

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THỰC VẬT TỚI SỰ LAN TRUYỀN CỦA SÓNG BẰNG MÔ HÌNH SỐ TRỊ

ThS. Nguyễn Xuân Hiền

Trung tâm Nghiên cứu Biển và Tương tác Biển - Khí quyển
Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường

Nghiên cứu trình bày một mô hình số trị tính toán ảnh hưởng của thực vật đến sự lan truyền của sóng trong vùng nước nông. Mô hình dựa trên các phương trình Boussinesq có tính tới các hiện tượng sóng trong vùng nước nông như sóng vỡ và sóng leo. Ảnh hưởng của thực vật lên quá trình lan truyền sóng được mô phỏng dựa trên phương trình của Morison. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm với số liệu thí nghiệm. Kết quả tính toán cho thấy, mô hình có thể mô phỏng tốt quá trình lan truyền sóng qua vùng thực vật. Nghiên cứu cũng khẳng định rằng, khi sóng lan truyền qua vùng thực vật ở vùng nước nông, độ cao và năng lượng sóng sẽ bị suy giảm.

1. Khái quát chung

Hiện nay, cùng với sự phát triển của đất nước, ngày càng có nhiều hoạt động xã hội, kinh tế và quốc phòng diễn ra trên dải ven biển. Sự phát triển về kinh tế - xã hội kéo theo sự gia tăng của các hoạt động trên vùng bờ biển đã và đang gây ra những tác động bất lợi không nhỏ đến môi trường tự nhiên. Ở rất nhiều khu vực, rừng ngập mặn và rừng phòng hộ ven biển đã bị tàn phá để lấy đất cho các ao đầm nuôi trồng thủy hải sản hoặc các công trình xây dựng. Các rừng ngập mặn và rừng phòng hộ bị mất không những gây ra những ảnh hưởng về môi trường sinh thái mà còn làm cho sóng lớn đánh thẳng vào đê biển, gây nên vỡ đê biển và ngập lụt đến vùng đất dân sinh sau đê.

Tại một số quốc gia tiên tiến trên thế giới như Mỹ, Nhật, Hà Lan, các nhà quản lý và khoa học đã và đang nghiên cứu các giải pháp công trình thân thiện với môi trường. Tại các khu vực công trình đã được kiên cố bằng bê tông trước đây, người ta đang tiến hành thử nghiệm trồng các bãi thực vật phía trước công trình để nghiên cứu sự ảnh hưởng của thực

vật nhằm ngăn cản các tác động bất lợi của các quá trình động lực như sóng, dòng chảy, thủy triều, nước dâng do bão đến công trình. Một ví dụ như tại vùng cửa sông Ara, Tokyo, Nhật Bản, các bãi lau sậy đang được trồng thử nghiệm ở bên cạnh các con đê đã được bê tông kiên cố của vùng cửa sông. Các giải pháp thử nghiệm này đã cho những kết quả hết sức tích cực, sự suy giảm độ cao và năng lượng sóng khi sóng truyền qua bãi thực vật làm cho tác động của sóng lên công trình giảm đi đáng kể. Ở Việt Nam, những điều tra sau cơn bão số 7 tại Nam Định tháng 9 năm 2005 cho thấy, ở những khu vực rừng ngập mặn và rừng phòng hộ ven biển còn được bảo vệ tốt thì đê biển không bị vỡ. Như vậy, bãi thực vật và rừng ngập mặn không những có thể làm tăng tuổi thọ công trình mà trong một số trường hợp, việc kiên cố hóa các công trình bờ biển là không cần thiết và lãng phí. Ngoài ra, việc sử dụng các bãi thực vật và rừng ngập mặn còn góp phần làm bảo vệ môi trường, bảo vệ đa dạng sinh học và phát triển bền vững.

Như vậy, sự ảnh hưởng của rừng ngập mặn và

các bãi thực vật vùng cửa sông và ven biển là rất quan trọng trong việc làm giảm các tác động bất lợi của các yếu tố thủy động lực biển như sóng, dòng chảy, thủy triều, nước dâng. Ở Việt Nam hiện nay, mặc dù đã bị suy giảm trầm trọng do phát triển kinh tế, xã hội nhưng vẫn có khoảng 250.000 ha rừng ngập mặn, thảm cỏ biển phân bố từ bắc vào nam đã và đang thực hiện nhiệm vụ chắn sóng và bảo vệ đường bờ. Tuy nhiên, những nghiên cứu về ảnh hưởng của rừng ngập mặn và thảm thực vật khác nhau đến sự lan truyền của sóng chưa được quan tâm đúng mức.

