

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC ĐẶC TRƯNG THỰC VẬT TỚI SỰ SUY GIẢM SÓNG TÀU

TS. **Nguyễn Bá Thủy** - Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn trung ương

Vũ Hải Đăng - Viện Địa chất và Địa Vật lý Biển

Nguyễn Xuân Hiến - Viện Khoa học Khí tượng thủy văn và Môi trường

Trong nghiên cứu này, khả năng suy giảm sóng tàu bởi thực vật ven sông được tính toán phân tích bằng mô hình số trị. Mô hình tính toán quá trình phát sinh, lan truyền và tác động tới bờ sông của sóng tàu được nghiên cứu xây dựng dựa trên hệ phương trình Boussinesq 2 chiều, có xem xét đến thành phần tiêu tán năng lượng sóng bởi thực vật. Hệ số cản của cây được tính có xem xét đồng thời ảnh hưởng của thân, rễ, lá và cành. Mô hình sau đây áp dụng cho một đoạn sông với địa hình lý tưởng. Trong đó, cây cọ nước, một loài cây phổ biến mọc ở vùng ven bờ các sông thuộc Đồng bằng sông Cửu Long được lựa chọn. Ảnh hưởng của mật độ cây và kích thước bãi thực vật tới quá trình suy giảm độ cao sóng leo và năng lượng sóng tàu tại đường bờ được tính toán và phân tích. Kết quả tính toán cho thấy năng lượng sóng tàu và sóng leo suy giảm đáng kể khi mật độ cây và kích thước bãi thực vật tăng. Với mật độ cây 8 cây/m² và bề dày bãi thực vật 35m có thể suy giảm 59% và 73% độ cao sóng leo và áp lực sóng tương ứng.

1. Mở đầu

Tại Việt Nam, trong thời gian gần đây, hiện trạng các tuyến luồng có xu hướng xấu đi, hiện tượng sạt lở bờ sông, mái dốc luồng liên tiếp xảy ra và đó được cơ quan chức năng và hệ thống truyền thông đề cập. Tại khu vực sông Sài Gòn và các kênh rạch thuộc Đồng bằng sông Cửu Long có tới hàng trăm điểm xói lở, có nhiều khu vực xói lở nghiêm trọng gây nên những thiệt hại rất lớn, gây ảnh hưởng bất lợi đến đời sống nhân dân, hoạt động kinh tế, quy hoạch sử dụng đất và môi trường. Có nhiều nguyên nhân gây ra sạt lở như: khai thác cát bờ bãi, mưa lũ... Trong đó có một phần nguyên nhân do tác động của sóng tàu (có năng lượng rất lớn). Tuy nhiên, hiện tại các nghiên cứu về sóng tàu ở Việt Nam cũng rất ít, chủ yếu là các báo cáo về tác động của sóng tàu tới xói lở bờ được thực hiện bởi các cơ quan chức năng và hệ thống truyền thông. Trong một số nghiên cứu ít ỏi trước đây, các tác giả Nguyễn Bá Thủy và nnk (2006), Nguyễn Xuân Hiến (2008) đã đề cập tới nghiên cứu tính toán quá trình phát sinh và lan truyền của sóng tàu dựa trên hệ phương trình Boussinesq 2 chiều. Tuy nhiên, các tính toán này mới chỉ thực hiện mô phỏng cơ chế

phát sinh và lan truyền của sóng tàu vào vùng bờ. Độ cao sóng leo và áp lực sóng, những tham số sóng tác động mạnh đến độ ổn định của đường bờ, cũng như khả năng làm suy giảm sóng của cọc bó thực vật ven sông chưa được đề cập chi tiết. Trong khi đó, tại nước ngoài, nghiên cứu sóng tàu đã được tiến hành từ rất lâu, nổi bật nhất là các công trình nghiên cứu của Weggel và Sarensen (1986), Chen và Sharmal (1997), Kirkegaard và nnk (1999), Nakase và nnk (1999), Tanimoto (2000), Dam và nnk (2006), Dong và nnk (2009). Trong những nghiên cứu này, quá trình phát sinh, lan truyền và tác động đến đường bờ của sóng tàu đã được tính toán mô phỏng bằng mô hình số trị, một số đề xuất bảo vệ đường bờ cũng đó được đưa ra.

