

TÍNH TOÁN DÒNG BÙN CÁT VÀ DIỄN BIẾN ĐÁY CHO ĐOẠN SÔNG TÂN CHÂU

Nguyễn Thị Bả

Trường Đại học Bách Khoa, Đại Học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh

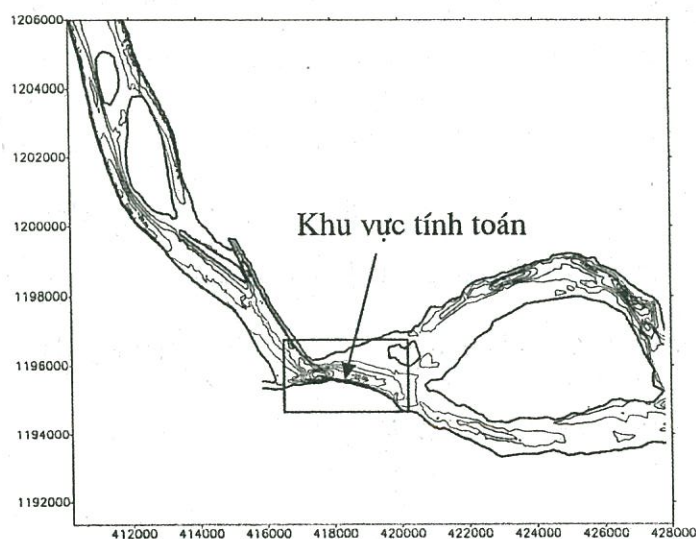
(Bài nhận ngày 24 tháng 7 năm 2003, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 22 tháng 09 năm 2003)

TÓM TẮT: Trong bài báo, dòng chảy, dòng bùn cát và diễn biến đáy đoạn sông Tân Châu được mô phỏng bằng mô hình dòng chảy hai chiều dựa trên hệ phương trình chuyển động và liên tục, kết hợp với mô hình chuyển tải bùn cát và phương trình liên tục các hạt vật chất đáy. Các phương trình được giải trong tọa độ cong, phù hợp với khu vực tính toán.

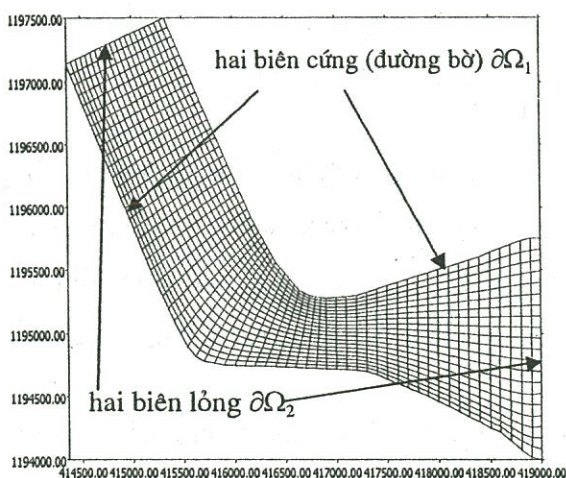
GIỚI THIỆU KHU VỰC TÍNH TOÁN:

Cơ cấu dòng chảy và dòng bùn cát trong đoạn sông cong phức tạp hơn nhiều so với dòng chảy ở những đoạn thẳng. Một mặt, các hạt vật chất chuyển động trong đoạn kênh cong không những chỉ chuyển động dọc theo sông theo dòng chảy chính mà còn chuyển động theo dòng thứ cấp, xảy ra ở đoạn uốn cong. Mặt khác, sự không ổn định của dòng chảy trên đoạn cong ảnh hưởng đến cơ cấu của trường vận tốc dòng chảy, và chính nguyên nhân này gây ra sự chuyển động và phân bố lại của các hạt vật chất. Dòng chuyển tải bùn cát được nghiên cứu bởi nhiều tác giả: Shukry (1950)[2], Rozovski (1957)[2], Yen (1965)[3]...Tuy nhiên, vấn đề này vẫn còn nhiều điều chưa rõ và còn đang được nghiên cứu.