Hiện nay, có hai cách tiếp cận khi nghiên cứu về ảnh hưởng của thực vật sống dưới nước tới sự lan truyền và biến đổi sóng. Thứ nhất là xem xét ảnh hưởng của cây đến sự suy giảm của sóng bằng cách tham số hóa hệ số lực cản của thực vật đến chuyển động sóng theo hệ số ma sát. Theo cách này, hệ số ma sát tổng cộng sẽ bằng hệ số ma sát đáy cộng với hệ số ma sát do cây sinh ra. Phương pháp thứ hai dựa vào đặc tính vật lý của thực vật thông qua việc tính toán trực tiếp lực tác dụng của sóng đến thực vật bằng phương trình động lượng. Hầu hết trong các nghiên cứu tiếp cận theo cách này, phương trình Morison mô tả lực tác dụng của sóng lên một vật thể hình trụ được sử dụng [4, 10, 16, 17, 19]. Các phương pháp này đã đưa ra các nghiên cứu về ảnh hưởng của cây ngập nước tới dòng chảy, sóng và kiểm tra chúng với số liệu thực nghiệm. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của các loại thực vật khác nhau lên sự lan truyền sóng cũng đã được nghiên cứu bởi một số nhà nghiên cứu khác như Massel và cộng sự (1999); Lovas và Torum (2001), Turker (2006).

Phương trình Boussinesq được sử dụng để tính toán lan truyền và dự báo sóng ngẫu nhiên với độ chính xác cao, đặc biệt trong vùng nước có độ sâu nhỏ. Phương trình ban đầu được đưa ra bởi Boussinesq (1872) cho sóng trong vùng có độ sâu không đổi và được phát triển bởi Peregrine (1967), Madsen và Sorensen (1992), Nwogu, (1993). Mô hình sóng dựa trên phương trình Boussinesq có khả năng kết hợp hiệu quả với hầu hết các hiện tượng sóng phức tạp ven bờ như sóng đổ và sóng leo. Các mô hình

kiểu này được phát triển bởi Watanabe và cộng sự (1988), Karambas và cộng sự (1992), Schaffer và cộng sự (1993), Madsen và cộng sự (1997) và Kennedy (2002).

Để nghiên cứu về ảnh hưởng của thực vật đến sự lan truyền của sóng và tác dụng của nó đến việc bảo vệ bờ biển, nghiên cứu này đã xây dựng một mô hình số trị để tính toán ảnh hưởng của thực vật sống trong nước đến sự lan truyền của sóng trong vùng nước nông. Mô hình dựa trên các phương trình Boussinesq [13, 14, 15] có tính tới các hiện tượng sóng trong vùng nước nông như sóng vỡ và sóng leo [9]. Ảnh hưởng của thực vật lên quá trình lan truyền sóng được mô phỏng dựa trên phương trình của Morison [6, 7]. Để hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình, tác giả đã sử dụng số liệu thí nghiệm do Mogi thực hiện năm 2005 tại Nhật Bản để so sánh.

2. Cơ sở lý thuyết

a. Phương trình mô tả lực tác động của sóng lên thực vật

Giả thiết rằng thực vật sống trong nước với thân cứng và có dạng hình trụ, khi đó ta có thể sử dụng phương trình Morison để mô tả lực tác động của sóng lên thực vật. Lực tác động tổng cộng lên một đơn vị chiều dài của một thực vật hình trụ có đường kính D được đưa ra như sau:

$$f(t) = \frac{1}{4} \pi \rho C_m D^2 \frac{dU}{dt} + \frac{1}{2} \rho C_d D |U| U \quad (1)$$

Trong đó, ρ là mật độ nước, C_m là hệ số của lực quán tính, C_d là hệ số của lực kéo và D là đường kính thân cây.

Để có thể tính chính xác lực tác động của sóng lên thực vật sống trong nước, cần phải tính đến cả hai thành phần lực quán tính và lực kéo như trong phương trình (1), bên cạnh đó cũng cần phải xem xét đến các thông số hình học và sinh trắc học của thực vật. Tuy nhiên, các nghiên cứu của Dubi và Torum (1994); Mendez và cộng sự (1999) chỉ ra rằng, trong trường hợp thực vật có thân cứng, các dao động lắc của cây do tác động của sóng là rất nhỏ và thành phần lực quán tính trong phương trình (1) có thể được bỏ qua.

