

Ứng dụng mô hình ADCIRC tính toán nước dâng do bão tại khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng trong cơn bão Damrey 2005

Nguyễn Xuân Hiền^{1,*}, Phạm Văn Tiến¹, Dương Ngọc Tiến¹, Đinh Văn Ưu²

¹*Trung tâm Nghiên cứu Biển và Tương tác Biển - Khí quyển,
Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường*

²*Trung tâm Động lực và Môi trường biển, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN
334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 11 năm 2009

Tóm tắt. Nước dâng do bão là một hiện tượng thiên tai nguy hiểm, gây nhiều thiệt hại về người và của cải ở Việt Nam cũng như trên thế giới. Các yếu tố quan trọng nhất gây ảnh hưởng đến độ cao nước dâng do bão là địa hình đáy biển và đường bờ, tốc độ di chuyển của bão, cường độ bão, thủy triều và sóng. Nghiên cứu này trình bày một số kết quả trong việc tính toán nước dâng do bão cho khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng trong cơn bão Damrey 2005 bằng mô hình ADCIRC. Kết quả tính toán cho thấy sự phù hợp cao giữa kết quả tính toán và thực đo.

Từ khóa: nước dâng do bão, mô hình ADCIRC, bão Damrey, Hải Phòng.

1. Giới thiệu chung

Nước dâng do bão là hiện tượng mực nước biển dâng cao hơn mức bình thường (mực nước thủy triều) dưới tác động tổng hợp của nhiều nhân tố khi có bão. Đối với vùng biển ven bờ Việt Nam, mặc dù khả năng xuất hiện không nhiều nhưng nó lại rất nguy hiểm do mực nước thường dâng cao và bất ngờ [1-3]. Đặc biệt, trong thời kỳ triều cường, nước dâng do bão càng trở lên nguy hiểm hơn. Các yếu tố chính gây ra nước dâng trong bão là sóng, gió, áp suất khí quyển và mưa... Ngoài ra, địa hình đáy biển và hình dạng đường bờ, nước lũ vùng cửa sông

bão đổ bộ vào cũng ảnh hưởng đáng kể đến nước dâng do bão.

Cơn bão Damrey là cơn bão số 7 năm 2005 có hướng di chuyển tây, tây – bắc. Ngay sau khi hình thành bão đã di chuyển nhanh và cường độ tăng mạnh. Khi bão di chuyển vào vịnh Bắc Bộ áp suất thấp nhất tại tâm khoảng 955 mb, vận tốc gió cực đại khoảng 55 m/s. Cơn bão này đã gây ra thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản cho các khu vực ven biển của các tỉnh phía bắc, trong đó có Hải Phòng. Trong nghiên cứu này, mô hình ADCIRC (Advanced Circulation Model for Oceanic, Coastal, and Estuarine Waters) [4-5] được áp dụng để mô phỏng dao động mực nước cho khu vực cửa sông và ven

* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-4-37730409
E-mail: nguyentuanhien@vkkttv.edu.vn

biển của Thành phố Hải Phòng trong cơn bão Damrey từ ngày 26 đến 29 tháng 9 năm 2009.

Khu vực nghiên cứu là nơi biển thường xuyên chịu những tác động bất lợi của thiên tai trong đó có bão và nước dâng do bão. Địa hình đường bờ và bị chia cắt liên tục với nhiều cửa sông, có nhiều đảo nằm ở phía ngoài biển trong đó lớn nhất các đảo Cát Bà, đảo Bạch Long Vĩ. Điều này có ảnh hưởng rất lớn tới chế độ thủy động lực nói chung và nước dâng do bão nói riêng.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Hệ phương trình sử dụng trong mô hình ADCIRC

Mô hình ADCIRC được xây dựng và phát triển bởi các trường đại học bang Carolina bao gồm đại học Notre Dame, đại học Oklahoma và đại học Texas nước Mỹ. Mô hình ADCIRC là một hệ thống những mô hình giải các phương trình thủy động lực mô phỏng hoàn lưu tầng mặt và bài toán thủy động lực hai hoặc ba chiều. Những chương trình này dùng phương pháp phần tử hữu hạn cho phép sử dụng các lưới phi cấu trúc có tính linh hoạt cao, đặc biệt có thể ứng dụng rất tốt cho các khu vực cửa sông ven biển có địa hình và đường bờ phức tạp như khu vực ven biển và cửa sông Hải Phòng.