Thị trấn Tân Châu ở hữu ngạn sông Tiền, nằm giữa hai con kênh lớn là kênh Xáng đi Châu Đốc và kênh Vĩnh An. Đoạn bờ sông phía thị trấn Tân Châu tương đối thẳng, trong khi đó bờ trái có dạng đường cong với bán kính khoảng 1,75km. Chiều rộng lòng sông tại khu vực này bị thu hẹp mạnh với chiều rộng khoảng 450m trong khi đó chiều rộng sông trước khi chảy qua thị trấn là 1000m và sau khi chảy qua là 1500m. Đoạn này có địa hình rất phức tạp, dòng chảy qua đây bị gấp khúc như một khuỷu tay (Hình 1), và tại khu vực bờ lõm, đáy và bờ bị xói



H.1 Địa hình khu vực tính toán đoạn sông Tân Châu



H. 2 Lưới tính toán (khu vực Ω với các đường $\partial\Omega$ dùng để tính) của đoạn sông Tân Châu

manh. Tác giả tiến hành tính toán trên khu vực này.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA MÔ HÌNH

Sơ lược về hệ tọa độ cong

Sự hiện hữu của vùng bờ có địa hình phức tạp là một trong những nguyên nhân gây khó khăn khi giải các bài toán dòng chảy, nhất là ở vùng biên, và phương pháp giải rộng rãi là chia vùng bờ thành những đoạn nhỏ song song với trục tọa độ Descartes (x,y). Điểm yếu của phương pháp này là lời giải sai nhiều ở vùng ven bờ. Để tăng độ chính xác khi tính các bài toán biên trong một khu vực bất kỳ, ta có thể chuyển sang tọa độ cong (ξ, η), biến vùng vật lý thực tế sang một vùng đơn giản hơn, và các phép tính được thực hiện trên vùng này. Sử dụng phương pháp tính này hầu như rất hiệu quả khi giải các bài toán trong các vùng có địa hình phức tạp (Thompson, Warsi, and Martin, 1985 [5], (Voltzinger, Klevanny, and Plinovski, 1989 [7])). Trong bài này, lưới được xây dựng dựa trên cơ sở lời giải hệ phương trình Poisson::

$$\Delta^2 \xi = P(\xi, \eta); \quad \Delta^2 \eta = Q(\xi, \eta) \quad (1)$$

P,Q- hàm số điều khiển lưới (Thompson, 1982) [4].

Lời giải có dạng như sau: $L(r) = g_{22}r_{\xi\xi} - 2g_{12}r_{\xi\eta} - g_{11}r_{\eta\eta} = -J^2(Pr_{\xi} + Qr_{\eta})$ (2)

J- Ma trận Jacobian: $J = x_{\xi}x_{\eta} + y_{\xi}y_{\eta}; \quad 0 \neq J < \infty$

$$r = xi + yj; \quad g_{22} = x_{\eta}^2 + y_{\eta}^2 = |r_{\eta}|^2; \quad (3)$$

$$g_{12} = x_{\xi}x_{\eta} + y_{\xi}y_{\eta} = r_{\xi}r_{\eta}; \quad g_{11} = x_{\xi}^2 + y_{\xi}^2 = |r_{\xi}|^2$$

Các phương trình trong tọa độ vuông góc

- *Phương trình liên tục* $\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(h + \zeta)u] + \frac{\partial}{\partial y} [(h + \zeta)v] = 0$ (4)

- *Phương trình chuyển động:*

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + k \frac{u(\sqrt{u^2 + v^2})}{h + \zeta} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + k \frac{v(\sqrt{u^2 + v^2})}{h + \zeta} = 0 \quad (6)$$

ζ - mực nước, h - chiều sâu, g - gia tốc trọng trường

u, v - hai thành phần vận tốc trong tọa độ vuông góc, k - hệ số ma sát đáy,

$x, y \in \Omega, \Omega$ - vùng thực tế tính toán với các đường tính $\partial\Omega$.

Trên biên cứng của đường bờ $\partial\Omega_1$ ta có điều kiện về vận tốc: $v_n|_{\partial\Omega_1} = 0$

Với v_n là vận tốc dòng chảy vuông góc với đường bờ $\partial\Omega_1$.

