

MỘT SỐ KINH NGHIỆM TRONG TÍNH TOÁN BỒI LẮNG VÙNG CỬA SÔNG

TS. Trần Thục
Viện Khí tượng Thủy văn

Mô hình tính vận chuyển bùn cát và bồi lấp được xây dựng dựa trên phương trình khuếch tán ba chiều. Tác động của dòng triều và ảnh hưởng của sóng đến sự vận chuyển bùn cát và bồi xói đã được xét đến trong mô hình. Mô hình dòng triều bình quân theo độ sâu được dùng để tính dòng triều. Mô hình sóng nước nông được dùng để tính trường sóng. Tài liệu thực đo về mực nước triều, dòng triều, nồng độ bùn cát, và tốc độ bồi lấp được dùng để kiểm nghiệm mô hình. Kết quả tính toán rất phù hợp với tài liệu thực đo. Qua tính toán, một số kinh nghiệm được rút ra như sau: (1) bùn và cát cần được xét riêng trong tính toán vận chuyển bùn cát và bồi lấp vùng cửa sông; (2) sóng có tác động lớn đến sự phân bố bùn cát và quá trình bồi lấp, dưới tác động của sóng, lượng bùn cát sát đáy trở thành lơ lửng và được dòng triều mang đi bồi lấp vào luồng giao thông thủy.

Cơ sở lý thuyết

Mô hình triều: Hệ phương trình cơ bản của mô hình hai chiều bình quân theo độ sâu gồm phương trình liên tục và phương trình động lượng theo phương x và y [2].

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho h} \tau_{bx} + \frac{1}{\rho h} \tau_{wx} - f v - \frac{1}{\rho h} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h D_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{\rho h} \tau_{by} + \frac{1}{\rho h} \tau_{wy} + f u - \frac{1}{\rho h} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(h D_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] = 0 \quad (3)$$

trong đó: u, v = vận tốc bình quân theo độ sâu theo phương x và phương y; η = mực nước; h = độ sâu; f = hệ số Coriolis; τ_{wx}, τ_{wy} = ứng suất mặt do gió; $D_{xx}, D_{yy}, D_{xy}, D_{yx}$ = hệ số khuếch tán; τ_{bx}, τ_{by} = ứng suất đáy theo phương x và y được tính theo công thức Chezy:

$$\tau_{bx} = \rho f_r u (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}, \quad \tau_{by} = \rho f_r v (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}, \quad f_r = \left(\frac{g}{C^2} \right) \quad (4)$$

Sơ đồ sai phân trung tâm và phương pháp luân hướng (ADI) được dùng trong tính toán. Tại biên kín, vận tốc thẳng góc với biên bằng không. Tại biên hở, mực nước được cho sẵn.

Mô hình sóng: Mô hình RCPWAVE xây dựng bởi Trung tâm Nghiên cứu kỹ thuật ven bờ của Mỹ được dùng để tính trường sóng. Mô hình được dựa trên phương trình độ dốc bé, kết hợp giữa khúc xạ và nhiễu xạ như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(c c_g \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(c c_g \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \sigma^2 \frac{c_g}{c} \phi = 0 \quad (5)$$

trong đó: $c(x,y)$ = tốc độ truyền sóng, σ = tần số góc sóng, c_g = tốc độ nhóm sóng, $\Phi(x,y)$ = hàm thế phức vận tốc.

Mô hình vận chuyển bùn cát: Phương trình vận chuyển bùn cát ba chiều được tích phân cho mỗi lớp theo chiều thẳng đứng, ta nhận được phương trình vận chuyển bùn cát hai chiều đa lớp như sau:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(h_k c_k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h_k u_k c_k) + \frac{\partial}{\partial y}(h_k v_k c_k) + (w - w_s) [c_{k-1/2} - c_{k+1/2}] - \frac{\partial}{\partial x}(D_x h_k \frac{\partial c}{\partial x}) \\ - \frac{\partial}{\partial y}(D_y h_k \frac{\partial c}{\partial y}) - \left[D_z \frac{\partial c}{\partial z} \Big|_{k-1/2} - D_z \frac{\partial c}{\partial z} \Big|_{k+1/2} \right] + \lambda c_k + S_k = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

trong đó: k = chỉ số lớp; c_k = nồng độ bùn cát bình quân trong lớp k ; h_k = độ dày của lớp; u_k, v_k, w_k = vận tốc bình quân trong lớp; D_x, D_y, D_z = hệ số khuếch tán; w_s = tốc độ lắng chìm; λ = hệ số phân rã; S_k = nguồn phát/nguồn thu trong lớp k .

