nội dung công việc
1	Sáng	8h00 - 8h30	Chuẩn bị & lắp đặt các thiết bị; quay phim + chụp ảnh mái dề trước thí nghiệm;
2		8h30 - 9h50	- Bơm nước đến cao trình thiết kế; - Kiểm tra mực nước và chuẩn bị cho các bước tiếp theo;
3		9h50 - 10h20	- Kiểm định các đầu đo sóng; - Chuẩn bị các file điều khiển máy tạo sóng trong cabin;
4		10h20 - 10h45	- Chạy sóng ổn định & - Đợi nước lắng và kiểm tra lại các đầu đo và thiết bị đo;
5		10h45 - 12h30	Tiến hành thí nghiệm theo kịch bản; quan sát (sử dụng thêm bút chiếu laser) và ghi chép nhật kí trong quá trình thí nghiệm
6		12h30	Bắt đầu xả nước trong máng đến cao trình thêm đá dưới cơ chân
7		12h30 - 14h00	- Ăn trưa & nghỉ ngơi; - Copy số liệu từ máy tính vào các ổ cứng ngoài;
8	Chiều	14h15 - 14h30	Quay phim & chụp ảnh mái dề sau thí nghiệm
9		14h30 - 15h30	Xếp lại cấu kiện mái trước cho kịch bản thí nghiệm tiếp theo
10		15h45 - 16h00	Thay nhãn & chụp ảnh mô hình dề trước thí nghiệm
11		16h00 - 16h30	Bơm nước đến cao trình mặt thêm đá dưới cơ chân
12		16h30 - 17h00	- Copy dữ liệu từ các máy quay và máy ảnh vào máy tính; - Thu dọn khu vực thí nghiệm



Hình A.12 Các máy đo động SDA-830A và SDA-830C được sử dụng trong thí nghiệm độ bền kết cấu của khối phủ RAKUNA-IV



Hình A.13 Xác định hệ số chuyển đổi tín hiệu trong Phòng thí nghiệm Sức bền – Kết cấu của trường Đại học Thủy lợi.

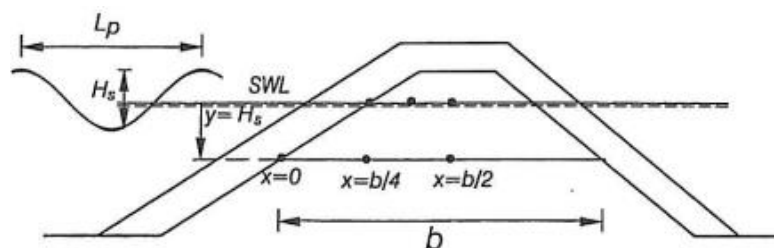
PHỤ LỤC B Tính toán tỉ lệ mô hình cho lõi đê chắn sóng dạng đá đổ

B1. Nghiên cứu của Burcharth và cộng sự (1998)

Đối với lớp lõi, điều quan trọng là phải đảm bảo tính nhất quán giữa gradient thủy lực trong mô hình và trong nguyên mẫu. Một giải pháp phù hợp cho điều này đó là sử dụng cỡ đá lớn hơn cho lớp lõi so với cỡ đá được tính toán theo quy tắc tỉ lệ Froude. Burcharth và cộng sự (1999) đã đưa ra một phương pháp bao gồm ước tính trường vận tốc và đề nghị việc sử dụng giá trị vận tốc đặc tính có liên quan có thể áp dụng cho việc định tỉ lệ vật liệu lớp lõi trong các mô hình vật lý. Hệ số tỉ lệ cho lõi đê chắn sóng sẽ nhỏ hơn so với hệ số tỉ lệ áp dụng theo quy tắc Froude.