Các phương trình cơ bản bao gồm phương trình liên tục nguyên thủy:

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

Các phương trình bảo toàn động lượng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV = \\ = -\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p}{\rho_o} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sx}}{\rho_o H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_o H} + D_x - B_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU \\ = -\frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p}{\rho_o} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sy}}{\rho_o H} - \frac{\tau_{by}}{\rho_o H} + D_y - B_y \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó: ζ là dao động mực nước, U, V là các vận tốc được lấy tích phân theo độ sâu theo hướng x và y , p là áp suất, H là độ sâu mực nước, D_x, D_y là các thành phần khuếch tán theo các phương, B_x, B_y là các thành phần gradient áp suất theo các phương, $(\eta + \gamma)$: thế thủy triều Newton, thủy triều trái đất và các lực mang bản chất lực thủy triều, τ_{bx}, τ_{by} là ứng suất đáy.

2.2. Mô hình trường gió trong bão

Đã có nhiều nghiên cứu mô phỏng và tính toán trường gió và áp suất trong bão, phần lớn các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng số liệu vệ tinh và dữ liệu quan trắc bề mặt để tính toán và đưa ra trường gió và áp suất trong bão.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình gió trong bão của Boose và cộng sự, 1994. Mô hình này đã sử dụng các lực phức tạp để mô phỏng và tính toán phân bố trường gió trong bão. Trường gió được tính tại các thời điểm tức thì cho các điểm phía trong mắt bão và phía ngoài mắt bão. Các thông số được sử dụng để tính toán trường gió bao gồm vị trí tâm bão, hướng và tốc độ di chuyển của bão, bán kính mắt bão, tốc độ gió cực đại và thông số bề mặt.

Công thức tính gió cho một điểm S nằm trong mắt bão

$$V_s = F[V_m - V_f(1 - \sin \theta)] \frac{R}{R_{mw}} \quad (4)$$

Công thức tính gió cho một điểm S nằm ngoài mắt bão

$$V_s = F[V_m - V_f(1 - \sin \theta)] \left(\frac{R_{mw}}{R} \right)^x \quad (5)$$

Trong đó: F là hệ số suy giảm gió do địa hình (đất: 0.8, biển: 1.0); V_m là vận tốc gió cực

đại trên biển; V_f là tốc độ chuyển động của bão; θ là góc theo chiều kim đồng hồ của đường thẳng nối điểm S với tâm bão và hướng di chuyển của bão; R là khoảng cách từ điểm S đến tâm bão; R_{mw} là bán kính gió cực đại của bão; x là hệ số profile gió cho từng cơn bão (theo Simpson và Riehl, 1981 thì $0,4 < x < 0,8$)

Áp suất tại điểm $S(x, y)$ cách tâm bão (x_0, y_0) được tính theo công thức:

$$P_s = P_\infty - \Delta P / [1 + (r / R_{mw})^2]^{0.5} \quad (6)$$

Trong đó: P_∞ áp suất ở rìa bão; $\Delta P = P_c - P_s$; P_c : áp suất ở tâm bão; R : bán kính gió cực đại; r là khoảng cách từ tâm bão tới điểm tính.

Để tính ứng suất gió và áp suất khí quyển, công thức của Garratt (1977) được sử dụng.

