

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN VÀ LAN TRUYỀN

CỦA SÓNG TÀU TRONG VÙNG VEN BỜ

ThS. Nguyễn Bá Thủy, CN. Trần Đức Trứ

CN. Bùi Mạnh Hà, KS. Đặng Minh Tuấn

Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển

Nghiên cứu các hiện tượng trong quá trình phát triển và lan truyền của sóng như hiệu ứng nước nông, khúc xạ, nhiễu xạ, phản xạ, sóng đổ và sóng leo bờ của sóng gió và sóng lừng từ trước đến nay đã được thực hiện khá kỹ lưỡng. Tuy nhiên, sóng sinh ra do tàu chuyển động biến đổi như thế nào vẫn còn là vấn đề ít được nghiên cứu. Trong bài báo này quá trình lan truyền của sóng tàu trong vùng bờ thoải đều với các đường đẳng sâu song song sẽ được đưa ra thảo luận trên cơ sở mô hình lan truyền Boussinesq 2D kết hợp với việc sử dụng biên sóng tàu của Tanimoto (2000).

1. Mở đầu

Sóng sinh ra do sự di chuyển của tàu tại vùng ven biển cũng như trong cảng, sóng tác động lên các công trình ven bờ, gây nguy hiểm cho các tàu nhỏ, cho sự ổn định đường bờ. Trên quan điểm về bảo vệ môi trường, sóng tàu có thể gây ra sự xáo động mạnh, ảnh hưởng đến việc nuôi trồng hải sản như rong, tảo biển. Những năm gần đây sóng tàu đã được các nhà thiết kế và đóng tàu quan tâm nhiều vì tác động của nó tới các tàu lân cận. Do vậy, một vấn đề quan trọng được đặt ra là làm sao giảm tối thiểu tác động nguy hiểm của sóng tàu thông qua việc hiểu cơ chế phát sinh và những đặc điểm trong quá trình lan truyền của sóng tàu.

Những nghiên cứu trước (Havelock (1908), Tanimoto (2000) [5]) cho thấy rằng sóng do tàu sinh ra và lan truyền phụ thuộc vào hình dạng vỏ tàu, tốc

độ di chuyển của tàu, độ sâu và khoảng cách đến đường tàu chạy. Các tính chất của hiện tượng nước nông, khúc xạ, nhiễu xạ, phản xạ, sóng đổ và sóng leo của sóng gió và sóng biển sâu đã được nghiên cứu khá kỹ lưỡng. Tuy nhiên trong sóng tàu, điều này vẫn còn mới mẻ. Do vậy, vấn đề đặt ra là phải tìm hiểu xem cơ chế phát sinh và đặc trưng của quá trình sóng khi lan truyền vào bờ cụ thể là độ cao sóng lớn nhất, giá trị cực đại của sóng leo bờ và năng lượng của sóng tàu từ đó đưa ra sơ đồ thích hợp trong việc hạn chế tác động của sóng tàu.

2. Cơ sở lý thuyết của mô hình tính sóng tàu

Mô hình tính sóng tàu được thiết lập trên cơ sở giải phương trình Boussinesq 2 chiều của Madsen và Sorensen (1992 [4]). Đây là phương trình đã được cải tiến những đặc trưng về biến đổi sóng tuyến

tính ở vùng nước sâu từ phương trình Boussinesq nguyên thủy của Penegrine (1967). Mô hình đã sử dụng điều kiện biên sóng đầu của Tanimoto (2000, [5]). Trong trường hợp 2 chiều, hệ phương trình được diễn tả:

(a). Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

(b). Phương trình động lượng:

- Theo phương x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_x^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_x Q_y}{D} \right) + gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} = & \left(\beta + \frac{1}{3} \right) h^2 \left(\frac{\partial^3 Q_x}{\partial t \partial x^2} + \frac{\partial^3 Q_y}{\partial t \partial x \partial y} \right) + \beta g h^3 \left(\frac{\partial^3 \zeta}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \zeta}{\partial x \partial y^2} \right) \\ & + h \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{1}{3} \frac{\partial^2 Q_x}{\partial t \partial x} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_y}{\partial t \partial y} \right) + h \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_y}{\partial t \partial x} \right) + \beta g h^2 \left\{ \frac{\partial h}{\partial x} \left(2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x \partial y} \right\} + R_{bx} \end{aligned} \quad (2)$$

