

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH 2 CHIỀU TÍNH TOÁN BIẾN DẠNG LÒNG DẪN

TS Nguyễn Hữu Khải, ThS Nguyễn Tiên Giang  
Trường ĐHKHTN - ĐHQGHN

## 1. Đặt vấn đề

Việc nghiên cứu xói lở lòng sông đã được tiến hành ở nhiều nơi trên thế giới. Nhiều phương pháp và mô hình biến dạng lòng sông đã được xây dựng, góp phần giải quyết những bài toán thực tế đặt ra.

Ở trong nước đã sử dụng một số mô hình như HEC-6, MIKE11 để phân tích, tính toán xói lở. Tuy nhiên, các mô hình trên chỉ giải quyết bài toán 1 chiều, chỉ xem xét xói đáy, với giả thiết chiều sâu xói lở như nhau trên toàn mặt ngang, chưa xem xét vận chuyển bùn cát và xói lở không đều theo chiều ngang.

Một số mô hình thủy lực 2 chiều như TELEMAT hay MIKE21 cũng mới chỉ xét ở phạm vi phân bố tốc độ dòng chảy. Gần đây với MIKE 21C, việc tính toán biến dạng lòng dẫn 2 chiều đã được đề cập. Tuy nhiên, do những khó khăn khách quan, việc tiếp nhận MIKE 21C còn gặp nhiều trở ngại.

Cho đến nay, hệ thống sông ngòi Việt Nam bị xói lở theo cả chiều dọc và chiều ngang rất mạnh mẽ, chúng có tác động tương hỗ với nhau. Rất nhiều nơi, sự xói lở theo hướng ngang mới có vai trò quan trọng nhất, bởi vì hai bờ sông là nơi tập trung các điểm dân cư và các cơ sở kinh tế. Trên hệ thống sông Hồng, tình hình xói lở đã diễn ra nghiêm trọng, sau khi hồ chứa Hoà Bình vận hành, quá trình xói lở lại càng nghiêm trọng hơn. Phía sau đập tại thị xã Hoà Bình, các đoạn sông Đà từ Tu Vũ đến Trung Hà cũng thường xuyên xảy ra sạt lở. Đặc biệt, đoạn sông Hồng sau ngã ba Việt Trì, khu vực Tân Đức-Cổ Đô (Ba Vì-Hà Tây) và Trung Hà (Yên Lạc-Vĩnh Phúc) xói lở đã làm mất gần hết đất của cả xã Tân Đức và Trung Hà, gây nhiều thiệt hại và khó khăn cho nhân dân nơi đây. Vì vậy, cần thiết có một mô hình 2 chiều để giải quyết bài toán này. Mô hình biến dạng lòng dẫn 2 chiều trong hệ tọa độ phi tuyến không trực giao (Two-dimensional-River bed Evolution Model- TREM-constructed in the non-orthogonal curvilinear coordinate system) đáp ứng được yêu cầu trên. Mô hình được GS. Norihiro Izumi và ThS. Nguyễn Tiên Giang xây dựng chương trình trên ngôn ngữ Fortran77. Mô hình sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn FCV (Finite Control Volume) với hệ thống tọa độ phi tuyến 2 chiều không trực giao và sơ đồ ẩn. Phân tích toán dòng không ổn định 2 chiều sử dụng kết quả của GS. Toshinobu Nagata (Đại học Tổng hợp Kyoto-Nhật Bản). Kết quả thực hiện mô hình cho các giá trị của độ cao đáy sông, tốc độ hướng dọc và hướng ngang, độ sâu và nồng độ bùn cát tại các điểm nút tương ứng với các thời khoảng tính toán. Sau đó bằng sơ đồ tính ổn định mái dốc trong cơ học đất xác định phạm vi sạt lở bờ ở nơi bị xói mạnh theo hướng ngang.

