

## To study impact level of dominant parameters and propose estimate methodology for wave transmission efficiency of unconventional complex pile submerged breakwater

Nguyen Anh Tien

*Institute of Coastal and Offshore Engineering, Ho Chi Minh city, Vietnam*  
E-mail: [nganhtien@gmail.com](mailto:nganhtien@gmail.com)

Received: 8 December 2018; Accepted: 24 June 2019

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

### Abstract

This article proposes semi-empirical equations to estimate wave transmission coefficient through submerged complex with solid pile breakwater based on theories of random wave energy conservation of perpendicular wave transmission incorporated with physical hydraulic experiments in wave flume applied on both types of submerged breakwater with and without piles. These equations are able to describe interactions and energy dissipation process for each element of this complex structure which are foundation block and pile rows. Energy dissipation process depends on three major factors which are [relative submerge depth ( $R_c/H_{m0}$ ), relative crest width ( $B/H_{m0}$ ), wave slope at construction location ( $sm=H_{m0}/L_m$ )] and wave energy dissipation process through pile rows is determined by two major factors [relative submerged depth or submerged length of piles ( $R_c/H_{m0}$ ), relative pile row width ( $X_b/L_m$ )].

**Keywords:** Semi-empirical equation, submerged complex structures with solid piles breakwater, submerged breakwater, permeable breakwater, wave dissipation piles, wave transmission coefficient, physical model, wave energy, definition factor.

## Nghiên cứu mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối và xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua đê ngầm cọc phức hợp có kết cấu mới phi truyền thống

Nguyễn Anh Tiên

Viện Kỹ thuật Biển, thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam  
E-mail: [nganhtien@gmail.com](mailto:nganhtien@gmail.com)

Nhận bài: 8-12-2018; Chấp nhận đăng: 24-6-2019

### Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp nghiên cứu xây dựng công thức bán thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua đê ngầm cọc có cấu tạo phức hợp, trên cơ sở lý thuyết là các phương trình cân bằng năng lượng của sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc qua đê, kết hợp với các nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý thu nhỏ trong máng sóng thủy lực cho 2 dạng đê ngầm rỗng không có cọc và đê ngầm rỗng có hệ cọc bên trên. Công thức bán thực nghiệm thể hiện rõ quá trình tương tác và cơ chế tiêu hao năng lượng sóng giữa hai bộ phận là thân đê rỗng và hệ cọc bên trên với sóng là độc lập với nhau. Thành phần năng lượng sóng tiêu hao do thân đê rỗng không có cọc chịu sự chi phối chủ yếu của ba tham số chính là độ sâu ngập nước tương đối của đỉnh đê ( $R_c/H_{m0}$ ), bề rộng tương đối của đỉnh đê ( $B/H_{m0}$ ), độ dốc sóng tại vị trí công trình ( $s_m = H_{m0}/L_m$ ) và thành phần năng lượng sóng tiêu hao do hệ cọc bên trên chịu sự chi phối chủ yếu của hai tham số chính là [độ ngập sâu tương đối hay chiều dài phần cọc nhúng trong nước ( $R_c/H_{m0}$ ), bề rộng tương đối của hệ cọc ( $X_b/L_m$ ).

**Từ khóa:** Công thức bán thực nghiệm, đê ngầm cọc phức hợp, đê ngầm giảm sóng, đê ngầm rỗng, hệ cọc giảm sóng, hệ số truyền sóng, mô hình vật lý, năng lượng sóng, tham số chi phối.

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Đê giảm sóng ngầm là dạng công trình chủ động được nhiều nước phát triển trên thế giới như Hoa Kỳ, Nhật Bản, Pháp, Anh, Italia,... tập trung nghiên cứu và ứng dụng để bảo vệ bờ biển do hiệu quả mang lại vượt trội so với các dạng công trình khác như mỏ hàn biển, kè biển,... Giải pháp này hiện nay được xem là đáp ứng được tiêu chí đa mục tiêu như giảm sóng chống sạt lở bảo vệ bờ biển, gây bồi tạo bãi, phục hồi hay hỗ trợ trồng cây ngập mặn, đồng thời giảm thiểu tối đa các tác động tiêu cực đến môi trường tự nhiên sau khi xây dựng công trình [1].

Các nghiên cứu về đê giảm sóng (ĐGS) thường tập trung theo 3 hướng chính là (i)

Nghiên cứu về kết cấu đê, (ii) Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng và (iii) Nghiên cứu về hiệu quả gây bồi. Trong đó, nghiên cứu về hiệu quả giảm sóng của đê ngầm dạng đá đổ mái nghiêng là loại kết cấu mang tính truyền thống được quan tâm nghiên cứu nhiều nhất và cũng được sử dụng phổ biến nhất trên thế giới. Sau đó các nghiên cứu được mở rộng cho ĐGS dạng đá đổ phủ các khối dị hình như Tribar, Tetrapod, Dolos,... Các nghiên cứu gần đây có xu thế hướng đến sử dụng các dạng kết cấu mới phi truyền thống như đê trụ rỗng có lỗ tiêu sóng (hình bán nguyệt), cấu kiện L-Block, cấu kiện Accropode<sup>TM</sup>, cấu kiện Accropode<sup>TM</sup> II, cấu kiện Core-Loc<sup>TM</sup>, cấu kiện Ecopode<sup>TM</sup>; dạng

thân thiện với môi trường tự nhiên như dải ngầm nhân tạo (Artificial Reefball), kết cấu gờ ngầm P.E.P, WaveBlock™, BeachSaver™, Surger Breaker™, BeachPrism™, ống Geotube, túi địa kỹ thuật, hệ cọc giảm sóng (tiết diện ngang là hình tròn, vuông, chữ nhật hay tam giác); hay dạng phi công trình như trồng cây ngập mặn. Nghiên cứu chủ yếu được thực hiện thông qua các thí nghiệm mô hình vật lý thu nhỏ trong máng sóng thủy lực để xác lập mối quan hệ giữa các đặc trưng về hải văn, thủy lực như (chiều cao sóng  $H_s$ , chu kỳ sóng  $T_p$ , độ sâu nước trước đê  $h$ , độ ngập đỉnh đê  $R_c$ ) với các đặc trưng hình học của đê như (bề rộng đỉnh đê  $B$ , chiều cao đê  $D$ , hệ số mái  $m$ ) và cấu trúc vật liệu làm thân đê ( $n\%$ ). Các nghiên cứu giai đoạn trước năm 1995 được đánh giá là thực hiện khá đơn giản, kết quả nghiên cứu ít có tính thực tiễn do chưa xem xét đầy đủ và đúng bản chất của các yếu tố chi phối như nghiên cứu của Johnson et al., (1951) [2], Seelig (1980) [3], Allsop (1983) [4], Ahren et al., (1987) [2], Ahren (1987) [5], Gomez Pina và Valdes (1990) [2, 6], Van der Meer et al., (1991) [7], Van der Meer và Daemen (1994) [8]... Các nghiên cứu thực hiện sau năm 1995 như của d'Angremond et al., (1996) [9], van der Meer et al., (2005) [10]... được đánh giá là thực hiện rất công phu với sóng ngẫu nhiên và các dạng mặt cắt ngang và kết cấu đê theo thực tế, các công thức thực nghiệm được xây dựng trên cơ sở xem xét toàn diện mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối chính đến quá trình truyền sóng qua đê, do đó kết quả nghiên cứu có độ tin cậy và tính thực tiễn cao [2].

Tại Việt Nam, nói chung hiện nay cũng đang có xu hướng chuyển đổi các công trình bảo vệ bờ có tính truyền thống như kè mái nghiêng để thử nghiệm các dạng công trình giảm sóng với nhiều loại hình vật liệu và kết cấu khác nhau như khối Tetrapod, ống Geotube, đê trụ rỗng, khối rọ đá, cọc bê tông ly tâm lõi đá học, cừ bản nhựa, hàng rào cọc tre, cừ tràm,... để giảm sóng bảo vệ đê biển hay bờ biển bị sạt lở tại Nam Định, Hải Phòng, Bình Thuận, Tiền Giang, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau, Kiên Giang. Tuy nhiên, các công trình giảm sóng được xây dựng theo dạng thử nghiệm hiện nay chủ yếu được thiết kế và thi công trên cơ sở tham khảo từ những công

trình thực tiễn đã xây dựng thành công trên thế giới. Cơ sở khoa học để tính toán và lựa chọn hệ số số truyền sóng hợp lý được xem là “tiêu chí kỹ thuật” mang tính chi phối quyết định công năng thiết kế của dạng công trình này hầu như chưa được quan tâm nghiên cứu, thường chỉ thông qua “tiêu chí suất đầu tư” để quyết định loại hình kết cấu và các thông số kích thước hình học khi thiết kế công trình [11].