- Theo phương y

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_y^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_x Q_y}{D} \right) + gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} = & \left(\beta + \frac{1}{3} \right) h^2 \left(\frac{\partial^3 Q_y}{\partial t \partial y^2} + \frac{\partial^3 Q_x}{\partial t \partial x \partial y} \right) + \beta g h^3 \left(\frac{\partial^3 \zeta}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \zeta}{\partial x^2 \partial y} \right) \\ & + h \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{1}{3} \frac{\partial^2 Q_y}{\partial t \partial y} + \frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_x}{\partial t \partial x} \right) + h \frac{\partial h}{\partial x} \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^2 Q_x}{\partial t \partial y} \right) + \beta g h^2 \left\{ \frac{\partial h}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x \partial y} \right\} + R_{by} \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó:

ζ - là dao động mực nước, Q_x , Q_y là tích phân của vận tốc theo hướng x và y, h là độ sâu thời điểm ban đầu

d - là độ sâu tức thời $d = h + \zeta$

g - là gia tốc trọng trường

ζ - là hệ số phân tán ($\zeta = 0,15$).

Tính sóng đổ ven bờ được thực hiện qua kết hợp với mô hình rối nhớt với việc thêm vào phương trình động lượng thành phần nhớt rối (R_{bx} , R_{by}):

Thành phần gây sóng đổ được diễn tả theo phương trình (4), (5):

$$\begin{aligned} R_{bx} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial Q_x}{\partial x} \right) + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial Q_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial Q_y}{\partial x} \right) \right] \\ R_{by} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial Q_y}{\partial y} \right) + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial Q_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial Q_y}{\partial x} \right) \right] \end{aligned}$$

Độ nhớt rối được tính:

$$\nu = B \delta_b (h + \zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (6)$$

Trong đó δ_b là hệ số kích thước pha trộn, thường được lấy theo giá trị thực nghiệm bằng 1,2; hệ số B là đại lượng kiểm soát quá trình phân tán năng lượng khi sóng đổ xuất hiện, đại lượng này biến đổi một cách ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 tới 1, để tránh quá trình đổ bị sốc.

Trường hợp mô hình kết hợp với tính sóng leo bờ, kỹ thuật biên khe hẹp của Tao & Kennedy (2000, [3]) đã được sử dụng với bề rộng khe truyền sóng và diện tích tương đối của kênh khi có sóng leo được xác định:

$$b(\zeta) = \begin{cases} 1, & \zeta \geq z^* \\ \delta + (1-\delta)e^{-\lambda(\eta-z^*)/ho}, & \zeta < z^* \end{cases} \quad (7) \quad A(x, y, t) = A(\zeta) \equiv \int_{z_0}^{\eta} b(z) dz \quad (8)$$

$$A(\zeta) = \begin{cases} (\zeta - z^*) + \delta(z^* + ho) + \frac{(1-\delta)ho}{\lambda}(1 - e^{-\lambda(1+z^*/ho)}) & \zeta \geq z^* \\ \delta(\zeta + ho) + \frac{(1-\delta)ho}{\lambda}e^{-\lambda(\eta-z^*)/ho}(1 - e^{-\lambda(1+z^*/ho)}) & \zeta < z^* \end{cases} \quad (9)$$

Giá trị z^* được tính theo công thức:

$$z^* = \frac{-h}{(1-\delta)} + ho \left(\frac{\delta}{1-\delta} + \frac{1}{\lambda} \right) \quad (10)$$

Trong đó: δ là độ rộng của khe hẹp, là hệ số điều khiển quá trình biến đổi của diện tích kênh truyền sóng, ho là độ sâu, z^* là giá trị mực nước mà tại đó $b = 1$.

