

NGHIÊN CỨU PHÂN BỐ ÁP LỰC SÓNG LÊN TƯỜNG BIỂN CÓ MŨI HẮT SÓNG BẰNG MÔ HÌNH SỐ VÀ MÔ HÌNH VẬT LÝ

Nguyễn Thái Hoàng^a, Lê Hải Trung^{a,*}, Trần Thanh Tùng^a, Tăng Xuân Thọ^b

^aKhoa Công trình, trường Đại học Thủy lợi, 175 đường Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

^b05 phố Chiêu Hoa, quận Kiến An, Hải Phòng, Việt Nam

Nhận ngày 28/07/2020, Sửa xong 25/09/2020, Chấp nhận đăng 27/09/2020

Tóm tắt

Tường biển ngày càng trở nên phổ biến trong quy hoạch các khu đô thị và khu du lịch ven biển do những yêu cầu về bảo vệ an toàn, khả năng tiếp cận, cảnh quan và thẩm mỹ. Áp lực sóng đóng vai trò quan trọng ảnh hưởng đến độ bền và độ ổn định tường biển. Trong nghiên cứu và thiết kế hiện nay, các công thức kinh nghiệm vẫn thường được áp dụng để tính toán áp lực sóng tác dụng lên tường biển. Do vậy, bài báo này nghiên cứu mô phỏng tương tác giữa sóng đều với tường biển thông qua chương trình ANSYS. Biểu đồ bao mô phỏng áp lực sóng của 3 dạng mặt cắt ngang tường biển thể hiện sự phù hợp tương đối với xu thế của số liệu thí nghiệm mô hình vật lý. Hơn nữa, kết quả mô phỏng đã xác định được các vị trí áp lực sóng cục bộ lớn nhất.

Từ khoá: ANSYS; áp lực sóng; máng sóng số; mũi hắt sóng; tường biển.

SIMULATIONS AND EXPERIMENTS OF WAVE PRESSURE ON SEAWALLS WITH BULLNOSE

Abstract

Seawalls have become more and more popular in the master plan of many towns and tourism areas in the coastal zone of Viet Nam due to gradually increasing requirements in safety, amenity and landscape. It is clearly wave pressure that strongly governs the stability and strength of this protection structure. On the current practice of design and research, empirical formulae are very often applied to determine wave pressure against seawall, specially vertical face. Therefore, the paper aims to simulate the wave – wall interaction using ANSYS programme. The calculated figures of wave pressure on three different cross-sections are relatively comparable to data derived from measurements conducted on physical experiments. Moreover, the simulation has revealed the local maximal points of wave pressure.

Keywords: ANSYS; wave pressure; numerical wave flume; bullnose; seawall.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(4V\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(4V)-08) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Việt Nam có đường bờ biển dài 3260 km, tỷ lệ giữa đường bờ biển so với diện tích lục địa là rất lớn. Trong những năm gần đây, sự phát triển của kinh tế xã hội đã dẫn tới sự tập trung dân số và hình thành nên nhiều thành phố, khu đô thị và du lịch ven biển. Yêu cầu bảo vệ an toàn của dân cư và cơ sở hạ tầng những khu vực này ngày càng được quan tâm. Bên cạnh đó, yếu tố mặt bằng và thẩm mỹ cũng đặt ra những yêu cầu mới, phức tạp hơn đối với các công trình bảo vệ bờ biển.

Tường biển có chức năng bảo vệ và ổn định đường bờ, bảo vệ cho phần đất phía sau tường trước tác động của sóng, nước dâng và các tác động bất lợi khác từ biển. Mặt cắt ngang tường nhỏ hơn đáng kể so với đề biển nên diện tích mặt bằng xây dựng nhỏ, rất phù hợp cho các khu vực có diện tích hạn

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: trung.l.h@tlu.edu.vn (Trung, L. H.)

ché. Cùng với những ưu thế về kỹ thuật và thẩm mỹ, tường biển dần trở nên phổ biến trong hệ thống công trình bảo vệ bờ cho các thành phố, các khu dân cư và du lịch ở ven biển nước ta.

Áp lực sóng đóng vai trò quan trọng và ảnh hưởng chi phối đến độ bền và độ ổn định tường biển. Các nghiên cứu xác định tải trọng do sóng lên tường biển được bắt đầu rất sớm từ cuối thế kỉ 19 khi Gaillard [1] thực hiện những quan sát đầu tiên. Mặc dù đã có rất nhiều nghiên cứu trên khắp thế giới về vấn đề này nhưng vì bản chất ngẫu nhiên của các lực động do va đập của sóng lên công trình nên việc định lượng tải trọng sóng tác động lên tường biển hay đề chấn sóng vẫn đang tiếp tục được nghiên cứu.