Trong vùng nước nông, lực tác động theo phương ngang trên một đơn vị thể tích của sóng lên thực vật [4], [10] có thể được viết như sau:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D D n_t |U| U \quad (2)$$

Ở đây, F là lực do sóng tác động lên cây theo phương ngang, U là vận tốc được lấy trung bình theo độ sâu, n_t là mật độ cây trên một đơn vị diện tích, C_D là hệ số lực kéo được lấy trung bình theo độ sâu.

b. Phương trình Boussinesq có tính đến hiệu ứng sóng vỡ, sóng leo và ảnh hưởng của thực vật

Phương trình Boussinesq đầu tiên được Boussinesq (1872) đưa ra mô tả sóng trong vùng có độ sâu không đổi và sau đó được Peregrine (1967) phát triển cho vùng có độ sâu thoải. Hiện nay, có hai dạng phương trình Boussinesq được phát triển. Dạng thứ nhất được phát triển bằng cách thêm các thành phần hiệu chỉnh vào phương trình động lượng để tăng khả năng phân tán sóng tuyến tính (Madsen và cộng sự, 1991; Madsen và Sorensen, 1992). Dạng thứ hai dựa trên việc sử dụng vận tốc theo phương ngang thay vì vận tốc trung bình theo độ sâu để mô phỏng mối quan hệ phân tán (Nwogu, 1993). Trong bài báo này, mô hình nghiên cứu cơ bản dựa vào dạng phương trình thứ nhất của Madsen và Sorensen (1992) và một số thành phần xử lý sóng đổ và sóng leo được dựa trên các nghiên cứu của Schaffer và cộng sự (1993), Madsen và cộng sự (1997a). Cụ thể, phương pháp nhớt nhân tạo tính theo lớp cuộn sóng được sử dụng để mô phỏng sóng đổ và phương pháp rãnh hẹp (slot) (Kennedy, 2000) mô phỏng sóng leo trên bãi.

Trong trường hợp một chiều, phương trình cơ bản của mô hình có sự tích hợp với mô hình mô phỏng các hiện tượng sóng vỡ, sóng leo, ảnh hưởng của thực vật tác động lên sóng, ma sát đáy và thành phần suy giảm sóng được đưa ra như sau:

$$b \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial \eta}{\partial x} - R_b + E + \frac{F_x}{\rho} + \frac{\tau_x}{\rho} \quad (4)$$

$$= \left(\beta + \frac{1}{3} \right) h^2 \frac{\partial^3 Q}{\partial x^2 \partial t} + \frac{1}{3} h \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial^2 Q}{\partial x \partial t} + \beta g h^3 \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} + 2 \beta g h^2 \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}$$

Trong đó, g là gia tốc trọng trường, ρ là mật độ, R_b là thành phần tiêu tán năng lượng do sóng vỡ được mô tả ở phương trình (5), E là thành phần suy giảm sóng, b là độ rộng của máng sóng, A là diện tích mặt cắt ướt của kênh, F_x là lực cản của thực vật tác động lên chuyển động sóng được mô tả trong phương trình (6) và τ_x là thành phần ma sát đáy được đưa ra trong phương trình 7.

$$R_b = \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial Q}{\partial x} \right) = \frac{\partial \nu}{\partial x} \frac{\partial Q}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (5)$$