Trên biên lỏng của đường $\partial\Omega_2$ ta cho dao động mực nước ζ

(Xem minh hoạ trên Hình 2)

• **Phương trình chuyển tải bùn cát**

Bùn cát được giả định trong lòng sông chia thành hai lớp: lớp bùn đáy nằm ở độ sâu $(-h < z < -h+a)$ và lớp lơ lửng phía trên nằm ở độ sâu $(-h+a < z < \zeta)$. Với “a” là bề dày lớp bùn cát đáy $(a=0.01H)$ [6].

Phương trình chuyển tải bùn cát, sau khi tích phân theo chiều sâu có dạng như sau:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \gamma_v \left(u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \right) = \frac{E}{H} + K_\Gamma \nabla^2 C \quad (7)$$

trong đó C - nồng độ bùn cát trung bình theo chiều sâu,

ω_s - tốc độ lắng của hạt,

K_Γ - hệ số truyền tải rối ngang,

E - hàm số nguồn, mô tả sự bốc lên hay lắng xuống của hạt (Van Rijn) [4]:

$$E = \omega_s (C_{ac} - C_a) \quad (8)$$

C_{ac} - nồng độ bão hòa tại độ sâu $-h+a$ tính thực nghiệm theo Van Rijn [4]

C_a - nồng độ thực tại độ sâu $-h+a$: $C_a = \gamma_c C$.

γ_c, γ_v - lần lượt là hệ số phân bố nồng độ và vận tốc theo chiều sâu, tính theo hàm thực nghiệm đa thức theo các thông số lơ lửng [6]

• **Phương trình liên tục các vật chất đáy**

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\varepsilon} [E + K_\Gamma H \nabla^2 C + \nabla q_b] \quad (9)$$

ε - độ rỗng của hạt; q_b — dòng bùn cát đáy, tính thực nghiệm theo Van Rijn [4].

Các phương trình trong toạ độ cong

• **Hệ phương trình liên tục và chuyển động:**

$$\begin{cases} p_\tau + gHJ^{-1}(g_{22}\zeta_\xi - g_{12}\zeta_\eta) = \Psi_1 \\ q_\tau + gHJ^{-1}(g_{11}\zeta_\eta - g_{12}\zeta_\xi) = \Psi_2 \\ JH_\tau + p_\xi + q_\eta = 0 \end{cases} \quad (10)$$

$p = JUH$; $q = JVH$; $H = h + \zeta$

U, V - Thành phần phản biến trong toạ độ cong của vận tốc

$$U = J^{-1}(uy_\eta - vx_\eta), \quad V = J^{-1}(-vy_\xi - vx_\xi) \quad (11)$$

$$\Psi_1 = \Psi_{a1} + \Psi_{t1}; \quad \Psi_2 = \Psi_{a2} + \Psi_{t2} \quad (12)$$

Ψ_{a1}, Ψ_{a2} - Thành phần bình lưu trong toạ độ cong

Ψ_{t1}, Ψ_{t2} - Thành phần ma sát trong toạ độ cong

$$\Psi_{a1} = -[(pU)_\xi + (pV)_\eta + JH(U^2\Gamma_{11}^1 + 2UV\Gamma_{12}^1 + V^2\Gamma_{22}^1)]; \quad (12a)$$

$$\Psi_{a2} = -\left[(qU)_{\xi} + (qV)_{\eta} + JH \left(U^2 \Gamma_{11}^2 + 2UV \Gamma_{12}^2 + V^2 \Gamma_{22}^2 \right) \right]; \quad (12b)$$

$$\Psi_{t1} = -\frac{K}{H} |v| p; \quad \Psi_{t2} = -\frac{K}{H} |v| q; \quad (12c)$$

$$\Gamma_{i,j}^k - \text{ký hiệu Christoffel II}, \quad \Gamma_{i,j}^k = \frac{\partial e_i}{\partial \xi^j} e^k \quad (13)$$

e_1, e_2 - các véc-tơ cơ sở trong tọa độ cong ξ, η . e^1, e^2 - phản biến của véc-tơ e .