Giá trị đường kính viên đá sử dụng cho lớp lõi trong các mô hình thí nghiệm được xác định sao cho quy tắc Froude vẫn có thể áp dụng cho một giá trị vận tốc lỗ rỗng đặc tính. Giá trị vận tốc này được xác định là giá trị trung bình của vận tốc trong vùng chịu ảnh hưởng lớn nhất của lớp lõi về mặt dòng chảy trong môi trường lỗ rỗng [18]. Quy trình định tỉ lệ cho lớp lõi như sau:

- (1) Phóng các kích thước của mô hình ra nguyên mẫu theo hệ số tỉ lệ;
- (2) Xác định vị trí các điểm lưu tốc lỗ rỗng đặc tính trong cả nguyên mẫu và mô hình (xem Hình B.1);
- (3) Xác định gradient áp lực (I_x) trong nguyên mẫu;
- (4) Xác định các giá trị lưu tốc đặc tính trong nguyên mẫu (U_p);
- (5) Xác định các giá trị lưu tốc đặc tính trong mô hình (U_m);
- (6) Chọn giá trị đường kính trung bình của vật liệu lớp lõi bằng phương pháp tính lặp.



Hình B.1 Các vị trí xác định lưu tốc đặc tính trong lớp lõi [18]

Phương pháp định tỉ lệ mô hình lõi đê chắn sóng của Burcharth (1999) thường cho kết quả nhỏ hơn, hay cỡ đá thí nghiệm cho mô hình lõi đê sẽ lớn hơn. Trong thực tế tính chất sóng truyền qua đê chắn sóng đá đổ có vai trò quan trọng về mặt ổn định và động lực học, do

vậy trong thực tế phương pháp của Le Méhauté (1965) và Keulegan (1973) thường được áp dụng một cách rộng rãi hơn trong các thí nghiệm với mô hình vật lí về mặt ổn định thủy lực cũng như các thí nghiệm về sóng tràn qua đê chắn sóng đá đổ.

B2. Nghiên cứu của Le Méhauté (1965) và Keulegan (1973)

Nếu các công trình dạng đá đổ và hấp thụ sóng được mô hình với cỡ đá và vật liệu lõi được thu nhỏ về mặt hình học theo tỉ lệ, sóng truyền qua mô hình sẽ giảm đi tương đối. Các tổn thất ma sát lớn hơn so với mô hình khi sóng truyền qua công trình, và điều này trở nên rõ rệt hơn về mặt tỉ lệ sử dụng cho các mô hình bề cảng [37]. Ảnh hưởng về mặt tỉ lệ này được khắc phục bằng việc tăng kích thước các viên đá trong mô hình so với giá trị thu phóng theo tỉ lệ dài theo công thức sau:

$$\frac{L_p}{L_m} = K \frac{D_p}{D_m} \quad (\text{B-1})$$

hay
$$N_L = KN_D \quad (\text{B-2})$$

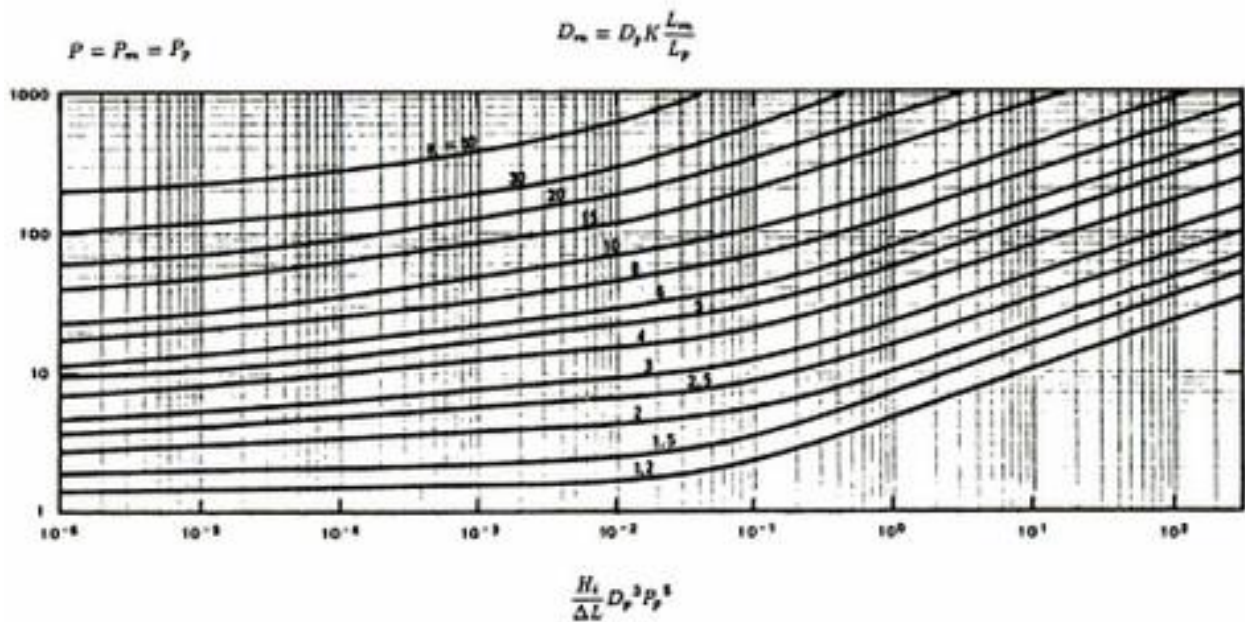
trong đó L là chiều dài đặc trưng của mô hình nguyên dạng, D là kích thước dài của viên đá, K là hệ số có giá trị lớn hơn 1; p và m lần lượt biểu thị cho nguyên hình và mô hình.

Le Méhauté (1965) và Keulegan (1973) đã đề xuất các phương pháp để xác định kích thước của các lớp phủ bảo vệ của đê chắn sóng đá đổ và vật liệu lõi để mô phỏng chính xác hiện tượng sóng truyền. Hudson và cộng sự (1979) đã đề xuất hệ số tỉ lệ K cần được tính toán bằng cả hai phương pháp và giá trị trung bình từ hai kết quả tính toán này sẽ được sử dụng trong công thức trên.

Le Méhauté (1965) đã sử dụng các kết quả phân tích và số liệu có sẵn để phát triển một phương pháp sử dụng biểu đồ cho việc lựa chọn giá trị K phù hợp. Tác giả giả thiết rằng các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ có thể được bỏ qua trong các lớp phủ ngoài, và giữa nguyên hình và mô hình có cùng cấp phối đá lớp lõi. Khi đó, các ảnh hưởng về mặt tỉ lệ do dòng chảy qua lớp lõi của công trình có thể được hiệu chỉnh. Biểu đồ của Le Méhauté [37] được thể hiện trong Hình B.2 dưới đây.

Đường liền nét biểu thị các giá trị không đổi của hệ số K. Tung độ là tỉ lệ dài về mặt hình học, $N_L = L_p / L_m$, và hoành độ là hệ số phi thứ nguyên có kết hợp nhiều tham số của công trình dạng đá đổ.

$$\frac{H_i}{\Delta L} D_p^3 P_p^5 \quad (\text{B-3})$$



Hình B.2 Biểu đồ xác định kích thước mô hình công trình dạng đá đổ theo sóng truyền trong các mô hình nguyên dạng [37]

trong đó,

H_i - Chiều cao sóng đến;

ΔL - Bề rộng trung bình của mặt cắt ngang lỗ đê;

Khi đó tỉ số $\Delta H_i / \Delta L$ là độ dốc của tổn thất cột nước qua các lỗ rỗng trong lỗ đê.

D_p - Đường kính đá hiệu quả (tính bằng cm) của lỗ đê nguyên hình, và được xác định theo giá trị 10% nhỏ hơn đá theo đường cong cấp phối của lỗ đê;

P - Độ rỗng của lỗ đê ($0 < P < 1$).