$$F_x = \frac{1}{2} \rho C_D D n_t \frac{Q|Q|}{D} \quad (6)$$

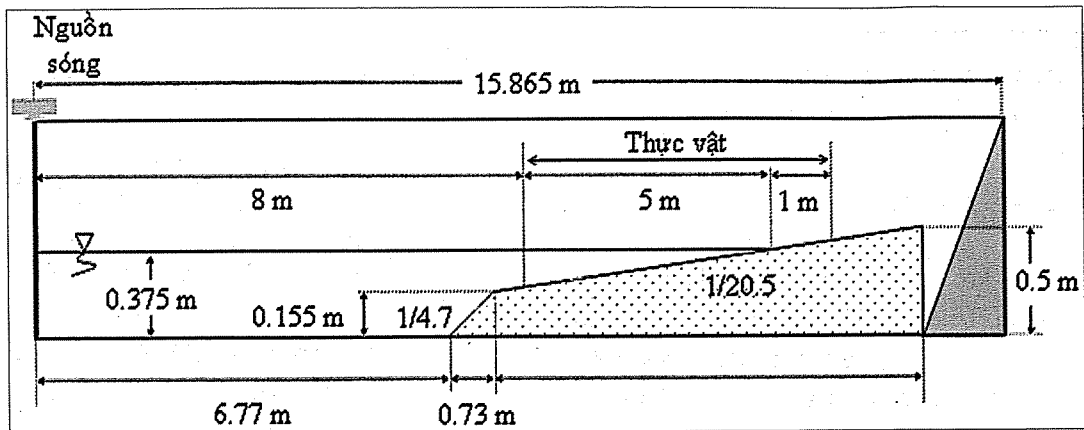
$$\tau_x = \frac{\rho g n^2}{D^{7/3}} Q|Q| \quad (7)$$

Ở đây, ν là hệ số nhớt rối, C_D là hệ số của lực kéo sinh ra do sóng tác dụng lên thực vật, D là đường kính của thực vật, n là hệ số nhám Manning.

3. Kết quả tính toán và kiểm nghiệm

a. Thí nghiệm vật lý

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm về ảnh hưởng của thực vật tới sự lan truyền của sóng do Mogi thực hiện [19] được sử dụng để kiểm nghiệm mô hình toán. Thí nghiệm này được tiến hành trong một máng sóng có chiều dài 18 m, rộng 0.4 m và cao 0.75 m (hình 1). Thực vật trong thí nghiệm này được giả thiết có dạng hình trụ, làm bằng gỗ với đường kính 0.005 m. Các sóng ban đầu được sinh ra bởi hệ thống tạo nguồn sóng với chu kỳ $T = 1.6s$. Thí nghiệm được thực hiện với nhiều độ cao sóng khác nhau cho các trường hợp không có thực vật, có thực vật với mật độ thấp (khoảng cách giữa các cây là 0.116m, mật độ khoảng 74 cây/m²) và có thực vật với mật độ cao (khoảng cách giữa các cây là 0.116 m, mật độ khoảng 297 cây/m²). Danh sách các thí nghiệm được đưa ra trong bảng 1.



Hình 1. Thí nghiệm ảnh hưởng của thực vật tới sự lan truyền của sóng

Bảng 1. Danh sách các thí nghiệm

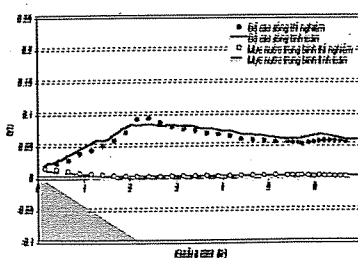
Không có thực vật		Có thực vật mật độ cao (297 cây/m ²)		Có thực vật mật độ thấp (74 cây/m ²)	
Kịch bản	Độ cao sóng (cm)	Kịch bản	Độ cao sóng (cm)	Kịch bản	Độ cao sóng (cm)
MN-1	6.0	MVC-1	6.0	MVT-1	6.0
MN-2	8.0	MVC-2	8.0	MVT-2	8.0
MN-3	10.0	MVC-3	10.0	MVT-3	10.0
MN-4	12.0	MVC-4	12.0	MVT-4	12.0
MN-5	14.0	MVC-5	14.0	MVT-5	14.0

b. Kết quả tính toán và kiểm nghiệm

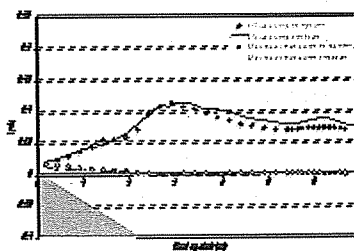
1. Mô phỏng sự lan truyền của sóng trong vùng nước nông

Trước khi tính toán, nghiên cứu ảnh hưởng của thực vật tới sự lan truyền của sóng, mô hình được tiến hành tính toán và hiệu chỉnh cho trường hợp không có thực vật, tức chỉ xem xét quá trình lan truyền sóng trong vùng nước nông với các hiệu ứng

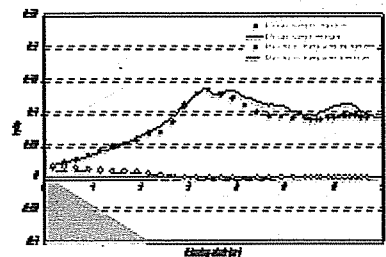
nước nông như sóng đổ và sóng leo. Giá trị hệ số nhám Manning, các thông số của sóng đổ và sóng leo được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm so sánh với các trường hợp không có thực vật trong thí nghiệm của trường Đại học Saitama (từ MN-1 đến MN-5). Kết quả so sánh giữa tính toán và thí nghiệm được đưa ra trong hình 2.



