

Một sơ đồ tính toán biến hình lòng sông

PTS. NGÔ TRỌNG THUẬN
Viện Kỹ thuật - Thủy văn

1. Cơ sở

Khi tính toán biến hình dòng sông, thông thường phải giải hệ phương trình sau [1, 2, 3, 4].

- Phương trình liên tục của dòng chảy:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \quad (1)$$

Phương trình chuyển động:

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gA} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2BQ}{gA^2} \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{Q^2}{gA^3} - \frac{\partial A}{\partial x} = \frac{Q / Q_1}{4/3} \frac{A^2 M_c^2 R_c}{(2)}$$

- Phương trình cân bằng khối lượng cát bùn:

$$\frac{\partial R}{\partial x} - \rho d B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

trong đó: A—diện tích mặt cắt ngang lòng sông; B—độ rộng lòng sông; R_c—bán kính thủy lực; M_c—hệ số nhám; t—thời gian; x—khoảng cách dọc theo dòng chảy; g—giá tốc trọng lực; H—mực nước; Q—lưu lượng nước; R—lưu lượng cát bùn; h—cao trình đáy sông; ρ_d—khối lượng riêng của cát bùn đáy.

Thực chất phương trình (1), (2) là hệ phương trình Saint-Venant cho dòng không ổn định thay đổi chậm. Phương trình (3) được thành lập với giả thiết rằng trong quá trình biến hình, lòng sông chỉ thay đổi về độ sâu, còn độ rộng lòng sông không thay đổi. Giả thiết này làm đơn giản đáng kể quá trình tính toán mà không gây ra sai số lớn, bởi vì nói chung, nếu so sánh với quá trình xói lở hoặc bồi lắng rộng khắp trên một đoạn sông thì quá trình xói lở hoặc bồi lắng cục bộ làm thay đổi độ rộng lòng sông chỉ đóng vai trò không đáng kể. Hơn nữa, sự thay đổi của độ rộng do xói lở hoặc bồi lắng cũng rất nhỏ so với độ rộng của lòng sông.

Trong thực tế, thời đoạn tính thường được chọn khá dài (từ một vài ngày đến hàng tháng), vì thế trong khoảng thời gian này có thể coi dòng chảy trong sông là thay đổi chậm. Do đó, có thể giả thiết dòng chảy là ổn định trong mỗi bước tính toán ($Q = \text{const}$).

Như vậy, chỉ cần tập trung giải phương trình (3). Phương trình (3) được viết dưới dạng sai phân như sau:

$$\Delta R \cdot \Delta t = \rho d \cdot B \cdot \Delta x \cdot \Delta h \quad (4)$$

Từ (4) rút ra :

$$\Delta h = \frac{\Delta R}{B \cdot \Delta x} \cdot \frac{\Delta t}{\rho d} \quad (5)$$

Đây là công thức cơ bản được sử dụng để tính toán sự biến hình lòng sông.

2. Các bước tính toán chính

Việc tính toán biến hình lòng sông theo công thức (5) được tiến hành theo các bước sau đây:

a) Xác định các điều kiện ban đầu của lòng sông và dòng chảy.

– Chia đoạn sông tính toán thành những đoạn nhỏ, giới hạn bởi một số mặt cắt. Khi chia đoạn sông, cố gắng chọn vị trí các mặt cắt sao cho điều kiện lòng sông trong mỗi đoạn tương đối đồng nhất. Nếu có thể, chọn các mặt cắt sao cho độ dài mỗi đoạn là bằng nhau ($\Delta x = \text{const}$).

– Xác định các quan hệ hình thái của các mặt cắt $H \sim B$, $H \sim \bar{h}$, $H \sim A$.

– Xác định thành phần và khối lượng riêng của cát bùn đáy và cát bùn lơ lửng.

– Xác định độ nhám lòng sông

– Tương ứng với lưu lượng tính toán, xác định đường mặt nước, từ đó xác định độ sâu, độ rộng, diện tích tại các mặt cắt tại thời điểm đầu.

– Xác định sức tải cát của dòng chảy tại các mặt cắt.

b) Tính toán sự thay đổi của lòng sông.