Kết hợp phương trình Bousinesq 2 chiều với mô hình sóng đổ và sử dụng kỹ thuật biên khe hẹp, hệ phương trình cuối cùng của mô hình tính như sau:

* Phương trình liên tục

$$b \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

* Phương trình động lượng

- Phương trình theo phương x:

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_x^2}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_x Q_y}{A} \right) + gA \frac{\partial \zeta}{\partial x} - R_{bx} + E_x + \dots = 0 \quad (12)$$

- Phương trình theo phương y:

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q_x Q_y}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q_y^2}{A} \right) + gA \frac{\partial \zeta}{\partial y} - R_{by} + E_y + \dots = 0 \quad (13)$$

Trong đó, R_{bx} , R_{by} là thành phần gây sóng đổ theo phương x và y đã được mô tả ở trên. E_x và E_y là thành phần gây hấp thụ sóng để tránh hiện tượng phản xạ từ biên. b và A là bề rộng và diện tích tương đối của kênh truyền sóng. Hệ phương trình trên được sai phân hoá

trung tâm theo thời gian và sai phân tiến theo không gian với các điểm tính được xác định theo ô lưới hình chữ nhật. Phương pháp ADI (Alternating Direction Implicit) là phương pháp truy đuổi luân hướng đã được áp dụng cho việc giải hệ phương trình sai phân.

3. Các điều kiện biên của mô hình

- Điều kiện về biên tàu chuyển động

Đây là dạng biên di động, sóng được sinh trên các điểm biên này lúc tàu đi qua. Để xác định độ cao (hay năng lượng sóng) tạo ra do tàu, Chen và Sharma (1995) [2] giả thuyết rằng bề rộng tàu là mảnh và coi đó như 1 đoạn thẳng mà tại đó sóng được sinh ra ở hai bên khi tàu đi qua. Với giả thiết này năng lượng sóng do tàu đi qua được xác định:

$$Q_y = \pm \frac{1}{2} U \frac{dS}{dx}$$

Trong đó U là tốc độ di chuyển của tàu, S là diện tích tàu chiếm trên bề mặt nước tại các thời điểm, các điểm trên hành trình của tàu, được tính:

$$S(x_s) = S_0 \left[1 - \left(\frac{2x_s}{L_s} \right) \right], -1 \leq \frac{2x_s}{L_s} \leq 1$$

Trong đó S_0 là diện tích phần nổi trên bề mặt nước của tàu.

$$S_0 = \alpha B_s d$$

Với α là hệ số, B_s là kích thước bề ngang của tàu, d là ngấn nước của tàu.

Khi tàu di chuyển, những nhiễu động được sinh ra gồm 2 phần: Nửa phía trước của tàu sẽ là nguồn phát sóng trong khi đó nửa phía sau sóng có hướng đi ngược

lại.

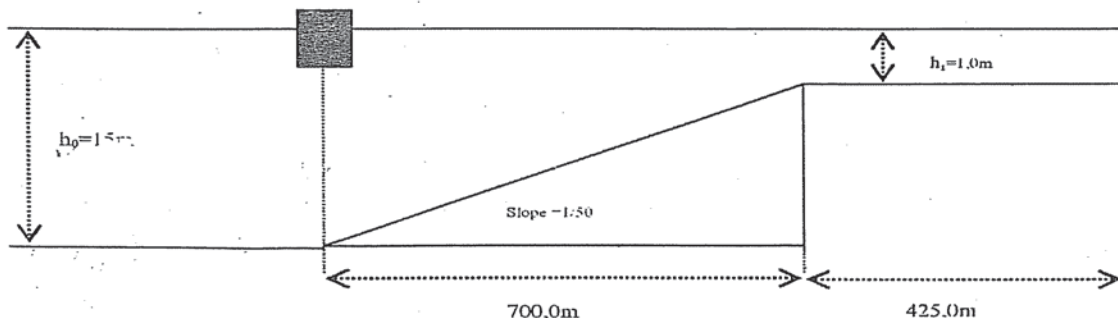
Trong nghiên cứu sóng tàu, khái niệm về hệ số Froude được đưa ra:

$$F_h = \frac{U}{\sqrt{gh_s}}$$

Với h_s là độ sâu tại điểm tàu đi qua. Đại lượng $\sqrt{gh_s}$ ở đây được xác định là vận tốc truyền sóng. Trong nghiên cứu sóng tàu thì tính toán với sự thay đổi của hệ số F_h cho các trường hợp nhỏ hơn 1, bằng 1 và lớn hơn 1 là rất ý nghĩa vì điều này cho ta thấy sự thay đổi độ cao của sóng như thế nào khi vận tốc tàu thay đổi.