Trong bài báo này trình bày phương pháp lý thuyết kết hợp với các nghiên cứu thực nghiệm để xây dựng công thức bán thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua đê ngầm cọc phức hợp có kết cấu mới phi truyền thống. Công thức phản ánh đầy đủ mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối chính đến quá trình truyền sóng qua đê ngầm rỗng không cọc và có hệ cọc bên trên (trường hợp tổng quát). Ứng dụng kết quả nghiên cứu để phân tích và lựa chọn hệ số giảm sóng thích hợp thiết kế cho công trình thử nghiệm bảo vệ bờ biển bị sạt lở do sóng tại phía tây của đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) của Đề tài cấp Quốc gia mã số ĐTDL.CN-09/17.

## CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### **Giới thiệu đê ngầm cọc phức hợp**

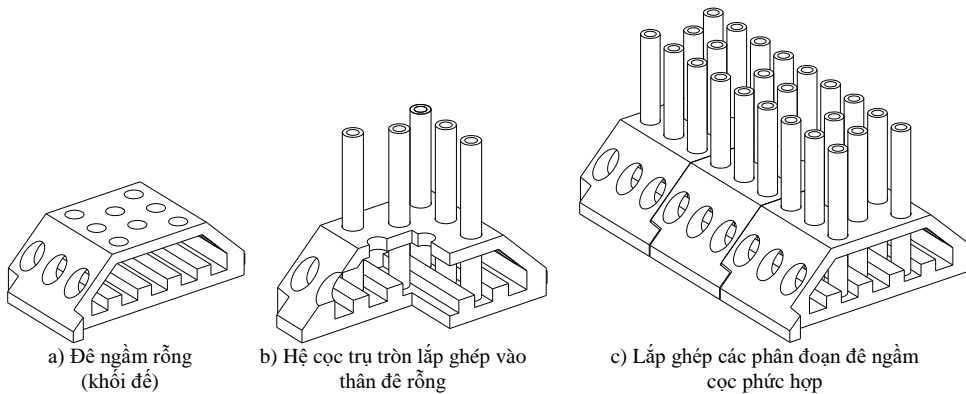
Đê ngầm cọc phức hợp có kết cấu mới phi truyền thống đã đăng ký xin cấp bằng Độc quyền Sáng chế, được Cục sở hữu trí tuệ chấp nhận đơn hợp lệ và công bố đơn trên Công báo Sở hữu Công nghiệp, Số 348, Tập A (03.2017), trang 396. Trên thế giới và trong nước chưa có công trình nghiên cứu nào thực hiện để đánh giá hiệu quả giảm sóng cho dạng đê này. Cấu tạo một phân đoạn đê gồm phần khối đế và hệ cọc trụ tròn, trong đó khối đế là một đê ngầm rỗng có tiết diện ngang là hình thang cân (hình 1a) và hệ cọc trụ tròn lắp ghép linh hoạt bên trên đỉnh khối đế hình thành hệ thống rỗng lược giảm sóng (hình 1b).

Bản chất kỹ thuật của đê ngầm cọc phức hợp chính là việc bố trí sẵn hệ thống các hàng lỗ trụ tròn theo dạng hình hoa mai trên đỉnh đê và việc cho phép lắp ghép linh hoạt hệ cọc trụ tròn vào thân đê rỗng tùy theo yêu cầu cần giảm chiều cao sóng. Khoảng cách giữa các lỗ hình trụ tròn trong một hàng ( $l_i$ ) và khoảng cách giữa các hàng lỗ ( $b_i$ ) trên đỉnh đê tuân theo qui luật  $l_i = b_i = \emptyset$  ( $\emptyset$  là đường kính cọc

trụ tròn). Ngoài loại cọc trụ tròn còn có thể sử dụng các loại cọc khác có tiết diện (vuông, chữ nhật, tam giác) để lắp ghép tại vị trí các hàng lỗ bố trí sẵn tương ứng trên đỉnh đê vào thân đê rỗng hình thành hệ thống rỗng giảm sóng. Thực tiễn, để thuận tiện khi thi công và lắp ghép hệ cọc vào thân đê định hướng sử dụng loại cọc ống bê tông ly tâm dự ứng lực đúc sẵn thông dụng và phổ biến trên thị trường xây dựng hiện nay có đường kính  $\varnothing = 300$  mm.

Cơ chế tiêu giảm sóng qua đê gần giống tự nhiên của cây ngập mặn ven biển. Trong

đó phần hệ cọc bên trên tạo ra các khe hở đứng luôn cho phép sóng biển và thủy triều xuyên qua đóng vai trò giống như các thân cây cản sóng, năng lượng sóng tiêu tán qua hệ cọc nhờ công của lực cản, phần khối đê ngoài tác dụng tiêu tán năng lượng sóng tới thông qua quá trình sóng vỡ và dòng chảy qua thân đê có tác dụng cản và giữ bùn cát dịch chuyển theo phương ngang ngược trở ra phía biển khi thủy triều rút thấp hơn cao trình đỉnh đê (hình 1c).



Hình 1. Minh họa đê ngầm cọc phức hợp (trường hợp 3 hàng cọc)

### Cơ sở lý thuyết

Sử dụng năng lượng sóng thiết lập các phương trình cân bằng năng lượng của sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc với bờ qua đê kết hợp với số liệu đo đạc thực nghiệm trên mô hình vật lý thông qua các bước biến đổi toán học trung gian để xác định thành phần năng lượng sóng tiêu hao do thân đê rỗng và do hệ cọc. Sau đó xây dựng công thức bán thực nghiệm dạng tổng quát tính toán truyền sóng qua đê ngầm cọc phức hợp với hai tham số độc lập là thành phần năng lượng sóng tiêu hao do phần thân đê rỗng và do hệ cọc [1, 11].

### Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu bằng mô hình vật lý thu nhỏ trong máng sóng thủy lực thực hiện tại Phòng Thí nghiệm Thủy lực sông biển của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (máng sóng HR Wallingford - Anh).

### Lý thuyết tương tự và tỉ lệ mô hình

Tỉ lệ mô hình được thiết kế là  $\lambda_L = \lambda_h = a = 15$  bảo đảm tuân thủ định luật tương tự Froude,

thỏa mãn các điều kiện liên quan đến yếu tố hình học của nguyên hình, yếu tố sóng và khả năng đáp ứng của hệ thống thiết bị thí nghiệm, đồng thời bảo đảm giảm thiểu tối đa hiệu ứng phát sinh do ảnh hưởng của sóng phản xạ đến kết quả thí nghiệm [1].

### Điều kiện biên thủy hải văn

Chiều cao sóng là  $H_s = 1,00-2,50$  m, chu kỳ sóng  $T_p < 8,0$  s, độ ngập nước tại đỉnh đê  $R_c = 0-2,25$  m [5].

Thực tế thông số sóng nước sâu tại vùng biển phía tây của ĐBSCL chỉ dao động trong khoảng  $H_s = 1,0-1,75$  m,  $T_p = 2-6$  s, chuỗi số liệu thí nghiệm MHVL đã xem xét đầy đủ các đặc trưng riêng này, đồng thời mở rộng thêm biên độ với giới hạn là  $H_s \leq 2,50$  m,  $T_p \leq 8,0$  s trong nghiên cứu nhằm mục đích khái quát hóa đầy đủ được mức độ ảnh hưởng của các tham số chính chi phối đến quá trình truyền sóng qua đê khi phân tích và tăng độ tin cậy khi xây dựng các công thức thực nghiệm và bán thực nghiệm. Mục tiêu hướng đến là mở rộng phạm vi ứng

dụng thực tiễn của dạng đê ngầm này không chỉ giới hạn ứng dụng riêng cho vùng biển phía tây hay vùng ĐBSCL mà còn có thể ứng dụng cho các vùng biển khác ở nước ta có đặc trưng sóng và cơ chế sạt lở bờ biển tương tự.

Cơ sở để xác định giá trị độ sâu ngập nước trên đỉnh đê ngầm là theo thực tế đê có thể giảm sóng hiệu quả thì đỉnh đê cần được thiết kế có cao trình nằm xung quanh cao trình mực nước với độ ngập sâu tối đa  $< 1 \times H_s$  (tức là  $0 \leq R_c < 2,5$  m). Không xem xét trường hợp cao trình đỉnh đê  $>$  cao trình mực nước trong nghiên cứu này. Thực tế chế độ thủy triều của vùng biển tây là nhật triều không đều, biên độ dao động nhỏ hơn 1 m, do đó trong thực tiễn khi thiết kế công trình cao trình đỉnh đê ngầm (không có cọc) được chọn ở cao trình mực nước trung bình (theo tần suất thiết kế) sẽ bảo đảm yêu cầu kỹ thuật và hiệu quả về kinh tế ( $\approx$  độ ngập đỉnh đê  $R_c = 0$ ).

