

# GIÁM SÁT SỰ BOI LẮNG LÒNG HỒ TRỊ AN BẰNG MÔ HÌNH ĐIỆN TOÁN

PTS. Nguyễn Hữu Nhân  
*Trung tâm KTTV Phía Nam*

## 1. Đối tượng và phương pháp tiếp cận

Thực tế đặt ra một vấn đề phức tạp cần nhanh chóng giải quyết là dự đoán sự bồi lắng trong hồ chứa Trị An. Khác với các hồ tự nhiên có quy luật bồi xói ổn định, sự bồi xói hồ chứa nhân tạo là một bài toán khá phức tạp. Có ba hướng tiếp cận chủ yếu để giải quyết vấn đề này là: a. Tiến hành khảo sát thực tế nhiều năm liên tục, đồng bộ cả không gian lẫn thời gian trên toàn hồ. Từ đó thiết lập một căn cứ dữ liệu đủ để đánh giá định lượng cơ chế vận chuyển của nước và cát bùn trong lòng hồ Trị An để rút ra các quy luật về chế độ thủy văn và diễn biến đáy hồ. Vì nguyên nhân thời gian và tài chính, mà hướng tiếp cận này không có tính khả thi.; b. Thiết lập trong phòng thí nghiệm mô hình tương tự thủy lực với các tiêu chuẩn đồng dạng rất khó thỏa mãn trong hoàn cảnh kinh tế và kỹ thuật hiện tại của nước nhà để khảo sát các hiện tượng này; c. Bài toán đặt ra ở trên còn có thể giải quyết nhờ mô hình toán trên máy tính điện tử kết hợp với các thông tin khảo sát thực tế tối thiểu. Trong trường hợp này, qui trình nghiên cứu bao gồm các bước sau:

- Thiết lập mô hình toán mô phỏng các cơ chế vận chuyển của nước, cát bùn và diễn biến đáy hồ,
- Đo đạc thực tế một số thông tin quan trọng nhằm vào việc kiểm định độ tin cậy của mô hình,
- Kiểm định mô hình,
- Thiết lập một căn cứ dữ liệu nhập đủ để đánh giá định lượng,
- Tính toán dự đoán chế độ dòng chảy, bồi lắng lòng hồ Trị An và rút ra các kết luận ứng dụng.

Đây là hướng tiếp cận khả thi nhất hiện nay nhờ những tiến bộ của khoa học mô hình hóa trên các máy điện toán hiện đại và lượng thông tin nhập vào chỉ yêu cầu ở mức thấp nhất. Đây cũng là hướng triển khai các nghiên cứu ứng dụng phù hợp với trình độ thế giới về vấn đề bồi xói-một trong những bài toán thủy lực khó nhất hiện nay và chúng tôi đã chọn hướng tiếp cận này.

Công trình này đề cập đến mô hình nghiên cứu bồi lắng hồ nhân tạo 2 chiều ngang có độ phân giải cao và vài kết quả tính toán về bồi lắng trên đáy hồ Trị An. Chúng tôi đặc biệt chú ý đến chất lượng các công tác xác định trường dòng chảy, ứng suất ma sát đáy, dòng chảy cát bùn lơ lửng và cát bùn tổng cộng.

## 2. Mô hình xuất phát

Do tính chất các số liệu có thể thu thập được từ các đo đạc bằng các máy móc hiện nay và các số liệu hiện có trong các kho lưu trữ sẽ được dùng để thiết lập cơ sở dữ liệu nhập cho các mô hình, xuất phát từ đòi hỏi về mức độ tin cậy của mô hình và khả năng ứng dụng của các nghiên cứu cơ bản hiện nay, để tính toán cơ chế vận chuyển của nước và bồi lắng lòng hồ Trị An, chúng tôi sử dụng **các hệ phương trình xuất phát** như sau.