Từ các kết quả đo đạc thực tế, Hiroi [2] đã đề xuất công thức thực nghiệm xác định áp lực sóng trung bình do sóng không vỡ (non-breaking wave) như sau:

$$P = 1,5\rho gH_D \quad (1)$$

với H_D là chiều cao thiết kế của sóng (m); g là gia tốc trọng trường (m^2/s) và ρ là khối lượng riêng của nước (kg/m^3). Công thức này giả thiết áp lực sóng phân bố đều trên suốt chiều cao của tường đứng và lên đến độ cao gấp 1,25 lần chiều cao sóng phía trên mực nước tĩnh. Công thức Hiroi [3] phản ánh khá tốt áp lực trung bình trên miền bị ảnh hưởng bởi áp lực sóng. Tuy nhiên, áp lực sóng không vỡ (non-breaking wave) tính theo công thức Hiroi không phản ánh chính xác cường độ áp lực cục bộ quan trắc trong phòng thí nghiệm hay trong thực tế.

Dựa trên lý thuyết sóng trochoidal, Sainflou [3] đã thiết lập công thức tính áp lực sóng đối với sóng có biên độ hữu hạn và nhanh chóng được áp dụng rộng rãi. Phương pháp này sử dụng các phương trình thủy động lực học tổng quát của chất lỏng lý tưởng đối với sóng đứng ở độ sâu hạn chế. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy rằng giá trị của tổng áp lực sóng được tính theo công thức Sainflou thường lớn hơn rất nhiều so với thực tế trong trường hợp sóng dốc và nhỏ hơn rất nhiều trong trường hợp sóng thoải.

Những kết quả thí nghiệm của Bagnold [4] đã đặt nền móng cho những nghiên cứu tiếp theo về tác dụng động của sóng (wave impact) đối với các công trình ven bờ. Trong công trình của mình, Bagnold nhấn mạnh đến sự quan trọng của lượng khí được mang theo bởi sóng, áp lực động sẽ đạt giá trị lớn nhất khi lượng khí này là nhỏ nhất nhưng phải khác không.

Dựa trên các mô hình thí nghiệm và sử dụng các phương pháp kinh nghiệm, Goda [5] đưa ra các công thức tính áp lực sóng dùng trong thiết kế đề chấn sóng tường đứng dựa trên hàng loạt những thí nghiệm về mô hình thủy lực, trong đó giả thiết áp lực phân bố dọc theo tường đứng có dạng hình thang. Công thức này được áp dụng đối với cả sóng vỡ lẫn không vỡ và sử dụng chiều cao sóng lớn nhất trong nhóm sóng để tính toán.

Những năm gần đây, nhiều phương pháp mới đã được phát triển để nghiên cứu về áp lực sóng lên tường đứng. Goda đã mở rộng tính toán mô hình với sóng bậc năm và cho đến nay, mô hình này vẫn là mô hình sử dụng xấp xỉ bậc cao nhất để tính sóng đứng trong vùng nước có chiều sâu hữu hạn.

Nhìn chung, các công thức kinh nghiệm tập trung tính toán áp lực lớn nhất tác dụng lên tường biển và phân bố áp lực cho một số dạng mặt cắt thông dụng là dạng tường đứng hoặc dạng nghiêng. Tuy nhiên trong thực tế, các mặt cắt ngang tường biển khá đa dạng và thay đổi tùy thuộc vào đặc điểm đường bờ cũng như các đặc trưng sóng và mực nước ở mỗi khu vực cụ thể. Đối với các mặt cắt ngang tường biển có hình dạng phức tạp và có mũi hắt sóng (MHS) thì việc áp dụng công thức kinh nghiệm không phù hợp và không chỉ ra được vị trí chịu áp lực lớn nhất. Vì thế việc xác định phân bố áp lực sóng lên các dạng mặt cắt khác của tường biển đóng vai trò rất quan trọng và vẫn đang được quan tâm nghiên cứu.

Bên cạnh các nghiên cứu thực nghiệm xác định áp lực sóng trên mô hình vật lý (MHVL), các mô hình số trị mô phỏng máng sóng số (numerical wave flume) đang được áp dụng ngày càng phổ biến.

Máng sóng số được phát triển mạnh từ những năm cuối thập kỉ 1990 [6–8], và ngày nay thường được dùng kết hợp với phần mềm tính toán kết cấu để nghiên cứu trạng thái ứng suất – biến dạng của công trình. Chính vì vậy bài báo này nhằm nghiên cứu phân bố áp lực sóng lên tường biển nhờ công cụ mô hình số và thí nghiệm MHVL. Mặt tường phía biển được mô phỏng gồm dạng bậc thang, dạng cong và dạng nghiêng; cả ba dạng đều có MHS. Tính toán được thực hiện với ba tổ hợp mực nước và tải trọng sóng đặc trưng. Tiếp đó, kết quả mô phỏng phân bố áp lực sẽ được so sánh với số liệu đo đạc trong các thí nghiệm trên MHVL.