$$\tau_s = \rho_a C_D V_{10}^2 \quad (7)$$

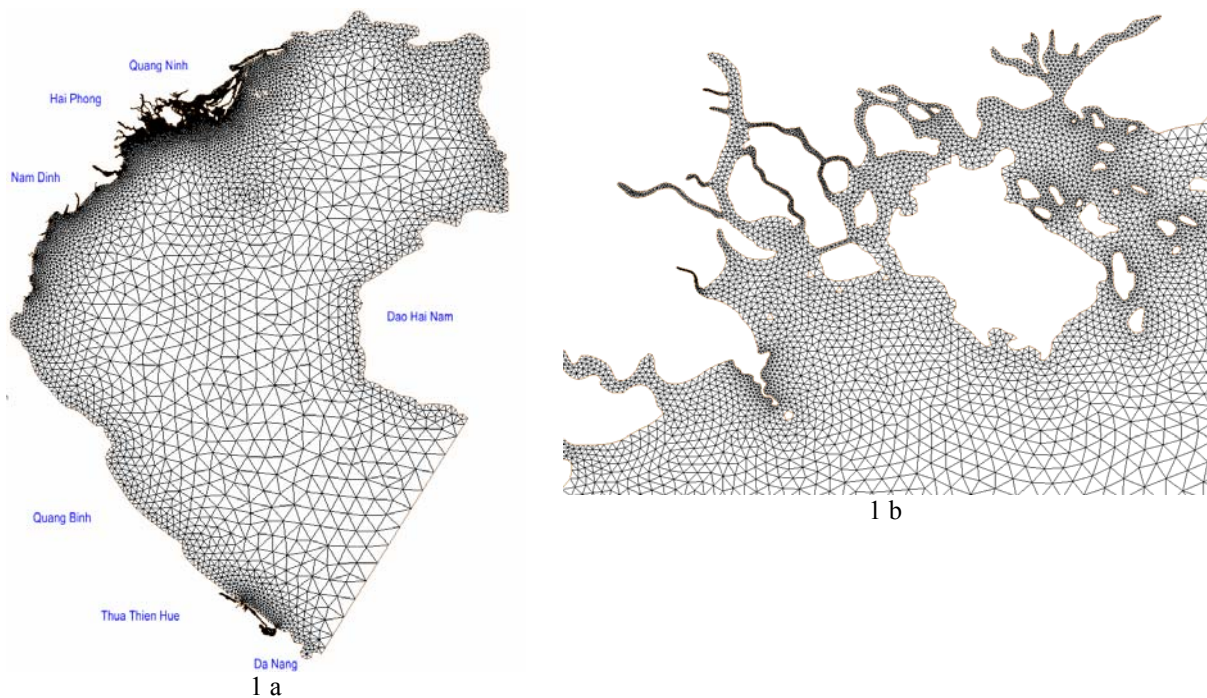
Trong đó: ρ_a là mật độ không khí, V_{10} là tốc độ gió tại tầng 10 m trên bề mặt, C_D là hệ số lực kéo được tính theo công thức:

$$C_D = 0.001(0.75 + 0.067V_{10})$$

3. Tính toán nước dâng do bão trong cơn bão DAMREY

3.1. Miền tính và điều kiện tính toán

Miền tính bao trùm toàn bộ vịnh Bắc Bộ với lưới phi cấu trúc với 13332 nút lưới (hình 1a), chiều dài của cạnh mắt lưới nhỏ nhất là 50 m (khu vực cửa sông ven biển Hải phòng và vùng ven biển Việt Nam, hình 1b), lớn nhất khoảng 25 km (khu vực giữa vịnh).



Hình 1. Miền tính trên toàn vịnh Bắc bộ và vùng biển Hải phòng.

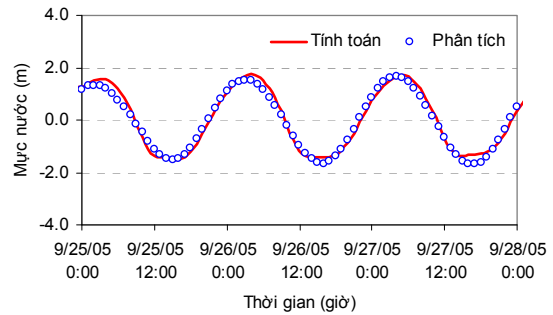
Địa hình miền tính được lấy từ các mảnh hải đồ tỷ lệ khác nhau do Bộ tư lệnh Hải quân cung cấp.

Biên ngoài khơi được lấy theo hằng số điều hòa từ bộ hằng số điều hòa trên toàn cầu của mô hình ADCIRC.

3.2. Kiểm nghiệm mô hình ADCIRD

Để kiểm nghiệm mô hình, nghiên cứu đã sử dụng số liệu mực nước từ phân tích điều hòa thủy triều tại trạm Hòn Dấu so sánh với kết quả tính toán thủy triều bằng mô hình ADCIRD trong cùng thời kỳ. Điều kiện biên là các biên thủy triều lấy theo số liệu các hằng số điều hòa với các sóng chính là (K1, O1, M2, S2, N2, K2, P1, Q1). Thời gian mô phỏng từ 0 giờ ngày 24/9/2005 đến 0 giờ ngày 28/9/2005.