## 2. Cơ sở lý thuyết của mô hình

### a. Các phương trình cơ bản

#### 1) Phương trình dòng chất lỏng

Hệ phương trình 2 chiều nước nông trong hệ tọa độ Đêcac bao gồm 1 phương trình liên tục và 2 phương trình mômen

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{S} + \frac{\partial}{\partial x} \left( -\overline{u'^2 h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -\overline{u'v' h} \right) \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} - \frac{\tau_{by}}{S} + \frac{\partial}{\partial y} \left( -\overline{v'^2 h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( -\overline{u'v' h} \right) \quad (1.3)$$

Ở đây:

t - thời gian; x, y - tọa độ theo dòng chảy và ngang;

h - độ sâu;  $Z_s$  - mực nước; S - mật độ (trọng lượng riêng);

g - gia tốc trọng trường ( $=9,81\text{m/s}^2$ );

M, N - thành phần vectơ thông lượng dòng chảy;

u, v - thành phần tốc độ trung bình thủy trực hướng x, y;

$\tau_{bx}, \tau_{by}$  - thành phần ứng suất tiếp đáy,

$-\overline{u'^2}, -\overline{u'v'}, -\overline{v'^2}$  - thành phần tenxơ ứng suất Râynon trung bình thủy trực.

$$-\overline{u'^2} = 2D_h \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{2}{3}K \quad (1.4)$$

$$-\overline{u'v'} = D_h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (1.5)$$

$$-\overline{v'^2} = 2D_h \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{2}{3}K \quad (1.6)$$

$$D_h = \alpha hu \quad (1.7)$$

$D_h$  - độ nhớt xoáy; K - năng lượng rơi thủy trực;  $\alpha$  - hằng số;

$u_d$  - lưu tốc ma sát ( $u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ ,  $\tau$  - ứng suất tiếp đáy).

Các phương trình trên được chuyển thành hệ tọa độ phi tuyến không trực giao theo Nagata (2000), tức là hệ tọa độ theo hướng chảy.

## 2) Phương trình liên tục bùn cát

Phương trình liên tục bùn cát 2 chiều cho lớp mở rộng từ đáy đến bề mặt nước trong hệ tọa độ chung được viết:

$$J \frac{\partial(\eta)}{\partial Z} + \frac{1}{1-\lambda} \left[ \frac{\partial(Jq_b^u)}{\partial \psi} + \frac{\partial(Jq_b^v)}{\partial \varphi} + J(E_R - D_R) \right] = 0 \quad (1.8)$$

Đạo hàm ở trên căn cứ vào quan hệ sau:

$$\text{div}q = \frac{1}{J} \frac{\partial(Jq_i)}{\partial \xi_i} \quad (1.9)$$

Trong đó:  $\eta$  - cao trình đáy;  $\psi, \varphi$ : trục tọa độ chung;  $\lambda$  - độ rỗng vật liệu đáy;

J - Jacobian của việc chuyển từ tọa độ Đêcac sang tọa độ phi tuyến không trực giao. Nó được viết như sau:

$$J = \begin{vmatrix} x_\psi & x_\varphi \\ y_\psi & y_\varphi \end{vmatrix} \quad (1.10)$$

Ở đây:  $x_\psi, x_\varphi, y_\psi, y_\varphi$  - các đạo hàm riêng bậc 1 của  $x, y$ .

$q_b^\psi, q_b^\varphi$  - lưu lượng tải cát đáy trên đơn vị độ rộng trong  $\psi$  và  $\varphi$ . Chúng được tính từ sức tải cát đáy theo hướng S (hướng dòng chảy) và hướng n (hướng vuông góc với dòng chảy). Quá trình chuyển đổi như sau:

$$q_b^\psi = \frac{\partial_\psi}{\partial_s} q_b^s + \frac{\partial_\psi}{\partial n} q_b^n = \left( \psi_x \frac{\partial x}{\partial s} + \psi_y \frac{\partial y}{\partial s} \right) q_b^s + \left( \psi_x \frac{\partial x}{\partial n} + \psi_y \frac{\partial y}{\partial n} \right) q_b^n \quad (1.11)$$

$$q_b^\varphi = \frac{\partial_\varphi}{\partial_s} q_b^s + \frac{\partial_\varphi}{\partial n} q_b^n = \left( \varphi_x \frac{\partial x}{\partial s} + \varphi_y \frac{\partial y}{\partial s} \right) q_b^s + \left( \varphi_x \frac{\partial x}{\partial n} + \varphi_y \frac{\partial y}{\partial n} \right) q_b^n \quad (1.12)$$

Trong đó:  $\psi_x, \psi_y, \varphi_x, \varphi_y$  - các đạo hàm riêng bậc 1 theo  $\psi, \varphi$ .