Trong nghiên cứu này, mô hình mô phỏng quá trình phát sinh và lan truyền sóng tàu qua bãi thực vật ven sông dựa trên hệ phương trình Boussinesq 2 chiều được tiếp tục phát triển theo hướng xem xét đến ảnh hưởng của thực vật ven sông. Tác động của thực vật tới sự suy giảm năng lượng sóng và độ cao sóng leo tại đường bờ được tính toán phân tích cho một số trường hợp của mật độ cây và kích thước bãi thực vật. Các tính và phân tích được áp

Người đọc phản biện: TS. **Trần Quang Tiến**

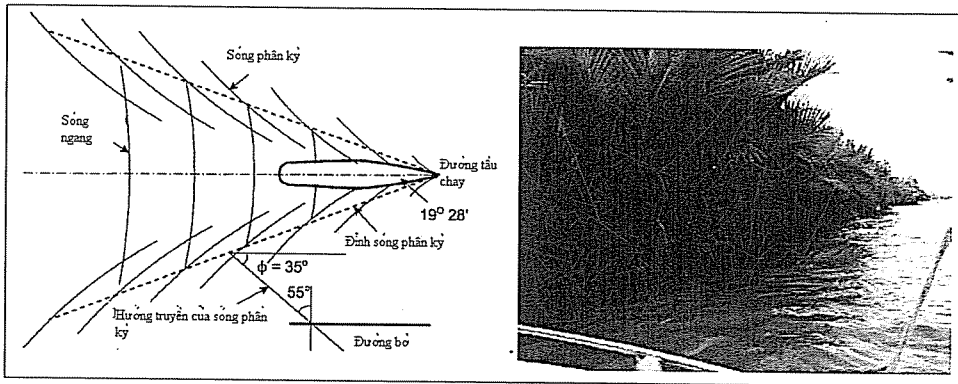
dụng với cây cọ nước, một loài cây phổ biến mọc ở ven bờ các sông thuộc Đồng bằng sông Cửu Long.

2. Tác động của sóng tàu đến đới bờ - phương án bảo vệ đường bờ.

Năng lượng sóng tàu phụ thuộc vào nhiều yếu tố như kích thước, trọng tải, hình dạng, vận tốc tàu lưu thông và khoảng cách tới vị trí tàu chạy. Nhiều nghiên cứu thực tế đã cho thấy rằng với sông có bề rộng hẹp thì con sóng đầu tạo bởi các tàu nhỏ và có vận tốc lưu thông lớn sẽ tác động mạnh đến đường bờ hơn là các sóng kế tiếp. Trong khi đó với các sông có kích thước rộng, các sóng thứ cấp được tạo ra bởi tàu có kích thước lớn nhưng tốc độ lưu thông chậm thường gây tác động lớn hơn [8]. Hình 1 mô tả hình dạng sóng tàu theo lý thuyết của Kelvin với trường hợp tàu kích thước nhỏ nhưng vận tốc lưu thông lớn [8]. Có thể thấy rằng các sóng phân kỳ có hướng tạo với pháp tuyến đường bờ khoảng 55 độ là những sóng chủ yếu gây nên xói lở bờ. Độ cao sóng được xem là chỉ số gây tác động

đến độ ổn định của đường bờ. Kết quả khảo sát thực địa trên một số con sông cho thấy rằng, với sóng tàu có độ cao nhỏ hơn 12,5cm, tác động tới đường bờ là không đáng kể. Tuy nhiên, với sóng có độ cao 25 và 30cm có thể nguy hại gấp 5 và 30 lần tương ứng so với độ cao sóng 12,5cm. Mức độ sạt lở bờ sông bởi sóng tàu tuy nhiên còn phụ thuộc vào kích cỡ của sông. Với sông có kích thước rộng, năng lượng sóng tàu thường chiếm một phần rất nhỏ, khoảng 2-5% trong tổng số năng lượng sóng tác động đến đường bờ. Trong khi đó, với các kênh rạch kích thước nhỏ, sóng tàu là nguyên nhân chủ yếu gây xói lở, có thể chiếm tới 95%[8].

Độ ổn định của đường bờ phụ thuộc vào năng lượng sóng tác động (độ cao, dung chảy sóng và ứng suất sóng), hình thái và trầm tích của đới bờ. Do vậy, để hạn chế xói lở bờ thì cần thiết phải làm giảm năng lượng sóng. Ngoài nhân tố giới hạn tốc độ lưu thông của tàu thì giải pháp trồng thực vật ven sông là biện pháp cần thiết do hiệu quả về kinh tế và bảo vệ môi trường.