Keulegan (1973) đã tiến hành các thí nghiệm sử dụng đá có đường kính gần bằng nhau với độ rỗng khoảng 0.46, và ông đã phát triển các công thức kinh nghiệm dựa trên giá trị độ rỗng này. Tuy nhiên vật liệu đá cho lớp lỗ có cấp phối với giá trị độ rỗng nằm trong khoảng từ 0.35 đến 0.4. Hudson và cộng sự (1979) đã trình bày một dạng tổng quát cho các phương trình của Keulegan trong đó độ rỗng được xem xét như một biến. Hai phương trình được đưa ra; một áp dụng cho hiện tượng sóng truyền trong nguyên hình khi số Reynolds của công trình, R_n , lớn hơn 2000 và các tổn thất năng lượng được giả thiết là từ sự tiêu tán do rối động; và phương trình còn lại áp dụng cho trường hợp $20 < R_n < 2000$, và sự tiêu tán do độ nhớt xảy ra bên trong công trình.

Những quan hệ này như sau:

(1) Trường hợp $R_n > 2000$:

$$\left(\frac{H_i}{H_t}\right)_p = 1 + \gamma_p \left(\frac{H_i}{2h}\right)_p \left(\frac{\Delta L}{L}\right)_p \quad (\text{B-4})$$

$$\text{và } \gamma_p = \frac{P_p^{-4}}{10,6} \left(\frac{L}{D}\right)_p \left(g h \frac{T^2}{L^2}\right)_p^{4/3} \quad (\text{B-5})$$

(2) Trường hợp $20 < R_n < 2000$:

$$\left(\frac{H_i}{H_t}\right)_m^{2/3} = 1 + \gamma_m \left(\frac{H_i}{2h}\right)_m \left(\frac{\Delta L}{L}\right)_m \quad (\text{B-6})$$

$$\text{và } \gamma_m = \frac{P_m^{-4}}{1,52} \left(\frac{\nu T}{DL}\right)_m^{1/3} \left(\frac{L}{D}\right)_m \left(g h \frac{T^2}{L^2}\right)_m^{4/3} \quad (\text{B-7})$$

Trong những phương trình trên, số Reynolds của công trình (R_n) được xác định như sau:

$$R_n = \frac{PH_iLD}{2\nu hT} \quad (\text{B-8})$$

và các biến được xác định như sau:

- H_i - Chiều cao sóng đến;
- H_t - Chiều cao sóng truyền;
- L - Chiều dài sóng đến;
- h - Độ sâu nước;
- T - Chiều dài sóng;
- ν - Độ nhớt động học;
- D - Kích thước đặc tính (10% nhỏ hơn) của vật liệu đá lõi đê;
- ΔL - Bề rộng trung bình của mặt cắt ngang lõi đê;
- g - gia tốc trọng trường;
- P - Độ rỗng của vật liệu lớp lõi

Giá trị vận tốc sử dụng trong số Reynolds là:

$$V = \frac{PH_iL}{2hT} \quad (\text{B-9})$$

Giá trị này biểu thị vận tốc thấm cực đại ở mặt vào của công trình. Keulegan (1973) xác định được vận tốc này cho sóng nước nông đồng nhất với biên độ giảm theo hàm mũ qua công trình rộng.

Các phương trình nguyên hình của Keulegan được sử dụng với các tham số nguyên hình để xác định sóng truyền theo tỉ lệ nguyên hình.