Sau khi biến đổi thu được:

$$q_b^\psi = \left( \psi_x \frac{u}{V} + \psi_y \frac{v}{V} \right) q_b^s + \left( -\psi_x \frac{v}{V} + \psi_y \frac{u}{V} \right) q_b^n = \frac{1}{VJ} (J u_\psi^\psi q_b^s - u_\psi q_b^n) \quad (1.13)$$

$$q_b^\varphi = \left( \varphi_x \frac{u}{V} + \varphi_y \frac{v}{V} \right) q_b^s + \left( -\varphi_x \frac{v}{V} + \varphi_y \frac{u}{V} \right) q_b^n = \frac{1}{VJ} (J u_\varphi^\varphi q_b^s - u_\varphi q_b^n) \quad (1.14)$$

### 3) Các phương trình sức tải cát

Để giải phương trình liên tục chuyển cát ở trên, các thành phần chuyển cát theo hướng S và hướng n vuông góc với dòng chảy trong nghiên cứu này, sử dụng các phương trình Ikeda cho đường cong sức tải cát cùng với hiệu quả của dòng chảy xoắn và độ dốc dọc sông. Chúng có dạng:

$$q_b^{s*} = \frac{a^{1/2}}{\mu_c} \left[ \tau^* - \tau_{co} \left( 1 + \frac{1}{\mu_c} \frac{\partial \eta}{\partial s} \right) \right] \left[ \tau_{co}^{*1/2} \left( 1 + \frac{1}{2\mu_c} \frac{\partial \eta}{\partial s} \right) \right] \left( 1 - \frac{1}{\mu_c} \frac{\partial \eta}{\partial s} \right) \quad (1.15)$$

$$q_b^{n*} = \frac{a^{1/2}}{\mu_c} (\tau^* - \tau_{co}^*) (\tau^{*1/2} - \tau_{co}^{*1/2}) \left[ \frac{v_b^*}{u_b^*} - \frac{1}{\mu_c} \left( \frac{\tau_{co}^*}{\tau^*} \right)^{1/2} \frac{\partial \eta}{\partial n} \right] \quad (1.16)$$

Trong đó:

$q_b^s, q_b^n$  - tỷ suất sức tải cát đáy vô hướng theo hướng s và n của hệ tọa độ cong

$\tau^*$  - ứng suất tiếp đáy vô hướng;

S - độ dốc mặt nước; g - gia tốc trọng trường;

v - tốc độ mặt ngang; h - độ sâu; d - đường kính hạt cát;

$R_s$  - trọng lượng riêng tương đối của bùn cát (với cát lấy là 1,65);

$\tau_{co}^*$  - ứng suất tiếp tới hạn vô hướng, có thể tính toán theo phương pháp bất

kỳ, ở đây dùng công thức của Iwagaki (1958):

$\mu_c$  - nhân tố sức cản Coulomb, lấy bằng 0,7;  $a^{1/2}$  - hệ số, lấy bằng 8,5;

$u_b^*, v_b^*$  - tốc độ gần đáy, thành phần theo hướng dòng chảy và vuông góc

trong hệ tọa độ phi tuyến (s, n).

Các ký hiệu khác như trước đây.

