

NGHIÊN CỨU BẰNG MÔ HÌNH TOÁN VỀ HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA ĐÊ NGẦM PHÁ SÓNG

Nguyễn Viết Tiến¹, Thiệu Quang Tuấn² & Bùi Doãn Quyết²

Tóm tắt: Đê ngầm phá sóng là dạng công trình bảo vệ bờ biển mang tính chủ động đang được áp dụng khá phổ biến hiện nay ở nhiều nước trên thế giới với tác dụng: giảm năng lượng sóng tác động; tái tạo và duy trì bờ, bãi biển;.... Bài báo này đề cập tới nội dung nghiên cứu sử dụng mô hình toán họ BOUSSINESQ, được kiểm định với kết quả thí nghiệm mô hình vật lý máng sóng, để phân tích, đánh giá mức độ chi phối của các yếu tố ảnh hưởng như độ ngập sâu, bề rộng đỉnh, độ dốc mái của đê ngầm, độ dốc bãi trước đê đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm trước bãi đê. Kết quả cho thấy độ dốc bãi trước đê và độ dốc mái đê có ảnh hưởng thứ yếu đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm. Độ ngập sâu tương đối và bề rộng đỉnh tương đối của đê ngầm đóng vai trò quyết định trong việc giảm sóng của đê ngầm. Nghiên cứu đã làm sáng tỏ các quá trình và nguyên lý cơ bản về hiệu quả giảm sóng của đê ngầm trước bãi đê, cần thiết cho việc áp dụng dạng công trình ở nước ta.

Từ khóa: đê ngầm, bãi trước đê, mô hình toán, hiệu quả giảm sóng, độ ngập sâu tương đối, bề rộng đỉnh tương đối.

I. KHÁI NIỆM HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA ĐÊ NGẦM PHÁ SÓNG VÀ GIỚI THIỆU MÔ HÌNH LAN TRUYỀN SÓNG HỌ BOUSSINESQ - PCOULWAVE

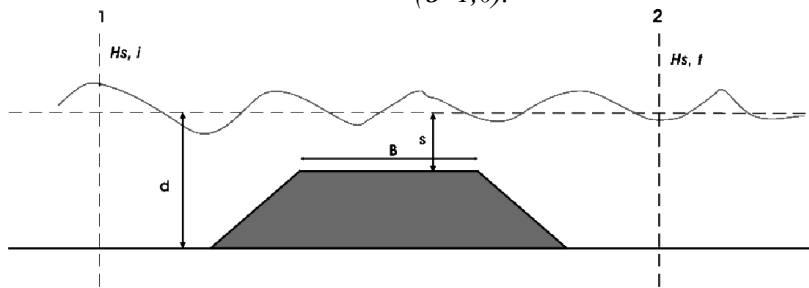
1.1. Khái niệm hiệu quả giảm sóng của đê ngầm

Hiệu quả giảm sóng hay mức độ giảm chiều cao sóng của đê ngầm được đánh giá thông qua tỷ số giữa chiều cao sóng phía sau đê so với chiều cao sóng đến trước đê.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{H_{s,t}}{H_{s,i}}\right) \times 100\% = (1 - K_t) \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó K_t là hệ số truyền sóng qua đê, ε là hệ số đánh giá hiệu quả giảm sóng của đê ngầm, $H_{s,t}$ và $H_{s,i}$ lần lượt là chiều cao sóng đến ở sau và trước đê được xác định ở khoảng cách cách đê một khoảng từ một nửa đến một lần chiều dài sóng.

Đê ngầm có hiệu quả giảm sóng càng tốt khi giá trị của hệ số K_t càng bé hay ε càng cao ($\varepsilon < 1, 0$).



Hình 1. Sơ đồ tính toán hiệu quả giảm sóng của đê ngầm

1.2. Giới thiệu về mô hình lan truyền sóng họ Boussinesq - PCoulwave

PCoulwave là một mô hình lan truyền sóng họ Boussinesq của Mỹ để đánh giá hiệu quả chiết

giảm sóng của dải ngầm phá sóng. Đây là một mô hình sóng bề mặt có nhiều ứng dụng để giải quyết các bài toán phức tạp về sóng dựa trên các phương trình sóng nước nông phi tuyến và phương trình phân tán họ Boussinesq. PCoulwave đã được xác nhận rộng rãi và được công bố từ năm 2002. Các ứng dụng chính của mô hình mã nguồn mở này là mô phỏng sóng gió

¹ Trung tâm Tư vấn và Chuyển giao công nghệ Thủy lợi – Tổng cục Thủy lợi

² Khoa kỹ thuật Biển - Trường Đại học Thủy lợi

gần bờ, đê chắn sóng, sóng thiết lập gây ra và dòng chảy, tương tác sóng với độ sâu không đều, chuyển đổi gần bờ quang phổ, lở đất, sóng thần, quá trình tiến hóa sóng thần gần bờ, ngập lụt.