a. Hệ phương trình liên tục mô tả sự vận chuyển của nước trong hồ chứa

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [u(h + \zeta)]}{\partial x} + \frac{\partial [v(h + \zeta)]}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial u}{\partial y} - f_v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \tau_{sx} + \tau_{bx} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial v}{\partial y} + f_u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \tau_{sy} + \tau_{by} = 0 \quad (3)$$

$$\tau_{sx} = CdW_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \tau_{bx} = g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / H^{1/3}, \quad (4)$$

$$\tau_{sy} = CdW_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \tau_{by} = g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / H^{1/3}. \quad (5)$$

b. Phương trình mô tả sự vận chuyển, tán xạ nồng độ phù sa trong nước hồ

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial S}{\partial y} + M_e \left( \frac{\tau_b}{T_e} - 1 \right) - \frac{V_s S_b}{H} \left( 1 - \frac{\tau_b}{T_d} \right) = 0 \quad (6)$$

c. Phương trình mô tả sự bồi xói đáy hồ

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \text{div}(Q); Q = \left\{ Q_x \left( \frac{|u|_b}{|u| FH} + 1 \right), Q_y \left( \frac{|V_a|_a}{|u| FH} + 1 \right) \right\}; Q_x = F \cdot u \cdot H \cdot S_a, Q_y \quad (7)$$

$$= F \cdot v \cdot H \cdot S_a$$

$$H = h(x, y) + \zeta(x, y, t) \quad (8)$$

d. Điều kiện biên:

Sự tồn tại các số hạng khuếch tán trong các phương trình (2) và (3) là để nâng cao tính ổn định cho sơ đồ tính toán đối với các phương trình phi tuyến

này và khi thiết lập điều kiện biên không cần quan tâm đến chúng. Như vậy, trên các biên rắn, có các ràng buộc phụ như sau:

$$u_{ni} = 0 \text{ hay } \zeta = \zeta_s(t), \quad u_n S - \beta \frac{\partial S}{\partial n} = 0 \quad (9)$$

còn trên các biên lỏng, các ràng buộc phụ sẽ là:

$$\zeta = \zeta_s(t), \quad S = S_s(t) \text{ khi nước chảy vào hồ và } \partial S / \partial n = 0 \text{ khi nước chảy ra khỏi hồ} \quad (10)$$

Trong đó:  $U_n$  là thành phần vận tốc theo pháp tuyến ngoài của biên rắn;  $\beta$  là hằng số;  $\zeta_s(t)$  và  $S_s$  là trị số mực nước và mật độ cát bùn tại mọi thời điểm trên biên lỏng.

#### e. Điều kiện đầu

Vào thời điểm ban đầu, nước trong hồ yên tĩnh và phân bố không gian nồng độ cát bùn tích phân có thể nhận được bằng cách nội suy từ điều kiện tại thời điểm tương ứng, tức là:  $u(x, y, 0) = v(x, y, 0) = 0$ ,  $S(x, y, 0) = S_0(x, y)$ .

Các ký hiệu trong các phương trình trên được hiểu như sau:

- $\zeta(x, y, t)$  là mực nước hồ so với mặt nước trung bình, cm;
- $h(x, y)$  là độ sâu của hồ so với mặt nước trung bình, cm;
- $g = 981$  là gia tốc trọng trường,  $\text{cm/s}^2$ ;
- $f = 2\omega \sin \varphi$  là thông số coriolis,  $1/\text{s}$ ;
- $\zeta_s$  là trị số mực nước tại mọi thời điểm trên biên  $S$ ,
- $u_{ni}$   $U_n$  là thành phần vận tốc theo pháp tuyến ngoài của biên rắn;
- $\tau_{sx}, \tau_{bx}$  là ứng suất ma sát gió và ma sát đáy dọc trục  $x$ ,
- $\tau_{sy}, \tau_{by}$  là ứng suất ma sát gió và ma sát đáy dọc trục  $y$ ,
- $x, y$  và  $t$ : các tọa độ Descartes và thời gian;
- $u, v$ : các thành phần vận tốc dòng chảy trung bình theo độ sâu  $U$ ,  $\text{cm/s}$ ;
- $S$ : độ đục trung bình theo độ sâu,  $\text{g/cm}^3$  (xem hình 1, sai số 25%);
- $Q_x, Q_y$ : các thành phần dòng chảy cát bùn lơ lửng,  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;
- $\nu$ : hệ số nhớt động học của nước,  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;
- $Q$ : dòng chảy cát bùn tổng cộng,  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;
- $u_a, v_a$ : các thành phần vận tốc dòng chảy tại đáy,  $\text{cm/s}$ ;
- $S_a = \alpha D_{50} |Tb|^\beta / (aD^*\gamma)$ : độ đục tại độ sâu qui chiếu đáy hồ (xem hình 1, sai số 25%),  $\text{g/cm}^3$ ;
- $D^* = D_{50} [(S-1)g/\nu^2]^{1/2}$ : kích thước hạt cát bùn hiệu dụng (sai số 25%);
- $F = [(a/H)^2 - (a/H)^{1/2}] / [(1-a/H)^2(1,2 - S^1)]$ : thông số hiệu chỉnh (sai số 25%);
- $S^1 = S' + \varphi$ ,  $S' = Vs/(\delta k U^*)$ - các thông số cát bùn tham số hóa hiệu ứng xáo trộn rối và sự rơi do trọng lực đối với các hạt lơ lửng, (sai số 25%),
- $k=0,04$ : hằng số Karman;