#### 4) Biến đổi phương trình tải cát đáy

Để giải phương trình liên tục, phương trình (1.15) và (1.16) được biến đổi thành các tọa độ  $(\psi, \varphi)$  thay cho tọa độ  $(s, n)$ . Mỗi số hạng trong các phương trình này được biến đổi như sau:

$$(1) \text{ Số hạng } \frac{\partial \eta}{\partial s}: \quad \frac{\partial \eta}{\partial s} = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial \eta}{\partial \psi} U^\psi + \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} U^\varphi \right) \quad (1.17)$$

$$(2) \text{ Số hạng } \frac{\partial \eta}{\partial n}: \quad \frac{\partial \eta}{\partial n} = \frac{1}{JV} \left( \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} U^\psi - \frac{\partial \eta}{\partial \psi} U^\varphi \right) \quad \frac{\partial \eta}{\partial n} = \frac{1}{JV} \left( \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} U^\psi - \frac{\partial \eta}{\partial \psi} U^\varphi \right) \quad (1.18)$$

$$(3) \text{ Số hạng } \frac{1}{r}: \quad \frac{1}{r} = \frac{1}{V^3} \left[ U^\psi \left( \frac{\partial v}{\partial \psi} u - \frac{\partial u}{\partial \psi} v \right) + U^\varphi \left( \frac{\partial v}{\partial \varphi} u - \frac{\partial u}{\partial \varphi} v \right) \right] \quad (1.19)$$

#### 5) Phương trình liên tục của bùn cát lơ lửng

Trong tọa độ Đêcac, phương trình liên tục của bùn cát lơ lửng có dạng như sau:

$$\frac{\partial(\text{Ch})}{\partial t} + \frac{\partial(Q^x C)}{\partial x} + \frac{\partial(Q^y C)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( h \varepsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( h \varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - (E_R - D_R) = 0 \quad (1.20)$$

Sử dụng giả thiết hệ số khuếch tán cục bộ theo hướng ngang không đổi, nhận được phương trình chuyển đổi:

$$J \frac{\partial}{\partial t} (\text{Ch}) + \frac{\partial}{\partial \psi} (J C Q^\psi) + \frac{\partial}{\partial \varphi} (J C Q^\varphi) - \frac{\partial}{\partial \psi} h \varepsilon_h \left( \frac{g_{22}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \varphi} \right) - \frac{\partial}{\partial \varphi} h \varepsilon_h \left( \frac{g_{22}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \varphi} \right) - \frac{\partial}{\partial \varphi} h \varepsilon_h \left( \frac{g_{11}}{J} \frac{\partial C}{\partial \varphi} - \frac{g_{21}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} \right) - J(E_R - D_R) = 0 \quad (1.21)$$

Trong đó C là nồng độ bùn cát tại mực nước Z.

#### b. Lời giải số

##### 1) Quan niệm của gián đoạn hoá trong thể tích hữu hạn FVM (finite volume method)

Cơ sở của phương pháp thể tích hữu hạn (FVM) căn cứ trên nguyên tắc bảo toàn khối nước cho một thể tích hữu hạn. Nó thường dùng dạng tích phân của phương trình cân bằng như điểm khởi đầu. Phương trình cân bằng cho một lượng vận chuyển vô hướng  $\phi$  bởi dòng chảy có dạng tích phân:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \phi d\Omega + \int_S \rho \phi V n dS = \int_{\Gamma} \Gamma \text{grad} \phi n dS + \int_{\Omega} q_{\phi} d\Omega \quad (1.22)$$

$$(1) \quad (2) \quad (3) \quad (4)$$

Trong phương trình (1.22),  $\Omega$  và  $S$  là thể tích và diện tích bao quanh thể tích kiểm tra CV(control volume)

$n$  - vectơ đơn vị vuông góc với mặt  $S$  và hướng lên trên,

$v$  - vectơ tốc độ chất lỏng,

$S$  - mật độ của hỗn hợp nước và bùn cát.

Số hạng (1) là tỷ số sự biến đổi của lượng bên trong thể tích kiểm tra CV.

Số hạng (2) là thông lượng tịnh của lượng vận chuyển  $\phi$  qua biên CV bởi cơ chế trao đổi.