Hình 2 biểu diễn đường quá trình mực nước thủy triều giữa tính toán và phân tích điều hòa tại trạm Hòn Dấu. Kết quả cho thấy mực nước triều tính toán khá sát với mực nước triều được tích từ các hằng số điều hòa, cả về biên độ và pha. Điều này chứng tỏ mô hình ADCIRD có thể mô phỏng rất tốt các quá trình động lực trong khu vực tính toán. Kết quả này là cơ sở nhóm nghiên cứu sử dụng để tính toán nước dâng do bão cho khu vực ven biển Hải Phòng.

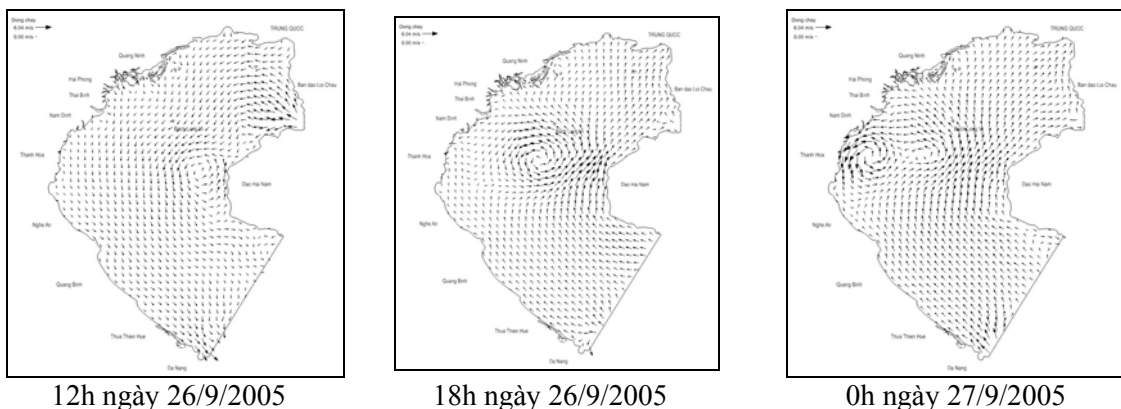


Hình 2. Mực nước triều tính toán và từ phân tích điều hòa tại trạm Hòn Dấu.

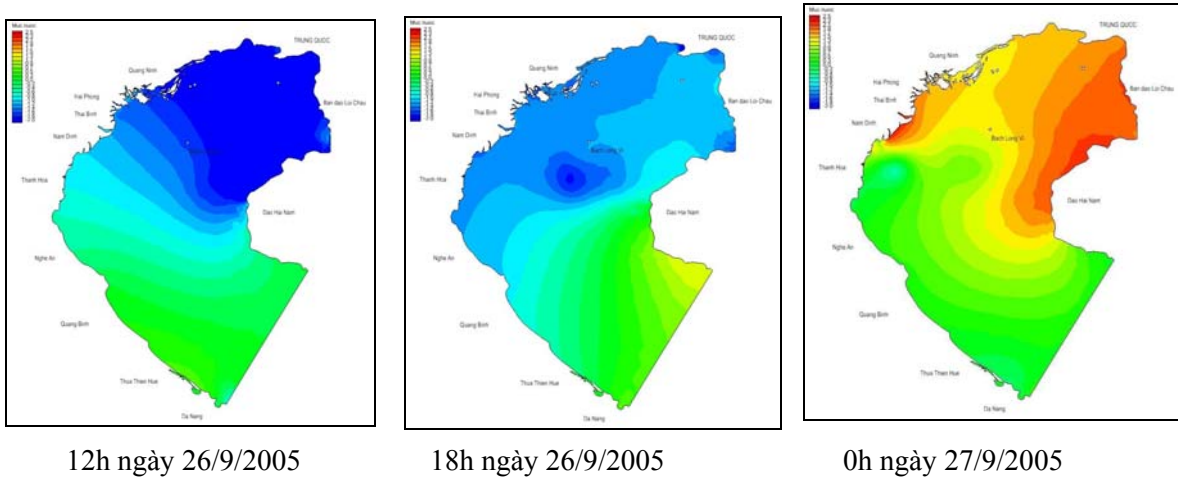
3.3. Tính toán nước dâng do bão tại khu vực Hải Phòng trong cơn bão Damrey 2005

Sau khi đã kiểm nghiệm mô hình bằng tính toán thủy triều, mô hình đã được áp dụng để tính toán nước dâng do bão tại khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng trong cơn bão Damrey với miền tính rất chi tiết.