$-\delta = 1 + [V_s / U^*]^2$ : tỷ số giữa hệ số khuếch tán hạt cát bùn và hệ số rối (sai số 25%);

$-\varphi = \varepsilon [V_s / U^*]^{0,8} [S_a / S_m]^{0,4}$ : hệ số hiệu chỉnh ma sát đáy (sai số 25%),

-  $U^*$  là vận tốc ma sát đáy;

-  $S_m = 0,650 \text{ g/cm}^2$ : độ đục cực đại tại đáy;

-  $a = \max(0,5\Delta, 0,01H)$ : mức qui chiếu đáy hồ, cm và  $\Delta$  là độ cao các yếu tố địa hình đáy;

-  $W_x, W_y$ : các thành phần vận tốc gió  $W$ , cm/s;

-  $C_d, n$ : các hệ số ma sát mặt và hệ số Manning;

-  $D_x, D_y$ : các hệ số tán xạ cát bùn,  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;

-  $K_x, K_y$ : các hệ số tán xạ xung lượng theo phương ngang,  $\text{cm}^2/\text{s}$ ,

-  $F_s$  - nguồn cát bùn tích phân,  $\text{g/cm}^3/\text{s}$ ;

-  $V_s = [(S-1)gD_{50}^2 / (18.v)]$ : tốc độ rơi của cát bùn loại mịn, (sai số 24%)cm/s.

-  $P_s$ : mật độ cát bùn khô,  $\text{g/cm}^3$ ;

-  $P_w$ : mật độ nước,  $\text{g/cm}^3$ ,

-  $T_e$ : ứng suất tới hạn bắt đầu xói đáy,  $\text{din/cm}^2$ ,

-  $T_d$ : ứng suất tới hạn bắt đầu bồi đáy,  $\text{din/cm}^2$ ,

-  $Me$ : hằng số bằng tốc độ xói khi  $T_b = 2T_e$ .

Tóm lại, các cường độ dòng chảy trong hồ bao gồm: độ chênh lệch thế năng ở hai đầu hồ (thông qua mực nước) và sự cưỡng bức của gió (thông qua ứng suất gió trên tầng mặt). Các yếu tố làm biến dạng dòng chảy là địa hình đáy, cấu trúc lòng dẫn và ma sát đáy. Sự bồi lắng trong hồ phụ thuộc vào sự hội tụ dòng chảy, nồng độ phù sa tầng đáy và trường ứng suất dòng chảy trong hồ so với suất tới hạn bồi hay xói.