Số hạng (3) là thông lượng tinh của lượng vận chuyển  $\phi$  qua biên CV bởi cơ chế khuếch tán.

Số hạng (4) là bổ sung hoặc tháo của lượng  $\phi$  xảy ra bên trong CV.

Việc rời rạc hoá FVM bao gồm 2 bước. Trước hết là xấp xỉ tích phân trong biểu thức (1.22) và bước thứ hai là nội suy. Kết quả cuối cùng của quá trình rời rạc hoá là một hệ thống phương trình đại số cần thiết để giải bằng các phương pháp qui ước. Nói chung, FVM là một xấp xỉ ưu thế của phương pháp sai phân hữu hạn (FDM), ở đó đặc trưng của cân bằng khối nước là chính lượng trữ trong CV bao quanh một mét tính toán.

Phương trình liên tục của nồng độ bùn cát lơ lửng trong hệ thống tọa độ chung có dạng:

$$J \frac{\partial}{\partial t} (Ch) + \frac{\partial}{\partial \psi} (JCQ^\psi) + \frac{\partial}{\partial \phi} (JCQ^\phi) - \frac{\partial}{\partial \psi} h \epsilon_h \left( \frac{g_{22}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \phi} \right) - \frac{\partial}{\partial \phi} h \epsilon_h \left( \frac{g_{11}}{J} \frac{\partial C}{\partial \phi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} \right) - J(E_R - D_R) = 0 \quad (1.23)$$

Sử dụng sơ đồ Crank Nicolson trong tích phân, dạng tương ứng của (1.23) có thể biểu thị như sau :

$$J(Ch)_{i,j}^{n+1} + \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \psi} (JCQ^\psi)_{i,j}^{n+1} + \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \phi} (JCQ^\phi)_{i,j}^{n+1} - \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \psi} h \epsilon_h \left( \frac{g_{22}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \phi} \right)_{i,j}^{n+1} - \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \phi} h \epsilon_h \left( \frac{g_{11}}{J} \frac{\partial C}{\partial \phi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} \right)_{i,j}^{n+1} - \Delta t J(E_R - D_R)_{i,j}^{n+1} - \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \psi} (JCQ^\psi)_{i,j}^{n+1} - \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \phi} (JCQ^\phi)_{i,j}^{n+1} + \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \psi} h \epsilon_h \left( \frac{g_{22}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \phi} \right)_{i,j}^{n+1} + \frac{\Delta t}{2} \frac{\partial}{\partial \phi} h \epsilon_h \left( \frac{g_{11}}{J} \frac{\partial C}{\partial \phi} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial C}{\partial \psi} \right)_{i,j}^{n+1} + J(Ch)_{i,j}^{n+1} = 0 \quad (1.24)$$

## 2) Lời giải ma trận hệ số 9 đường chéo

Từ các đạo hàm trên, phương trình vận chuyển bùn cát lơ lửng trong hệ tọa độ không trực giao trong dạng gián đoạn cho thể tích kiểm tra CV (i,j) là:

$$a_1 C_{i-1,j}^{n+1} + a_2 C_{i,j}^{n+1} + a_3 C_{i+1,j}^{n+1} + a_4 C_{i,j-1}^{n+1} + a_5 C_{i,j+1}^{n+1} + a_6 C_{i-1,j-1}^{n+1} + a_7 C_{i-1,j+1}^{n+1} + a_8 C_{i+1,j-1}^{n+1} + a_9 C_{i+1,j+1}^{n+1} = b \quad (1.25)$$

Từ đây giải ra được nồng độ bùn cát tại các nút lưới trong bước thời gian thứ (n+1).