**Thiết kế mô hình thí nghiệm**

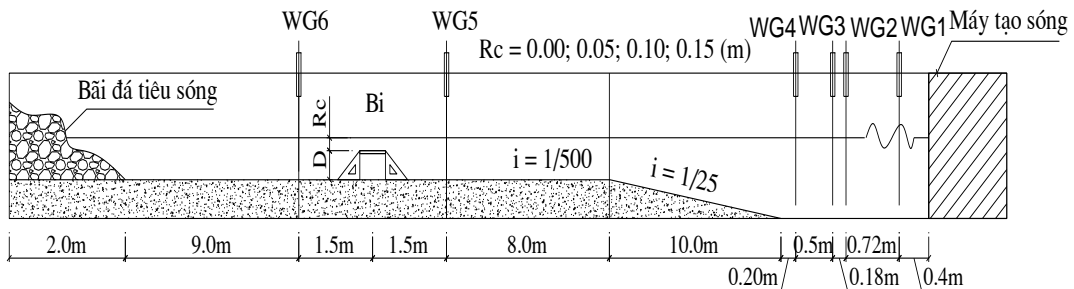
Khối đế là đê ngầm rộng tiết diện hình thang cân có chiều cao  $D = 0,2$  m và hệ số mái

$m = 1,0$ . Nghiên cứu với 4 chiều rộng đỉnh khối đế khác nhau, kích thước và kí hiệu là  $B_i = 2,3,4,5 = 0,112; 0,152; 0,192; 0,232$  m. Mật độ lỗ rỗng trên đỉnh khối đế được bố trí theo dạng hình hoa mai theo qui luật là  $l_i = b_i = \emptyset = 0,02$  m. Số hàng lỗ rỗng tương ứng với các chiều rộng đỉnh  $B_i$  là  $n^{(0)}_i = 2, 3, 4, 5$  hàng (hình 1a với trường hợp  $B_3 = 0,152$  m và  $n^{(0)}_3$ ).

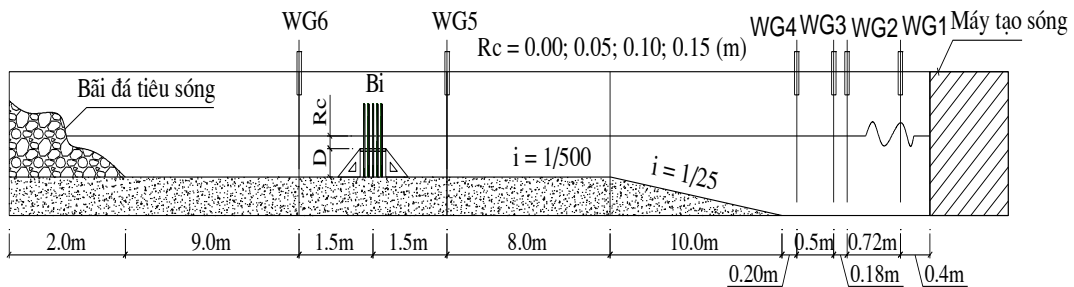
Hệ cọc trụ tròn lắp ghép trên đỉnh khối đế bảo đảm tương thích với mật độ và kích thước của các hàng lỗ rỗng  $n^{(0)}_i$ . Số hàng cọc trụ tròn lắp ghép trên đỉnh khối đế  $B_i$  tương ứng là  $n^{(p)}_i = 2, 3, 4, 5$  hàng (hình 1b, 1c với trường hợp  $n^{(p)}_3$ ).

**Bố trí thiết bị và sơ đồ thí nghiệm**

Sơ đồ bố trí thí nghiệm sử dụng 6 đầu đo được bố trí dọc theo tuyến máng sóng. Trong đó 4 kim đo (WG1, WG2, WG3, WG4) ngay sau Piston được sử dụng để tính toán tách sóng phản xạ và 2 đầu đo (WG5, WG6) còn lại được bố trí trước và sau đê ngầm để ghi nhận kết quả đặc trưng của sóng trước và sau khi truyền qua đê ngầm.



a) Sơ đồ thí nghiệm đê ngầm rộng, không cọc ( $B_i, n^{(0)}_i, R_c$ )



b) Sơ đồ thí nghiệm đê ngầm rộng có hệ cọc ( $B_i, n^{(p)}_i, R_c$ )

Hình 2. Sơ đồ bố trí công trình và thiết bị thí nghiệm trong máng sóng HR Wallingford

**Xây dựng chương trình thí nghiệm**

Tổng số 300 thí nghiệm (40 thí nghiệm trường hợp hiện trạng, 100 thí nghiệm trường

hợp đê ngầm rộng không cọc và 160 thí nghiệm trường hợp đê ngầm rộng có hệ cọc bên trên).

Bảng 1. Xây dựng chương trình thí nghiệm tổng quát

Đặc trưng sóng thí nghiệm (tại biên tạo sóng)	Bề rộng đỉnh $B_i$ (m)	Số hàng lỗ $n_i^{(0)}$	Số hàng cọc $n_i^{(p)}$	Độ ngập $R_c^1$ (m)
H07T113 ( $H_{m0} = 0,07$ m, $T_p = 1,13$ s)				
H07T134 ( $H_{m0} = 0,07$ m, $T_p = 1,34$ s)				
H10T135 ( $H_{m0} = 0,10$ m, $T_p = 1,35$ s)	$B_1 = 0$	$n_1^{(-)} = 0$	$n_1^{(-)} = 0$	$R_c^1 = 0$
H10T160 ( $H_{m0} = 0,10$ m, $T_p = 1,60$ s)	$B_2 = 0,112$	$n_2^{(0)} = 2$	$n_2^{(p)} = 2$	$R_c^2 = 0,05$
H12T148 ( $H_{m0} = 0,12$ m, $T_p = 1,48$ s)	$B_3 = 0,152$	$n_3^{(0)} = 3$	$n_3^{(p)} = 3$	$R_c^3 = 0,10$
H12T175 ( $H_{m0} = 0,12$ m, $T_p = 1,75$ s)	$B_4 = 0,192$	$n_4^{(0)} = 4$	$n_4^{(p)} = 4$	$R_c^4 = 0,15$
H14T160 ( $H_{m0} = 0,14$ m, $T_p = 1,60$ s)	$B_5 = 0,232$	$n_5^{(0)} = 5$	$n_5^{(p)} = 5$	
H14T189 ( $H_{m0} = 0,14$ m, $T_p = 1,89$ s)				
H16T171 ( $H_{m0} = 0,16$ m, $T_p = 1,71$ s)				
H16T203 ( $H_{m0} = 0,16$ m, $T_p = 2,03$ s)				

Ghi chú: Các chỉ số (-), (0) và (p) tương ứng với các thí nghiệm là hiện trạng không có đê (-), đê ngầm rộng không cọc (0) và đê ngầm rộng có hệ cọc (p).

**KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN**

Đê có cấu tạo phức hợp bao gồm phần khối đê như là một đê ngầm rộng tiêu hao năng lượng sóng thông qua quá trình sóng vỡ, phản xạ, ma sát và dòng chảy qua thân đê, phần hệ cọc bên trên tiêu hao năng lượng sóng nhờ công của lực cản. Khi chiều cao phần đê rộng tăng thì năng lượng sóng tiêu hao bởi thân đê tăng trong khi của hệ cọc thì lại giảm và ngược lại. Do quá trình tương tác và cơ chế tiêu hao năng lượng sóng giữa hai bộ phận này với sóng là khác nhau do vậy cần có những đánh giá, phân tích độc lập về mức độ ảnh hưởng của tham số chi phối để từ đó xây dựng phương

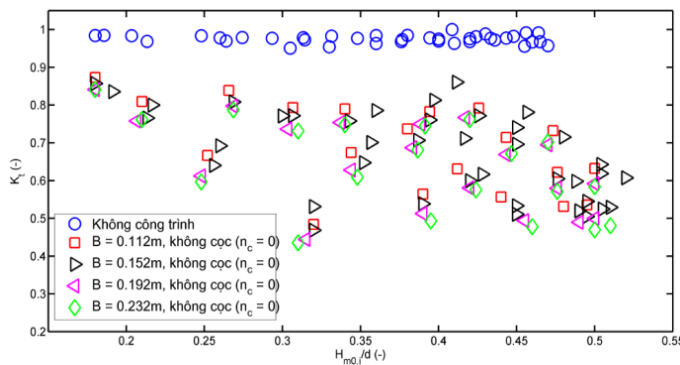
pháp tính toán truyền sóng qua đê trong trường hợp tổng quát.

**Truyền sóng qua thân đê rộng, không cọc  
Ảnh hưởng của chỉ số vỡ ( $\gamma$ )**

Hình 3 minh họa ảnh hưởng của chỉ số vỡ  $\gamma = H_{m0}/d$  đến hệ số truyền sóng  $K_t$  cho các trường hợp không có công trình và có công trình nhưng không có cọc với các bề rộng khác nhau.

Khi có công trình nhưng không có cọc,  $K_t$  giảm mạnh nhưng vẫn còn ở mức cao, phổ biến  $K_t = 0,60-0,80$ .