2. Mô phỏng áp lực sóng lên mặt tường biển với máng sóng số

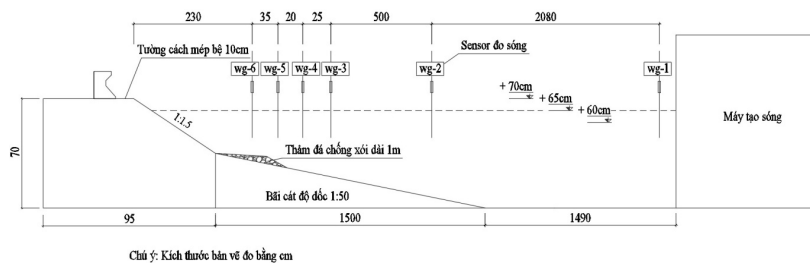
2.1. Mô hình số

Máng sóng số (MSS) là một dạng mô hình số trị 2 chiều mô phỏng chuyển động của chất lỏng theo hai phương chính (x - phương ngang hướng về phía bờ, z - phương đứng hướng lên trên). Khi có dao động sóng truyền đến, phần tử nước sẽ dao động tựa như dao động tuần hoàn với quỹ đạo elip. Các mô hình số trị có khá nhiều, nhưng về bản chất vật lý có thể chia thành loại mô hình dòng chảy thể cho dòng chảy không nhớt, không xoáy, và loại mô hình Navier-Stokes cho dòng chảy nhớt, rối. Thực tế cho thấy chỉ loại thứ hai có giá trị áp dụng đối với mô hình ven bờ khi sóng vỡ và rối động đóng vai trò quan trọng.

Bài báo này sử dụng máng sóng số ANSYS FLUENT trong chương trình ANSYS để nghiên cứu tác động của sóng lên tường biển. Đây là công cụ mô phỏng động lực học chất lỏng mạnh, sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn (finite-volume scheme) và hệ phương trình Navier-Stokes (trung bình Reynolds) cho chất lỏng không nén [9]. Trong ANSYS FLUENT, vị trí mặt thoáng chất lỏng được xác định bằng phương pháp thể tích chất lỏng (VOF), dựa trên miêu tả Lagrange để theo dõi thể tích chất lỏng. Phương pháp này tuy đơn giản song rất hiệu quả để quan sát biến động mặt nước và cần rất ít bộ nhớ máy tính để lưu trữ [10]. Kết quả thu được từ ANSYS FLUENT sẽ được so sánh và đối chiếu với kết quả thí nghiệm trên mô hình vật lý.

2.2. Thiết lập mô phỏng

Máng sóng số và các mặt cắt ngang tường biển được thiết lập tương tự như thí nghiệm MHVL trong máng sóng Hà Lan, Trường Đại học Thủy lợi. Máng sóng có chiều dài truyền sóng 45 m; chiều cao 1,2 m; chiều rộng 1,0 m. Hình 1 phác họa sơ đồ bố trí thí nghiệm trong máng sóng Hà Lan. Từ phải qua trái gồm: máy tạo sóng có khả năng chủ động hấp thụ sóng phản xạ; một đoạn máng dài khoảng 15 m để đảm bảo sóng phát triển ổn định trước khi gặp bãi trước; bãi trước với độ dốc 1/50; bệ đỡ tường có hệ số mái $m = 1,5$; và khối tường biển đặt trên bệ.

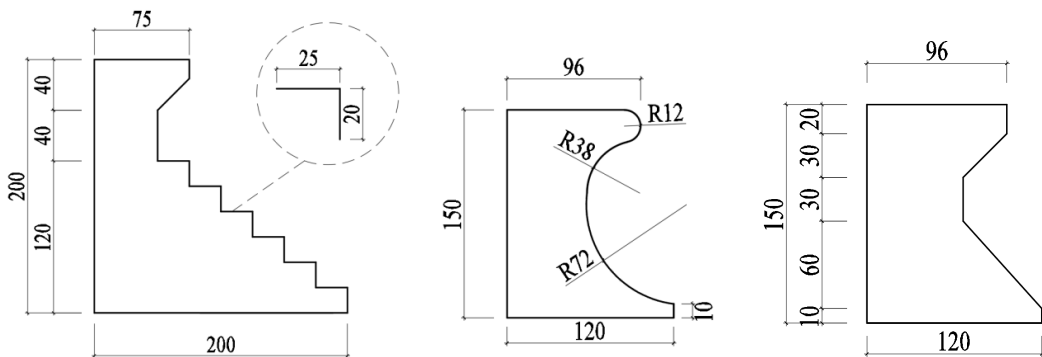


Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm trên máng sóng Hà Lan - Trường Đại học Thủy lợi. Từ phải qua trái gồm máy tạo sóng, bãi trước với độ dốc 1/50, bệ với hệ số mái $m = 1,5$, cấu kiện tường biển

Ở sát chân bệ đỡ có bố trí một thảm đá dài 1 m, dày 3 tới 5 cm. Thảm đá có tác dụng hạn chế sự hình thành hố xói ở chân bệ nhưng không ảnh hưởng tới các tham số sóng tới. Theo đó, mặt cắt bãi trước được duy trì tương đối ổn định, giảm bớt công san gạt, tạo hình bãi cát sau mỗi đợt thí nghiệm.