(a) $H_i = 6\text{cm}$



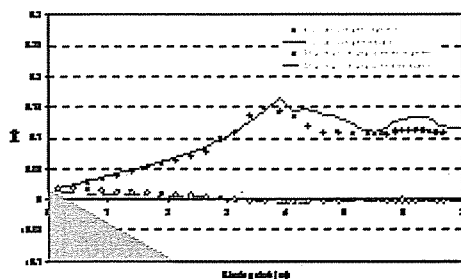
(b) $H_i = 8\text{cm}$



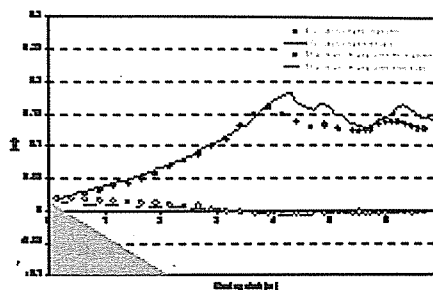
(c) $H_i = 10\text{cm}$

Chú thích

- Độ cao sóng thí nghiệm
- Độ cao sóng tính toán
- Mức nước trung bình thí nghiệm
- Mức nước trung bình tính toán



(d) $H_i = 12\text{ cm}$



(g) $H_i = 14\text{ cm}$

Hình 2. Đường phân bố độ cao sóng và mực nước trung bình theo khoảng cách từ bờ trong vùng nước nông

Hình 2 đưa ra đường phân bố độ cao sóng và mực nước trung bình theo khoảng cách từ mép nước từ các kết quả thí nghiệm và kết quả tính toán. Có thể nhận thấy rằng, có sự tương đồng cao giữa kết quả tính toán (đường) và thí nghiệm (các điểm). Trong mô phỏng sóng vỡ, kết quả tính toán và thí nghiệm cũng tương đối trùng cả về điểm sóng vỡ và độ cao sóng suy giảm. Trong mô phỏng mực nước dâng trung bình do sóng thể hiện qua đường mực nước trung bình giữa tính toán và thực đo cũng cho kết quả rất tốt.

Như vậy, mô hình có thể mô phỏng tốt quá trình lan truyền sóng và các hiện tượng như sóng vỡ và sóng leo trong vùng nước nông. Mô hình có thể được sử dụng để tính toán, mô phỏng ảnh hưởng của thực vật tới sự lan truyền của sóng như được trình bày ở dưới đây.

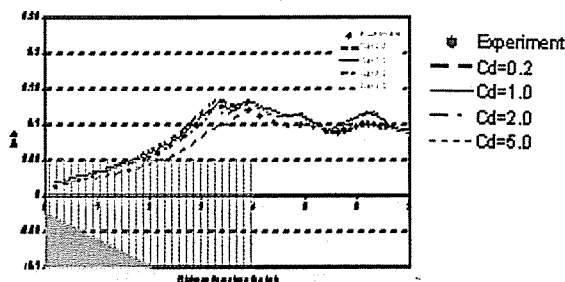
2) Mô phỏng sự lan truyền của sóng qua vùng thực vật

* Hiệu chỉnh mô hình

Hệ số lực kéo trong công thức (6) không thể xác định được trực tiếp từ thí nghiệm hay từ thực địa. Do đó, nó cần được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm trong mô hình vật lý hoặc đồ đạc. Theo các nghiên cứu của Nepf (1999), Mendez và Losada (2004), hệ số kéo phụ thuộc vào số Reynold hoặc hình dạng của vật thể cũng như các đặc tính của sóng. Các nghiên cứu này chỉ ra rằng, trong các thí nghiệm với các cây có hình trụ, hệ số lực kéo dao động trong khoảng từ 0.6 đến 5.0.