1) Vận tốc cục bộ: Vận tốc cục bộ $u(x,y,z)$, $v(x,y,z)$ theo phương ngang được biểu diễn theo phương trình sau [7]:

$$u = \frac{U}{\left[\frac{z_0}{h} - 1 + \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) \right]} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), \quad v = \frac{V}{\left[\frac{z_0}{h} - 1 + \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) \right]} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (7)$$

trong đó: z_0 = khoảng cách tính từ đáy của điểm có vận tốc bằng không; U, V = vận tốc bình quân theo độ sâu được tính từ mô hình triều.

Vận tốc cục bộ theo phương thẳng đứng, $w(x,y,z)$, được tính theo phương trình cân bằng khối lượng như sau [6]:

$$\frac{\partial h_k u_k}{\partial x} + \frac{\partial h_k v_k}{\partial y} + \frac{\partial h_k w_k}{\partial z} = 0, \quad \text{hay: } w_{k+1/2} = w_{k-1/2} + \frac{\partial h_k u_k}{\partial x} + \frac{\partial h_k v_k}{\partial y} \quad (8)$$

trong đó: $w_{k+1/2}$ = vận tốc theo phương thẳng đứng tại mặt phân cách của lớp k và $k+1$.

2) Xói: Lưu lượng xói vật chất từ đáy, E , là tổng của bùn và cát. Lưu lượng xói cát, E_s , được tính theo [7] và lưu lượng xói bùn, E_m , được tính theo [3] như sau.

$$E_s = - \left(D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)_{z=a} = w_s c_a = 0,015 w_s \frac{d_{50}}{a} \frac{T^{1,5}}{D_*^{0,3}}; \quad E_m = M \left(\frac{\tau_{cw}}{\tau_c} - 1 \right) \quad (9)$$

trong đó: τ_{cw} = ứng suất đáy hiệu quả dưới tác động tương hỗ giữa sóng và dòng chảy; τ_c = ứng suất tới hạn xói bùn; M = hệ số; a = cao độ tham khảo bên trên đáy; c_a = nồng độ cát tại biên đáy; T = tham số ứng suất đáy; D_z = hệ số khuếch tán tại cao độ tham khảo; D_* = tham số hạt.

3) Bồi lắng: Lưu lượng bồi lắng là tích của nồng độ bùn cát sát đáy và tốc độ lắng chìm. Tuy nhiên, mô hình chỉ tính nồng độ bình quân theo lớp mà không tính được nồng độ sát đáy, công thức thực nghiệm [4] được dùng để tính nồng độ sát đáy dựa trên nồng độ của lớp sát đáy như sau:

$$D = \beta w_s c_{kmax} \quad (10)$$

trong đó: c_{kmax} = nồng độ bình quân của lớp sát đáy, β = hệ số hiệu chỉnh.

4) Hệ số khuếch tán: Hệ số khuếch tán theo phương đứng, D_z , bao gồm hệ số khuếch tán liên quan đến dòng chảy, $D_{z,c}$, và liên quan đến sóng, $D_{z,w}$, [7]:

$$D_z = [D_{z,c}^2 + D_{z,w}^2]^{0.5} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} D_{z,c} &= D_{z,c,max} = 0.25\beta_1 \kappa u_{*c} h & \text{khi } \frac{z}{h} \geq 0.5 \\ D_{z,c} &= D_{z,c,max} \frac{4}{h} z \left[1 - \frac{z}{h} \right] & \text{khi } \frac{z}{h} < 0.5 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} D_{z,w} &= D_{z,w,bed} = 0.004 D^* \alpha_{br} \delta_s U_\delta & \text{khi } z \leq \delta_s \\ D_{z,w} &= D_{z,w,max} = 0.035 \alpha_{br} h \frac{H_s}{T_s} & \text{khi } z \geq 0.5h \\ D_{z,w} &= D_{z,w,bed} + (D_{z,w,max} - D_{z,w,bed}) \left[\frac{z - \delta_s}{0.5h - \delta_s} \right] & \text{khi } \delta_s < z < 0.5h \end{aligned} \quad (13)$$