4. Kết quả tính toán

Để tính toán thử nghiệm mô hình, một kênh tính với đường bờ thẳng, các đường đẳng sâu song song. Tàu di chuyển tại độ sâu $h = 15\text{m}$, độ dốc của đáy kênh tính từ vị trí tàu tới độ sâu $h = 1\text{m}$ là 1/50. Trong tính toán, một miền với độ sâu đồng nhất được mở rộng từ phần đáy dốc với mục đích là tránh được sự phản xạ sóng của đường bờ để cho việc phân tích và đánh giá kết quả được thuận tiện hơn. Trên hình 1 biểu diễn mặt cắt ngang của miền tính.



Hình 1. Sơ đồ mặt cắt ngang của miền tính sóng tàu

Các chỉ số của tàu dùng trong mô hình với: Chiều dài là 41m, bề rộng là 14,6m, ngăn nước tàu là 5,58m hệ số là 0,62. Các thông số này sẽ được dùng tính toán cho tất cả các trường hợp trong báo cáo này.

Tốc độ tàu được chọn cho mô phỏng sóng tàu với 3 trường hợp; $U_0 = 9,7; 12,13; 14,45\text{m/s}$, tương ứng với hệ số Froud là 0,8; 1,0 và 1,2. Việc chọn các giá trị về vận tốc tàu như trên nhằm để đánh giá xem sự khác biệt của độ cao sóng tàu như thế nào khi vận tốc tàu thay đổi.

Trên các hình từ 2 - 5 biểu diễn kết quả tính toán trong trường hợp mô hình có tính tới hiện tượng sóng đổ (wave breaking).

Trên các hình 4 biểu diễn dao động mực nước theo thời gian tại các vị trí ($x=2000\text{m}, y=200\text{m}$), ($x=2000\text{m}, y=600\text{m}$), ($x=2000\text{m}, y=650\text{m}$) và ($x=2000\text{m}, y=700\text{m}$) trong trường hợp $F_h=1$. Chúng ta thấy rằng tại một điểm quan trắc sóng tàu luôn quan trắc được nhiều sóng có độ cao và chu kỳ khác nhau. Kết quả tính toán cho thấy, sóng thứ 2 trong nhóm sóng là sóng có biên độ lớn nhất. Các thông số của sóng này thường được đưa ra để đánh giá mức độ ảnh hưởng của sóng do tàu gây nên. Kết quả tính toán cũng cho thấy chỉ có những sóng có biên độ lớn trong chuỗi nhóm sóng là bị đổ, đây là một trong những đặc trưng được phát hiện của sóng tàu.

Tại hình 2, giá trị độ cao sóng cực đại dọc theo các đường cắt ngang ở vị trí $x=1000\text{m}, 1500\text{m}$ và 2000m với trường hợp $F_h = 1$ được diễn tả. Có thể có một số nhận xét như sau về sự biến đổi của độ cao lớn nhất của sóng tàu khi lan truyền vào bờ, lúc đầu độ cao sóng giảm bởi hiện tượng tắt dần (damping) và khúc xạ,