Mô hình giải hệ phương trình họ Boussinesq (Pregrine 1967) theo phương pháp khối hữu hạn.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} ((h + \zeta)u) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + U \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{h}{2} \frac{\partial^3 (du)}{\partial x^2 \partial t} - \frac{h^2}{6} \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} + \nu_T \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - g \frac{u|u|}{C^2(d + \zeta)} \quad (3)$$

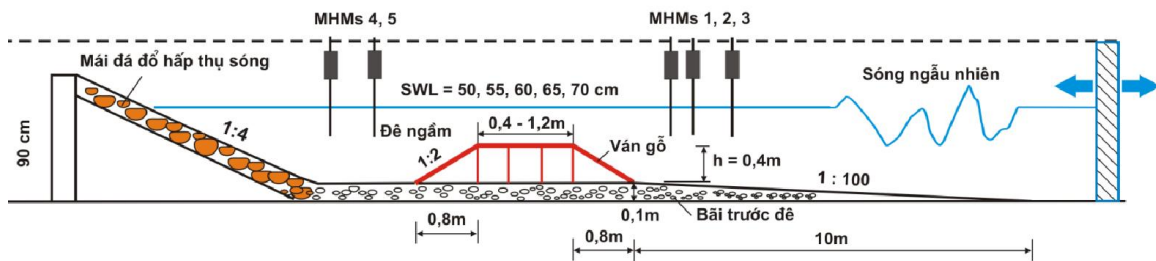
Với ζ : biên độ dao động mực nước; h: độ sâu

nước; x : tọa độ theo phương ngang; t: thời gian; u: lưu tốc hướng ngang; C: hệ số chezy; ν_T : hệ số nhớt xoáy; g: gia tốc trọng trường.

II. THIẾT LẬP, HIỆU CHỈNH VÀ KIỂM ĐỊNH MÔ HÌNH TOÁN

2.1. Thiết lập mô hình thí nghiệm vật lý

Thí nghiệm được thực hiện tại máng sóng Hà Lan thuộc Phòng Thí nghiệm Thủy lực Tổng hợp, Trường Đại học Thủy lợi. Đê ngầm được xây dựng trên bãi có độ dốc tiêu biểu là 1/100 ($i=100$), với các kích thước: chiều cao 40cm, độ dốc mái đê $m=2$, bề rộng đỉnh đê được thay đổi với 03 kích thước 40cm, 80cm và 120cm.



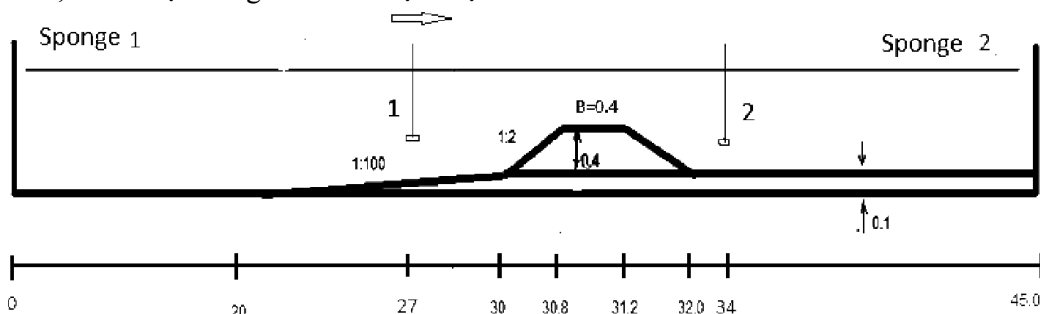
Hình 2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm mô hình vật lý đê ngầm phá sóng trước bãi đê

Các kích thước hình học của mặt cắt ngang đê đã lựa chọn tương ứng với tỷ lệ mô hình hóa về chiều dài $N_L = 20$ và thời gian là $N_t = 4,5$ (theo tiêu chuẩn tương tự Froude). Tổng hợp lại chương trình thí nghiệm bao gồm 150 thí nghiệm (kết hợp có lựa chọn 10 điều kiện sóng x 5 mức ngập nước x 3 bề rộng đê), kết quả từ sự kết hợp đa chiều có lựa chọn của các điều kiện hình học đê, điều kiện sóng và điều kiện mực

nước. Thí nghiệm sóng trong bão theo phổ Jonswap. Sử dụng các số liệu sóng thực đo trong thí nghiệm mô hình vật lý để thiết lập, kiểm định và hiệu chỉnh mô hình toán.