Khi  $\gamma$  tăng thì  $K_t$  giảm nhẹ, tuy nhiên sự phụ thuộc này khá yếu, không rõ ràng.



Hình 3. Ảnh hưởng của chỉ số sóng vỡ  $\gamma$  (đê không cọc)

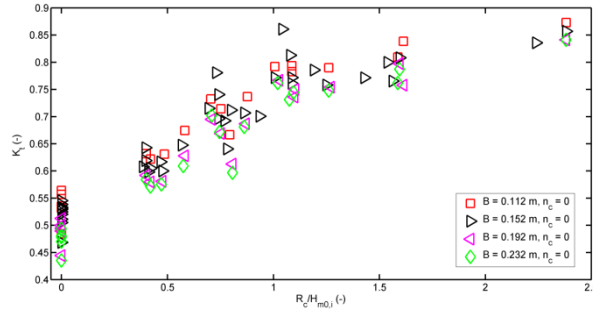
**Ảnh hưởng của độ sâu ngập nước tương đối của đỉnh đê**

Quan hệ  $K_t \sim R_c/H_{m0}$  được thể hiện trên hình 4 cho trường hợp đê không cọc.

Nhìn chung  $R_c/H_{m0}$  có ảnh hưởng chi phối đến  $K_t$ , quan hệ là đồng biến, tương tự như các trường hợp đê ngầm giảm sóng khác. Tuy

nhien do cấu tạo thân đê khá rộng nên chỉ cho thấy hiệu quả giảm sóng rõ rệt với độ ngập sâu nhỏ  $R_c/H_{m0} < 1$ . Khi  $R_c/H_{m0} > 1$  thì  $K_t$  tăng rất nhẹ hoặc hầu như là không đổi.

Khi độ ngập = 0 ( $R_c=0$ ) thì đê có hiệu quả giảm sóng tốt nhất với  $K_t = 0,50$  (trung bình).

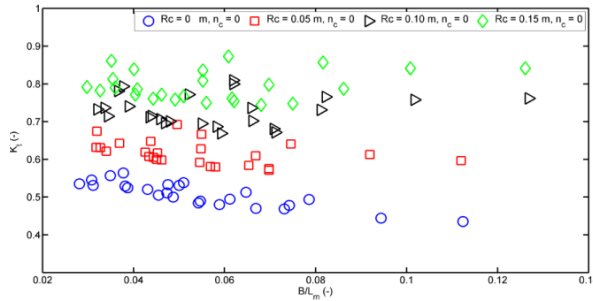


Hình 4. Ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối  $R_c/H_{m0}$  (đê không cọc)

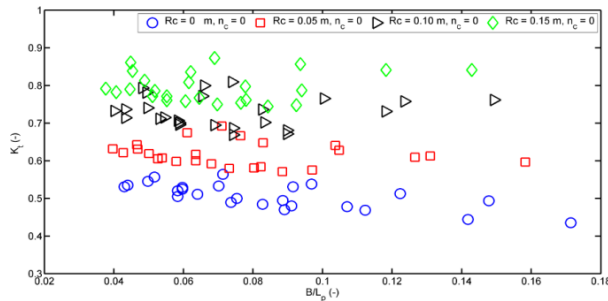
**Ảnh hưởng bề rộng tương đối của đỉnh đê**

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối  $B/L_m$  và  $B/L_p$  ( $L_m$  và  $L_p$  là chiều dài sóng nước nông tại

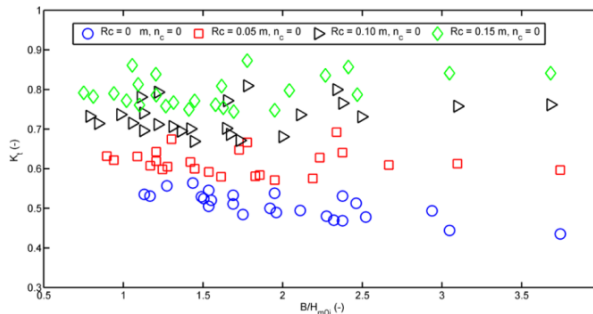
khv vực công trình tương ứng với chu kỳ đặc trưng phổ  $T_{m-1,0}$  và đỉnh phổ  $T_p$ ) với hệ số  $K_t$  được thể hiện lần lượt trên các hình 5, 6.



Hình 5. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối  $B/L_m$  (đê không cọc)



Hình 6. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối  $B/L_p$  (đê không cọc)



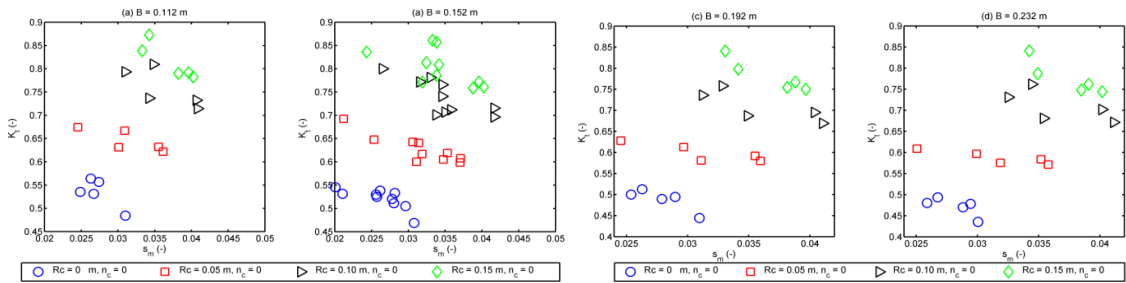
Hình 7. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối  $B/H_{m0}$  (đê không cọc)

Việc sử dụng bề rộng tương đối  $B/H_{m0}$  thay vì  $B/L$  cho kết quả tương quan tương tự nhưng ở mức độ yếu hơn (hình 7).

Nên sử dụng  $T_{m-1,0}$  trong trường hợp sóng nước nông, khi mà phổ sóng đã bị dẹt không còn rõ đỉnh.  $T_{m-1,0}$  được dùng để nhấn mạnh vai trò của sóng dài ở vùng nước nông do sóng vỡ. Xu thế cũng được thể hiện rõ hơn hay mức độ phân tán của số liệu nhỏ hơn khi sử dụng  $T_{m-1,0}$  (hình 5) so với khi sử dụng  $T_p$  (hình 6).

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối  $B/L$  nhìn chung là yếu hơn so với độ ngập nước tương đối  $R_c/H_{m0}$ .

Quan hệ là nghịch biến.



Hình 8. Tương quan  $s_m \sim K_t$  (đề không cọc)

Hình 8 trình bày kết quả phân tích tương quan phụ thuộc giữa  $s_m$  và  $K_t$  cho các trường hợp bề rộng và độ sâu ngập khác nhau. Nhìn chung xu thế ảnh hưởng của  $s_m$  đến  $K_t$  là nghịch biến khá rõ ràng, đặc biệt là với độ ngập nước lớn, cho thấy sóng càng dài thì càng ít bị tiêu hao năng lượng hơn khi qua đê so với sóng ngắn.

**Hệ số truyền sóng qua thân đê rỗng**

Từ các phân tích ảnh hưởng nêu trên chúng ta thấy rằng hệ truyền sóng qua thân đê rỗng trong trường hợp không có hệ cọc phía trên chịu sự chi phối chủ yếu của ba tham số đó là: độ ngập sâu tương đối  $R_c/H_{m0}$ , bề rộng tương

Ảnh hưởng của  $B/L$  trở nên yếu dần khi độ ngập tăng, với độ ngập lớn ( $R_c = 0,10; 0,15$  m) thì  $B/L$  hầu như không còn ảnh hưởng.

**Ảnh hưởng của tương tác sóng với mái đê**

Thông thường tính chất tương tác sóng với mái dốc thể hiện qua giá trị của số Iribarren  $\xi_{0m}$  cũng có ảnh hưởng đến truyền sóng qua đê ngầm. Tuy nhiên ở đây hệ số mái đê là một hằng số ( $\tan\alpha = 1$ ) do vậy có thể xét tính chất tương tác này thông qua giá trị độ dốc sóng tại vị trí công trình  $s_m$ :

$$s_m = \frac{H_{m0}}{L_m} \tag{1}$$

đôi  $B/H_{m0}$  và độ dốc sóng tại vị trí công trình  $s_m$ :

$$K_t^{(0)} = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}, \frac{B}{H_{m0,i}}, s_m\right) \tag{2}$$

Từ những phân tích tương quan nêu trên và tương tự như với các dạng đê ngầm khác, hệ số truyền sóng qua đê có dạng tổng quát như sau d'Angremond và nnk., (1996) [3]; van der Meer và nnk., (2005) [11]. Lưu ý ở đây ta sử dụng tham số độ dốc sóng ( $s_m$ ) thay vì sử dụng số Iribarren ( $\xi_{0m}$ ),  $R_c$  là độ ngập sâu mang giá trị dương.