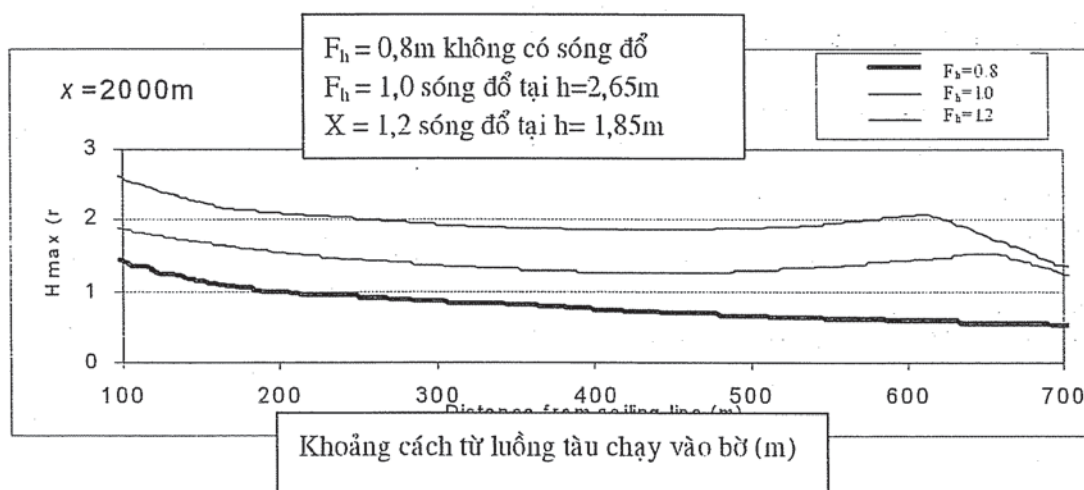
sau đó độ cao sóng tăng dần do hiệu ứng nước nông và cuối cùng giảm do sóng bị đổ tại vùng nước nông gần bờ. Kết quả tính toán cũng cho thấy, trong khu vực gần bờ, giá trị độ cao sóng cực đại dọc theo mặt cắt $x=2000\text{m}$ là lớn nhất và nhỏ hơn cả là tại mặt cắt $x=1000\text{m}$. Điều này cho thấy rằng khi tàu di chuyển, độ cao sóng theo các mặt cắt ngang là biến đổi và có xu hướng tăng dần, tuy nhiên trong kết quả tính toán của mô hình cũng cho thấy rằng độ cao sóng lớn nhất sẽ tăng tới giá trị ổn định ở một khoảng cách mà từ đó khi tàu tiếp tục chuyển động nhưng giá trị độ cao sóng không thay đổi, trong điều kiện đang tính ở đây thì giá trị đó là 2000m . Trong quá trình lan truyền vào bờ, nếu gặp phải vùng nước nông, sóng sẽ bị đổ. Vị trí các điểm sóng đổ theo các mặt cắt là tùy thuộc vào độ cao sóng tại đó. Với các mặt cắt như trên, sóng đổ xuất hiện tại các độ sâu $h=2,65\text{m}; 2,45\text{m}$ và $1,55\text{m}$ tương ứng tại $x=2000\text{m}, 1500\text{m}$ và 1000m .

Để xác định sự biến đổi độ cao sóng tàu theo tốc độ di chuyển của tàu như thế nào, mô hình đã tính thử nghiệm cho 3 trường hợp với hệ số Froud khác nhau là $F_h=0,8; 1,0$ và $1,2$. Trên hình 3 biểu diễn kết quả tính toán độ cao sóng cực đại dọc mặt cắt có tọa độ $x = 2000\text{m}$ cho 3 trường hợp như trên. Kết quả tính toán cho thấy về xu thế biến đổi độ cao sóng trong 3 trường hợp là giống nhau, tuy nhiên với trường hợp $F_h = 0,8$ không có hiện tượng sóng đổ xuất hiện ở mặt cắt này. Một điều lý thú được phát hiện trong kết quả tính của mô hình là khi so sánh độ cao sóng tại 1 điểm thì không phải khi vận tốc tàu lớn thì độ cao sóng sẽ tăng. Trong trường hợp này độ cao sóng lớn hơn cả khi so sánh là trường hợp $F_h = 1$. Chúng