Điều kiện bão: Từ số liệu besttrack bao gồm vị trí tâm bão, hướng và tốc độ di chuyển của bão, bán kính mắt bão, tốc độ gió cực đại và thông số bề mặt, mô hình tính trường gió và trường áp đầu cho cơn bão Damrey theo công thức trên được sử dụng. Trường gió và trường áp được cung cấp tại mỗi nút lưới theo bước thời gian là 6 giờ.



Hình 3. Trường dòng chảy tính toán trong cơn bão Damrey.



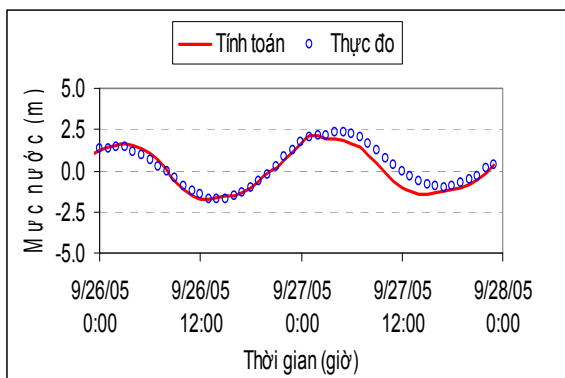
Hình 4. Trường mực nước tính toán trong cơn bão Damrey.

Trên các hình 3 và 4 biểu diễn trường mực nước và trường dòng chảy trong một số thời điểm.

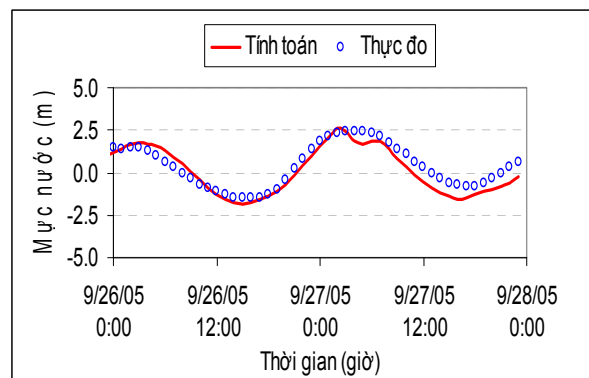
Trường mực nước tổng cộng tính từ mô hình cho thấy khu vực xảy ra nước dâng nằm phía bên phải hướng di chuyển của bão và điểm xảy ra nước dâng cực đại cách điểm đổ bộ của tâm bão một khoảng 60 km, khu vực huyện Giao Thủy, Nam Định và giảm dần về hai phía, điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả khảo sát của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển, nay là Trung tâm Hải văn sau bão Damrey năm

2005. Ở hầu hết các khu vực xảy ra hiện tượng nước dâng, mực nước dâng đạt cực đại sau thời điểm bão đổ bộ khoảng 1 - 2 giờ.

Kết quả tính toán thu được cho thấy hình dạng đường bờ cũng có ảnh hưởng lớn tới độ cao nước dâng, trên cùng một khu vực, những nơi đường bờ có dạng lõm mực nước thường cao hơn những nơi có dạng thẳng hoặc lồi. Hình 5 thể hiện đường quá trình mực nước tính toán và thực đo trong thời gian ảnh hưởng của bão Damrey tại trạm Hòn Dấu (5a) và trạm thủy văn cửa sông Do Nghi (5b).



5a)



5b)

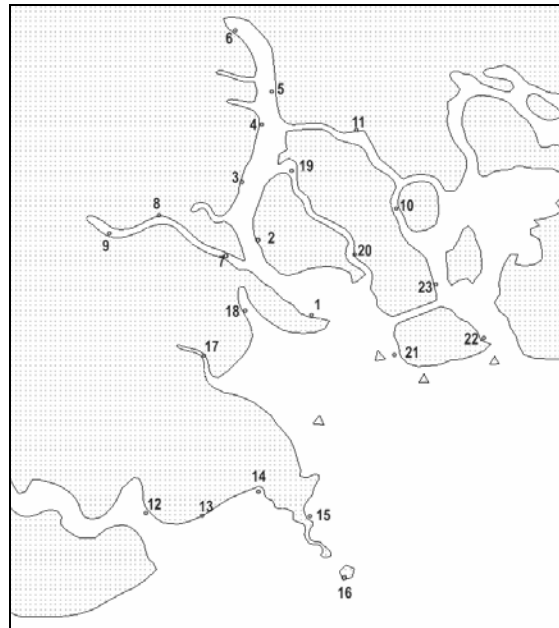
Hình 5. Mực nước tổng cộng trong bão Damrey tại trạm Hòn Dấu và Do Nghi.