Để xác hệ số kéo trong mô hình số, các giá trị

của hệ số trong khoảng từ 0.6 đến 5.0 được sử dụng tính toán hiệu chỉnh mô hình cho trường hợp có sóng có chu kỳ 1.6s, độ cao 10 cm và được so sánh với thí nghiệm MV-3. Hình 3 dưới đây trình bày kết quả đường phân bố độ cao sóng và mực nước trung bình theo khoảng cách từ bờ trong thí nghiệm MV-3 và kết quả tính toán bằng mô hình với các giá trị khác nhau của hệ số lực kéo.



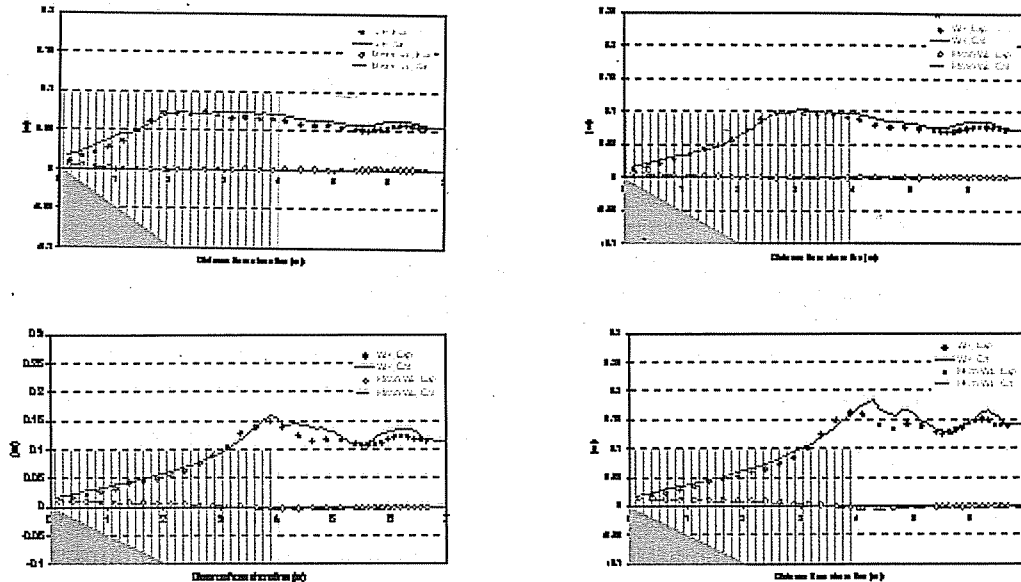
Hình 3. Đường phân bố độ cao sóng theo khoảng cách từ bờ với sóng tới 10cm trong các trường hợp khác nhau của C_d

Có thể nhận thấy, với hệ số $C_d = 1.0$, kết quả tính toán phù hợp nhất với số liệu thí nghiệm. Để khẳng định giá trị này, mô hình sẽ được kiểm nghiệm cho các trường hợp khác với sóng tới có cùng chu kỳ nhưng khác biên độ ($H_i = 6\text{ cm}$, $H_i = 8\text{ cm}$, $H_i = 12\text{ cm}$, $H_i = 14\text{ cm}$) và so sánh với kết quả thí nghiệm MV-1, MV-2, MV-4 và MV-5.

Hình 4 đưa ra đường phân bố độ cao sóng và mực nước trung bình theo khoảng cách từ các kết quả thí nghiệm và kết quả tính toán với hệ số lực kéo là $C_d = 1.0$. Kết quả chỉ ra rằng, có sự tương đồng cao giữa kết quả tính toán (đường) và thí nghiệm (các điểm). Độ cao sóng và mực nước trung

binh trong các trường hợp này được mô phỏng rất tốt. Đặc biệt, trong khu vực có thực vật, đường tính