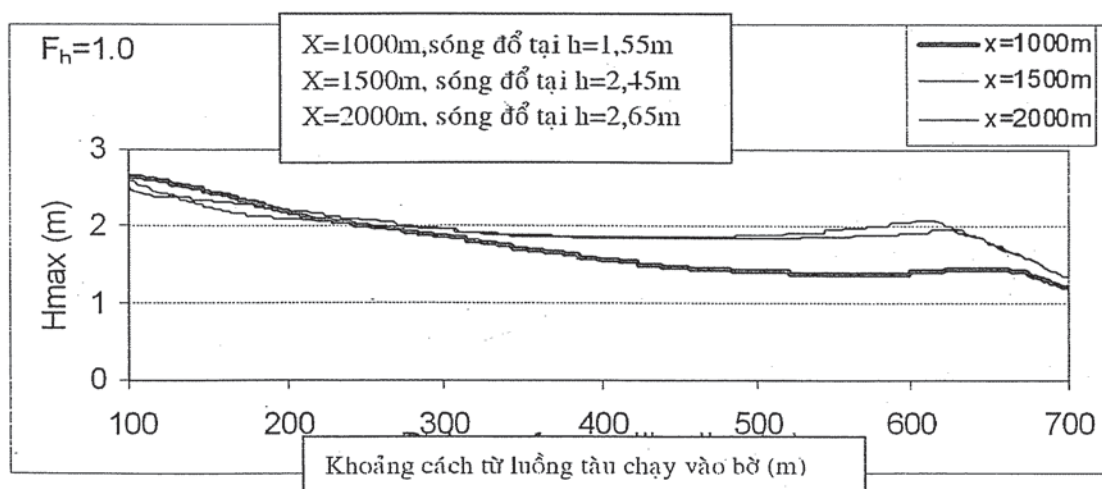
tôi đã thử nghiệm tính toán nhiều với các hệ số F_h khác nhau và nhận thấy rằng giá trị độ cao sóng lớn nhất khi hệ số F_h gần bằng 1 có nghĩa là khi vận tốc của tàu xấp xỉ vận tốc truyền sóng.

Hiện tại chúng ta chưa có số liệu quan trắc sóng tàu để kiểm chứng độ chính xác và hiệu chỉnh mô hình. Báo cáo đã dùng kết quả phân tích giải tích của Tanimoto (2004) [4] để so sánh.

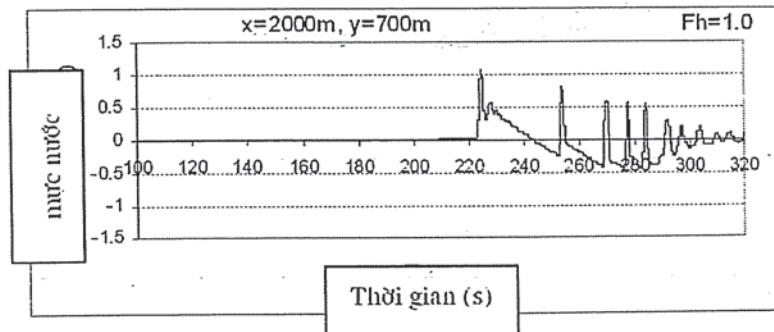
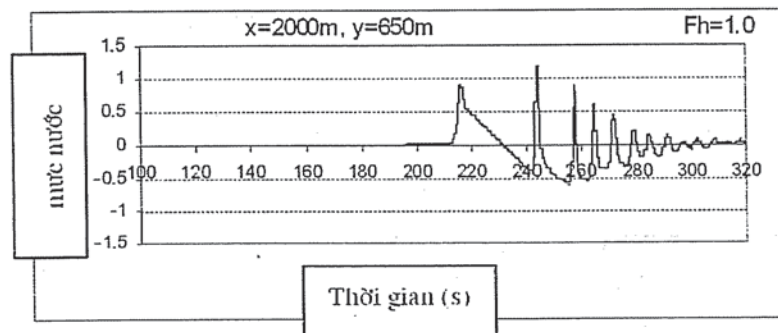
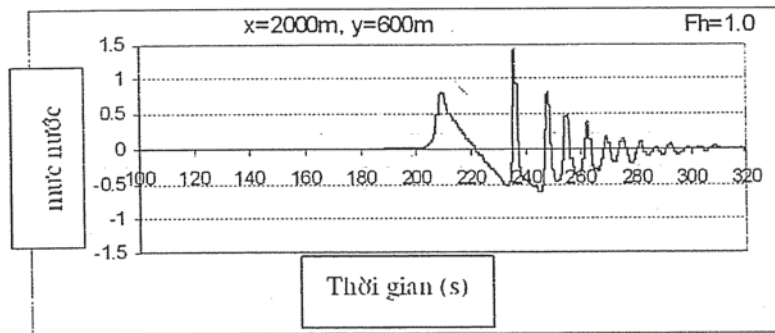
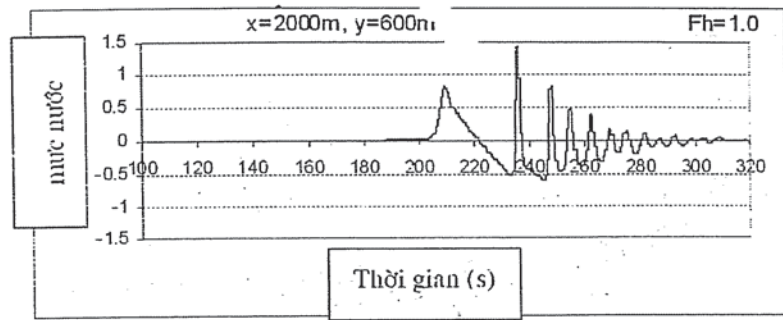
Trên hình 5 là so sánh giữa kết quả tính toán độ cao sóng cực đại của mô hình và kết quả phân tích trong cùng 1 điều kiện cho trường hợp tại mặt cắt $x = 2000\text{m}$ và với 3 hệ số Froud là $F_h=0,8$; 1,0 và 1,2. Có thể nhận xét rằng có sự khá phù hợp giữa 2 tính toán trên trừ trường hợp trong vùng gần bờ. Với trường hợp $F_h = 1,0$ kết quả so sánh là phù hợp hơn cả.