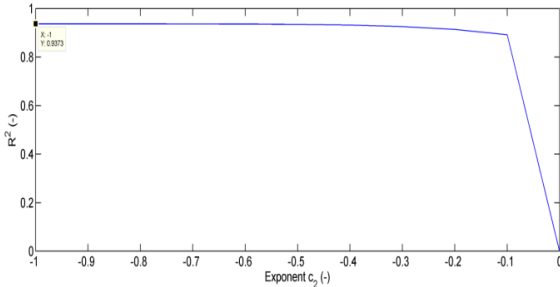
$$K_t^{(0)} = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}} = a \cdot \left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + b \cdot \left(\frac{B}{H_{m0,i}}\right)^{c_1} \cdot \left(1 - e^{c_2/\sqrt{s_m}}\right) \tag{3}$$

Trong đó: Các hệ số  $a, b$  (giá trị dương) và các số mũ  $c_1, c_2$  (giá trị âm) được xác định bằng phương pháp hồi quy với các số liệu thí nghiệm cho trường hợp đê ngầm rỗng không cọc.

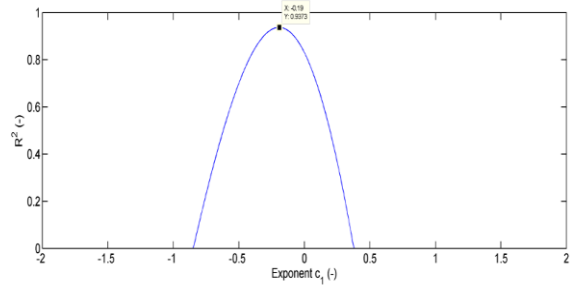
Sử dụng phương pháp dò tìm theo các tổ hợp đối với hai số mũ  $c_1$  và  $c_2$  sao để phương trình (PT) (3) phù hợp nhất với các số liệu thí nghiệm, tức là có hệ số hồi quy  $R^2$  lớn nhất.



Ứng với mỗi một giá trị  $c_2$  sẽ có một chuỗi các giá trị  $c_1$  được giả thiết để phân tích hồi quy và lựa chọn bộ tham số  $c_1$  và  $c_2$  cho  $R^2$  lớn nhất. Kết quả quan hệ giữa  $c_2$  và  $R^2$  được thể hiện trên hình 9 cho thấy  $R^2$  độ nhạy không lớn đối khi  $c_2 < 0$ . Khi  $c_2 \leq -1,0$  thì  $R^2$  đạt giá trị cực đại do đó chọn  $c_2 = -1,0$  để phân tích hồi quy.



Hình 9. Quan hệ  $c_2 \sim R^2$

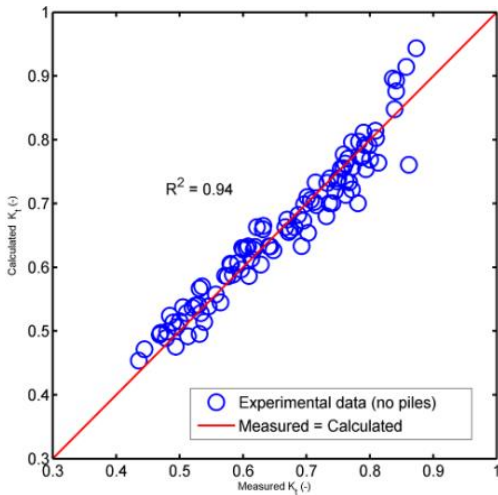


Hình 10. Quan hệ  $c_1 \sim R^2$  (với  $c_2 = -1,0$ )

Với  $c_2$  đã xác định, hình 10 thể hiện quan hệ giữa  $c_1$  và  $R^2$  ứng với giá trị  $c_2 = -1,0$ . Kết quả  $c_1 = -0,19$  đem lại giá trị  $R^2$  lớn nhất đạt xấp xỉ 0,94.

Sử dụng bộ số mũ  $c_1 = -0,19$  và  $c_2 = -1,0$  chúng ta xác định được các hằng số thực nghiệm tương ứng là  $a = 0,18$  và  $b = 0,58$ . Như vậy PT (3) được viết lại như sau:

$$K_t^{(0)} = 0,18 \left( \frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0,58 \left( \frac{B}{H_{m0,i}} \right)^{-0,19} \cdot \left( 1 - e^{-1/\sqrt{s_m}} \right) \quad (4)$$



Hình 11. So sánh giữa tính toán theo công thức và số liệu thực nghiệm về hệ truyền sóng khi đê không cọc

Kết quả so sánh hệ số truyền sóng qua thân đê rỗng (không cọc) giữa tính toán theo công thức thực nghiệm (4) và các số liệu thí nghiệm được thể hiện trên hình 11 với mức độ phù hợp cao ( $R^2 = 0,94$ ). Trong trường hợp không thể xác định  $T_{m-1,0}$  một cách chính xác thì vẫn có thể sử dụng công thức (4) với  $s_p$

thay vì  $s_m$  tùy nhiên với độ tin cậy đạt được thấp hơn một chút.

### Tiêu hao năng lượng sóng qua đê ngầm rỗng có hệ cọc

#### Phân tích quá trình tiêu hao năng lượng sóng

Khi sóng truyền qua hệ đê ngầm rỗng sẽ trải qua các quá trình tiêu hao năng lượng, làm giảm chiều cao sóng như sóng vỡ trên đê do độ sâu bị hạn chế, ma sát, sức cản do hệ cọc. Trong phân tích chúng ta có thể chia thành các thành phần năng lượng sóng tiêu hao như sau:

Năng lượng tiêu hao do thân đê rỗng (không có hệ cọc).

Năng lượng tiêu hao do ma sát.

Năng lượng tiêu hao của hệ cọc.

Phương trình cân bằng năng lượng của sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc với bờ qua đê ngầm rỗng có hệ cọc bên trên có dạng như sau:

$$\frac{\partial(E^{(p)} \cdot c_g)}{\partial x} = -D_d - D_f - D_p \quad (5)$$

$$E^{(p)} = \frac{1}{8} \rho g H_{rms,(p)}^2; c_g = \frac{c}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \quad (6)$$

Trong đó:  $x$ - một độ dài đặc trưng theo phương truyền sóng;  $h$ - độ sâu nước trước đê;  $E^{(p)}$ - là tổng năng lượng đơn vị của sóng trường hợp đê ngầm rộng có hệ cọc ( $J/m^2$ );  $H_{rms}$ - chiều cao sóng trung bình quân phương trong trường hợp đê gồm cả hệ cọc;  $D_d$ - suất tiêu hao năng lượng sóng do phân thân đê rộng ( $W/m^2$ );  $D_f$ - suất tiêu hao năng lượng sóng do ma sát đáy ( $W/m^2$ );  $D_p$ - suất tiêu hao năng lượng sóng do sức cản của hệ cọc ( $W/m^2$ );  $c_g$ - vận tốc nhóm sóng;  $c$ - vận tốc đỉnh sóng.

Trong cùng một điều kiện nhưng khi đê không có cọc thì năng lượng sóng bị tiêu hao chỉ bởi phân thân đê rộng và ma sát đáy có dạng như sau:

$$\frac{\partial(E^{(0)} \cdot c_g)}{\partial x} = -D_d - D_f \quad (7)$$

Với  $E^{(0)}$  là năng lượng sóng trong trường hợp đê ngầm rộng không có hệ cọc ( $J/m^2$ ).

$$\frac{\partial((E^{(p)} - E^{(0)}) \cdot c_g)}{\partial x} = -D_p \Leftrightarrow D_p = \frac{\partial\left[\frac{1}{8} \rho g (H_{rms,(0)}^2 - H_{rms,(p)}^2) \cdot c_g\right]}{\partial x} = \frac{\partial\left(\frac{1}{8} \rho g H_{rms,p}^2 \cdot c_g\right)}{\partial x} \quad (8)$$

Với  $H_{rms,p}$  gọi là thành phần chiều cao sóng bị suy giảm chỉ bởi hệ cọc.

Nếu như sóng đến là như nhau thì PT (8)

$$D_p = \frac{1}{8} \rho g c_g \frac{(H_{rms,t}^2)_{(0)} - (H_{rms,t}^2)_{(p)}}{X_b} = \frac{1}{8} \rho g c_g \frac{\Delta H_{rms,p}^2}{X_b} \quad (9)$$

Trong đó:  $H_{rms,t}$  là chiều cao sóng phía sau đê, các chỉ số (0) và (p) tương ứng dùng để chỉ trường hợp đê ngầm rộng không cọc và có hệ cọc;  $X_b$  là chiều rộng ảnh hưởng của số hàng cọc trên đỉnh đê ngầm xét theo phương truyền sóng ( $X_b$  là khoảng cách tính theo tim của hai hàng cọc biên ngoài cùng trên đỉnh đê theo phương truyền sóng).