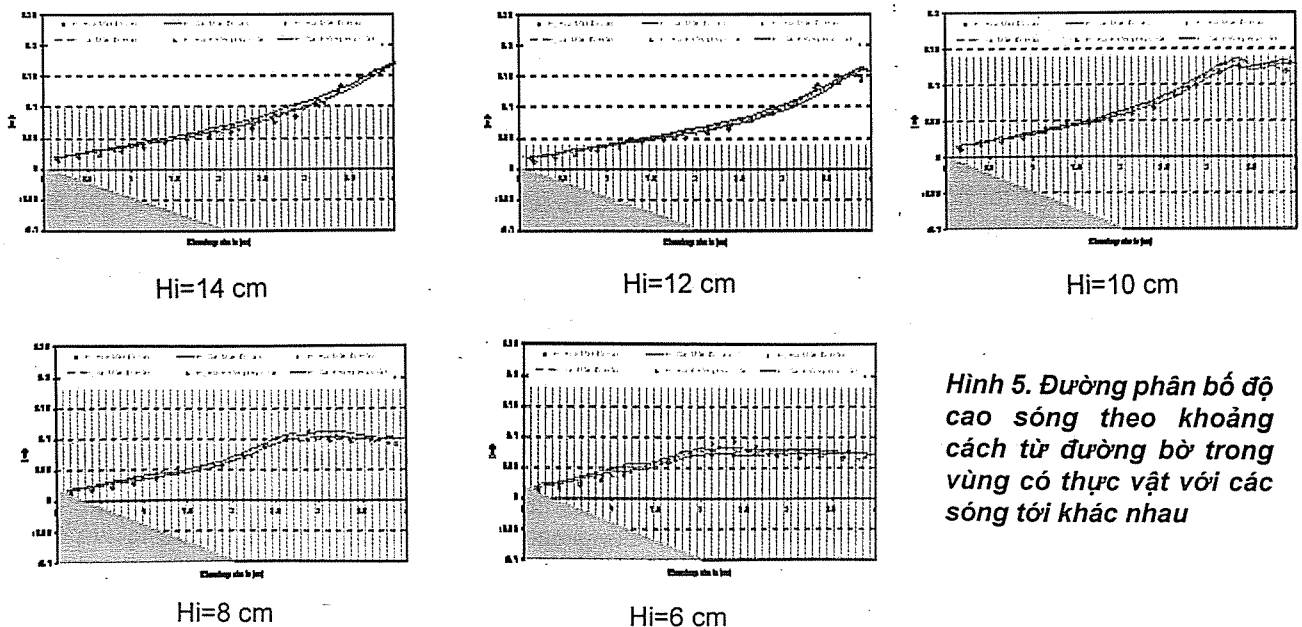
toán gần như trùng với số liệu thực đo.



Hình 4. Đường phân bố độ cao sóng theo khoảng cách từ bờ với các sóng tới khác nhau, $C_d = 1.0$

Hình 5 so sánh độ cao sóng tính toán và kết quả thí nghiệm trong các trường hợp không có thực vật, có thực vật với mật độ thấp và có thực vật với mật độ cao cho các sóng tới có cùng chu kỳ nhưng biên độ khác nhau. Kết quả cho thấy, mặc dù điểm sóng đổ, nơi mà từ đó, sóng bị suy giảm mạnh do hiệu ứng sóng vỡ có thể ở trong vùng có thực vật (trường hợp $H_i = 10\text{cm}$, $H_i = 8\text{cm}$, $H_i = 6\text{cm}$), hoặc ngoài (trường hợp $H_i = 12\text{cm}$, $H_i = 14\text{cm}$). Nhưng có thể

thấy rằng, trong cả 2 trường hợp, ảnh hưởng của thực vật đến sự lan truyền sóng là rất rõ ràng, độ cao, năng lượng sóng đều suy giảm khi truyền qua vùng có thực vật. Tuy nhiên, vùng ngoài điểm sóng đổ, sự suy giảm độ cao sóng là mạnh và rõ ràng hơn. Bên cạnh đó cũng thấy rằng, khi xuất hiện thực vật với mật độ cao, độ cao sóng giảm mạnh hơn so với trường hợp mật độ thấp.



Hình 5. Đường phân bố độ cao sóng theo khoảng cách từ đường bờ trong vùng có thực vật với các sóng tới khác nhau

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày một mô hình số trị dựa trên phương trình Boussinesq có tính tới các hiệu ứng nước nông và tác động của thực vật lên quá trình lan truyền sóng.