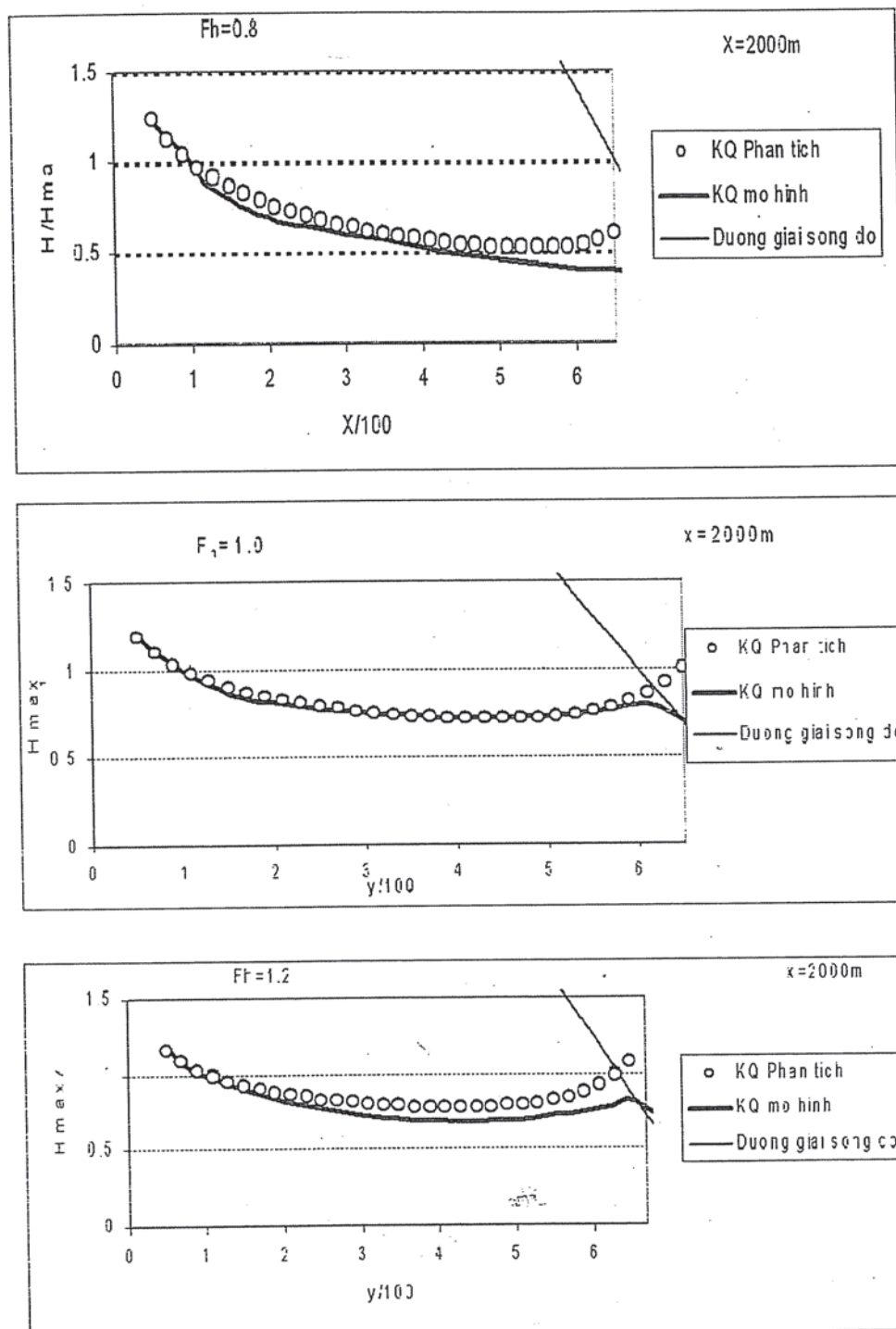
Hình 2. Sự biến đổi giá trị lớn nhất của sóng tàu dọc theo mặt cắt ($F_h=1$)