Điều kiện biên trên $\partial\Omega_1$: $p=0$ tại $\xi=\text{const}$; $q=0$ tại $\eta=\text{const}$

Điều kiện biên trên $\partial\Omega_2$: dao động mực nước ζ .

- **Phương trình chuyển tải bùn cát trong tọa độ cong:**

$$\begin{aligned} C_t + J^{-1} H^{-1} \gamma_v (p C_{\xi} + q C_{\eta}) = \\ = E H^{-1} + K_{\Gamma} J^{-1} \left[(\gamma_0 C_{\xi} - \beta_0 C_{\eta})_{\xi} + (\alpha_0 C_{\eta} - \beta_0 C_{\xi})_{\eta} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

$$\gamma_0 = J^{-1} g_{22}; \quad \beta_0 = J^{-1} g_{12}; \quad \alpha_0 = J^{-1} g_{11}$$

Điều kiện biên trên đường bờ $\partial\Omega_1$:

$$C_{\xi} = \frac{g_{12}}{g_{22}} C_{\eta} \quad \text{khi } \xi = \text{const} \quad \text{hay} \quad C_{\eta} = \frac{g_{12}}{g_{11}} C_{\xi} \quad \text{khi } \eta = \text{const}$$

Điều kiện trên biên lóng $\partial\Omega_2$: $C=C_p$ với C là nồng độ trên biên lóng

- **Phương trình liên tục vật chất đáy trong tọa độ cong ξ, η :**

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\varepsilon} \left[E + K_{\Gamma} H \nabla^2 C + J^{-1} \left[(Q_b^1)_{\xi} + (Q_b^2)_{\eta} \right] \right] \quad (15)$$

$Q_b^1; Q_b^2$ - hai thành phần của dòng bùn cát đáy trong tọa độ cong ξ, η .

SƠ ĐỒ SỐ CỦA MÔ HÌNH

Hệ phương trình (10,14,15) được tích phân bằng phương pháp sai phân luân hướng, sơ đồ C-Arakov trên lưới chữ nhật Ω^* , là ảnh của lưới tính toán. Phương pháp được hiện thực hoá nhờ giải thuật truy đuổi cho một biến trên mỗi nửa bước thời gian, hai biến còn lại giải theo sơ đồ hiện. Sơ đồ trên rất ổn định nếu thành phần phi tuyến có thể bỏ qua. Trong trường hợp ngược lại, độ ổn định của sơ đồ bị giới hạn như sau [1,3]:

$$\begin{aligned} p \leq CH \sqrt{g_{22}}; q \leq CH \sqrt{g_{11}}; \\ \left(C = \sqrt{gH} \right); \quad \text{hay} \quad \Delta t < \min \frac{JH}{\Omega^* p+q} \end{aligned} \quad (16)$$

Sơ đồ đòi hỏi phải làm nhẵn để nén những dao động cao sau mỗi bước thời gian bằng cách đưa vào vế phải của phương trình hệ số nhót nhân tạo:

$$q = q^* + v \delta_{\xi}^2 q^*; \quad v > 0 \quad (17)$$

trong đó: q^* - giá trị sau mỗi bước thời gian; v - hệ số nhót nhân tạo.

δ_{ξ}^2 - sai phân gần đúng của toán tử Laplace.