Ở đây chúng ta đưa ra khái niệm năng lượng sóng tương đối tiêu hao bởi hệ cọc  $D_{pr}$ , là đại lượng phi thứ nguyên được định nghĩa như sau:

$$D_{pr} = \frac{\Delta H_{rms,p}^2}{H_{rms,i}^2} \quad (10)$$

Lưu ý PT (7) dựa trên giả thiết bỏ qua sự thay đổi vận tốc nhóm sóng  $c_g$  khi có và không có hệ cọc (theo lý thuyết thì  $c_g$  chỉ phụ thuộc độ sâu nước và chu kỳ sóng).

Với giả thiết năng lượng tiêu hao bởi ma sát và sóng phản xạ do thân đê rộng là như nhau giữa hai trường hợp đê không cọc và có hệ cọc (theo các số liệu thí nghiệm từ MHVL cho thấy hệ số phản xạ có sự chênh lệch không đáng kể giữa hai trường hợp này); ngoài ra sự chênh lệch này còn được kể đến bằng cách lấy chiều cao sóng trước đê là chiều cao sóng trung bình giữa hai trường hợp và sau này thông qua các hệ số hiệu chỉnh mô hình) và sự có mặt của hệ cọc không làm thay đổi suất tiêu hao năng lượng của thân đê rộng so với khi đê không có hệ cọc. Từ các PT (5)–(7) chúng ta có thể rút ra phương trình cân bằng năng lượng sóng cho hệ cọc như sau:

có diễn giải một cách đơn giản là năng lượng sóng tiêu hao bởi hệ cọc chính là phần chênh lệch về năng lượng sóng phía sau đê giữa hai trường hợp đê có và không có hệ cọc.

Từ PT (9) và (10) chúng ta có liên hệ:

$$D_p = \frac{1}{8} \rho g c_g \frac{D_{pr} \cdot H_{rms,i}^2}{X_b} = \frac{D_{pr} \cdot E^{(p)} \cdot c_g}{X_b} \quad (11)$$

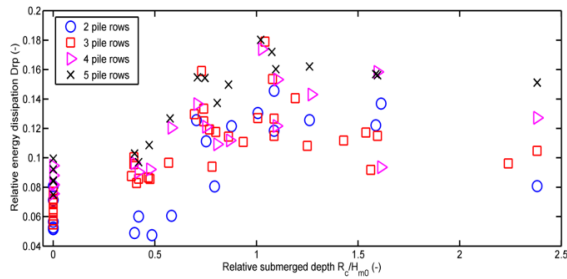
Sử dụng đại lượng phi thứ nguyên  $D_{pr}$  xác định từ các số liệu thí nghiệm cho hai trường hợp đê không có và có hệ cọc theo PT (10) để phân tích sự suy giảm chiều cao sóng do ảnh hưởng của hệ cọc.

Kết quả tính toán  $D_{pr}$  theo PT (9), (10) được lập thành bảng dựa vào kết quả thí nghiệm MHVL truyền sóng qua đê ngầm rộng không cọc và có hệ cọc. Nhìn chung giá trị  $D_{pr}$

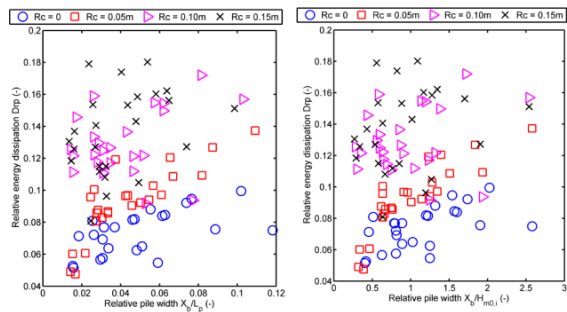
khá nhỏ, chỉ chiếm khoảng 10–20% so với tổng năng lượng sóng tới.

**Phân tích mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối đến tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc**

Tương tự như với thân đê rộng, độ ngập sâu tương đối  $R_c/H_{m0}$  (chiều dài phân cọc nhúng trong nước) cũng có ảnh hưởng nhiều đến tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc như thể hiện trên hình 12. Nhìn chung có thể thấy rằng quan hệ này là đồng biến rõ ràng với xu thế phi tuyến.  $D_{pr}$  tăng mạnh với  $R_c/H_{m0} < 1,20$  sau đó thì hầu như không tăng nữa.  $D_{pr}$  cũng tăng tỷ lệ với số hàng cọc (tương ứng với bề rộng ảnh hưởng của hệ cọc).



Hình 12. Ảnh hưởng của của độ ngập sâu tương đối  $R_c/H_{m0}$

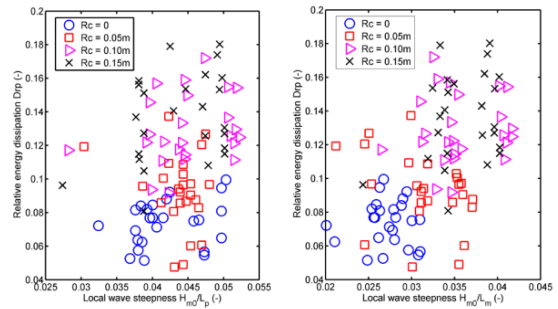


Hình 13. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối của hệ cọc  $X_b/L_p$  (trái) và  $X_b/H_{m0}$  (phải)

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối của hệ cọc  $X_b/L_p$  và  $X_b/H_{m0}$  đối với  $D_{pr}$  được lần lượt thể hiện trên hình 13 cũng cho thấy sự phụ thuộc mạnh mẽ theo quan hệ đồng biến của bề rộng hệ cọc đến sự tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc. Ảnh hưởng này rõ rệt nhất đối với các mức độ ngập sâu thấp. Việc  $D_{pr}$  có xu thế tăng chậm với các mức độ ngập sâu lớn được lý giải: Khi độ sâu nước đủ lớn thì phần lớn năng

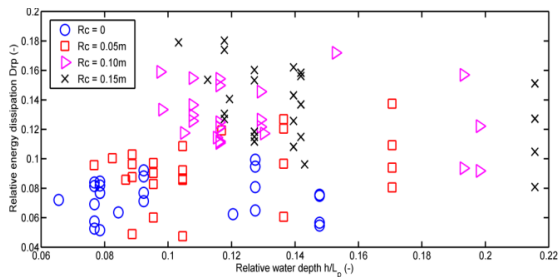
lượng sóng ở dải tần số cao đã bị tiêu hao bởi hệ cọc, chỉ còn lại năng lượng sóng ở dải tần số thấp. Như đã phân tích ở trên sóng ở dải tần thấp ít bị tiêu hao năng lượng khi qua hệ cọc, do vậy khi độ sâu tiếp tục tăng hoặc số hàng cọc tăng thì  $D_{pr}$  sẽ không tiếp tục tăng nữa.

Hình 14 là kết quả phân tích sự phụ thuộc vào độ dốc sóng ( $s_p = H_{m0}/L_p$  và  $s_m = H_{m0}/L_m$ ) tại vị trí công trình đối với  $D_{pr}$ . Xu thế chung là đồng biến, tuy nhiên khá yếu so với trường hợp thân đê rộng không có cọc.



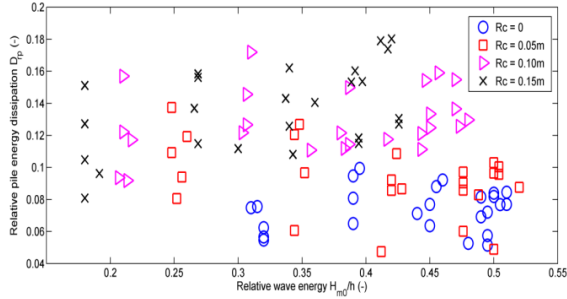
Hình 14. Ảnh hưởng của độ dốc sóng địa phương  $s_p$  (hình trái) và  $s_m$  (hình phải)

Các ảnh hưởng khác như độ sâu nước tương đối  $h/L_p$  và chỉ số vỡ  $H_{m0}/h$  đến  $D_{pr}$  được lần lượt trình bày trên các hình 15–16 cho thấy các tham số này hầu như không có chi phối trực tiếp đến tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc.



Hình 15. Ảnh hưởng của độ sâu nước tương đối  $h/L_p$

Ngoài ra tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc còn phụ thuộc vào mật độ cọc hay độ rộng của đê ngầm cọc phức hợp (phụ thuộc khoảng cách giữa các cọc), đường kính cọc. Tuy nhiên trong thí nghiệm tham số này được giữ cố định do vậy không được xem xét một cách trực tiếp ở đây mà gián tiếp nằm trong các thông số khác được phân tích ở trên.