2.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình toán thông qua mô hình vật lý

Sơ đồ mô hình toán được thiết lập tương tự như mô hình vật lý (xem Hình 3).



Hình 3. Mặt cắt dọc trong mô hình số, đơn vị (m)

2.2.1. Điều kiện biên sóng:

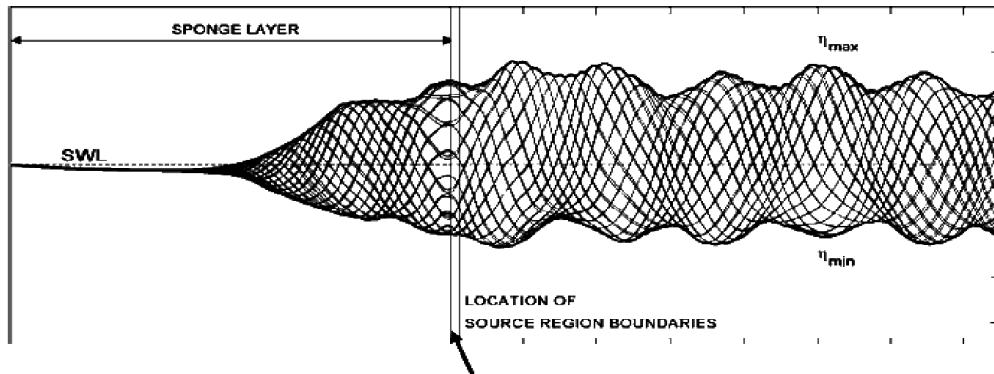
- Sử dụng số liệu sóng thực đo tại vị trí trước chân công trình làm số liệu đầu vào cho mô

hình toán, chuỗi số liệu sóng này có vai trò như một nguồn phát sóng mô phỏng trong mô hình toán.

- Số liệu sóng thực đo sau công trình sẽ được sử dụng để so sánh với chuỗi sóng tính toán mô phỏng trong mô hình. Đây chính là cơ sở để hiệu

chỉnh kiểm định mô hình sao cho chiều cao sóng trong số liệu tính toán và thực đo có khoảng sai lệch nhỏ nhất.

2.2.2. Tham số của mô hình



Hình 4. Lớp hấp thụ sóng tại phía biên (sponge)

- Hệ số nhớt xoáy của chất lỏng (hệ số Eddy trong mô hình) phụ thuộc vào tính chất của chất lỏng, giá trị dao động từ 0,05 đến 0,2.

- Độ nhám bề mặt: hệ số này rất nhỏ, có giá trị khoảng $9,9999997E-05$ (m) (Rought height).

- Hệ số hấp thụ sóng của lớp xốp tại biên đầu vào và biên phía sau công trình. Lớp hấp thụ sóng (sponge layer) thể hiện như một chất hấp thụ năng lượng sóng hiệu quả, có khả năng hấp thụ gần như hoàn toàn sóng phản xạ và bề rộng lớp hấp thụ này ít nhất phải bằng một nửa chiều dài con sóng.

- Mô phỏng sóng lan truyền qua đê ngầm trường hợp đỉnh đê rộng 40cm, độ ngập nước 20cm, sóng đầu vào là H15T20 (tức $H_s=15$ cm, $T_p=2,0$ s). Sau mỗi trường hợp mô phỏng sẽ thu được kết quả là sóng tính toán tại ngay vị trí nguồn phát sóng và vị trí phía sau công trình.

- Bằng phép thử dần khi lần lượt thay đổi giá trị các tham số chính trong mô hình số (hệ số nhớt xoáy, độ nhám bề mặt, lớp hấp thụ sóng phản xạ tại biên đầu và biên cuối của miền tính toán) cho tới lúc sự sai lệch chiều cao sóng tính toán và thực đo nằm trong khoảng có thể chấp nhận được.