CÁC KẾT QUẢ TÍNH TOÁN CHO ĐOẠN SÔNG TÂN CHÂU

Mô hình được áp dụng tính cho đoạn sông Tân Châu. Trên Hình 2 biểu diễn lưới tính toán. Bước không gian từ 20 m đến 80m. Bước thời gian $\Delta t=3s$. Trình tự được tính toán theo thứ tự sau đây: Thoạt đầu mô hình dòng chảy được thực hiện cho khu vực tính toán với trường vận tốc ban đầu bằng không cho đến khi toàn bộ khu vực dao động ổn định. Sau đó mô hình chuyển tải được kết hợp vào để tính nồng độ và dòng bùn cát sau mỗi nửa bước thời gian, và diễn biến đáy sau một bước thời gian. Mô hình kết hợp được tính trong thời gian 5 ngày. Do tính phức tạp của bài toán, và do sự biến thiên độ sâu không lớn lắm sau mỗi bước thời gian, nên trong thời gian 1 giờ tính toán trên mô hình, độ sâu lòng dẫn (dùng cho tính toán của mô hình dòng chảy) xem như không đổi. Độ sâu lòng dẫn sẽ được hiệu chỉnh lại sau mỗi giờ cho cả hai mô hình. Sau đó vận tốc biểu diễn dưới dạng véc tơ (Hình 3). Nồng độ được vẽ lên bằng các đường đồng mức (Hình 4). Còn trên Hình 5 vẽ các kết quả về biến đổi đáy (các đường đồng mức dh). Trong đó khu vực màu tối ($dh<0$) là khu vực bị xói; còn khu vực màu sáng ($dh>0$) là khu vực bồi, đường liền nét là đường có $dh=0$.

KẾT QUẢ

Hình 3 cho thấy trường vận tốc phân bố không đều trên đoạn cong sông, giá trị vận tốc đạt đến lớn nhất ở bờ lõm và giữa dòng cũng ngay khu vực đó, lớn hơn 3 m/s.

Trên Hình 4 là các đường đồng mức nồng độ. Dòng bùn cát tập trung trong lòng dẫn và sát khu vực bờ lõm nơi xảy ra xói lở, với nồng độ bùn cát lớn. Trên hình tại khu vực bờ lõm của sông, giá trị nồng độ rất lớn (hơn 1g/lít). Kết hợp với hình 5, ta nhận thấy tại đây xảy ra sự xói đáy mạnh, tạo thành một hố xói cục bộ sát bờ lõm, là nguyên nhân gây sạt lở bờ nghiêm trọng (tốc độ xói đáy đạt đến 0,02m/ngày đêm). Bên cạnh đó ở giữa dòng về phía trên cũng có hiện tượng xói đáy, nhưng không nguy hiểm cho bờ vì khu vực này ở giữa dòng chảy. Các hình ảnh nhận được tuy không có số liệu thực đo để so sánh nhưng phù hợp khu vực bị xói trên thực tế.

KẾT LUẬN

Mô hình này đã được tác giả áp dụng tính toán dòng phù sa và diễn biến đáy trên đoạn sông Lũy (Phan thiết). Các kết quả tính toán trên đoạn sông nhận được trên cơ sở giả định nồng độ bùn cát tại biên lòng, và không có số liệu thực đo để so sánh. Điều này không ảnh hưởng nhiều đến sai số của kết quả bên trong lưới giải, vì dòng bùn cát trên sông chủ yếu là dòng bùn cát đáy, và mạnh nhất là ở khu vực trọng điểm uốn cong. Hình ảnh nhận được chỉ đánh giá một cách định tính, nhưng phản ánh tối hình ảnh xói lở thực tế (tại khu vực này xảy ra xói lở rất mạnh). Tuy nhiên, nếu có số liệu thực đo để so sánh, thì mô hình mang tính chất thuyết phục hơn.

Lời cảm tạ:

Tác giả xin cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí của đề tài Nghiên Cứu Cơ bản của Nhà nước 2001-2003.