Hình 1. (a) Hình dạng sóng bề mặt theo lý thuyết của Kelvin, (b) Hình ảnh cây cọ nước ven sông Ong Đốc-Cà Mau

3. Cơ sở lý thuyết mô hình toán

a. Hệ phương trình cơ bản

Mô hình mô phỏng sóng tàu dựa trên việc giải phương trình Boussinesq 2 chiều của Madsen và Sorensen (1992) [9]. Các thành phần mô phỏng sóng leo, sóng đổ và tác động của thực vật đã được bổ sung trong hệ phương trình như mô tả dưới đây:

Phương trình liên tục:

$$b \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Phương trình chuyển động theo phương x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_x^2}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_x Q_y}{A} \right) + gA \frac{\partial \eta}{\partial x} - R_{bx} + E_x + \frac{F_x}{\rho} + \frac{\tau_x}{\rho} \\ = \left(\beta + \frac{1}{3} \right) h^2 \left(\frac{\partial^3 Q_x}{\partial t \partial x^2} + \frac{\partial^3 Q_y}{\partial t \partial x \partial y} \right) + h \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_y}{\partial t \partial x} \right) \\ + \beta g h^2 \left\{ \frac{\partial h}{\partial x} \left(2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial y} \right\} + \beta g h^3 \left(\frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial x \partial y^2} \right) \\ + h \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{1}{3} \frac{\partial^2 Q_x}{\partial t \partial x} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_y}{\partial t \partial y} \right) \end{aligned} \tag{2}$$

Phương trình chuyển động theo phương y:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_x Q_y}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_y^2}{A} \right) + gA \frac{\partial \eta}{\partial y} - R_{by} + E_y + \frac{F_y}{\rho} + \frac{\tau_y}{\rho} \\ & = \left(\beta + \frac{1}{3} \right) h^2 \left(\frac{\partial^3 Q_x}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial^3 Q_y}{\partial y^2} \right) + h \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_x}{\partial y^2} \right) \\ & + \beta g h^2 \left\{ \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x \partial y} \right\} + \beta g h^3 \left(\frac{\partial^3 \eta}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 \eta}{\partial y^3} \right) \\ & + h \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_x}{\partial x} + \frac{1}{3} \frac{\partial^2 Q_y}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó, η là mực nước dao động bề mặt (m); Q_x, Q_y là lưu lượng trung bình theo độ sâu theo các phương x và y (m^3/s); t là thời gian (s); h là độ sâu mực nước tĩnh (m); g là gia tốc trọng trường (m/s^2); ρ là mật độ nước (kg/m^3); $\beta = 1/15$ là hệ số phân tán (Madsen và Sorensen, 1997) [9]; R_{bx}, R_{by} là thành phần tiêu tán năng lượng do sóng vỡ theo phương x, y; d là độ sâu mực nước tức thời; b là chiều rộng tương đối của kênh truyền sóng trong mô phỏng sóng leo; τ_x, τ_y là thành phần ma sát đáy. F_x, F_y là lực cản của thực vật tác động lên chuyển động của sóng được mô tả dưới đây:

$$F_x = \frac{1}{2} \gamma C_{D-all} d_t \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{d} \quad (4)$$

$$F_y = \frac{1}{2} \gamma C_{D-all} d_t \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{d} \quad (5)$$

Với γ là mật độ cây trên một đơn vị diện tích và C_{D-all} là hệ số lực kéo sinh ra do sóng tác dụng lên thực vật được tính toán tại mực 4, d_t là đường kính của cây.

Chi tiết về hệ phương trình, lý thuyết dài, điều kiện biên của sóng tàu cũng như kết quả kiểm nghiệm mô hình đã được trình bày trong các công trình [1, 2, 5].

b. Áp lực sóng tàu

Trong nghiên cứu này, véc tơ áp lực sóng \vec{F} được tính theo công thức như sau:

$$\vec{F} = \frac{1}{2} \rho d \vec{v} |\vec{v}| \quad (6)$$

Đây là tổng năng lượng theo độ sâu tác động lên một vật thể ảo với kích thước bề ngang và hệ số cản là một đơn vị, V là vận tốc dòng chảy sóng.