2.2.3. Xác định bộ tham số mô hình

Bảng 1. Bảng hiệu chỉnh các tham số

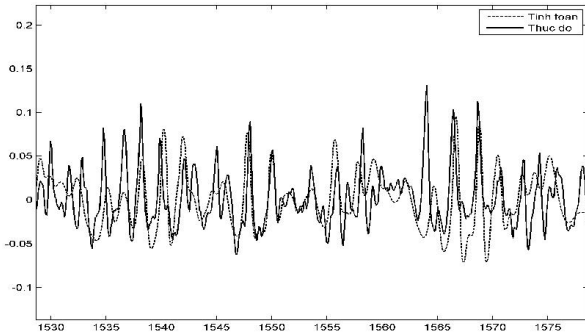
Hệ số nhớt xoáy	Độ nhám	Right Sponge	Sponge left	H_{td1} (m)	H_{tt1} (m)	H_{tt1}/H_{td1}	H_{td2}	H_{tt2}	H_{tt2}/H_{td2}
0,05	1,00E-07	10	9,00E-03	0,1835	0,2000	1,0899	0,1251	0,1216	0,972
0,10	1,00E-07	10	9,00E-03	0,1835	0,1996	1,0877	0,1251	0,1201	0,9600
0,15	1,00E-07	10	9,00E-03	0,1835	0,1991	1,085	0,1251	0,1199	0,9584
0,20	1,00E-07	10	9,00E-03	0,1835	0,1991	1,085	0,1251	0,1198	0,9576
0,20	1,00E-02	10	9,00E-03	0,1835	0,1991	1,085	0,1251	0,1187	0,9488
0,20	1,00E-05	10	9,00E-03	0,1835	0,1991	1,085	0,1251	0,1199	0,9584
0,20	1,00E-07	10	9,00E-03	0,1835	0,1991	1,085	0,1251	0,1199	0,9584
0,20	1,00E-07	8	9,00E-03	0,1835	0,1993	1,0861	0,1251	0,1202	0,9608
0,20	1,00E-07	5	9,00E-03	0,1835	0,1993	1,0861	0,1251	0,1202	0,9608
0,20	1,00E-07	10	1,00E+00	0,1835	0,1993	1,0861	0,1251	0,1202	0,9608
0,20	1,00E-07	10	0,00E+00	0,1835	0,1993	1,0861	0,1251	0,1202	0,9608

(Ghi chú: H_{td1} , H_{tt1} , H_{td2} , H_{tt2} lần lượt là chiều cao sóng tính toán và thực đo tại hai điểm trước và sau chân công trình)

Sau rất nhiều trường hợp mô phỏng, có thể thấy rằng sự sai khác giữa tính toán và thực đo không nhiều, do đó mô hình có thể tin cậy được. Mặt khác, biến thiên giá trị các kết quả tính toán mỗi lần hiệu chỉnh cũng không lớn cho nên có thể tạm thời khẳng định rằng mô hình số có tính ổn định cao.

2.2.4. Kết quả kiểm định mô hình

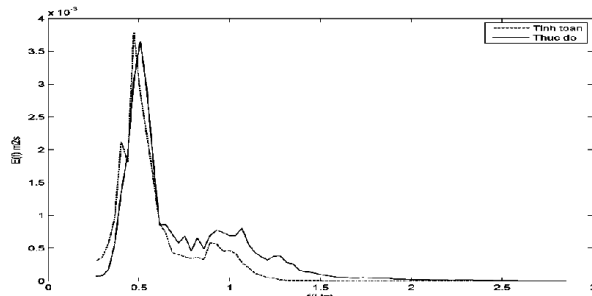
Sau khi tìm được bộ tham số tối ưu cho mô hình, tiến hành bước kiểm tra sự ổn định của mô



Hình 5. Đường quá trình sóng ở mực nước 0,50 m

hình trong các trường hợp khác, phạm vi kiểm tra gồm có: đường quá trình sóng, phổ sóng.

Qua phân tích phổ sóng tính toán và thực đo ta thấy: Chu kỳ phổ, độ lớn đỉnh phổ khá tương đồng nghĩa là tính chất và năng lượng sóng tương đương nhau. Mô hình có độ tin cậy cao hoàn toàn có thể sử dụng để mô phỏng cho các trường hợp đặc biệt khác trong lĩnh vực nghiên cứu công trình biển.