Hình 16. Ảnh hưởng của chỉ số vỡ  $H_{m0}/h$

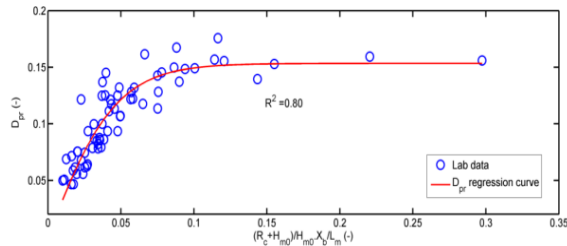
**Tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc**

Với những phân tích tương quan nêu trên ở đây chúng ta sẽ xây dựng công thức thực nghiệm tính toán xác định năng lượng sóng bị tiêu hao bởi hệ cọc phía trên thân đê rỗng.

Một cách tương tự như trên chúng ta có phương trình tổng quát như sau:

$$\hat{V}_p = \frac{V_p}{V_w} = \frac{(R_c + H_{m0,i}) \cdot X_b}{H_{m0} \cdot L_m} = \frac{R_c + H_{m0,i}}{H_{m0}} \cdot \frac{X_b}{L_m} \tag{13}$$

Trong đó:  $\hat{V}_p$  là thể tích cản sóng tương đối của hệ cọc;  $V_p$  và  $V_w$  là thể tích phạm vi cản sóng của hệ cọc và tổng thể tích phần khối nước dao động xét trong một chu kỳ sóng.



Hình 17. Đường hồi quy thực nghiệm xác định  $D_{pr} \sim \hat{V}_p$  (với  $L_m$ ) (đề có hệ cọc)

PT (13) vẫn bảo toàn các tham số chi phối của của PT (12). Hình 17 biểu diễn quan hệ giữa thể tích cản sóng tương đối của hệ cọc và  $D_{pr}$ , qua đó có thể thấy rằng tương tự như các phân tích tương quan ở phần trước  $D_{pr}$  có xu thế tăng khi  $\hat{V}_p$  tăng, tức là khi độ ngập tương đối tăng hoặc bề rộng hệ cọc tăng. Khi  $\hat{V}_p$  tăng đến một giới hạn nào đó thì  $D_{pr}$  không tăng nữa

$$D_{pr} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0}}, \frac{X_b}{L_m}\right) \tag{12}$$

$D_{pr}$  mang ý nghĩa là năng lượng sóng tiêu hao tương đối bởi hệ cọc so với tổng năng lượng sóng tới ( $D_{pr}$  còn được hiểu là hiệu năng của hệ cọc  $D_{pr} < 1$ ). Như vậy  $D_{pr}$  phụ thuộc vào tổng thể tích phạm vi cản nước tương đối của hệ cọc so với toàn bộ thể tích khối nước dao động xét trong một chu kỳ sóng. Ngoài ra lưu ý khi  $R_c = 0$  (mực nước ngang bằng thân đê rỗng) thì  $D_{pr} > 0$  do một phần sóng vẫn truyền qua đỉnh đê và vẫn bị tiêu hao năng lượng bởi hệ cọc.

Xuất phát từ những phân tích trên chúng ta có đề xuất tham số biểu diễn thể tích cản sóng tương đối của hệ cọc như sau:

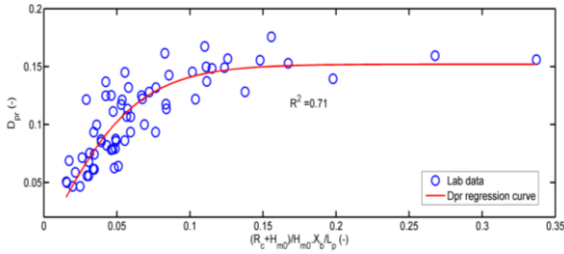
(lý do đã giải thích ở trên). Như vậy tương quan này tồn tại một số điều kiện giới hạn như sau: Có tiệm cận trên là  $D_{pr, max}$  và  $D_{pr} = 0$  khi không có hệ cọc ( $X_b = 0$ ) và  $D_{pr} > 0$  khi  $R_c = 0$ . Với những tính chất này và với đại lượng miêu tả hiệu năng ( $D_{pr} < 1$ ) thì hàm  $\tanh(x)$  (với  $x < 1$ ) là một dạng hàm phù hợp.

Sử dụng phương pháp hồi quy với bộ số liệu thí nghiệm chúng ta xây dựng được quan hệ đường hồi quy như sau (hình 17), mức độ phù hợp cao  $R^2 = 0,80$ .

$$D_{pr} = 0,153 \tanh\left[20,6 \frac{(R_c + H_{m0,i}) X_b}{H_{m0} L_m}\right] \tag{14}$$

Khi sử dụng  $T_p$  thay vì  $T_{m-1,0}$  ( $L_p$  thay vì  $L_m$ ) trong tính toán thì mức độ phù hợp với các số liệu thực nghiệm đạt được sẽ thấp hơn một chút ( $R^2 = 0,71$ , hình 18). Lúc này công thức xác định  $D_{pr}$  sẽ là:

$$D_{pr} = 0,152 \tanh\left[16,3 \frac{(R_c + H_{m0,i}) X_b}{H_{m0} L_p}\right] \tag{15}$$



Hình 18. Đường hồi quy thực nghiệm xác định  $D_{pr} \sim \hat{V}_p$  (với  $L_p$ ) (đê có hệ cọc)

### Truyền sóng qua đê ngầm rộng có hệ cọc

Xuất phát từ các phương trình cân bằng năng lượng sóng cho các trường hợp đê ngầm rộng không cọc và có hệ cọc bên trên như sau:

Khi đê ngầm rộng không cọc:

$$E_{tot} = E_t^{(0)} + E_d^{(0)} + E_f^{(0)} + E_r^{(0)} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & (E_t^{(0)} - E_t^{(p)}) + (E_r^{(0)} - E_r^{(p)}) - E_p^{(p)} = 0 \\ \Leftrightarrow & \frac{1}{8} \rho g (H_{rms,t}^{(0)^2} - H_{rms,t}^{(p)^2}) + \frac{1}{8} \rho g H_{rms,i}^2 (C_r^{(0)^2} - C_r^{(p)^2}) - \frac{D_p X_b}{c_g} = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Với  $C_r^{(0)}$  và  $C_r^{(p)}$  là các hệ số phản xạ trong hai trường hợp đê không có cọc và có hệ cọc.

PT (18) có thể viết lại dưới dạng các hệ số

$$\Leftrightarrow (K_t^{(0)^2} - K_t^{(p)^2}) + (C_r^{(0)^2} - C_r^{(p)^2}) - \frac{D_p X_b}{\frac{1}{8} \rho g H_{rms,i}^2 c_g} = 0 \quad (19)$$

Liên hệ PT (19) với PT (11), chúng ta có:

$$\Leftrightarrow (K_t^{(0)^2} - K_t^{(p)^2}) + (C_r^{(0)^2} - C_r^{(p)^2}) - D_{pr} = 0 \quad (20)$$

*Lưu ý:* Chênh lệch năng lượng sóng phản xạ tương đối  $(E_r^{(0)} - E_r^{(p)})/E = (E_r^{(0)^2} - E_r^{(p)^2})/E^2$  có giá trị rất nhỏ và tỷ lệ thuận so với năng lượng sóng tiêu hao bởi thân đê có hệ cọc như trình bày trên hình 19 có kết quả từ thực nghiệm. Do vậy ảnh hưởng chênh lệch về sóng phản xạ có thể được xét đến một cách gián tiếp thông qua  $D_{pr}$  với một hệ số điều chỉnh mô hình  $m$ .

Khi đê ngầm rộng có hệ cọc bên trên:

$$E_{tot} = E_t^{(p)} + E_d^{(p)} + E_p^{(p)} + E_f^{(p)} + E_r^{(p)} \quad (17)$$

Trong đó:  $E_t$ ,  $E_d$ ,  $E_p$ ,  $E_f$  và  $E_r$  lần lượt là năng lượng của sóng phía sau đê, phần năng lượng tiêu hao bởi phần thân đê rộng, bởi hệ cọc, ma sát và năng lượng sóng phản xạ lại.  $E_{tot}$  là tổng năng lượng sóng (bao gồm cả sóng tới và sóng phản xạ trở lại từ công trình) Các chỉ số (0) và (p) tương ứng dùng để chỉ trường hợp đê không cọc và có hệ cọc.