trong đó: $D_{z,c,max}$ = hệ số khuếch tán liên quan đến dòng chảy tại nửa trên của độ sâu; u_{*c} = vận tốc động lực; β_1 = hệ số tỷ lệ của bùn cát và nước; κ = hằng số von Karman; $D_{z,w,bed}$, $D_{z,w,max}$ = hệ số khuếch tán liên quan đến sóng tại sát đáy và tại nửa trên của độ sâu; α_{br} = hệ số sóng vỡ; δ_s = độ dày của lớp biên sát đáy.

Hệ số khuếch tán theo phương ngang, D_x and D_y , được giả thiết tuân theo “luật bốn phần ba”. Đối với vùng biển D_x được tính như sau [5]:

$$D_x = 0.01 L^{4/3} \quad (14)$$

trong đó: L = kích thước trung bình của xoáy tham gia quá trình khuếch tán.

5) Tốc độ lắng chìm: Tốc độ lắng chìm được tính riêng cho cát [7] và bùn [2].

Sơ đồ sai phân trung tâm và phương pháp luân hướng (ADI) được dùng trong tính toán. Nồng độ ban đầu bằng không tại tất cả các điểm. Vận tốc và mực nước được tính từ mô hình triều. Sóng được tính từ mô hình sóng. Tại biên vào, phân bố nồng độ được xác định. Tại biên ra đạo hàm thẳng góc với biên bằng không.

Mô hình hình thái: Sự thay đổi của đáy được tính theo phương trình cân bằng khối lượng bùn cát tích phân theo độ sâu như sau [7]:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{(1-p)} \left[\frac{\partial}{\partial t} (h c_2) + \frac{\partial}{\partial x} (s_x) + \frac{\partial}{\partial y} (s_y) \right] = 0 \quad (15)$$

trong đó: s_x = lưu lượng bùn cát theo phương $x = s_{s,x} + s_{b,x}$; $s_{s,x}$ = lưu lượng bùn cát lơ lửng; $s_{b,x}$ = lưu lượng bùn cát đáy; c_2 = nồng độ bình quân theo độ sâu.

Sơ đồ sai phân Lax [1] được dùng trong tính toán. Sau mỗi bước thời gian, cao độ đáy được tính lại dựa trên kết quả của bước tính trước và lưu lượng cát bùn.

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = \frac{z_{i,j}^{n+1} - \frac{\alpha_x}{4} (z_{i+1,j}^n + z_{i-1,j}^n) + \frac{\alpha_y}{4} (z_{i,j+1}^n + z_{i,j-1}^n) + \left(1 - \frac{\alpha_x}{2} - \frac{\alpha_y}{2} \right) z_{i,j}^n}{\Delta t_m} \quad (16)$$

trong đó: Δt_m = bước thời gian trong mô hình hình thái; z_b = cao độ đáy; α_x, α_y = trọng số.

Tại biên vào, đáy được giữ không đổi. Tại biên ra, đáy được tính theo điều kiện thủy lực và lưu lượng cát bùn theo sơ đồ hiện. Điều kiện ban đầu của đáy được dựa trên tài liệu bình đồ thực đo.

Kiểm nghiệm mô hình

Mô hình được áp dụng để tính vận chuyển bùn cát và bồi lấp vùng cửa sông và luồng giao thông thủy vào cảng Bangkok. Tài liệu thực đo về mực nước triều, vận tốc dòng chảy, nồng độ bùn cát và lượng bồi lấp hàng năm trên luồng giao thông thủy vào cảng được dùng để kiểm nghiệm mô hình.