4. Phương pháp tính hệ số cản của thực vật

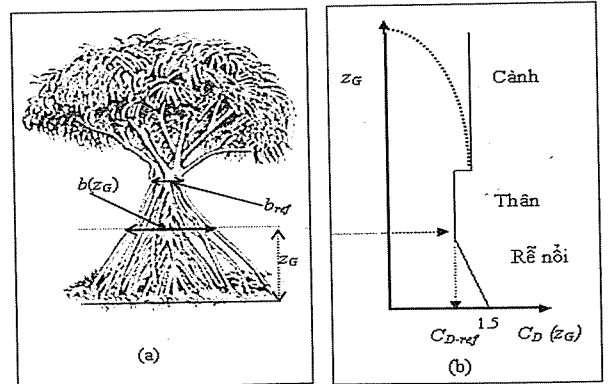
Tính toán hệ số cản của cây là bài toán rất phức tạp. Hầu hết các nghiên cứu trước đây chủ yếu xem xét cho trường hợp đơn giản cây hình trụ, khi đó hệ số cản phụ thuộc chính vào hệ số Reynolds. Trong nghiên cứu này, hệ số cản trung bình theo độ sâu C_{D-all} của cây được tính theo phương pháp đơn giản của Tanaka và Sasaki (2007) [11]. Trong phương pháp này, ảnh hưởng của rễ nổi, cành và lá được xem xét, cụ thể như sau:

$$C_{D-all}(d) = C_{D-ref} \frac{1}{d} \int_0^d \alpha(z_G) \beta(z_G) dz_G \quad (7)$$

$$\alpha(z_G) = \frac{b(z_G)}{b_{ref}} \quad (8)$$

$$\beta(z_G) = \frac{C_D(z_G)}{C_{D-ref}} \quad (9)$$

Trong đó $b(z_G)$ và $C_D(z_G)$ là hình chiếu bề ngang (bao gồm cả đường kính rễ và cành) và hệ số cản của cây tại độ cao z_G tính từ mặt đất, b_{ref} và C_{D-ref} là độ rộng bề ngang và hệ số cản của cây tính tại độ cao quy ước ($z_G=1.2m$). Giá trị $C_{D(z_G)}$ thay đổi theo độ cao của cây như trên hình 4(b). Theo đó $C_{D(z_G)}$ đạt giá trị lớn nhất tại gốc do có sự tham gia của nhiều rễ cây.



Hình 2. Minh họa các hệ số (a) $b(z_G)$ và b_{ref} , (b) $C_D(z_G)$ và C_{D-ref} (Tanaka và Sasaki, 2007) [tài liệu tham khảo].

5. Kết quả tính toán phân tích

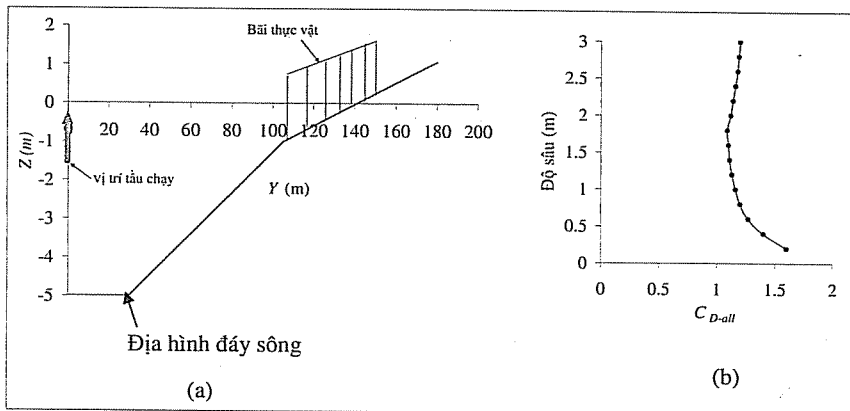
a. Điều kiện tính toán

Để nghiên cứu ảnh hưởng của các đặc trưng thực vật tới quá trình suy giảm độ cao sóng leo và năng lượng sóng tàu, tất cả các tính toán dưới đây