Hình 6. So sánh phổ sóng tính toán và thực đo

III. MÔ PHỎNG CÁC KỊCH BẢN MỞ RỘNG

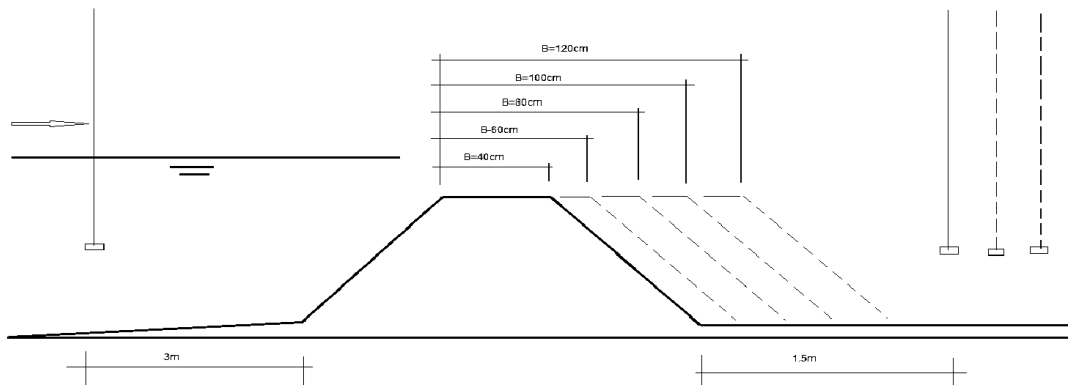
Từ bộ tham số mô hình đã được hiệu chỉnh ở trên, mô hình đã được áp dụng để mô phỏng các kịch bản mở rộng cho các trường hợp thay đổi về cấu tạo hình học đê (bề rộng đỉnh đê, hệ số mái đê), độ dốc bãi trước đê, độ ngập của đê và các tham số sóng tại biên sóng đầu vào. Với hơn 100 trường hợp tính cho các kịch bản mở rộng đã đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm.

3.1. Bề rộng đỉnh đê thay đổi

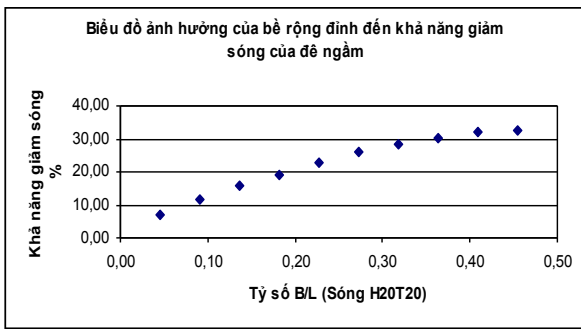
Bề rộng đỉnh đê ngầm sẽ lần lượt được thay

đổi với các giá trị: $B=0,2m$; $0,4m$; $0,6m$; $0,8m$; $1,0m$; $1,2m$; $1,4m$; $1,6m$; $1,8m$; $2m$; Hệ số mái đê $m=2$; độ dốc bãi trước đê $i=100$; Độ ngập của đê $S=0,2m$.

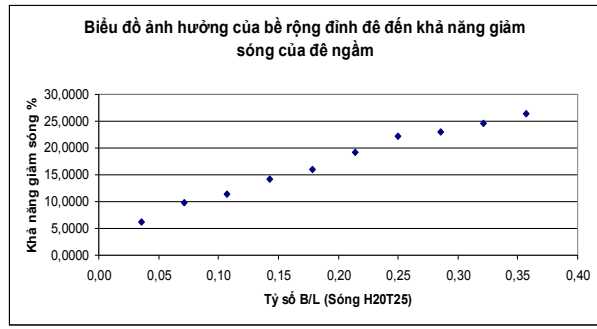
Sử dụng mô phỏng hai con sóng có cùng độ lớn chiều cao sóng H_s nhưng khác nhau về tần số, tức là chiều dài sóng khác nhau (mô phỏng sóng H20T20 và H20T25 tức $H_s=20cm$, $T_p=2s$ và $H_s=20$, $T_p=2,5s$); từ đó tìm ra mối liên hệ giữa bề rộng đỉnh đê và chiều dài sóng ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng.



Hình 7. Sơ đồ tính toán mô phỏng khi bề rộng đỉnh đê thay đổi



Hình 8. Ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê đến hiệu quả giảm sóng (H20T20)



Hình 9. Ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê đến hiệu quả giảm sóng (H20T25)

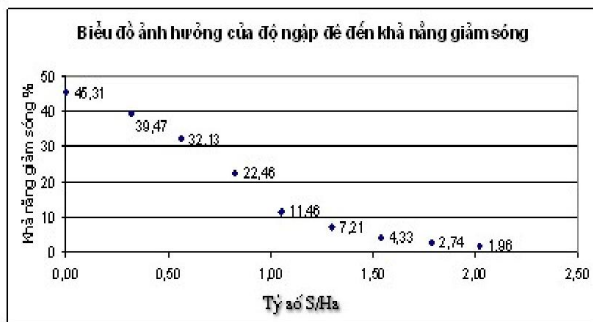
Nhận xét: Từ kết quả thể hiện ở Hình 8 và Hình 9 cho thấy rằng tính ổn định trong mô phỏng của mô hình khi xét đến ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê rất tốt, biểu đồ trơn, không có điểm kì dị. Từ hai biểu đồ nêu trên có thể rút ra kết luận về ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm như sau:

- Với cùng một con sóng tới, bề rộng đỉnh đê càng lớn thì hiệu quả giảm sóng càng cao.
- Với cùng một bề rộng đê, con sóng có chu kỳ càng lớn thì khả năng giảm sóng càng nhiều.