Mô hình được hiệu chỉnh, kiểm nghiệm và so sánh với số liệu thí nghiệm. Kết quả cho thấy rằng, mô hình mô phỏng tốt quá trình lan truyền sóng trong vùng nước nông, các điểm sóng đổ và độ cao

mực nước dâng trung bình trong tính toán tương đối trùng với số liệu thực nghiệm. Trong việc mô phỏng sự lan truyền của sóng trong vùng nước nông có ảnh hưởng của thực vật, kết quả tính toán và số liệu thực nghiệm cũng cho kết quả tốt. Ảnh hưởng của thực vật đến sự lan truyền của sóng là đáng quan tâm. Nghiên cứu cho thấy, ảnh hưởng của thực vật đến sự lan truyền của sóng mạnh hơn ở ngoài vùng sóng đổ, trong vùng sóng đổ, ảnh hưởng của thực vật lên sự lan truyền của sóng là nhỏ hơn.

Tài liệu tham khảo

1. Chen, Q., Kirby, J. T., Dalrymple, R. A., Kennendy, A. B., and Chawla, A., 2000. Boussinesq modeling of wave transformation, breaking and runup. II: 2D. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, ASCE, 126, 48-56.
2. Dalrymple, R.A.; Kirby, J.T., Hwang, P.A. (1984). Wave diffraction due to areas of energy dissipation *Journal of Waterway, Port, Coastal and Engineering*, 10, (1), 67-69
3. Dang, V. H., 2004. One dimensional numerical model of wave breaking and runup based on Boussinesq equation. Master thesis, Saitama Univ. Japan.
4. Dean, R. G. and Bender. C. J., 2005. Static wave setup with emphasis on damping effects by vegetation and bottom friction. *Coastal Eng.* 53, 149-156.
5. Dubi A. and Torum A. Wave damping by kelp vegetation. *Proceedings of the 24th International Conference on Coastal Engineering*, Vol 1. 1994, 142-156
6. Goda, Y., 1985. *Random Seas and Design of Maritime Structures*. University of Tokyo Express, Tokyo 41-86.
7. Horikawa, K. 1978. *Coastal Engineering*. University of Tokyo Express, Tokyo.
8. Karambas, Th. V. and Koutitas, C. 1992. A breaking wave propagation model based on the Boussinesq equations. *Costal Eng.*, 18, 1-19
9. Kennedy A.B.; Chen Q.; Kirby J.T.; Dalrymple R.A., Boussinesq modeling of wave transformation, breaking, and runup. I: 1D, 2D. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 126 (1), 39-47.
10. Kobayashi, N., Andrew, W. R. and Asano, T., 1993. Wave attenuation by vegetation. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.* ASCE 119(1), 30-48.
11. Lin, P., and Liu, P. L., 1998. A numerical study of breaking waves in surf zone. *J. Fluid Mech.*, 359, 239-264.
12. Madsen, P. A., Murray, R., Sorensen, O.R., 1991. A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. *Coastal Eng.* 15, 371-388.
13. Madsen, P. A., Sorensen, O. R., 1992. A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics: Part 2. A slowly varying bathymetry. *Coastal Eng.* 18, 183-204.
14. Madsen, P.A., Sørensen, O.R., Schaffer, H.A., 1997a. Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model. Part I. Model description and cross-shore motion of regular waves. *Coastal Eng.* 32, 255-288.
15. Madsen, P.A., Sørensen, O.R., Schaffer, H.A., 1997b. Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq

- type model. Part II. Surf beat and swash oscillations for wave groups and irregular waves. *Coastal Eng.* 32, 289–320.
16. Mendez, F. J., Losada, I. J. Raul, M., 2004 Transformation model of wave height distribution on planar beaches, *Coastal Eng.* 50, 97-115.
 17. Mendez, F. J and Losada, I. J., 2004 An empirical model to estimate the propagation of random breaking and non breaking waves over vegetation fields, *Coastal Eng.*, 51, 103-118.
 18. Mogi, Y., 2006. Damping of wave height by emergent vegetation on slope, Master thesis, Saitama Univ. Saitama.
 19. Nepf, H. M., 1999. Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water Resources Res.* 35, 476 - 489.
 20. Nwogu, O., 1993. Alternative form of Boussinesq equations for near shore wave propagation, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, ASCE 119 (6), 618 - 638.
 21. Peregrine, D. H., 1967. Long wave on beaches. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 15, 149 - 178.
 22. Ting, F. C. K., and Kirby, J. T., 1994 Observation of undertow and turbulence in a laboratory surf zone. *Coastal Eng.*, 24, 51-80.
 23. Turker, U. Yagci, O., and Kabdasl, M. S., 2006. Analysis of coastal damage of a beach profile under the protection of emergent vegetation. *Ocean Eng.*, 33, 810-828.