được thực hiện chung trên một đoạn sông với mặt cắt ngang như trên hình 3(a). Với, bề rộng sông $L=300\text{m}$, độ sâu tại trung tâm $H_0=5\text{m}$, chiều dài đoạn sông dùng tính toán mô phỏng $L_0=1500\text{m}$. Có thể nói đây là sông có kích thước nhỏ, thuộc dạng sông phổ biến trên đồng bằng Sông Cửu Long. Bãi thực vật được giả thiết phân bố bên phía bờ phải theo hướng tàu chạy, cây hình trụ với đường kính $d=0.35\text{m}$, phân bố đều và bắt đầu tại khoảng cách 115m tính từ tâm sông. Tàu với kích cỡ nhỏ nhưng vận tốc lưu thông lớn được chọn với các thông số cụ thể như sau: chiều dài tàu là 21.75m , chiều rộng tàu 8.5m ; ngăn nước 2.0m và hệ số hình dạng tàu được lấy là 0.9 , vận tốc lưu thông $U=5.33\text{m/s}$. Một số điều kiện khác nhau của kích thước bãi thực vật và mật độ cây được sẽ được tính toán và phân tích dưới đây.

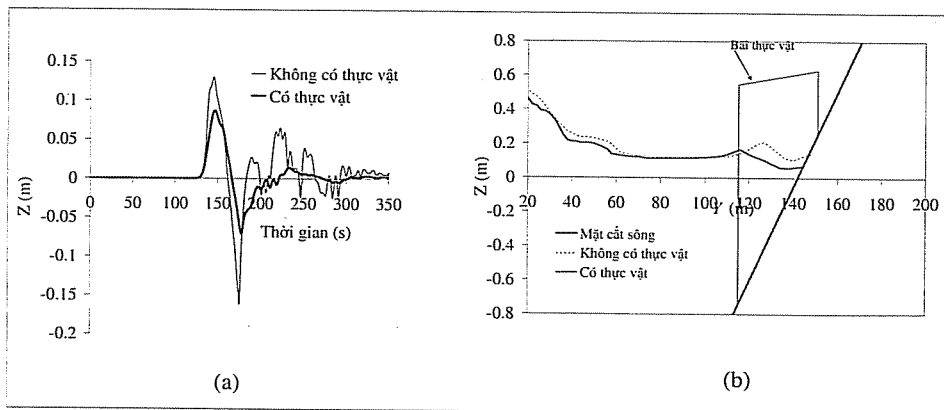
b. Các đặc trưng và hệ số cản của cây cọ nước

Trong nghiên cứu này, cây cọ nước (Nipa palm) hình 1(b), một loài cây phổ biến mọc tại vùng ven bờ các sông trên đồng bằng sông Cửu Long được lựa chọn. Hình 3(b) phân bố theo phương thẳng đứng hệ số cản CD-all của cây cọ nước với các đặc trưng của cây như sau: Độ cao cây $H_{Tree}=3.0\text{m}$ (trong đó rễ cao 0.5m , thân 2.5m), đường kính thân tại vị trí quy ước ($H_{ref}=1.2\text{m}$) $b_{ref}=0.35\text{m}$, hệ số cản tại vị trí tham chiếu $C^{Dref}=1.0$. Hệ số này được lựa chọn đối với thốn hình trụ và trong điều kiện hệ số Reynolds cỡ 103 , đây là cỡ giá trị đặc trưng thủy lực trong sông khi có sóng tầu. Như vậy, hệ số CD-all thay đổi theo độ cao của cây theo xu thế giảm dần từ gốc tới ngọn.



Hình 3. (a) Một nửa mặt cắt ngang của sông, (b) phân bố theo phương thẳng đứng của hệ số cản của cây, CD-all

c. Ảnh hưởng của thực vật tới sự lan truyền sóng tàu

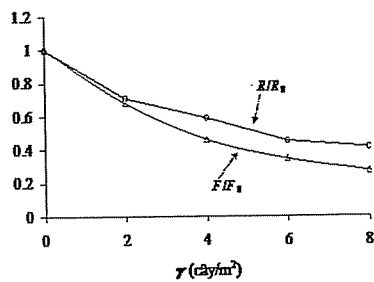


Hình 4. (a) Dao động sóng trong trường hợp có và không có bãi thực vật, (b) Phân bố độ cao đỉnh sóng dọc theo mặt cắt sông - trường hợp có và không có bãi thực vật.

Kết quả tính toán dao động sóng theo thời gian cho trường hợp có và không có thực vật tại vị trí theo phương ngang (Y) cách mép nước 5m và theo phương tàu dịch chuyển (X) 1000m tính từ vị trí tàu xuất phát được thể hiện trên hình 4(a). Trong đó, điều kiện của bãi thực vật: bề rộng 35 m, mật độ cây 4 cây/m². Có thể nhận thấy rằng, con sóng đầu tiên có độ cao lớn nhất trong các sóng sinh ra do tàu lan truyền vào. Điều này cũng phù hợp với một số quan trắc thực tế về sóng tàu, trong trường hợp tàu nhỏ di chuyển với vận tốc lớn trong sông có kích thước hẹp. Kết quả tính toán cũng cho thấy do có thực vật, độ cao đỉnh sóng giảm 30% so với trường hợp không có thực vật.