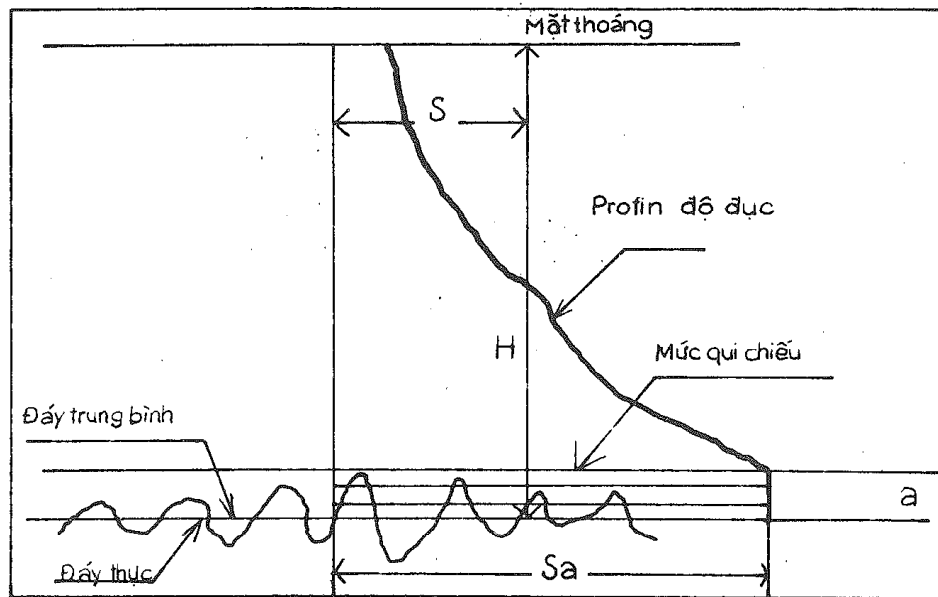
f. Nói thêm về các thông số mô hình

Mô hình tính toán bồi lắng trên có khá nhiều thông số xác định theo các công thức bán kinh nghiệm (và có vô số các công thức loại này). Lý do chúng tôi chọn các công thức trên có thể tìm hiểu chi tiết hơn trong các công trình [2,3,4]. Trị số vài thông số khác như sau: hệ số ma sát đáy và mặt:

$C_d = C_v = 0,0026$ ; hệ số tán xạ ngang của cát bùn:

$D_x = |u| \Delta x / 2 + D, D_y = |v| \Delta y / 2 + D$ ; hệ số Manning là 0,26; hệ số tán xạ ngang của xung lượng  $K_x, K_y$  tính theo vận tốc và độ sâu hồ

(E.Wolanski, 1993);  $Me$  đối với hạt cát bùn mịn là  $0,00017 \text{ g/cm}^3/\text{s}$  (OWEN, 1971, KRONE, 1963);  $T_e$  đối với các hạt cát bùn mịn kết dính là từ  $0,289$  đến  $0,576 \text{ N/m}^2$  (OWEN, 1971, KRONE, 1963);  $T_d$  đối với hạt cát bùn mịn kết dính là từ  $0,060$  đến  $0,080 \text{ N/m}^2$  (OWEN, 1971, KRONE, 1963) trong đó:  $D$  là hệ số khuếch tán cát bùn thông số điều chỉnh mô hình;  $\Delta x, \Delta y$  là độ phân giải không gian của mô hình tính toán;  $K$  là hệ số rối - thông số điều chỉnh mô hình.



Hình 1. Sơ đồ xác định quan hệ giữa các thông số trong mô hình

### 3. Mô hình tính toán

Mô hình (1) - (10) được giải bằng phương pháp số trị. Kết quả các **quá trình xấp xỉ** mô hình đó là **mô hình tính toán**. Sau đây là vài thông tin chủ yếu có liên quan đến qui trình này. Lòng hồ Trị An được phủ **mạng tính** với bước lưới không gian  $\Delta x = \Delta y = 200m$  (mạng có **171x131** nút). Để tính dòng chảy, bước thời gian là  $\Delta t = 36$  giây. Bước thời gian tính sa bồi là  $\Delta t = 360$  giây. Dựa vào bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000, một căn cứ dữ liệu **ĐỊA HÌNH ĐÁY** đã được thiết lập. Các phương trình (1) - (3) xấp xỉ theo sơ đồ sai phân luân hướng ẩn ( **phương pháp FADI**). Đó là sơ đồ sai phân **ổn định tuyệt đối** và có độ chính xác bậc 2 đối với  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , và  $\Delta t$ . Phương trình (6) xấp xỉ bằng sơ đồ sai phân **phân rã toán tử** theo các thành phần. Đó cũng là sơ đồ tính toán **ổn định tuyệt đối** và có độ chính xác bậc 2 đối với  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  và  $\Delta t$ . Phương trình (7) xấp xỉ theo sơ đồ sai phân trung tâm. Ứng với các mô hình sai phân là các bộ chương trình chuyên dùng trên PC 80486.