Giả sử bắt đầu tính toán từ thời điểm i đến $i+1$ với bước thời gian Δt . Đánh dấu bước thời đoạn thứ i . Các mặt cắt tính toán trong đoạn thứ j là j và $j+1$. Chiều dòng chảy từ j đến $j+1$.

Như vậy, từ (5) sẽ có:

$$\Delta h_{i,j} = \frac{(R_{i,j} - R_{i,j+1})}{B_j \cdot \Delta x_j} \cdot \frac{\Delta t}{\rho d} \quad (6)$$

Khi $\Delta h_{i,j} > 0$: lòng sông bồi.

$\Delta h_{i,j} < 0$: lòng sông xói.

Trong thực tế tính toán, lưu lượng cát bùn tại các mặt cắt được xác định thông qua sức tải cát S của dòng chảy:

$$R = S \cdot Q.$$

Dộ dài Δt được chọn sao cho sự thay đổi độ cao đáy sông ($\Delta h_{i,j}$) không vượt quá 20% độ sâu ban đầu.

c) Xác định sự thay đổi của độ dốc mặt nước do sự thay đổi của lòng sông.

Có thể sử dụng công thức Sedi – Manning để tính độ dốc trong đoạn j:

$$Q^2 = A_j^2 \cdot C_j^2 \cdot R_j I_j^d$$

Khi độ rộng lớn hơn nhiều so với độ sâu, có thể thay thế $R_j = \bar{h}_j$. Từ đó rút ra:

$$I_j^d = \frac{\Delta H_{i,j}}{\Delta X_j} = \frac{Q^2 \cdot n_{i,j}^2}{\bar{h}_{i,j}^{10/3} \cdot B_{i,j}^2}$$

Như vậy, chênh lệch mực nước tại hai đầu đoạn j là:

$$\Delta H_{i,j} = \frac{Q^2 \cdot n_{i,j}^2}{\bar{h}_{i,j}^{10/3} \cdot B_{i,j}^2} \cdot \Delta X_j \quad (7)$$

d) Xác định cao độ mặt nước khi chưa hiệu chỉnh cao độ đáy sông.

Sau thời đoạn Δt , do độ dốc mặt nước thay đổi, làm cho cao độ mặt nước tại các mặt cắt cũng thay đổi.

$$H_{i+1,j} = H_{i+1,j+1} + \Delta H_{i,j} \quad (8)$$

đ) Hiệu chỉnh độ sâu và diện tích mặt cắt ngang do thay đổi cao độ đáy sông (hiệu chỉnh lần 1).

$$\bar{h}_{i+1,j}^{(1)} = \bar{h}_{i,j} + \Delta h_{i,j} \quad (9)$$

$$A_{i+1,j}^{(1)} = \bar{h}_{i+1,j}^{(1)} \cdot B_{i,j} \quad (10)$$

Chú ý rằng, vì giả thiết độ rộng lòng sông không thay đổi, nên:

$$B_{i,j} = B_{i+1,j} = B_j$$

e) Xác định thay đổi cao độ mặt nước Δz tại các mặt cắt sau thời đoạn Δt :

$$Z_{i+1,j} = H_{i,j} - H_{i+1,j} \quad (11)$$

f) Hiệu chỉnh độ sâu và diện tích mặt cắt ngang do thay đổi đường mặt nước (hiệu chỉnh lần 2).

$$\bar{h}_{i+1,j}^{(2)} = \bar{h}_{i+1,j}^{(1)} - \Delta Z_{i+1,j} \quad (12)$$

$$A_{i+1,j}^{(2)} = \bar{h}_{i+1,j}^{(2)} \cdot B_{i,j} \quad (13)$$

Xuất phát từ đây, quá trình tính được lặp lại cho bước thời gian sau:

3. Áp dụng sơ đồ tính cho một đoạn sông Hồng

Sơ đồ trên đã được thử nghiệm áp dụng cho một đoạn sông Hồng dài 19500m từ dưới Việt Trì đến qua Sơn Tây ứng với hai trường hợp:

- Điều kiện tự nhiên

- Điều kiện có xét đến ảnh hưởng của việc điều tiết dòng chảy sông Đà do vận hành hồ Hòa Bình.