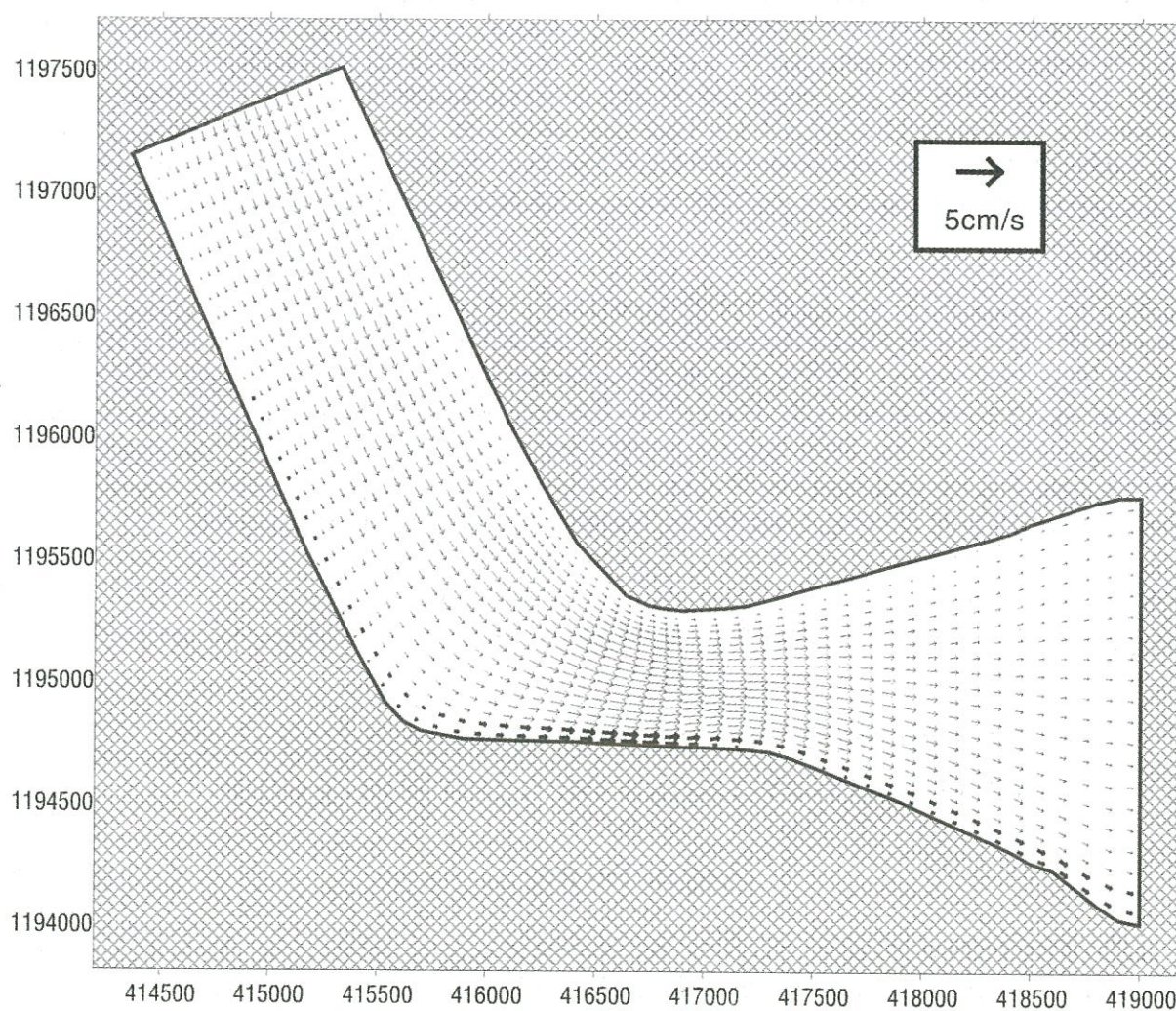
CALCULATION OF THE SEDIMENT TRANSPORTATION AND THE BED CHANGES OF TÂN CHÂU RIVER