### 4. Kiểm định mô hình

Chúng tôi đã dùng 4 chuỗi số liệu thực đo từng giờ trong vòng ba ngày liên tục (đồng bộ không gian và thời gian) cho tất cả các thông số nhập và xuất của mô hình tại các điểm biên và tại 2 trạm cố định cách nhau 4 km bên trong hồ để kiểm định mô hình là **Ngã Ba La Ngà** và **đôi 101**. Các thông số đo bao gồm: gió, dòng chảy và độ đục. Trên các trạm biên là nhà máy **Thủy điện Trị An** và **trạm mực nước La Ngà** đo cao trình mực nước từng giờ. Số liệu về độ đục tại trạm **Tà Lai** và **Phú Điền** ( cách các điểm biên vài chục ki-lô-mét) được dùng làm trị biên tính  $S$  tại các nhánh sông đổ về hồ Trị

An. Chúng tôi đã thực hiện nhiều thực nghiệm số trị nhằm điều chỉnh các thông số mô hình. Tiêu chuẩn ngừng các điều chỉnh là sự phù hợp giữa trị số tính toán và thực đo cho tất cả các thông số tại 2 trạm trung gian trong lòng hồ với các sai số nhỏ hơn sai số đo đạc dòng chảy và cát bùn trong hoàn cảnh hiện nay. Kết quả so sánh thể hiện trên bảng 1.

Bảng 1. Độ đục theo mô hình tính toán và thực đo tại các trạm doi 101 và ngã ba La Ngà trong hồ Trị An

| Ngày       | Giờ   | Trạm doi 101 |         | Trạm ngã ba La Ngà |         |
|------------|-------|--------------|---------|--------------------|---------|
|            |       | Tính toán    | Thực đo | Tính toán          | Thực đo |
| 21.IX.1993 | 19.00 | 74           | 36      | 102                | 86      |
| 22.IX.1993 | 7.00  | 75           | 35      | 104                | 89      |
| 22.IX.1993 | 19.00 | 76           | 44      | 105                | 89      |
| 23.IX.1993 | 7.00  | 75           | 40      | 104                | 80      |
| 23.IX.1993 | 19.00 | 81           | 59      | 115                | 145     |

### 5. Áp dụng mô hình để dự đoán sự bồi lắng hồ Trị An

Bằng mô hình nói trên đã tính toán phục hồi cơ chế bồi lắng, trường vận chuyển của nước và phân bố không gian về độ đục trung bình trong hồ Trị An trong tháng X là tháng bồi mạnh nhất trong năm. Dựa vào các kết quả đó có thể rút ra những nhận xét như sau:

\* Có bốn vùng dòng chảy tương đối đồng nhất: vùng đập phụ, vùng kênh dẫn vào đập phụ, vùng đập chính và vùng đập thượng. Dòng chảy tại vùng đập phụ và vùng đập chính rất yếu. Điều này thuận lợi cho quá trình lắng đọng hạt phù sa. Ngược lại, tại vùng kênh dẫn và vùng đập thượng vận tốc dòng chảy khá lớn không thuận lợi lắm cho quá trình lắng đọng của phù sa. Dĩ nhiên đây mới chỉ là khía cạnh thuần túy động lực.

\* Do ảnh hưởng của địa hình đáy và đường biên mà trong tất cả các vùng nói trên đều có các vùng nước quẩn, xoáy yếu và không di chuyển. Các khu vực này sẽ bồi, thiếu oxy hòa tan và tích tụ các chất ô nhiễm ...

\* Do sự tải của dòng chảy mà nồng độ phù sa cao nhất sẽ quan sát được trên miền không gian thuộc luồng dòng chảy trong hồ. Vùng dòng chảy yếu, nước hồ trong hơn vùng nước chảy mạnh. Phía bờ hữu nước đục hơn phía bờ tả. Vùng đập phụ nước trong gấp ba lần vùng đập chính. Vùng đập thượng nước đục nhất.