Sơ đồ thí nghiệm mô phỏng một trường hợp thực tế khi nâng cấp, cải tạo công trình bảo vệ bờ biển. Cấu kiện tường liên khối có MHS với chiều cao (nguyên hình) từ 1,5 tới 2,5 m được đặt trên thân đê/ kè biển hiện có nhằm nâng cao trình đỉnh, giảm sóng tràn, sóng bắn tóe dẫn tới tăng hiệu quả bảo vệ vùng đất phía sau. Lưu ý rằng, sơ đồ này khác với dạng tường đỉnh trên đê có chiều cao nhỏ từ 0,8 ~ 1 m, hình dạng đơn giản. Bên cạnh đó, việc nâng cấp này cũng đem lại hiệu quả thẩm mỹ, góp phần tạo cảnh quan.

Về điều kiện làm việc, cấu kiện tường biển nằm ở trên mực nước triều thiên văn cao nhất, chịu tác động của sóng vỡ theo cả pha lỏng và pha khí [11, 12]. Nghiên cứu này xem xét áp lực sóng tổng cộng tác động lên mặt tường phía biển. Hình 2 minh họa ba khối tường biển có MHS điển hình bao gồm mặt bậc thang, mặt cong và mặt nghiêng. Trong thí nghiệm, các mặt cắt ngang (MCN) tường có tỉ lệ 1/15 so với nguyên hình. Chiều dài đoạn tường bằng chiều rộng lòng máng sóng là 1 m.



Hình 2. Tường mặt bậc thang MC1 (trái), mặt cong MC2 (giữa) và mặt nghiêng MC3 (phải).
Kích thước ghi bằng mm

Trong thí nghiệm MHVL, đầu đo áp lực PDRC 1830 được sử dụng để xác định áp lực sóng tác động lên mặt tường. Các thông số kỹ thuật gồm giới hạn đo đến 900 psi (6 Mpa); độ chính xác 0,06%. Số liệu đo được thu bằng bộ thiết bị đo Pico với tần số lấy mẫu 2000 Hz, đảm bảo ghi được các áp lực xung kích xuất hiện trong khoảng thời gian vô cùng ngắn. Theo phương đứng, vị trí các đầu đo có khoảng cách tương đối đồng đều từ chân lên tới MHS. Chúng có thể được bố trí trên cùng một hoặc hai MCN tường (song song và cách nhau 10 ~ 20 cm) để tạo thuận lợi cho việc lắp đặt.

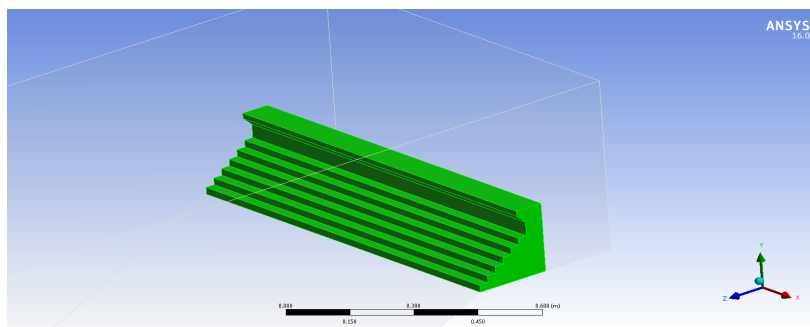
2.3. Kịch bản và kết quả mô phỏng

Các kịch bản thí nghiệm/ mô phỏng gồm ba bộ tham số sóng khác nhau tương ứng với điều kiện mực nước triều thấp, trung bình và cao (Bảng 1). Sóng sử dụng là loại sóng đều có cùng chiều cao và chu kỳ. Thí nghiệm MHVL thường gồm 5 ~ 10 con sóng và số liệu sẽ được lựa chọn để phân tích, so sánh với kết quả mô phỏng.

Mô hình MSS có kích thước tương tự như máng sóng MHVL với các thông số được thiết lập theo các kịch bản ở Bảng 1. Lưới tính toán được chia thành 3 vùng với kích thước phần tử nhỏ và mịn dần từ phía tạo sóng về phía tường biển, lần lượt là 0,1 m; 0,05 m và 0,01 m (mặt tường). Mô phỏng sử dụng sóng đều với chu kỳ và chiều cao không đổi.