a) Sơ đồ hóa lòng sông

Căn cứ vào tài liệu đo đặc mặt cắt ngang, chọn được 9 mặt cắt, chia đoạn sông tính toán thành 8 đoạn nhỏ. Mặt cắt số 6 trùng với mặt cắt ngang của trạm thủy văn Sơn Tây (hình 1). Trên mỗi mặt cắt, xác định được các đặc trưng hình thái (độ rộng, độ sâu, diện tích) theo các cấp mực nước khác nhau, mỗi cấp cách nhau 0.5m.

b) Độ nhám lòng sông

Trong thực tế, không thể xây dựng được quan hệ rõ ràng giữa độ nhám với mực nước hoặc lưu lượng. Theo kết quả tính toán nhiều năm, độ nhám lòng sông trong đoạn tính thay đổi từ 0,014 – 0,036. Vì vậy, để đơn giản, chọn độ nhám trung bình $n = 0,025$ cho toàn đoạn sông với tất cả các mực nước.

c) Xác định điều kiện ban đầu

- Trường hợp điều kiện tự nhiên, tính toán theo giá trị lưu lượng trung bình tháng nhiều năm tại Sơn Tây.

- Trường hợp xét đến ảnh hưởng của việc điều tiết dòng chảy sông Đà do vận hành hồ Hòa Bình, tính toán theo giá trị lưu lượng ở Sơn Tây khi hai tổ máy ở Hòa Bình hoạt động với công suất xả tối đa $Q_{max} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Trong giai đoạn từ tháng I – IV, lưu lượng nước sông Đà khá thấp, tác dụng điều tiết do hoạt động của hai tổ máy khá rõ ràng; nâng cao lưu lượng sông Đà. Vì vậy, để so sánh, đã tiến hành tính cho thời gian này.

Như vậy lưu lượng tính toán trong điều kiện tự nhiên sẽ là:

Tháng	I	II	III	IV
$Q \text{ m}^3/\text{s}$	1320	1100	914	1070

và trong điều kiện có hoạt động của hai tổ máy:

Tháng	I	II	III	IV
Qm ³ /s	1300	1220	1170	1240

Rõ ràng là, khi hai tổ máy ở Hòa Bình hoạt động với công suất tối đa, lưu lượng ở Sơn Tây trong tháng II, III, IV tăng khoảng 100–250m³/s. Lưu lượng trong tháng I gần xấp xỉ với lưu lượng tự nhiên.

Từ giá trị lưu lượng và mực nước tại Sơn Tây, ứng với hai trường hợp trên, dựa vào phương trình đối với dòng không đều, ồn định:

Từ giá trị lưu lượng và mực nước tại Sơn Tây, ứng với hai trường hợp trên, dựa vào phương trình đối với dòng không đều, ồn định:

$$\Delta H = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{Q^2}{A^2 M^2 R^{4/3}} \Delta X \quad (14)$$

Xác định được đường mặt nước trên toàn đoạn tính toán ứng với các lưu lượng khác nhau. Từ đó xác định được các đặc trưng hình học tại các mặt cắt vào thời điểm ban đầu.

d) Xác định sức tải cát của dòng chảy

Sức tải cát của dòng chảy trong đoạn sông được tính theo công thức [5]

$$S = 155, \left(\frac{v^3}{gh\omega} \right)^{0,87} \quad (\text{g/m}^3)$$

trong đó độ thô thủy lực ω của cát bùn lơ lửng là giá trị trung bình tháng nhiều năm.