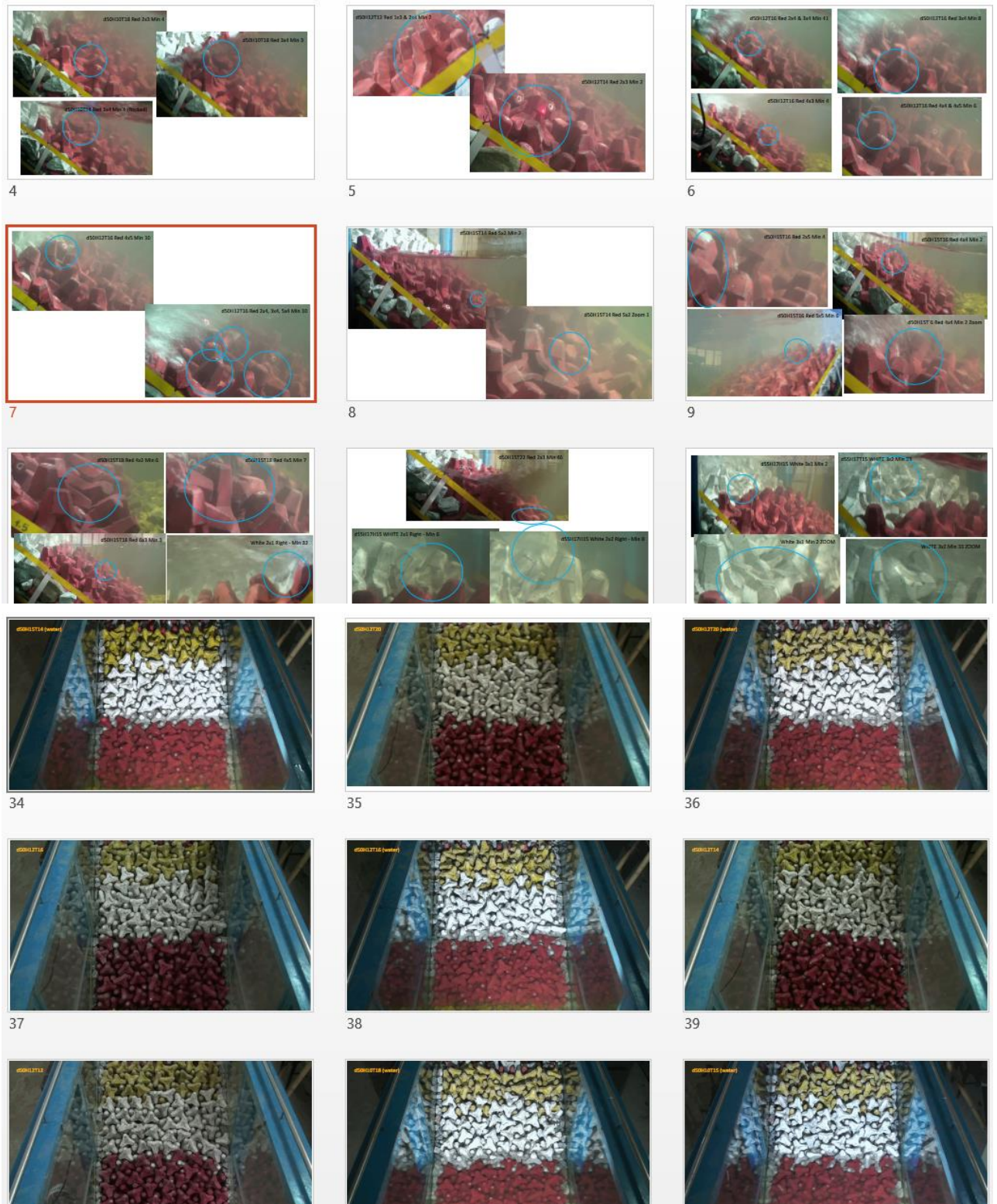
Tính đồng dạng của hiện tượng sóng truyền yêu cầu

$$\left(\frac{H_i}{H_t}\right)_p = \left(\frac{H_i}{H_t}\right)_m \quad (\text{B-10})$$

khi đó cùng tỉ số về sóng truyền được áp dụng trong các phương trình của mô hình, cùng với đó là các tham số mô hình để xác định giá trị D_m . Giá trị D_p và D_m có thể được thay vào phương trình để xác định giá trị của hệ số K.

PHỤ LỤC C Phân tích và xử lý ảnh và video thí nghiệm

C.1. Phân tích và xử lý số liệu thí nghiệm từ các máy quay trong thí nghiệm sử dụng kĩ thuật tách ảnh và chồng ảnh



Hình C.1 Phân tích và xử lý số liệu thí nghiệm từ các máy quay trong thí nghiệm sử dụng kĩ thuật tách ảnh và chồng ảnh

C.2 Các vị trí cấu kiện bị xoay lật trên mái dề trong các kịch bản thí nghiệm