trong đó:

$$\begin{aligned} a_1 &= -[(G_{i,j+1} - G_{i,j}) + A_{i,j} + D_{i,j}] \\ a_2 &= (A_{i+1,j} - A_{i,j}) + (B_{i,j+1} - B_{i,j}) + (D_{i+1,j} + D_{i,j}) + (F_{i,j+1} + F_{i,j}) + J_{i,j}^A H_{i,j} \\ a_3 &= A_{i+1,j} - D_{i+1,j} + (G_{i,j+1} - G_{i,j}) \\ a_4 &= -[(E_{i+1,j} - E_{i,j}) + B_{i,j} + F_{i,j}] \\ a_5 &= B_{i,j+1} - F_{i,j+1} + (E_{i+1,j} - E_{i,j}) \\ a_6 &= E_{i,j} + G_{i,j} \\ a_7 &= -E_{i,j} - G_{i,j+1} \\ a_8 &= -E_{i+1,j} - G_{i,j} \\ a_9 &= E_{i+1,j} + G_{i,j+1} \end{aligned} \quad (1.26)$$

Phương trình (1.26) được khai triển như sau:  $\sum_{k=1}^9 a_k C_k = b$

Kết quả hệ thống phương trình bao gồm 9 ẩn cho mỗi phương trình đơn trong mỗi bước thời gian có dạng một ma trận dải. Thuật toán để giải phương trình như thế có thể là một phương pháp lặp bất kỳ. Ở đây áp dụng kỹ thuật khử đuôi (tùng dòng-line by line) để giải các phương trình.

### 3) Giảm đoạn hoá phương trình Exner

Viết phương trình Exner trong dạng:

$$J \frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda} \left[ \frac{\partial (Jq_b^\psi)}{\partial \psi} + \frac{\partial (Jq_b^\phi)}{\partial \phi} + J(E_R - D_R) \right] \quad (1.27)$$

Áp dụng nguyên tắc giảm đoạn, chúng ta có:

$$\left. \frac{\partial (Jq_b^\psi)}{\partial \psi} \right|_{(i,j)} = A_{i,j} = \frac{0,25}{\Delta \psi} \left\{ (J_{i+1,j+1} + J_{i+1,j}) (q_{bi+1,j+1}^\psi + q_{bi+1,j}^\psi) - (J_{i,j+1} + J_{i,j}) (q_{bi,j+1}^\psi + q_{bi,j}^\psi) \right\} \quad (1.28)$$

$$\left. \frac{\partial (Jq_b^\phi)}{\partial \phi} \right|_{(i,j)} = B_{i,j} = \frac{0,25}{\Delta \phi} \left\{ (J_{i+1,j+1} + J_{i+1,j}) (q_{bi+1,j+1}^\phi + q_{bi+1,j}^\phi) - (J_{i,j+1} + J_{i,j}) (q_{bi,j+1}^\phi + q_{bi,j}^\phi) \right\} \quad (1.29)$$

Đưa (1.28) và (1.29) vào (1.27) thu được:

$$\Delta \eta = -\frac{\Delta t}{(1-\lambda) J_{i,j}^A} \left[ A_{i,j} + B_{i,j} + J_{i,j}^A (E_{Ri,j} - D_{Ri,j}) \right] \quad (1.30)$$

Phương trình (1.30) là dạng giảm đoạn cuối cùng của phương trình Exner. Nó được giải bằng sơ đồ ẩn. Bước thời gian hợp lý là lớn bằng bước thời gian sử dụng với sơ đồ ẩn trong phương trình liên tục của bùn cát lơ lửng. Kết quả có được sự biến đổi của cao trình đáy sông trong mỗi bước thời gian ở trung tâm của mỗi bước tính toán. Cao trình đáy mới được cập nhật và môđun dòng chảy mới được bắt đầu tính cho bước thời gian sau.

### c. Xác định mức độ sạt lở bờ

Mặt cắt ngang sau khi bị xói lở (thường ở bờ lõm) sẽ tạo nên một mái dốc mới có độ dốc lớn. Sử dụng phương pháp tính trượt trong cơ học đất có thể xác định được mức độ sạt lở mái. Hình thức trượt có thể là trượt phẳng, gãy khúc hay cung trượt dưới tác dụng của lực chống trượt và lực trượt:

$$\eta = \frac{\sum c_i l_i + \sum N_i \operatorname{tg} \phi_i}{\sum T_i} \quad (1.31)$$

Trong đó: tử số là lực chống trượt, còn mẫu số là lực gây trượt,

$c_i$  - lực dính;  $l_i$  - độ dài cung trượt mảnh thứ  $i$ ;

$N_i$  - lực chống trượt (pháp tuyến),

$T_i$  - lực trượt (tiếp tuyến).