Bảng 1. Mức nước và tham số sóng trong thí nghiệm mô hình vật lý

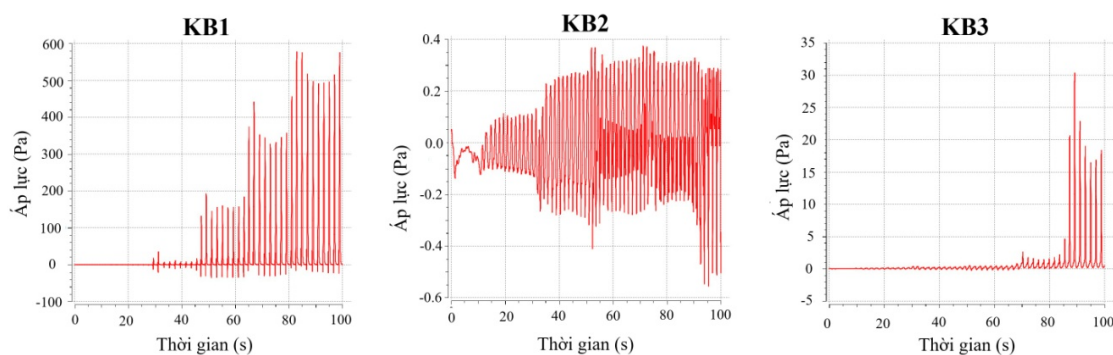
TT	Kịch bản	Chiều sâu nước (cm)	Chiều cao sóng (cm)	Chu kỳ sóng (giây)
1	KB1	70	18	2
2	KB2	65	17	1,9
3	KB3	60	16	1,5



Hình 3. Tường biển mặt bậc thang (MC1) được mô phỏng trong ANSYS FLUENT

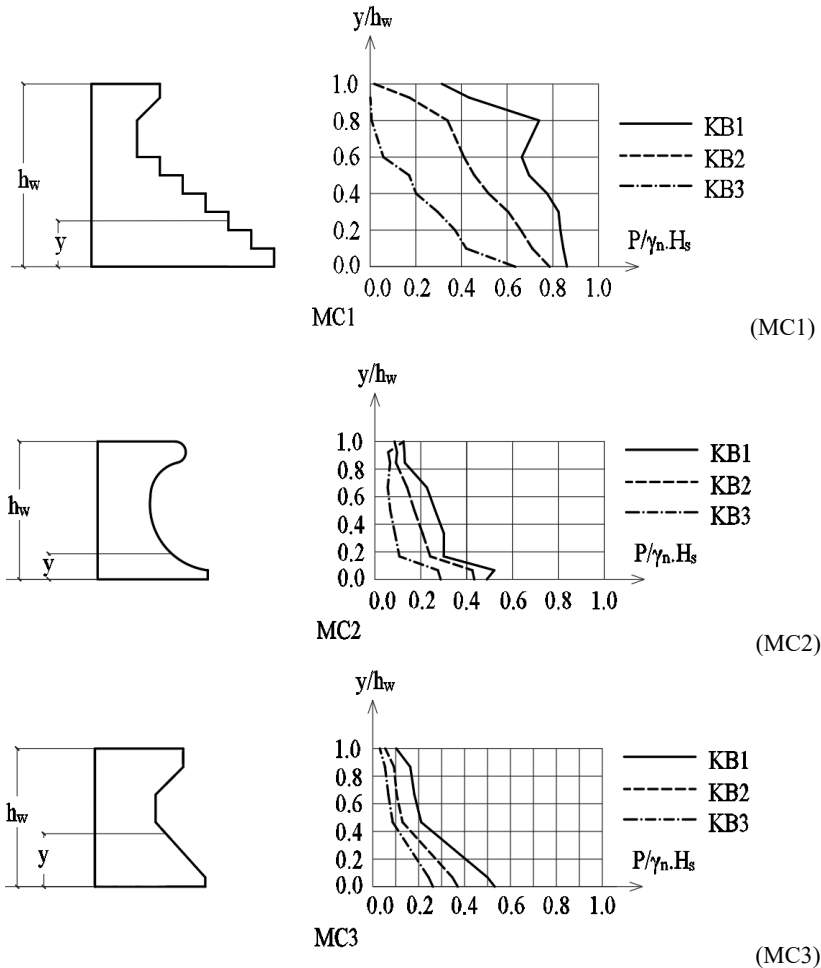
Đầu tiên, mô phỏng được thực hiện với các khoảng thời gian lần lượt là 20 s, 40 s, 60 s, 80 s, 100 s, 120 s, 140 s. Kết quả cho thấy từ 100 s trở đi thì giá trị áp lực lớn nhất trở nên ổn định. Do đó thời gian mô phỏng cho mỗi kịch bản được lựa chọn là 100 s. Tần số tính toán được chọn là 100 Hz, đây là giá trị lớn nhất mà năng lực máy tính hiện tại của Phòng thí nghiệm Sức bền kết cấu – Trường Đại học Thủy lợi có thể đáp ứng. Kết quả trên MSS cần được so sánh, đối chiếu với kết quả thu được từ MHVL. Hình 3 minh họa cấu kiện tường biển dạng bậc thang được mô phỏng bằng mô hình số trong ANSYS FLUENT.