\* Bức tranh không gian bồi lắng đáy hồ Trị An rất phức tạp. Ngoài mảng bồi chủ yếu kéo dài từ đập thượng đến giữa đập chính, còn tồn tại các khu vực bồi cục bộ phía gần cửa kênh dẫn nước vào đập phụ gây cản trở sự vận chuyển nước theo kênh dẫn vào đập phụ để chạy các tổ máy điện. Tuy nhiên, quy luật này có thể thay đổi khi địa hình đáy thay đổi và nhất là tác dụng của các đợt gió mạnh hay lũ lớn và cần tìm hiểu thêm.

\* Tại các vùng sức tải của dòng chảy yếu và nồng độ phù sa cao nhất, sự lắng đọng xảy ra mạnh nhất, trái lại, tại các vị trí sức tải của dòng chảy mạnh và nồng độ phù sa thấp nhất, sự lắng đọng của cát bùn xảy ra yếu.

\* Vùng đập phụ tốc độ bồi lắng chậm hơn vùng đập chính 7 lần. Phía bờ hữu tốc độ bồi lắng cao hơn bờ tả 5 lần. Vùng đập thượng tốc độ bồi nhanh hơn vùng đập chính 2 lần.

\* Tốc độ bồi lắng có thể đạt đến 15-20mm/tháng mùa mưa ở khu vực hội tụ dòng chảy quanh phần bờ hữu của hồ. Phía bờ tả và đập phụ, tốc độ bồi rất bé, chỉ đạt khoảng từ 1 đến 4 mm/tháng mùa mưa.

Cũng tương tự, chúng ta có thể tính toán dự đoán chế độ bồi lắng cho các tháng khác trong năm, và từ đó suy ra hậu quả bồi lắng trong 1 năm, 10 năm hay lâu hơn.

## 6. Thay cho lời kết luận

Trên đây là kết quả của quá trình nghiên cứu các yếu tố động lực, cát bùn và cơ chế bồi lắng lên đáy hồ Trị An bằng mô hình trên máy tính điện toán. Qua đây chúng tôi muốn nhấn mạnh rằng: với các mô hình toán có độ phân giải cao, chúng ta có thể giám sát qui luật bồi lắng trong các hồ nhân tạo. **Trong công trình** này không có các mô tả và phân tích chi tiết, các đánh giá định lượng trên cũng chỉ dừng lại mức nghiên cứu triển khai. Do đó, không tránh khỏi sai sót. Chúng tôi mong nhận được các ý kiến xây dựng gần xa ngõ hầu hoàn chỉnh tiếp mô hình nghiên cứu. Chúng tôi chân thành cảm ơn PGS Hoàng Niêm và TS Phan Văn Hoạch về những gợi ý khoa học rất bổ ích và luôn luôn động viên tác giả triển khai nghiên cứu. Chúng tôi cũng xin cảm tạ PTS Hoàng Xuân Nhuận đã đóng góp nhiều ý kiến bổ ích và đặc biệt đã cung cấp cho chúng tôi nhiều tư liệu khoa học quý giá.

## Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Hữu Nhân (1993). Báo cáo hàng năm đề tài “Bồi lắng hồ Trị An” thuộc CTKT.02 - 1991-1995.96 trang.
2. Lee C. van Rijn (1984). Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. J. of Hydraulic Engineering, V.110.No 10.pp.1431-1455
3. Lee C.van Rijn (1984). Sediment Transport, Part II: Suspended load Transport. J. of Hydraulic Engineering, V. 110. No 10.pp. 1613-1639.
4. Tomoya Shybayama (1991). Coastal Processes. Yokohama National University. 358 pp.
5. Scarlatos P.D., Mehta A.J. (1989). Density Stratification due to Resuspension of Fluid Muds. Proc. “ Computer Modelling in Ocean Engineering”. Ed. by Zienkiewicz. pp. 458-459.
6. Zao D.H., Tan R.Z., Tan W.y. (1989). The Application of Optimization Method to the Calculation of Suspended Load in the Yangtze Estuary. Proc. “ Computer Modelling in Ocean Engineering”. Ed. by Zienkiewicz. pp. 580-891.