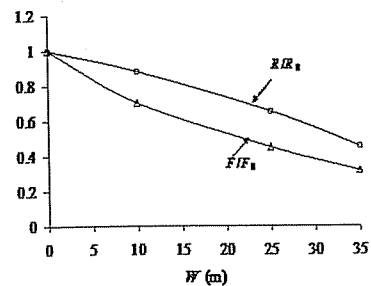
Hình 4(b) biểu diễn phân bố độ cao sóng tàu dọc theo mặt cắt ngang của sông tại khoảng cách 1000m tính từ điểm suất phát. Đây là vị trí mặt cắt mà sóng tàu đã đạt đến độ cao lớn nhất. Kết quả tính toán cho thấy, trong trường hợp không có bãi thực vật, độ cao sóng tàu tăng dần khi truyền vào vùng nước nông ven bờ, tới một giá trị tới hạn sóng bị vỡ. Trong trường hợp có tồn tại bãi thực vật, do hiệu ứng phản xạ với cây, độ cao sóng tăng nhẹ phía trước và suy giảm đáng kể phía trong bãi thực vật. Giá trị độ cao sóng leo giảm khoảng 46% khi so sánh với trường hợp không có bãi thực vật. Tại vùng nước sâu hơn phía ngoài bãi thực vật, độ cao sóng hầu như không có sự khác biệt giữa 2 trường hợp.

d. Ảnh hưởng của mật độ cây và bề rộng bãi thực vật



Ảnh hưởng của mật độ cây tới suy giảm năng lượng sóng tàu và độ cao sóng leo được tính toán phân tích cho các trường hợp mật độ cây $\gamma = 0, 2, 4, 6$ và 8 cây/m² trong cùng một điều kiện bề rộng của bãi thực vật $W=35$ m. Hình 5(a) biểu diễn mối liên hệ giữa đại lượng không thứ nguyên của năng lượng sóng tàu (F/F_0), độ cao sóng leo (R/R_0) với mật độ cây. Ở đây vị trí tính áp lực sóng và độ cao sóng tại ngay mép nước. Trong đó, chỉ số "0" là trường hợp không có bãi thực vật. Kết quả tính toán cho thấy, năng lượng sóng và độ cao sóng leo suy giảm tuyến tính với mật độ cây. Với cùng một điều kiện của bãi thực vật, năng lượng sóng suy giảm mạnh hơn độ cao sóng leo. Với mật độ cây $\gamma = 8$ cây/m² có thể làm suy giảm tới 73% và 59% năng lượng sóng và độ cao sóng leo tương ứng.

Mức độ suy giảm năng lượng sóng và độ cao sóng leo theo kích thước bãi thực vật được tính toán phân tích cho 4 trường hợp $W = 0, 10, 25$ và 35 m, trong trường hợp mật độ cây $\gamma = 2$ cây/m². Hình 5(b) biểu diễn mối liên hệ giữa đại lượng không thứ nguyên của năng lượng sóng tàu (F/F_0), độ cao sóng leo (R/R_0) với kích thước bãi thực vật. Kết quả tính toán cho thấy, cũng giống như ảnh hưởng của mật độ cây, kích thước bãi thực vật càng tăng thì mức độ suy giảm năng lượng và độ cao sóng leo càng lớn, năng lượng sóng suy giảm mạnh hơn so với độ cao sóng leo. Với mật độ kích thước bãi thực vật $W=35$ m có thể suy giảm tới 69% và 55% năng lượng sóng và độ cao sóng leo tương ứng.



Hình 5. Mức độ suy giảm của năng lượng sóng (F/F_0) và độ cao sóng leo (R/R_0) theo (a) mật độ cây (γ), (b) kích thước bãi thực vật (W).