Hình 4 thể hiện diễn biến sự thay đổi của áp lực sóng tác dụng lên đỉnh MC1 theo thời gian ứng với ba kịch bản KB1, KB2 và KB3. Trong đó, trục tung là giá trị áp lực sóng [Pa], trục hoành là thời gian [s]. Tương tác giữa sóng tới và sóng phản xạ làm cho giá trị áp lực sóng thay đổi theo thời gian. Với thời gian mô phỏng cho mỗi kịch bản là 100 s (> 50 chu kỳ) đảm bảo bắt được giá trị áp lực lớn nhất trong quá trình tương tác giữa sóng và tường.



Hình 4. Kết quả mô phỏng sự thay đổi của áp lực sóng theo thời gian tại đỉnh MC1 (vị trí mũi hắt sóng) ứng với 3 kịch bản

Hình 5 thể hiện biểu đồ bao áp lực sóng trong các kịch bản mô phỏng. Trong đó, trục tung là tỷ số giữa khoảng cách thẳng đứng tính từ chân tường so với chiều cao tường y/h_w , trục hoành thể hiện giá trị phi thứ nguyên của áp lực sóng $P/(\gamma_n H_s)$. Đây là căn cứ xác định giá trị áp lực sóng lớn nhất tác dụng lên bề mặt của 3 dạng tường. Nhìn chung, áp lực sóng giảm dần khi khoảng cách thẳng đứng y tính từ chân tường tăng lên đối với cả 3 dạng tường. Đáng lưu ý, áp lực sóng trên MC1 với các bậc thang có xu hướng giảm đều và chậm hơn so với hai dạng còn lại. Tuy nhiên, áp lực sóng tác động lên tường dạng MC1 có giá trị lớn nhất và cũng rất khác biệt giữa 3 kịch bản.



Hình 5. Kết quả mô phỏng biểu đồ bao áp lực sóng tác dụng lên mặt tường phía biển

Trong tất cả các trường hợp tính toán của cả 3 dạng tường, áp lực sóng lớn nhất đều xuất hiện tại vị trí chân công trình. Áp lực lớn nhất đạt giá trị lần lượt bằng $0,86\gamma_n H_s$ (KB1), $0,79\gamma_n H_s$ (KB2) và $0,52\gamma_n H_s$ (KB3) đối với MC1; $0,49\gamma_n H_s$, $0,43\gamma_n H_s$ và $0,29\gamma_n H_s$ đối với MC2; và $0,53\gamma_n H_s$ (KB1), $0,37\gamma_n H_s$ (KB2) và $0,26\gamma_n H_s$ (KB3) trên MC3. Bậc thang dưới cùng với chiều dày đáng kể có thể là nguyên nhân gây ra áp lực lớn nhất trên MC1 so với phần chân mỏng và nổi tiếp trơn thuận ở MC2 và MC3.

Áp lực sóng đạt giá trị lớn nhất ở chân tường và giảm dần ở những vị trí cao hơn trên mặt tường. Bảng 2 quy đổi giá trị áp lực trên mặt tường theo tỉ lệ % của áp lực ở vị trí chân tường. Tường mặt

cong MC2 làm cho áp lực giảm đáng kể xuống còn 36 ~ 61% ngay ở vị trí phía trên của chân tường ($\gamma/h_w = 0,2$) trong khi giá trị này là 59 ~ 96% với MC1 và 72 ~ 76% với MC3.

Bảng 2. Giá trị áp lực trên mặt tường theo tỷ lệ % của áp lực ở vị trí chân tường

y/h_w	MC1			MC2			MC3		
	KB1	KB2	KB3	KB1	KB2	KB3	KB1	KB2	KB3
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,2	96,3	84,2	58,9	61,5	53,7	36,1	75,9	73,2	72,7
0,4	89,8	66,3	31,6	58,2	44,4	27,8	48,9	45,2	42,4
0,6	76,9	52,6	8,9	49,2	35,2	20,8	36,1	30,1	28,8
0,8	84,7	43,4	1,3	32,0	24,1	22,2	31,6	25,8	22,7
1	36,6	2,6	0,1	25,4	19,4	43,1	18,8	15,1	12,1