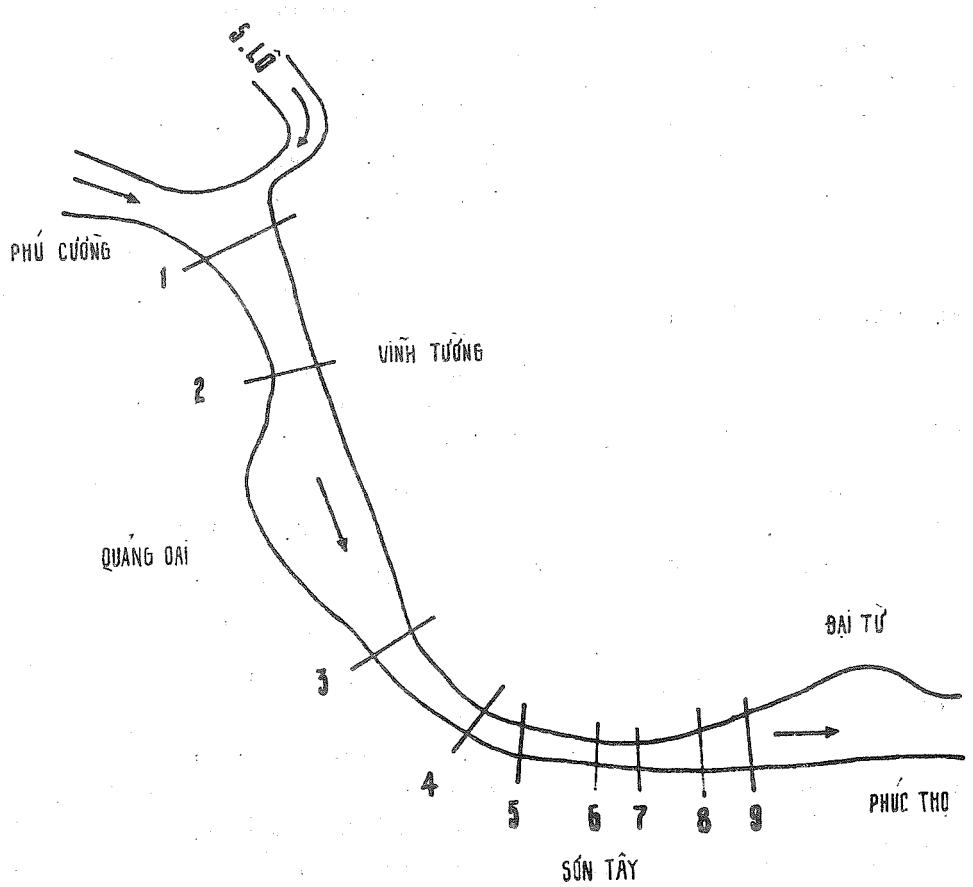
Tháng	I	II	III	IV
ω m/s	0,00301	0,00282	0,00298	0,00272

d) Phân tích kết quả tính.

Kết quả tính được trình bày dưới bảng sau

Thay đổi độ cao đáy sông (m)

tháng	Mặt cát	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
I	Tự nhiên	0,194	0,153	-0,112	-0,198	0,749	0,309	0,029	-0,515	
	Điều tiết	0,166	0,137	-0,075	-0,172	0,644	0,285	0,024	-0,475	
II	Tự nhiên	0,142	0,099	-0,175	-0,073	0,528	0,169	0,017	-0,295	
	Điều tiết	0,129	0,103	-0,061	-0,131	0,491	0,218	0,021	-0,358	
III	Tự nhiên	0,104	0,073	-0,194	0,022	0,367	0,103	0,010	-0,191	
	Điều tiết	0,118	0,098	-0,056	-0,122	0,456	0,200	0,020	-0,335	
IV	Tự nhiên	0,148	0,107	-0,210	-0,054	0,586	0,176	0,016	-0,447	
	Điều tiết	0,141	0,116	-0,051	-0,146	0,526	0,294	0,023	-0,410	



HÌNH: 1 SƠ ĐỒ VỊ TRÍ CÁC MẶT CẮT ĐOẠN SÔNG TỈNH TỐAN

+ Trường hợp dòng chảy tự nhiên

- Trong các đoạn I, II, V, VI luôn luôn diễn ra quá trình bồi và trong các đoạn IV, VII luôn diễn ra quá trình xói. Vào tháng III, khi lưu lượng nước sông thấp nhất, quá trình xói bồi xảy ra nhỏ nhất.

- Trong đoạn III diễn ra quá trình xói từ tháng I đến tháng IV. Đến tháng V, khi lưu lượng nước khá lớn ($Q_{ST} = 1890 \text{ m}^3/\text{s}$), lòng sông thay đổi trạng thái, diễn ra quá trình bồi. Ngược lại, trong giai đoạn VII, từ tháng I đến tháng IV diễn ra quá trình bồi. Đến tháng V, lòng sông lại có xu hướng xói.