Trong dạng gần đúng, áp dụng nguyên lý cân bằng bên Coulomb có thể tính mái dốc cần thiết để bảo đảm cân bằng bên ổn định:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \phi + C/\gamma H \quad (1.32)$$

Trong đó:  $\beta$  - mái dốc cân bằng ổn định;  $\phi$  - góc ma sát trong của đất mái (bờ);

C - lực dính;  $\gamma$  - trọng lượng riêng của đất; H - chiều cao mái dốc.  
 Phần mềm mở rộng tính trượt được Bộ môn thủy văn xây dựng.

### 3. Thử nghiệm cho đoạn sông cong Sơn Tây của sông Hồng

Việc thử nghiệm được tiến hành đối với đoạn sông cong của sông Hồng thuộc khu vực Sơn Tây.

Vì hai đầu đoạn sông không có trạm thủy văn nên để xác định biên trên và biên dưới, bao gồm các thông số thủy lực và bùn cát, chúng tôi sử dụng mô hình HEC-6 diễn toán cho mạng sông. Số liệu địa hình được lấy từ tài liệu đo đạc mặt cắt sông Hồng cuối năm 1997, đưa lên bản đồ tỷ lệ 1/5000.

Bảng 1. Kết quả tính phân bố tốc độ, độ sâu và cao độ đáy bằng TREM

I	J	X	Y	Z	U	V	H
1	1	-8212,75	2989,2	8,526	0,434	-0,573	4,132
1	2	-8163,5898	3033,6699	2,273	0,604	-0,822	10,385
1	3	-8114,4399	3078,1399	0,808	0,801	-1,123	11,85
1	4	-8065,2798	3122,6001	1,516	0,8	-1,157	11,141
1	5	-8016,1299	3167,0701	2,489	0,741	-1,107	10,169
1	6	-7966,9702	3211,54	2,835	0,692	-1,068	9,822
1	7	-7917,8198	3256,01	2,872	0,666	-1,062	9,786
1	8	-7868,6602	3300,47	2,868	0,647	-1,067	9,79
1	9	-7819,5098	3344,9399	2,952	0,627	-1,072	9,705
1	10	-7770,3501	3389,4099	3,599	0,594	-1,051	9,058
1	11	-7721,2002	3433,8701	3,947	0,556	-1,02	8,711
1	12	-7672,04	3478,3401	4,762	0,516	-0,981	7,896
1	13	-7622,8901	3522,8101	6,355	0,45	-0,889	6,302
1	14	-7573,73	3567,28	7,228	0,383	-0,788	5,43
1	15	-7524,5801	3611,74	10,133	0,282	-0,603	2,525
1	16	-7475,4199	3656,21	10,132	0,102	-0,228	2,525

Chú thích:

I - tên mặt cắt ngang,

J - tên thủy trực,

X - tọa độ theo chiều dòng sông,

Y - tọa độ theo chiều ngang sông,

Z - cao trình đáy sông,

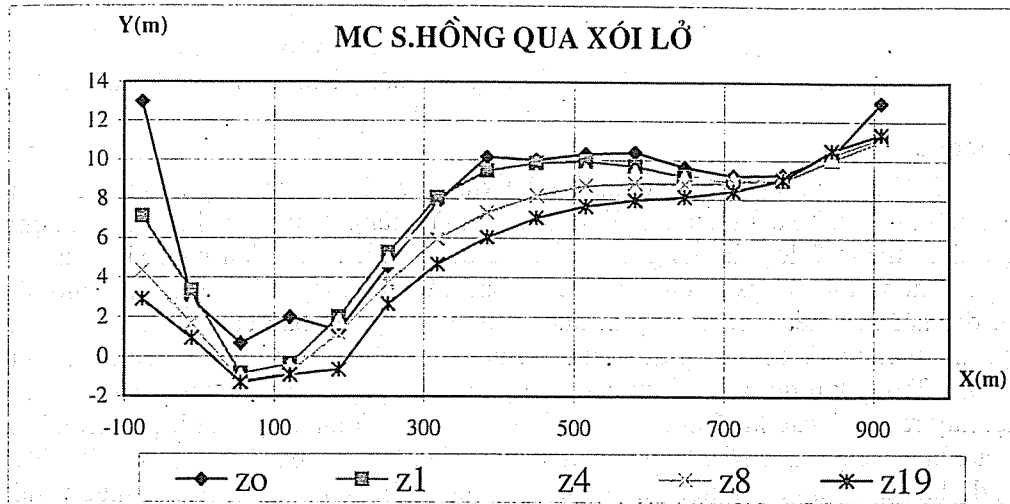
U - tốc độ dọc sông tại thủy trực,

V - tốc độ ngang sông tại thủy trực,

H - độ sâu thủy trực.

Để tạo lưới, chúng tôi dùng phần mềm tạo lưới GenGrid95 của CAFLAB (Hàn Quốc). Số liệu thủy văn lấy theo con lũ lớn nhất năm 1996 (31 ngày), được diễn toán mạng sông về 2 mặt cắt giới hạn trên và dưới của đoạn sông nghiên cứu. Số liệu bùn cát được lấy từ kết quả chạy mô hình HEC - 6. Thời đoạn tính toán thủy lực là 0,25s, còn thời đoạn tính toán bùn cát là 2s. Kết quả về phân bố tốc độ, độ cao đáy và độ sâu trong toàn khu vực đưa ra trong bảng 1. Đường biến đổi đáy sông qua tính toán chỉ ra trên hình 1, phù hợp với quan trắc tại trạm Sơn Tây, một trạm nằm bên trong đoạn sông. Tuy nhiên, tốc độ gần bờ mô phỏng chưa tốt. Đây mới là thử nghiệm ban đầu

nên chưa có điều kiện chạy hết quá trình lũ, chưa tiến hành phân tích và hiệu chỉnh các thông số mô hình. Trong tương lai chúng tôi sẽ xem xét đầy đủ hơn những vấn đề này.



Hình 1. Mặt cắt sông Hồng qua các ngày lũ

Ghi chú: Z0, Z1, Z4, Z8, Z19 - cao trình đáy sông qua 1, 2, 4, 8, 19 ngày lũ.

#### 4. Một số nhận xét

a) Mô hình 2 chiều cho phép phân tích tính toán xói lở lòng sông theo 2 chiều, một vấn đề đang cần giải quyết trong thực tế diễn biến lòng sông hiện nay.

b) Mô hình đã đưa vào tính toán chuyển động của bùn cát đáy và lơ lửng theo chiều ngang, cũng như phân bố của bùn cát lơ lửng theo độ sâu, phản ánh đầy đủ hơn nguyên nhân và hiện trạng cân bằng và xói lở lòng sông.

c) Mô hình sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn và sơ đồ Crank-Nicolson có hiệu quả cho đặc tính vận chuyển của bùn cát.

d) Vì mới ở giai đoạn đầu thử nghiệm mô hình nên vấn đề sạt lở mái dốc (xói lở chiều ngang) chưa có điều kiện xem xét. Chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu trong giai đoạn sau.

#### Tài liệu tham khảo

1. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps. *User's manual of HEC-6*. 1994.
2. Chih Ted Yang. *Sediment Transport Theory and Practice*. Mc Graw-Hill, 1996.
3. N.T.Giang. Sediment transport balance and bank in Son Tay curved bend, Red River, Vietnam. A Thesis for the degree of Master of Engineering, Asian Institute of Technology, 2000.
4. Trần Thực, Nguyễn Thị Nga. *Động lực học sông ngòi*. ĐHKHTN, Hà Nội, 2001.