Mô hình dòng triều: Số liệu thực đo về mực nước, vận tốc và hướng chảy được dùng để kiểm nghiệm mô hình triều. Kết quả tính toán rất phù hợp với số liệu thực đo cả về độ lớn cũng như hướng chảy như được trình bày trong Hình 1.

Mô hình vận chuyển bùn cát: Số liệu thực đo về nồng độ bùn cát được dùng để kiểm nghiệm mô hình vận chuyển cát bùn. Kết quả tính toán rất phù hợp với số liệu thực đo như được trình bày trong Hình 1. ảnh vệ tinh cũng được dùng để so sánh với kết quả tính toán sự phân bố nồng độ bùn cát trong khu vực nghiên cứu.

Mô hình hình thái: Lượng bùn cát nạo vét hàng năm từ luồng giao thông thủy được dùng để kiểm nghiệm mô hình hình thái. Hình 2 trình bày sự so sánh giữa kết quả tính toán với số liệu thực đo bình quân nhiều năm (1981-1985) và số liệu thực đo năm 1993. Có thể nhận thấy kết quả tính toán rất phù hợp với số liệu thực đo.

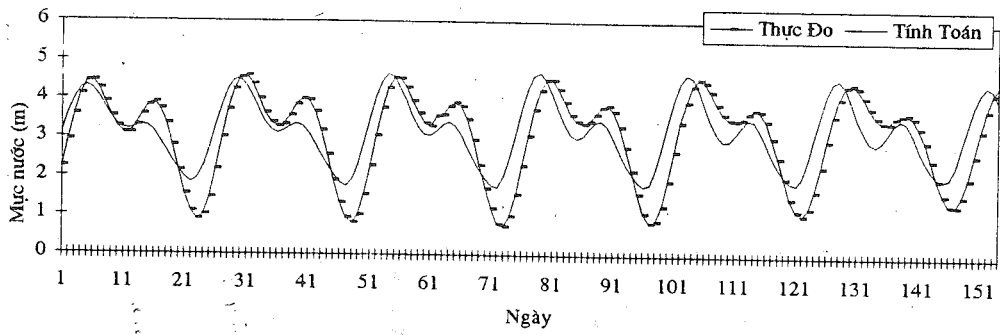
Kết luận

Qua kết quả tính toán và kiểm nghiệm mô hình, có thể rút ra được những kết luận sau đây:

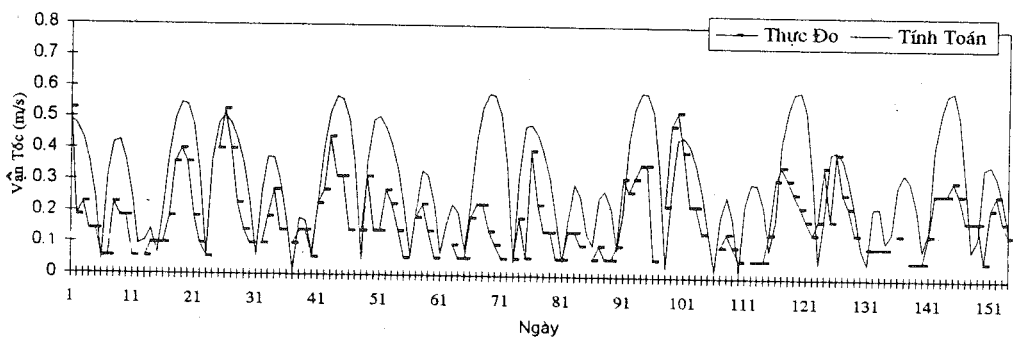
- Mô hình hai chiều đa lớp có thể được áp dụng thành công để tính toán sự vận chuyển bùn cát và bồi lắng ở vùng cửa sông.
- Bùn thông thường chiếm một tỷ lệ khá lớn ở một số cảng. Cho nên bùn và cát cần được xét riêng trong tính toán vận chuyển bùn cát và bồi lấp vùng cửa sông.
- Sóng có tác động lớn đến sự phân bố bùn cát và quá trình bồi lấp luồng giao thông thủy vùng cửa sông. Dưới tác động của sóng, lượng bùn cát sát đáy trở thành lơ lửng và được dòng triều mang đi bồi lấp vào luồng giao thông thủy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