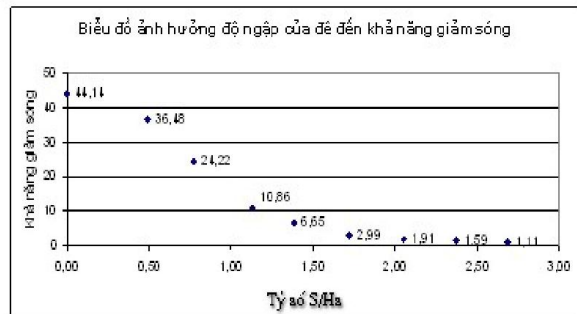
Kết luận: Yếu tố bề rộng đỉnh đê là một trong những yếu tố ảnh hưởng nhiều, quan trọng đến khả năng hấp thụ sóng của đê ngầm.

3.2. Độ ngập nước của đê thay đổi

Chọn bề rộng đỉnh đê $B=0,4m$; Độ dốc mái đê $m=2$; Độ dốc bãi trước đê $i=100$; Độ ngập nước của đê lần lượt $S=0,3m; 0,25m; 0,2m; 0,15m; 0,10m; 0,05m; 0,0m$; Trong trường hợp này sẽ mô phỏng cho các con sóng có cùng chu kỳ nhưng khác nhau về chiều cao sóng. Dưới đây là kết quả sự mô phỏng của sóng H15T20 và H20T20:



Hình 10. Ảnh hưởng của độ ngập nước của đê đến khả năng giảm sóng (H20T20)



Hình 11. Ảnh hưởng của độ ngập nước của đê đến khả năng giảm sóng (H15T20)

Nhận xét: Từ biểu đồ ở Hình 10 và Hình 11 thể hiện mối quan hệ giữa độ ngập nước của đê với chiều cao sóng tới công trình đó là:

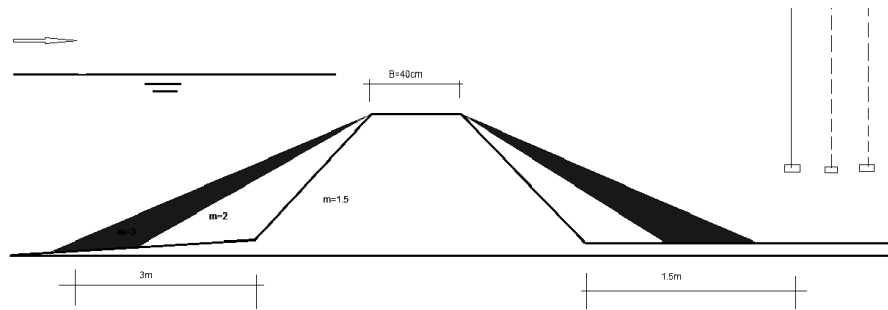
- Với trường sóng có chiều cao sóng đến không đổi, độ ngập càng nhỏ thì hiệu quả giảm sóng càng lớn. Khi độ ngập tăng đến một giá trị nào đó thì khả năng giảm sóng của đê ngầm có xu hướng đi ngang trên biểu đồ.
- Với một độ ngập không đổi, sóng có chiều cao càng lớn thì hiệu quả giảm sóng của

đê càng cao.

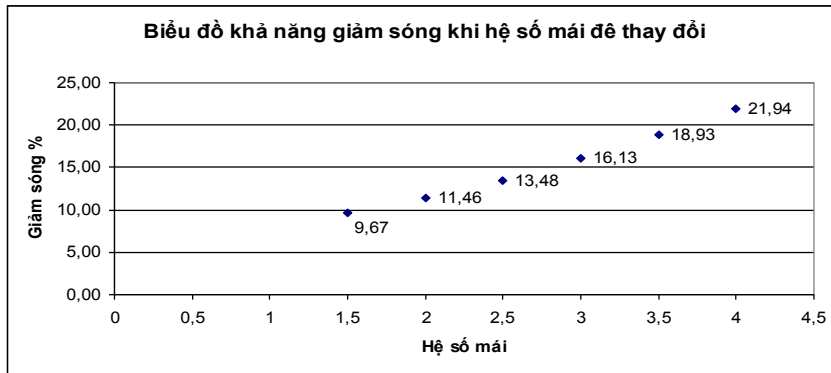
Kết luận: Yếu tố độ ngập nước của đê cũng là một trong những yếu tố ảnh hưởng nhiều đến khả năng hấp thụ sóng của đê ngầm.