Hình vẽ cho thấy mực nước tổng cộng bao gồm mực nước triều và mực nước dâng do bão tính toán bằng mô hình ADCIRC khá trùng với mực nước thực đo. Kết quả này cho thấy mô hình ADCIRC có thể mô phỏng rất tốt nước dâng do bão trong khu vực cửa sông ven biển có địa hình và đường bờ phức tạp như khu vực Hải Phòng. Trên cơ sở đó có thể đưa ra các đánh giá về diễn biến nước dâng do bão trong cơn bão Damrey trong khu vực. Hình 6 biểu diễn sơ đồ một số điểm khu vực cửa sông ven biển tỉnh Hải Phòng sử dụng để tính toán nước dâng do bão trong cơn bão Damrey 2005.

Kết quả tính toán thu được được biểu diễn trong bảng 1 cho thấy trong cơn bão Damrey 2005, khu vực Hải Phòng cũng chịu sự tác động mạnh mẽ của hiện tượng nước dâng do bão, dọc bờ biển Hải Phòng và dọc theo các sông chính như sông Đá Bạch, sông Cấm, sông Lạch Tray và Văn Úc, mực nước dâng do bão dao động trong khoảng từ 1,02 m (Cát Hải) đến 1,34 m (Cầu Bính).

Bên cạnh đó, do bão xảy ra vào thời kỳ triều cường lên mực nước dâng tổng cộng là khá cao, đều đạt giá trị lớn hơn 2,2 m, ở Do Nghi lên tới 2,6 m, điều này có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng tới an toàn của tuyến đê biển và đê sông. Cũng theo kết quả tính toán, hình dạng đường

bờ và địa hình ảnh hưởng đến độ cao nước dâng. Theo kết quả tính toán, tại các vị trí nước dâng do bão lớn nhất thì mực nước tổng cộng cũng lớn nhất. Những nơi có mực nước cực đại lớn hơn ở các vị trí phía trong cửa sông và các khu vực có hình dạng đường bờ lõm. Trong đó, khu vực Gia Đức (vị trí số 6) có mực nước dâng do bão lớn nhất là 1,32 m, mực nước tổng cộng là 2,62 m.



Hình 6. Vị trí các điểm trích nước dâng trong bão Damrey khu vực Hải Phòng.

Bảng 1. Mực nước dâng lớn nhất và mực nước tổng cộng lớn nhất trong cơn bão Damrey 2005 tại một số điểm thuộc khu vực cửa sông ven biển tỉnh Hải Phòng

STT	Địa danh	Nước dâng do bão	Mực nước tổng cộng
1	Đình Vũ	1.18	2.42
2	NT. Tiên Phong	1.26	2.52
3	Lập Lễ	1.29	2.57
4	Tam Hưng	1.30	2.59
5	Hiệp Hòa	1.31	2.61
6	Gia Đức	1.32	2.62
7	Đông hải	1.27	2.53
8	Thùy Nguyên	1.32	2.59
9	Cầu Bính	1.34	2.60
10	Hà An	1.18	2.51

STT	Địa danh	Nước dâng do bão	Mức nước tổng cộng
11	Quảng Yên	1.25	2.57
12	Đoàn Xá	1.15	2.23
13	Đại Hợp	1.14	2.22
14	P. Ngọc Sơn	1.11	2.19
15	P. Vạn Sơn	1.05	2.19
16	Hòn Dấu	1.02	2.11
17	Tràng Cát	1.19	2.39
18	Nam hải	1.18	2.38
19	Yên hải	1.28	2.56
20	Liên Vị	1.20	2.45
21	Hoàng Châu	1.07	2.31
22	Cát Hải	1.02	2.32
23	Đông Bài	1.10	2.42

Đối với các khu vực chịu ảnh hưởng của sông, mực nước tăng dần từ phía ngoài biển vào trong sông, khu vực cửa sông Bạch Đằng mực nước lớn nhất tại Gia Đức, khu vực cửa sông Cẩm mực nước lớn nhất tại Cầu Bính (gần cảng Hải Phòng). Điều này là do quá trình tương tác của nhiều yếu tố như địa hình đáy, dòng chảy và hình dạng của sông với các quá trình động lực lan truyền biển vào.