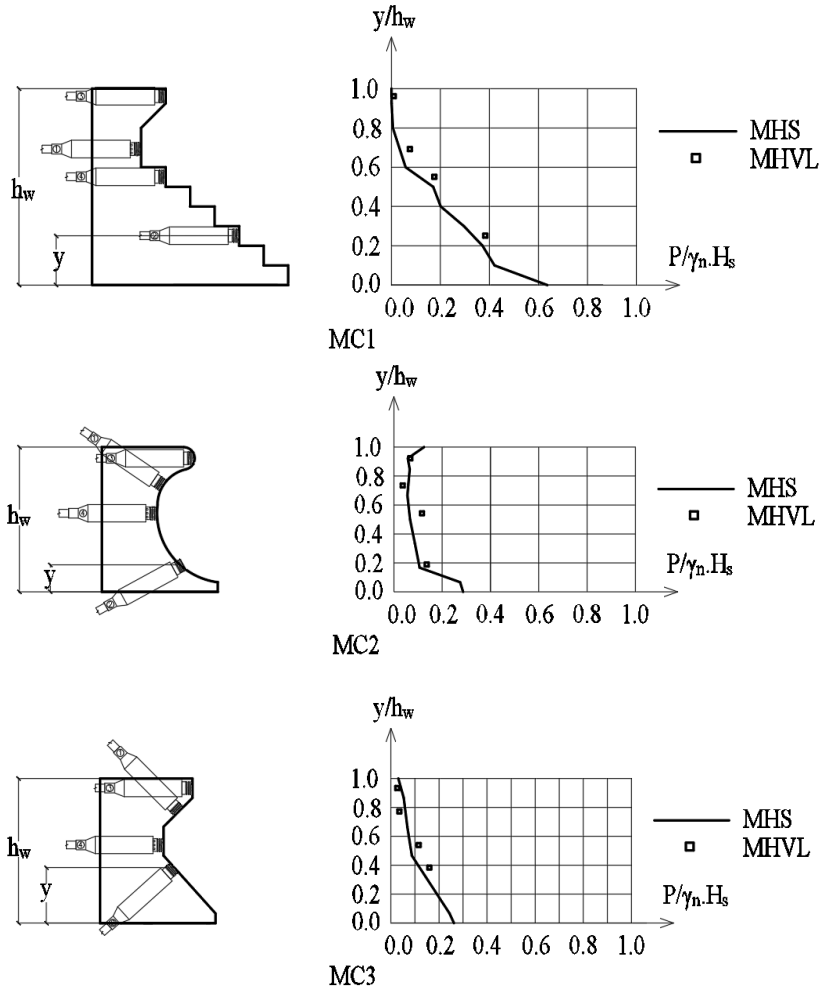
Áp lực giảm dần đều từ dưới lên với $\gamma/h_w = 0,4$ tới 0,8. Tường MC3 thể hiện sự đồng đều hơn cả khi áp lực giảm dần theo các mức hơn 70% ($\gamma/h_w = 0,2$), hơn 40% (0,4) và 30% (0,6). Giữa $\gamma/h_w = 0,6$ và 0,8 thì áp lực chỉ giảm khoảng 5%. Tường MC1 tỏ ra hiệu quả với kích bản KB2 và KB3 khi áp lực sóng giảm rất mạnh từ dưới lên trên và chỉ còn hơn 2% ở MHS. Tại vị trí MHS, tường mặt cong MC2 duy trì hơn 20% giá trị áp lực sóng chân tường và là giá trị lớn nhất so với MC1 và MC3.

Tường MC1 với các bậc thang tạo ra các bước gián đoạn và mặt đứng liên tiếp khi sóng di chuyển từ dưới lên. Đoạn chuyển tiếp giữa các bậc thang và mặt đứng (dưới MHS) tương đối đột ngột nên áp lực sóng có xu thế tăng lên. Trong khi đó, áp lực sóng có xu hướng tập trung ở khu vực giữa mặt cong của tường MC2. Tường dạng MC3 với phần chân nổi tiếp trơn thuận với mặt dốc lên sát tận MHS khiến cho áp lực sóng giảm dần một cách hiệu quả di chuyển từ dưới chân lên đỉnh tường. Hệ quả là tổng áp lực sóng lên MC3 nhỏ nhất, bao gồm cả phần MHS so với hai dạng tường còn lại. Điều này mang ý nghĩa đối với việc nghiên cứu về nội lực, bố trí cốt thép cho khối tường biển.

3. So sánh kết quả mô phỏng với thí nghiệm MHVL

Để ngắn gọn và tránh sự lặp lại, số liệu đo đạc từ thí nghiệm MHVL không được trình bày riêng nữa mà được so sánh với kết quả mô phỏng số. Hình 5 cho thấy các kích bản có xu hướng khá tương đồng. Do vậy, so sánh được thực hiện cho cả 3 dạng MCN trong kích bản KB3 với chiều sâu nước 60 cm, chiều cao sóng $H_s = 16$ cm và chu kỳ $T = 1,5$ s. Hình 6 thể hiện đồng thời giá trị áp lực sóng lớn nhất tại các đầu đo trên mặt tường biển trong MHVL và kết quả mô phỏng trên MSS. Trong đó, trục tung là vị trí trên mặt tường phía biển y/h , trục hoành là giá trị phi thứ nguyên của áp lực sóng $P/(\gamma_n H_s)$. Nhìn chung, kết quả mô phỏng phản ánh tương đối phù hợp sự thay đổi áp lực sóng đo được trong các thí nghiệm MHVL. Hơn nữa, tần số mô phỏng 100 Hz đảm bảo tính toán được những giá trị áp lực sóng lớn nhất tương tự như kết quả đo đạc từ thí nghiệm MHVL.