Giả thiết với cùng một tổng năng lượng sóng  $E_{tot}$ , thì các thành phần năng lượng sóng bị tiêu hao bởi ma sát và thân đê là như nhau trong cả hai trường hợp đê ngầm rộng không cọc và có hệ cọc bên trên (tức là  $E_f^{(0)} = E_f^{(p)}$ ,  $E_d^{(0)} = E_d^{(p)}$ ). Từ hai PT (16) và PT (17) ta có:

truyền sóng ( $K_t = H_{rms,t}/H_{rms,i}$ ) bằng cách chia hai vế phương trình này cho năng lượng sóng tới đơn vị  $E = 1/8 \rho g H_{rms,i}^2$ , ta có:

Từ PT (20) chúng ta có thể đưa ra công thức bán thực nghiệm xác định hệ số truyền sóng qua đê rộng có hệ cọc bên trên ( $K_t^{(p)}$  hay kí hiệu khác là  $K_t$ ) như sau:

$$K_t = \sqrt{K_t^{(0)^2} - m \cdot D_{pr}} \quad (21)$$

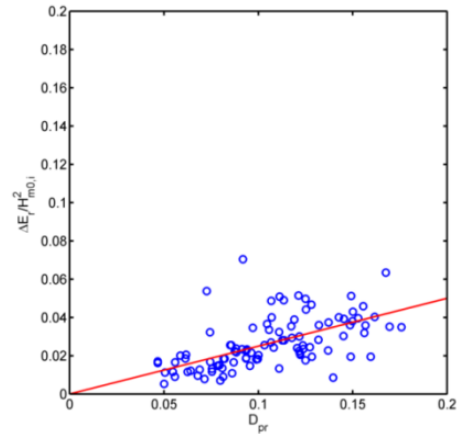
Trong đó:  $m$  là hệ số mô hình (theo lý thuyết thì  $m < 1,0$ ) được hiệu chỉnh với các số liệu thí

nghiệm nhằm kể đến ảnh hưởng của sóng phản xạ và các sai lệch do các giả thiết đã nêu khác trong quá trình xây dựng công thức.

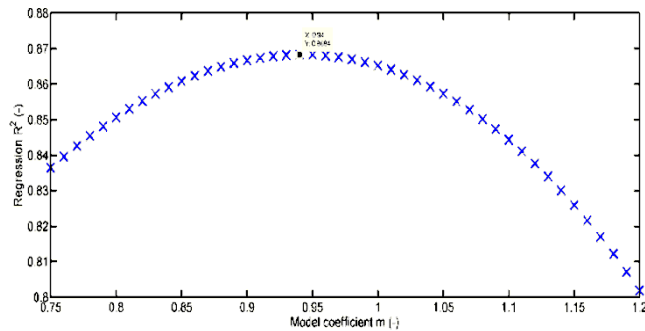
Lưu ý:  $K_t^{(0)}$  là hệ số truyền sóng qua đê ngầm rộng không cọc được xác định từ PT (4) và  $D_{pr}$  là năng lượng sóng tương đối tiêu hao bởi hệ cọc được xác định từ PT (14) hoặc PT (15). Khi đê ngầm rộng không cọc ( $D_{pr} = 0$ ) thì PT (21) sẽ trở về PT (4).

Sử dụng các PT (4), PT (14) và PT (21) cùng với bộ số liệu thí nghiệm cho trường hợp đê có cọc để xác định hệ số mô hình  $m$  (160 thí nghiệm). Kết quả trên hình 20 cho thấy  $m = 0,94$  cho kết quả phù hợp tốt nhất với bộ số liệu thí nghiệm ( $R^2 = 0,87$ ). Hình 21 trình bày so sánh giữa kết quả tính toán  $K_t$  theo PT (21) với hệ số mô hình  $m = 0,94$  và bộ số liệu thí nghiệm. Sự phù hợp rất tốt của PT (21) với bộ số liệu thí nghiệm khẳng định tính đúng đắn

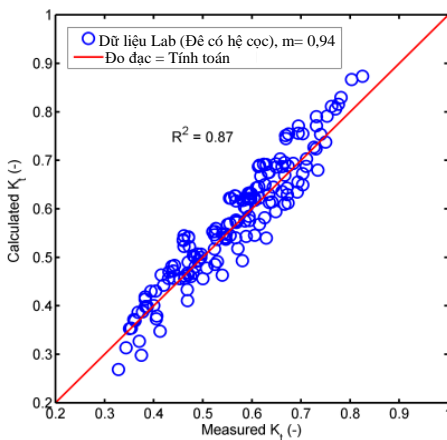
của phương pháp và các giả thiết đưa ra trong quá trình xây dựng công thức.



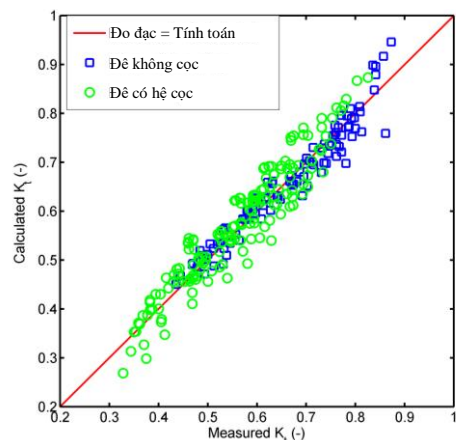
Hình 19. Liên hệ giữa chênh lệch năng lượng sóng phản xạ tương đối và tiêu hao năng lượng do hệ cọc  $D_{pr}$  (đê có cọc)



Hình 20. Hiệu chỉnh hệ số mô hình  $m$  với các số liệu thí nghiệm



Hình 21. So sánh kết quả tính toán hệ số truyền sóng với số liệu thực nghiệm cho trường hợp đê có hệ cọc (hệ số mô hình  $m = 0,94$ )



Hình 22. Tổng hợp so sánh kết quả tính toán hệ số truyền sóng với toàn bộ số liệu thực nghiệm (đê không cọc và đê có hệ cọc)

Sau cùng hình 22 là so sánh tổng hợp giữa kết quả tính toán với tất cả các trường hợp có và không có hệ cọc (tổng số 260 thí nghiệm).

## KẾT LUẬN

Bài báo giới thiệu dạng đề ngầm cọc phức hợp có kết cấu mới phi truyền thống lắp ghép linh hoạt bằng các cấu kiện bê tông đúc sẵn định hình ứng dụng để bảo vệ bờ biển bị sạt lở do tác động của sóng biển tại vùng biển tây của ĐBSCL (hình 1) [1, 2].

Xây dựng được công thức bán thực nghiệm (21) dạng tổng quát tính toán xác định hệ số truyền sóng qua đề, công thức phản ánh đầy đủ mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối thông qua hai thành phần năng lượng sóng tiêu hao do thân đề rộng là  $K_t^{(0)}$  xác định theo PT (4) và do hệ cọc bên trên là  $D_{pr}$  xác định theo PT (14) hoặc PT (15). Trường hợp đề ngầm rộng không có hệ cọc ( $D_{pr} = 0$ ) thì PT (21) trở về PT (4).

Công thức bán thực nghiệm (21) và các công thức thực nghiệm (4), (14), (15) được xây dựng có đầy đủ cơ sở khoa học, đảm bảo độ tin cậy và có khả năng ứng dụng vào trong thực tiễn để tính toán xác định hệ số truyền sóng qua đề ngầm cọc có cấu tạo phức hợp.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyen Anh Tien, Trinh Cong Dan, Lai Phuong Quy, Thieu Quang Tuan, 2018. The study of proposing the empirical formulation for calculating wave transmission coefficient through permeable breakwater by physical experiment. *Journal of Water Resources Science and Technology, Vietnam Academy for Water Resources*, (46), 24–34.
- [2] Nguyen Viet Tien, 2015. Research on wave energy damping efficiency by submerged breakwater in Vietnamese coastal. *Ph.D Thesis, Thuyloi University, Hanoi*.
- [3] Seelig, W. N., 1980. Two-Dimensional Tests of Wave Transmission and

Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters (No. CERC-TR-80-1). *Coastal Engineering Research Center Fort Belvoir VA*.

- [4] Allsop, N. W. H., 1983. Low-crest breakwaters, studies in random waves. In *Coastal Structures' 83* (pp. 94–107). ASCE.
- [5] Ahrens, J. P., 1987. Characteristics of Reef Breakwaters (No. CERC-TR-87-17). *Coastal Engineering Research Center Vicksburg MS*.
- [6] Ferrant, V., 2007. Spectral analysis of wave transmission behind submerged breakwaters. *Ph.D thesis, Italy*.
- [7] van der Meer, J. W., 1991. Stability and transmission at lowcrested structures. *Delft hydraulics publ*.
- [8] van der Meer, J. W., and Daemen, I. F., 1994. Stability and wave transmission at low-crested rubble-mound structures. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 120(1), 1–19.
- [9] d'Angremond, K., Van der Meer, J. W., and De Jong, R. J., 1996. Wave transmission at low-crested structures, 25<sup>th</sup> Int. In *Conf. on Coastal Eng., Orlando, Florida*.
- [10] Van der Meer, J. W., Briganti, R., Zanuttigh, B., and Wang, B., 2005. Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change. *Coastal Engineering*, 52(10–11), 915–929.
- [11] Nguyen Anh Tien, Trinh Cong Dan, Thieu Quang Tuan, To Van Thanh, 2018. Scientific background used for proposing calculating method of wave transmission coefficient through submerged complex with solid piles breakwater. *Journal of Water Resources Science and Technology, Viet Nam Academy for Water Resources*, (46), 81–87.