Nguyen Thi Bay

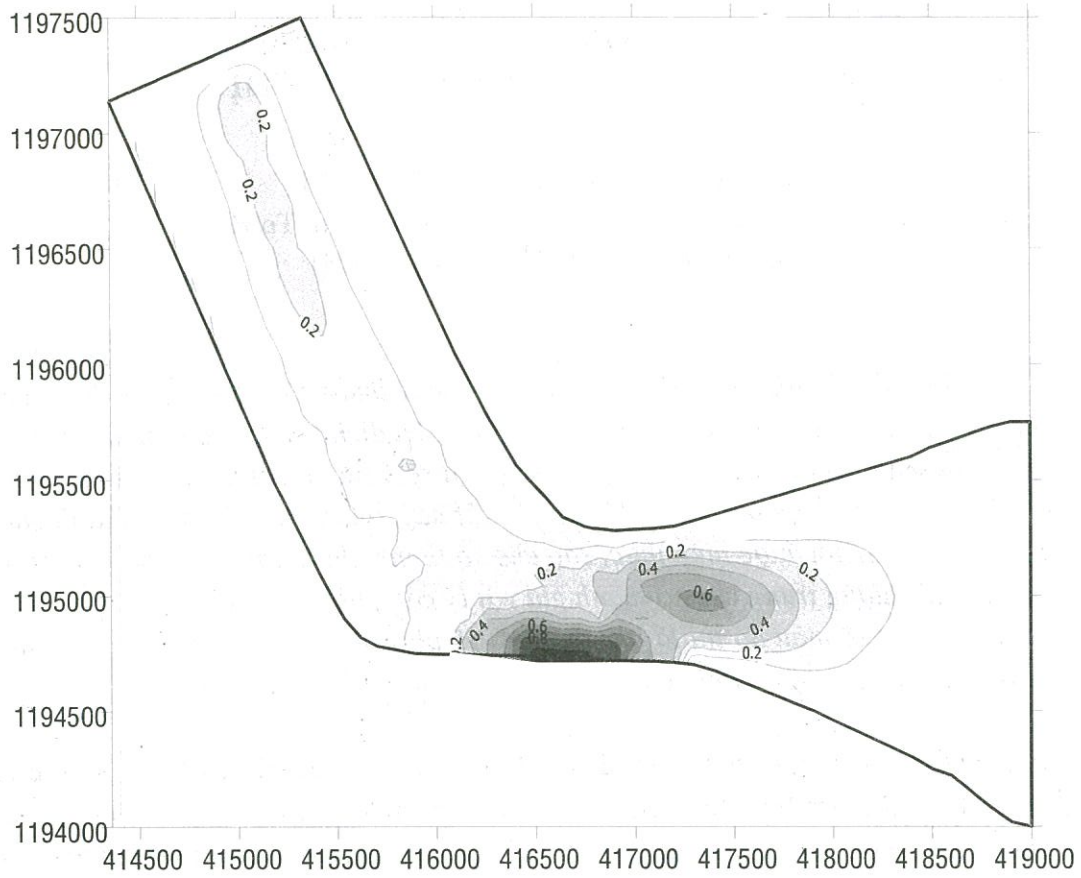
ABSTRACT: *In this paper, the flow, the sediment transportation and the bed changes of Tan Chau river are simulated by the 2-D model. This model based on the depth-averaged continuity equation and momentum equation, is composed with the sediment transportation model to simulate the changes of bed in the river. Numerical solution was obtained through calculation the curvilinear coordinate system adapted to the considered region.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Fletcher K. "The numerical methods in fluid dynamics ", *Mir, Moscow, 1991, (in Russian, translated from English)*.
- [2]. Grisanhin K.B. "Động lực học lòng dẫn", Leningrad, Hydrometeoizdat, 1979, (bằng tiếng Nga).
- [3]. Klevanny K. A., Matveyev G. V.,..." An integrated modelling system for coastal area dynamics", *International Journal for Numerical methods in fluids, Vol.19, p 181-206, 1994.*
- [4]. Thompson J. F. " Numerical grid generation", Amsterdam, North-Holland, 1982.
- [5]. Thompson J. F., Warsi Z. U. A., Martin E. W. " Numerical Grid Generation, Foundations and Applications", Amsterdam, North-Holland, 1985.
- [6]. Van Rijn L. C. " Sediment transport ". Pt.1 Bed load transport, *J. Hydraul. Eng. -1984. Vol.110, N.10. p 1431-1456.*
- [7]. Voltzinger N. E., Klevanny K. A., Plinovski E. H. "Động lực học sóng dài vùng cửa sông", Leningrad, Hydrometeoizdat, 1989, (bằng tiếng Nga).



H.3 Trường vận tốc đoạn sông Tân Châu (m/s)



H. 4 Phân bố nồng độ bùn cát (g/lít) trên đoạn sông Tân Châu



H. 5 Diễn biến đáy đoạn sông Tân Châu sau 5 ngày tính toán, các giá trị dh âm là khu vực bị xói, các giá trị dh dương là khu vực bồi, đường liền nét có ký hiệu 0 là đường giá trị dh=0