Sự thay đổi trạng thái lòng sông giữa các tháng có liên quan chặt chẽ đến sự thay đổi về tương quan về diện tích và độ sâu của mặt cắt vào và ra trong hai đoạn sông này.

Trong đoạn III, ở các cấp mực nước tương đối thấp, ứng với lưu lượng và mực nước tính toán, diện tích của mặt cắt 4 thường xấp xỉ hoặc nhỏ hơn mặt cắt 3, nhưng độ sâu trung bình của mặt cắt 4 nhỏ hơn rõ rệt so với mặt cắt 3. Vì thế, sức tải cát tại mặt cắt 4 lớn hơn tại mặt cắt 3.

Ngược lại, ở các cấp mực nước cao, độ sâu trung bình giữa hai mặt cắt xấp xỉ nhau, nhưng diện tích của mặt cắt 4 lớn hơn nhiều so với mặt cắt 3. Do đó, lúc này sức tải cát tại mặt cắt 4 lại nhỏ hơn ở mặt cắt 3.

Trong đoạn VII tình hình xảy ra ngược lại.

+ Trường hợp có xét đến ảnh hưởng của hồ

Việc điều tiết của hồ có tác dụng làm tăng lưu lượng trong tháng với các mức độ khác nhau, do đó sự thay đổi quá trình lòng sông trong các tháng và các đoạn cũng khác nhau.

Tháng I: Lưu lượng xả qua hai tổ máy vẫn thấp hơn lưu lượng tự nhiên của sông Đà, vì vậy lưu lượng tại Sơn Tây chỉ gần xấp xỉ với lưu lượng tự nhiên, tình trạng xói hoặc bồi ở các đoạn đều có xu thế giảm đi.

Tháng II và tháng IV: Lưu lượng tại Sơn Tây trong hai tháng này tăng 120 và $170 \text{ m}^3/\text{s}$, nên sự thay đổi trạng thái trong từng đoạn có khác nhau :

- Đoạn I và đoạn V mức độ bồi giảm : đoạn III mức độ xói giảm
- Đoạn II, đoạn VI, VII mức độ bồi tăng : đoạn IV, VIII mức độ xói tăng

Tháng III: Do lưu lượng tăng lên tương đối lớn ($256 \text{ m}^3/\text{s}$) mức độ xói hoặc bồi nói chung đều tăng lên.

Như vậy, sự hoạt động của hai tổ máy của nhà máy thủy điện Hòa Bình mới chỉ làm tăng rõ rệt lưu lượng hạ lưu vào tháng III, lưu lượng trong tháng II và IV tăng chưa đầy $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Phần hạ lưu sông Hồng từ dưới Việt Trì không chịu ảnh hưởng trực tiếp của hồ, vì vậy trong thời gian này trạng thái lòng sông ít có những thay đổi lớn so với điều kiện tự nhiên. Tác động của việc tăng lưu lượng thể hiện chủ yếu ở chỗ làm thay đổi mức độ xói hoặc bồi lồng trong từng đoạn, trong đó tương quan về sự thay đổi diện tích và độ sâu trung bình của các mặt cắt vào và ra ở mỗi đoạn do sự thay đổi của mực nước có vai trò khá quan trọng.

Tài liệu tham khảo

1. M.F.Karim. Analysis of sediment continuity and application to the Missouri river, IJHR, Report N° 292 December, 1985.
2. Đại học Thủy lợi. Giáo trình động lực học dòng sông Hà Nội, 1970
3. Viện nghiên cứu thủy công toàn liên bang. Hướng dẫn tính toán biến hình lòng sông ở hạ lưu công trình đầu mối. Leningrad, 1981.
4. Hoàng Hữu Văn. Văn đề cân bằng bùn cát và bài toán biến hình lòng dẫn trong kênh thiên nhiên và kênh dẫn. Tuyển tập báo cáo khoa học tại hội nghị khoa học KPTV toàn quốc lần thứ I, Tổng cục KTTV, Hà Nội, 1987.
5. Võ Văn Vị. Dòng chảy cát bùn sông Hồng. Viện KTTV, Hà Nội, 1981