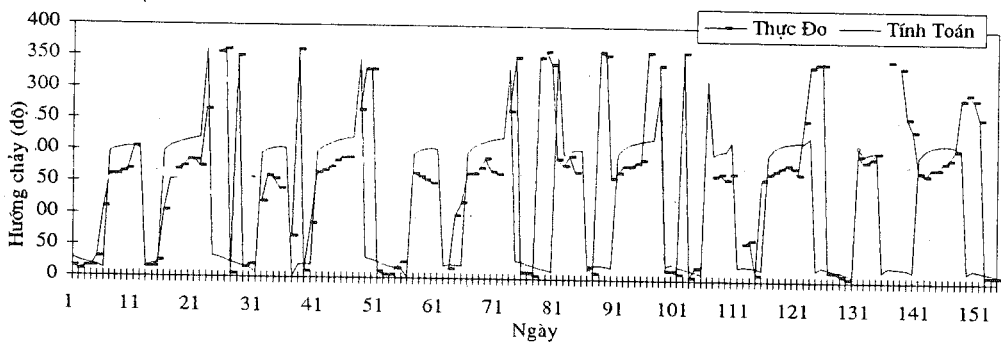
1. DE VRIES, M. (1981), Morphological Computation, Lecture Notes f10a Dept. of Civil Eng., Delft University of Technology, the Netherlands.
2. LEENDERTSE, J. J. (1967), Aspects of a Computational Model for Long-Period Water-Wave Propagation, *Rand. Corp. Mem.*, RM-5294-PR, Santa Monica, U.S.A.
3. PARTHENIADES, E. (1965), Erosion and Deposition of Cohesive Solids, *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, Vol. 91, No.1, pp. 105-139.
4. SHENG, Y.P. and LICK, W. (1979), The Transport and Resuspension of Sediments in a Shallow Lake, *J. Geophys. Res.*, Vol.84, pp. 1809-1826.
5. SHUTO, N. (1982), Diffusion Process, *Lecture Note*, Prepared for the Seminar on Tidal Hydraulics and Salinity Intrusion, Ho Chi Minh City, Vietnam.
6. TSURUYA, H., MURAKAMI, K., and IRIE I. (1990), Mathematical Modeling of Mud Transport in ports with Multi-Layer Model - Application to Kumamoto Port, *Report of the Port and Harbour Research Institute*, Vol. 29, No.1, Japan.
7. VAN RIJN, L. C. (1986), Mathematical Modeling of Suspended Sediment in Non-uniform Flow, *Journal of Hydraulic Division*, Vol.112, HY, pp. 433-455.