Hình 3. Sự biến đổi giá trị lớn nhất của sóng tàu dọc theo mặt cắt ($x=2000\text{m}$)



Hình 4. Dao động mực nước theo thời gian của sóng tàu ($x = 2000, F_h = 1,0$)



Hình 5. So sánh giữa kết quả tính toán của mô hình và kết quả phân tích giải tích

6. Kết luận

Mô hình tính sóng do tàu sinh ra lan truyền vào vùng ven bờ dựa trên phương trình Bousinesq 2D và sử dụng điều kiện biên sóng tàu của Tanimoto (2000) đã được phát triển. Mô hình đã mô phỏng được một số hiện tượng khi 'sóng lan truyền vào bờ cũng như đặc điểm của trường sóng khi tàu chạy trên một kênh

phẳng, có đáy thoải. Hiện tượng sóng leo bờ cũng như xác định mối quan hệ giữa độ cao sóng cực đại với hình dáng, trọng lượng và vận tốc của tàu cũng như sẽ được nghiên cứu thêm. Những nghiên cứu sâu về sóng tàu sẽ rất có ý nghĩa trong các ngành giao thông, đóng tàu, quy hoạch xây cảng và nuôi trồng thủy sản.

Tài liệu tham khảo

1. Chen, Q., Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., Kennedy, A.B. and Chawla, A.. Bousinesq Modeling of wave transformation, breaking and runup.II:2D. Journal of waterway, Port coastal, and Ocean Engineering/January/February, 48-55, 2000.
2. Chen, X.-N. & Sharma, S.D. . A slender ship moving at a near-critical speed in a shallow channel. J. Fluid Mechanics 291: 263-285,1995.
3. Kennedy, A. B, Chen, Q., Kirby, J. T., & Dalrymple, R. A. . Boussinesq modeling of wave transformation, breaking and runup. I: One dimension. J. Waterway of Port, Coastal and Ocean Engineering 126: 39-47, 2000.
4. Madsen, P.A., Sorensen, O.R.. A new form of the Boussineq equations with improved lineardispersion characteristic: Part 2. A slowly varying bathymetry. Coastal Eng.18, 183-204,1992.
5. Tanimoto, K., Kobayashi, H. & Ca, V.T.. Ship waves in a shallow and narrow channel. Proc. of 27th Conference on Coastal Engineering 2: 1141-1154, 2000.