4. Một số kiến nghị và kết luận

Mô hình Adcirc mô phỏng tốt quá trình thủy động lực học trong khu vực vịnh Bắc Bộ và đặc biệt mô phỏng tốt quá trình thủy động lực học trong vùng cửa sông, ven biển. Qua kết quả tính toán nước dâng do bão tại khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng trong cơn bão Damrey tháng 9 năm 2005 cho thấy mô hình ACIRD đã mô phỏng đúng bản chất hiện tượng nước dâng do bão. Kết quả tính toán thể hiện tương đối chính xác về độ lớn cũng như thời gian nước dâng, mô phỏng mực nước tổng cộng đúng về pha và biên độ. Mô hình cũng đã áp dụng mô hình vào tính toán chi tiết cho khu vực Hải Phòng, kết quả thu được khá sát với số liệu thực đo. Kết quả cũng chỉ ra rằng, hiện tượng nước dâng do bão không chỉ nguy hiểm cho tuyến đê

biển mà còn gây nguy hiểm trực tiếp cho các đê cửa sông, đê sông nếu không được quan tâm đúng mức

Tuy vậy, cần phải tính toán và hiệu chỉnh mô hình với nhiều cơn bão khác để thu được bộ thông số chạy mô hình ổn định nhất, nhằm mục đích giúp các tính toán sau này được nhanh chóng và chính xác hơn. Trong các nghiên cứu tiếp theo, cần thiết mở rộng thêm miền tính chi tiết hơn về phía trong đất liền để đánh giá được mức độ ảnh hưởng của hiện tượng nước dâng vào sâu phía trong sông, cần đánh giá mức độ ảnh hưởng của dòng chảy trong sông cũng như cần đánh giá mức độ đóng góp của sóng vào mực nước dâng tổng cộng trong các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn

Các kết quả công bố trong bài báo này là một phần nghiên cứu thuộc đề tài KC09.23/06-10. Các tác giả cảm ơn sự hỗ trợ này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Phạm Văn Ninh, Nước dâng do bão và gió mùa, Chương trình điều tra nghiên cứu biển cấp nhà

- nước KHCN-06 (1996-2000), *Biển Đông, Khí tượng Thủy văn động lực biển*, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia Hà Nội.
- [2] Vũ Thanh Ca, Phùng Đăng Hiếu, Nguyễn Xuân Hiền, Nguyễn Xuân Đạo, Mô hình dự báo nước dâng do bão có tính đến thủy triều, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, Số 568 (2008) 25.
- [3] Trần Thục, Nguyễn Xuân Hiền, Phạm Văn Tiến, *Sử dụng kết hợp bộ mô hình số trị MM5, MIKE 21 và SWAN Mô phỏng, Tính toán và Dự báo nước dâng do bão*, Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 12, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Hà Nội, 2009.
- [4] Rick Luettich, Joannes Westerink, *Formulation and Numerical Implementation of the 2D/3D ADCIRD Element Model Version 44. XX*, 12/08/2004.
- [5] Peter Bacopoulos, Yuji Funakoshi, Scott C. Hagen, Andrew T. Cox c, Vincent J. Cardone; The role of meteorological forcing on the St. Johns River (Northeastern Florida), *Journal of Hydrology*, 369, pp 55–70

Using ADCIRD model for simulation of storm surge in coastal and estuaries of Hai Phong during typhoon Damrey 2005

Nguyen Xuan Hien¹, Pham Van Tien¹, Duong Ngoc Tien¹, Dinh Van Uu²

¹Center for Marine and Ocean-atmosphere interaction research, Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, 23/62 Nguyen Chi Thanh, Hanoi, Vietnam

²Marine Dynamics and Environment Center, College of Science, VNU
334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

Storm surge is a dangerous natural phenomena, causing losses of human life and serious property damages as well as in the world. The main factors which affect the height of storm surge are the bathymetry and line shore, the forward speed of the cyclone, the intensity of the cyclone, tides and waves. By using ADCIRC model (Advanced Circulation Model for Oceanic, Coastal, and Estuarine Waters), this study presents some results of storm surge during Typhoon Damrey 2005. The results showed that there were correspondence between calculated and observed data.

Keywords: storm surge, ADCIRC model, typhoon Damrey, Hai Phong.