Trên đây là một số kết quả tính toán khả năng làm suy giảm năng lượng sóng và độ cao sóng leo bởi hệ thực vật ven sông do tác động của sóng tàu

cho trường hợp cây cọ nước có phân bố đều ở ven sông. Ảnh hưởng của mật độ cây và kích thước bãi thực vật được tính toán và phân tích. Tính toán cho

điều kiện thực tế với một đoạn sông và loài thực vật khác cũng như ảnh hưởng của kích cỡ và vận tốc lưu thông của tàu sẽ được đề cập trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, khả năng làm suy giảm sóng tàu (năng lượng sóng và độ cao sóng leo) bởi hệ thực vật ven sông đã được nghiên cứu bằng mô hình số trị. Một số kết quả nghiên cứu được tóm tắt như sau:

Mô hình tính toán quá trình phát sinh, lan truyền qua bãi thực vật ven sông của sóng tàu đã được nghiên cứu và phát triển dựa trên hệ phương trình

Boussinesq 2 chiều. Năng lượng sóng và độ cao sóng leo đã được tính toán và phân tích với các đặc trưng thực vật khác nhau của loài cọ nước, một loài thực vật mọc phổ biến tại ven bờ các sông thuộc đồng bằng Sông Cửu Long. Trong đó, hệ số cản của cây cọ nước đã được tính toán cho trường hợp xem xét đến ảnh hưởng của rễ, thân và nhánh.

Mật độ cây và kích thước bãi thực vật có tác dụng rất đáng kể tới quá trình suy giảm năng lượng sóng và độ cao sóng leo, mức độ suy giảm của năng lượng sóng lớn hơn mức độ suy giảm của độ cao sóng leo. Với mật độ cây $\gamma = 8$ cây/m², bề rộng bãi thực vật $W = 35$ m có thể suy giảm tới 73% và 59% năng lượng sóng và độ cao sóng leo tương ứng.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Xuân Hiên (2008). "Nghiên cứu ảnh hưởng của thực vật tới sự lan truyền của sóng bằng mô hình số trị". *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, Số 573, trang 27-34.
2. Nguyễn Bá Thủy, Bùi Mạnh Hà, Trần Đức Trứ, Bùi Minh Tuấn (2006). *Nghiên cứu quá trình phát triển và lan truyền của sóng tàu trong vùng ven bờ*. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 534 (2006), trang 23-26.
3. Nguyễn Bá Thủy, Nguyễn Xuân Hiên, Vũ Hải Đăng (2013). *Nghiên cứu khả năng suy giảm sóng tàu bởi hệ thực vật ven sông bằng mô hình số trị*. Hội thảo khoa học Viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường lần thứ 16, tháng 6 năm 2013 (đã được chấp nhận, đang chờ đăng).
4. Chen, X. N. and Sharma, S. D. (1995). "A slender ship moving at a near - critical speed in a shallow channel". *J. Fluid Mech.*, vol 291, pp. 263-285.
5. Dam, K. T., Tanimoto, K., Thuy, N. B., and Akagawa, Y. (2006). "Numerical study of propagating of ship waves on a sloping coast". *Ocean Eng.*, vol 33, pp. 350-364.
6. Dong, G.H., Sun L., Zong Z., Zhao Y.P (2009). *Numerical analysis of the forces exerted on offshore structures by ship waves*. *Ocean Eng.*, vol 36, pp. 468-478.
7. Kirkegaard, J., Hansen, H.K. and Elfrink, B., (1998). *Wake wash of high-speed craft in coastal areas*, *Coastal Engineering* 1998, ASCE, 3258-3273.
8. Jonas Althage (2010). *Ship-Induced Waves and Sediment Transport in Göta River, Sweden*. Master thesis in Lund University.
9. Madsen, P.A., Sørensen, O.R., 1992. *A new form of Boussinesq equations with improved linear dispersion-characteristics. Part 2: a slowly-varying bathymetry*. *Coastal Eng.* 18, 183-204.
10. Nakase, H., Shimatani, M. and Sekimoto, T., (1999). *Distribution conditions of zoostera under the influence of ship generated waves*. *Proc. Coastal Eng.*, Vol. 46. 1196-1200.
11. [8]. Tanaka, N., and Sasaki, Y., (2007). *Limitation of coastal vegetation in the 2004 Indian Ocean tsunami and 2006 Java tsunami*, *Proc. IAHR 32nd Congress (CDROM)*.
12. Tanimoto, K., Kobayashi, H. and Ca, V. T. (2000). "Ship wave in shallow and narrow channel". *Proc. Conf. on Coastal Eng.*, ASCE, Australia, vol 2, pp.1141-1154.