a) Mức nước

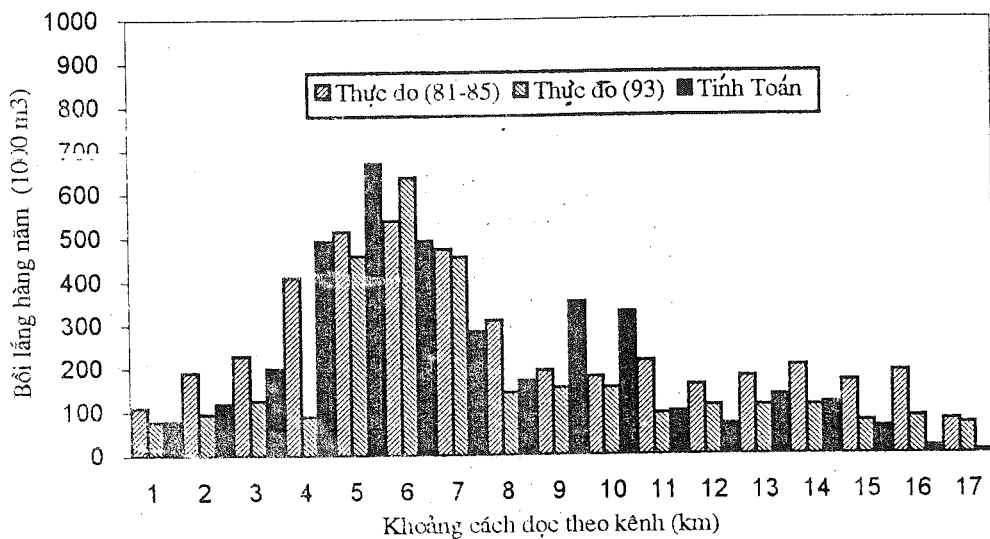


b) Vận tốc

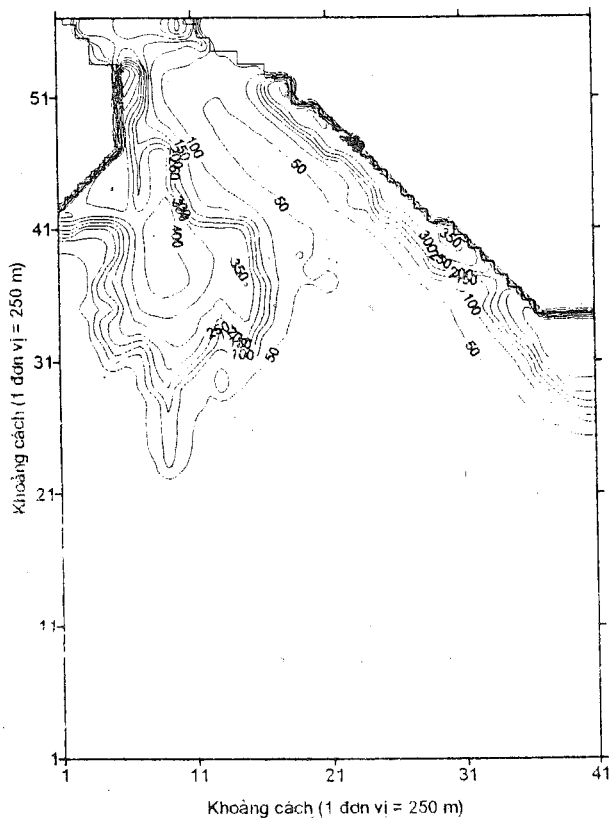


c) Hướng chảy

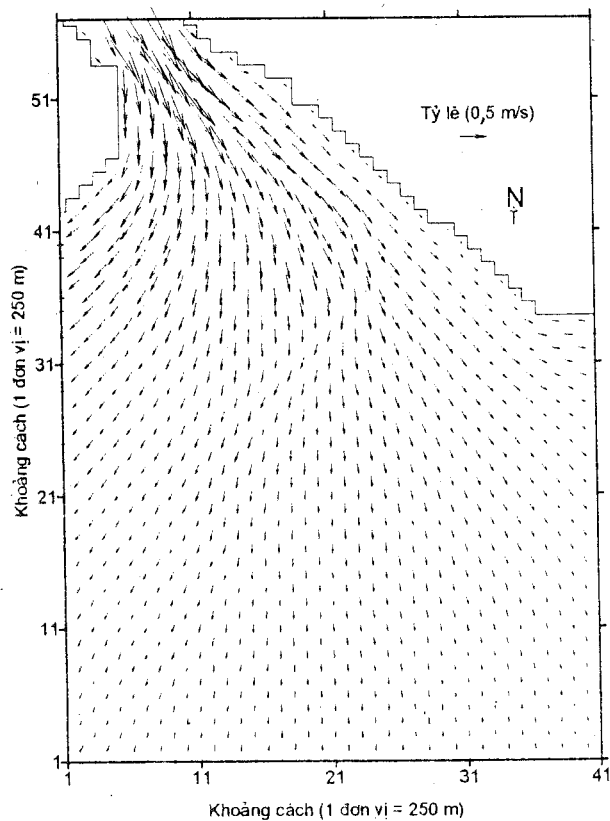
Hình 1: So sánh giữa giá trị tính toán và thực đo của mực nước, vận tốc, và hướng chảy



Hình 2: So sánh giữa tính toán và thực đo của lượng bùn cát bồi lắng trong kênh giao thông thủy



Hình 3: Phân bố nồng độ bùn cát trong vịnh



Hình 4: Phân bố dòng triều trong vịnh