Bảng 3 tổng hợp giá trị sai khác giữa kết quả mô phỏng và số liệu thu được từ các thí nghiệm có cùng điều kiện biên và dạng MCN tường, $\Delta(\%) = (MHVL - MSS) \cdot 100\% / MHVL$. Phần lớn các giá trị đo đạc đều lớn hơn so với mô phỏng, chỉ có 3 giá trị $\Delta < 0$. Áp lực càng nhỏ ở gần MHS thì sai khác có xu hướng tăng lên so với áp lực lớn ở chân tường. Một trong những yếu tố dẫn tới sự chênh lệch giữa mô phỏng và đo đạc rất có thể là do tần số lấy mẫu khác nhau, 2000 Hz ở MHVL và 100 Hz ở MSS. Vấn đề này cần được xem xét thấu đáo trong những bước nghiên cứu tiếp theo và đặc biệt chú trọng tới kiểm định thiết bị đo cũng như hiệu chỉnh – kiểm định mô hình.



Hình 6. So sánh kết quả mô phỏng áp lực sóng trên MSS và số liệu đo đạc trên MHVL

Bảng 3. So sánh kết quả áp lực sóng giữa MHVL và MSS. D1, D2, D3 và D4 lần lượt là các vị trí đặt đầu đo trên mặt tường từ chân lên tới MHS

$\frac{P}{\gamma H_s}$	MC1			MC2			MC3		
	MHVL	MSS	$\Delta(\%)$	MHVL	MSS	$\Delta(\%)$	MHVL	MSS	$\Delta(\%)$
D1	0,3760	0,33200	11,7	0,128	0,108	15,6	0,152	0,120	21,1
D2	0,1680	0,11200	33,3	0,108	0,064	40,7	0,108	0,080	25,9
D3	0,0680	0,03200	52,9	0,044	0,060	-36,4	0,044	0,060	-36,4
D4	0,0018	0,00054	69,8	0,060	0,056	6,7	0,036	0,044	-22,2

4. Kết luận

Phân bố áp lực sóng đều lên ba dạng mặt cắt ngang tường biển có mũi hắt sóng đã được nghiên cứu thông qua công cụ MSS (thuộc ANSYS) và thí nghiệm MHVL trong máng sóng. Kết quả mô phỏng thể hiện tương đối phù hợp so với xu hướng biến đổi áp lực sóng đo đạc trong các thí nghiệm.

Kết quả mô phỏng thể hiện bằng biểu đồ bao áp lực sóng trên mặt tường phía biển đã xác định được vị trí chịu áp lực sóng lớn nhất trong suốt quá trình tương tác sóng - tường. Đây chính là những nơi thường xảy ra hư hỏng cục bộ nên cần được chú trọng bổ sung biện pháp gia cố.

Lời cảm ơn

Bài báo sử dụng số liệu của đề tài ‘Nghiên cứu chế tạo cấu kiện tường biển có mũi hắt sóng phục vụ xây dựng công trình bảo vệ bờ đảo và bờ các khu đô thị, khu du lịch ven biển’, Mã số TĐ 145 – 17, thuộc chương trình KHCN trọng điểm cấp Bộ Xây dựng giai đoạn 2015 – 2020 nhiệm vụ “Nghiên cứu xây dựng thực nghiệm công trình trên biển đảo”.

Tài liệu tham khảo

- [1] Gaillard, D. D. B. (1904). *Wave action in relation to engineering structures*. Number 31, US Government Printing Office.
- [2] Hiroi, I. (1920). The force and power of waves. *The Engineer*, 130:184–185.
- [3] Sainflou, G. (1928). Essai sur les digues maritimes verticales. *Annales de ponts et chaussées*, 98(4):5–48.
- [4] Bagnold, R. A. (1939). Interim report on wave pressure research. *P. Inst. C. Eng.*, 12:202–226.
- [5] Goda, Y. (2000). *Random seas and design of maritime structures*, chapter 4, 126–166. 2nd edition, World Scientific.
- [6] Moubayed, W. I., Williams, A. N. (1994). [Second-order bichromatic waves produced by generic planar wavemaker in a two-dimensional wave flume](#). *Journal of Fluids and Structures*, 8(1):73–92.
- [7] Grilli, S. T., Horrillo, J. (1998). [Periodic wave shoaling over barred-beaches in a fully nonlinear numerical wave tank](#). *The Eighth International Offshore and Polar Engineering Conference*, International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [8] Kim, C. H., Clement, A. H., Tanizawa, K. (1999). Recent research and development of numerical wave tanks-a review. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 9(04).
- [9] ANSYS, Inc (2013). *ANSYS Fluent Theory Guide, Release 15.0*.
- [10] Hirt, C. W., Nichols, B. D. (1981). [Volume of fluid \(VOF\) method for the dynamics of free boundaries](#). *Journal of Computational Physics*, 39(1):201–225.
- [11] Thoresen, C. A. (2010). *Port designer's handbook: Recommendations and guidelines*. Thomas Telford Ltd.
- [12] Hưng, V. Q. (2020). [Nghiên cứu nguyên nhân hư hỏng của các cấu kiện bê tông cốt thép trong công trình cảng dưới tác động của môi trường biển và các biện pháp xử lý](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 14(2V):107–121.