3.3. Hệ số mái đê thay đổi

Mô phỏng cho dạng mặt cắt đê có bề rộng đỉnh đê $B=0,4m$; độ ngập $S = 0,2m$; bãi trước đê độ dốc $i=100$; hệ số mái đê thay đổi lần lượt là: $m=1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4$; Mô phỏng sóng H20T20.



Hình 12. Mặt cắt tính toán trong mô hình khi thay đổi hệ số mái



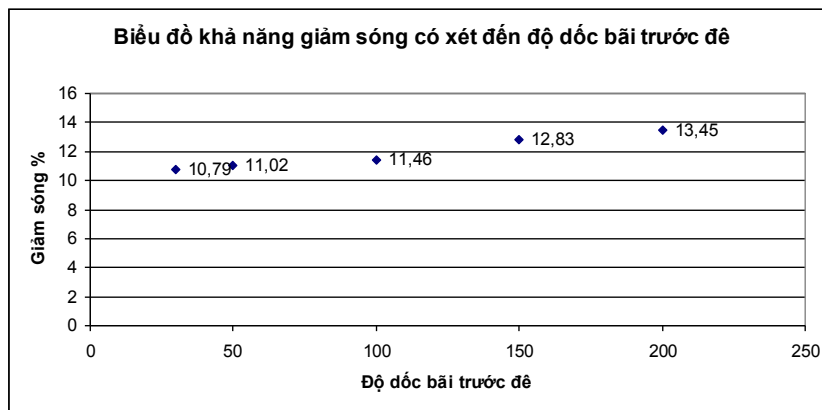
Hình 13. Biểu đồ hiệu quả giảm sóng khi hệ số mái dè thay đổi

Nhận xét: Từ biểu đồ ở Hình 13 cho thấy rằng độ dốc mái dè càng thoải thì hiệu quả giảm sóng càng cao, tuy nhiên khả năng ảnh hưởng không nhiều, mặt khác độ dốc mái dè thường phụ thuộc vào vật liệu của đê, do đó bài toán làm cho đê càng thoải để hiệu quả giảm sóng càng cao là không khả thi.

3.4. Bãi trước đê thay đổi

Địa hình bãi trước đê biển nước ta rất đa

dạng và phức tạp, độ dốc ở một khu vực nào đó tuân theo quy luật ổn định tự nhiên tức là chịu ảnh hưởng chi phối bởi địa chất nền, kích cỡ hạt bùn cát và chế độ sóng ở đó (sóng càng lớn và đường kính hạt bùn cát càng nhỏ thì độ dốc bãi càng nhỏ và ngược lại). Nhìn chung độ dốc bãi biển (bãi cát) là tương đối nhỏ, dao động từ 1/100 đến 1/250 ($i=100 \div 250$).



Hình 14. Biểu đồ hiệu quả giảm sóng khi độ dốc bãi trước đê thay đổi

Chọn bề rộng đỉnh đê $B=0,4m$; Hệ số mái dè $m=2$; Độ ngập nước của đê $S=0,2m$. Lần lượt mô phỏng các trường hợp với các bãi trước đê

có độ dốc khác nhau (hệ số bãi dốc $i=200$; $i=150$; $i=100$; $i=50$; $i=30$); sóng mô phỏng H20T20.

Nhận xét: Ảnh hưởng của độ dốc bãi trước đê rất nhỏ đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm và đê ngầm đặt trên bãi bãi đê càng thoải thì hiệu quả giảm sóng của đê càng nhiều.

3.5. Thay đổi điều kiện sóng

Chọn độ ngập nước của đê $S=0,2m$; Bề rộng đỉnh đê $B=0,4m$; Độ dốc mái đê $m=2$; Lần lượt

mô phỏng cho 10 điều kiện sóng khác nhau: H10T12; H10T15; H12T15; H15T15; H15T20; H20T20; H20T25; H22T20; H22T25; H25T25. Từ kết quả tính toán ở trường hợp này có thể kiểm nghiệm thêm mối quan hệ giữa chiều dài sóng và bề rộng đỉnh đê, giữa chiều cao sóng với độ ngập nước của đê.



Hình 15. Biểu đồ hiệu quả giảm sóng khi điều kiện sóng thay đổi

3.6. Phân tích đánh giá kết quả

3.6.1. Ảnh hưởng độ ngập nước của đê

Xét ảnh hưởng của độ ngập nước tương đối S/H_s đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm: Từ chuỗi các số liệu mô phỏng ứng với các trường hợp độ ngập khác nhau, thấy rằng trong cùng một điều kiện bề rộng đê cho trước, độ ngập tương đối của đê càng lớn thì hiệu quả giảm sóng của đê càng bé và ngược lại. Với độ ngập $S=0$ (hay đỉnh đê ngang mực nước) thì hệ số truyền trung bình qua đê đạt giá trị cao nhất. Khi độ ngập tăng lên lớn hơn khoảng $1,8H_s$ thì hiệu quả giảm sóng của đê còn lại rất bé và hầu như không còn tác dụng giảm sóng nữa.

3.6.2. Ảnh hưởng của bề rộng đê

Xét ảnh hưởng của bề rộng tương đối B/L_p đến hiệu quả giảm sóng của đê: Qua các chuỗi số liệu, thấy rằng trong cùng một điều kiện ngập nước thì bề rộng tương đối của đê càng lớn thì hiệu quả giảm sóng của đê càng lớn hay hệ số truyền sóng qua đê càng nhỏ. Tuy nhiên khi bề rộng tương đối tiếp tục tăng đến một giá trị nào đó (khoảng $B/L_p \approx 0,5$) thì hiệu quả giảm sóng của đê sẽ có xu hướng đi ngang trên biểu đồ và không tăng nữa ứng với một mức độ ngập và

tham số sóng đã cho (mối quan hệ ε và B/L_p có xu hướng phi tuyến, đồng biến). Quan hệ này rõ nét nhất với các trường hợp có mức ngập nước bé ($S \leq 0,1m$). Với các trường hợp có mức độ ngập nước lớn hơn cần phải xem xét đến ảnh hưởng một cách tổng hợp có kể đến tương tác với các tính chất sóng (chiều dài, chu kỳ sóng).

IV. KẾT LUẬN

Thông qua ứng dụng mô hình toán PCOULWAVE, được kiểm định với kết quả thí nghiệm mô hình vật lý máng sóng để phân tích, đánh giá mức độ chi phối của các yếu tố ảnh hưởng như độ ngập sâu, bề rộng đỉnh, độ dốc mái của đê ngầm, độ dốc bãi trước đê đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm trước bãi đê. Kết quả cho thấy độ ngập nước của đê, bề rộng đỉnh đê là các tham số ảnh hưởng chính đóng vai trò quyết định trong việc giảm sóng của đê ngầm. Độ dốc bãi trước đê và độ dốc mái đê có ảnh hưởng thứ yếu đến hiệu quả giảm sóng của đê ngầm.

Nghiên cứu đã làm sáng tỏ các quá trình và nguyên lý cơ bản về hiệu quả giảm sóng của đê ngầm trước bãi đê, cần thiết cho việc áp dụng dạng công trình này ở nước ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Việt Tiến và nnc, Báo cáo chuyên đề, đề tài cấp Bộ: “ Nghiên cứu xây dựng đê biển an toàn cao theo hướng hài hòa với môi trường sinh thái”, Hà Nội năm 2012, Trung tâm Tư vấn và Chuyển giao công nghệ Thủy lợi;
- [2]. Van der Velden (1998); *Coastal Engineering, Lecture Note, Delft Univeirsity of Technology, Delft, Netherlands*;
- [3]. CERC, 1984. *Shore Protection Manual. 4th ed., 2 Vol. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S.Government Printing Office, Washington, D.C., 1088 pp.*
- [4]. Bùi Doãn Quyết, Luận văn Thạc sĩ: “ Nghiên cứu mô hình toán hiệu quả giảm sóng của đê ngầm phá sóng trước bãi đê”, Hà Nội năm 2013, Trường Đại học Thủy lợi;

Abstract:

STUDY ON WAVE REDUCTION EFFICIENCY OF FORESHORE SUBMERGED BREAKWATER USING MATHEMATICAL MODELS

Submerged breakwater has been popularity applied in many countries in the world as an active coastal protection solution. This type of structure reduces wave energy; restore and maintain shore, beach... This article refers to study results using BOUSSINESQ mathematical models that were validated with the results of wave flume physical model tests to analyze and evaluate the influence of parameters (submergence depth, crest width, structure slope, and foreshore slope) on wave reduction efficiency of foreshore submerged breakwater. Results showed that structure slope and foreshore slope do not have significant influence on wave reduction efficiency of the structure. Relative submergence depth and relative crest width play an decisive role on wave reduction efficiency of submerged breakwater. The study demonstrated fundamental processes and principles of wave reduction efficiency of foreshore submerged breakwater, which are necessary for applying this type of structure in Vietnam.

Key words: *submerged breakwater, foreshore, mathematical models, wave reduction efficiency, relative submergence depth, relative crest width.*

Người phân biện: PGS. TS. Vũ Minh Cát

BBT nhận bài: 25/10/2013

Phản biện xong: 7/11/2013