
LẬP BÌNH ĐỒ DÒNG CHẢY TRÊN ĐOẠN SÔNG CONG

FLUID VELOCITY DISTRIBUTION IN CURVE RIVER

TS. ĐÀO VĂN TUẤN

Khoa Công trình thủy, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Đối với các đoạn sông đơn giản có các cách thủ công để xác định trường dòng chảy, tuy nhiên với đoạn sông cong cần phải dùng các phương pháp số, cụ thể là sai phân hữu hạn để thực hiện. Nội dung bài báo nêu cách xác định trường dòng chảy trên đoạn sông cong bằng phương pháp sai phân có minh họa bằng ví dụ tính toán thực tiễn.

Abstract

For most straight river sections, there are some manually methods to calculate the field of velocity, but for curved ones we must use numerical method. The numerical method used for this case is finite difference method. This article presents the method of calculating the stream fields in curved river section using finite difference method with applied examples.

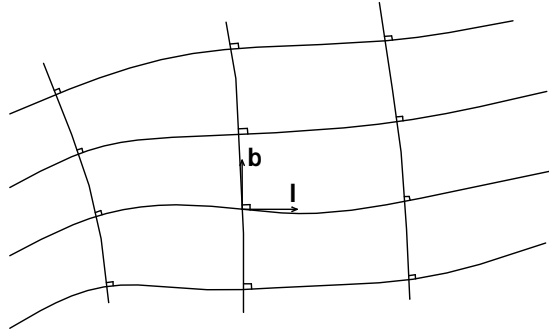
1. Đặt vấn đề

Xác định trường dòng chảy trên đoạn sông là rất cần thiết để tính toán bồi xói và phân tích chế độ dòng chảy. Với các đoạn sông đơn giản có các phương pháp thủ công để lập bình đồ dòng chảy, tuy nhiên đối với đoạn sông cong cần phải giải hệ phương trình bình đồ dòng chảy một cách đầy đủ nên chỉ có thể ứng dụng các phương pháp số để thực hiện, thường là phương pháp sai phân hữu hạn. Nội dung bài báo nêu cách ứng dụng phương pháp sai phân để lập bình đồ dòng chảy trong đoạn sông cong.

2. Phương trình bình đồ dòng chảy trong hệ tọa độ tự nhiên

2.1. Hệ tọa độ tự nhiên

Hệ tọa độ tự nhiên là lưới trực giao của các đường dòng và mặt cắt ngang. Nếu đứng tại một vị trí ta có hai trục tọa độ vuông góc là l (theo phương dòng chảy) và b .



Hình 1. Sơ đồ hệ tọa độ tự nhiên.

Khi lập bình đồ dòng chảy người ta hay dùng hệ tọa độ tự nhiên.

2.2. Phương trình bình đồ dòng chảy trong hệ tọa độ tự nhiên.

Phương trình bình đồ trong hệ tọa độ tự nhiên có dạng

$$\frac{\partial W}{\partial l} \cdot W = g \cdot I_l - \frac{g \cdot W^2}{C^2 \cdot H}$$

$$\frac{W^2}{r} = g \cdot I_b$$

Trong đó:

W - vận tốc toàn phần theo phương dòng chảy;

I_b - độ dốc ngang;

I_l - độ dốc dọc;

C - Hệ số Sêdi;

H - chiều sâu dòng chảy.

Phương trình liên tục có dạng:

$$\frac{\partial q}{\partial l} + \frac{q}{r^*} = 0$$

r^* - bán kính cong của mặt cắt ngang;

q - lưu lượng trên thủy trực theo phương dòng chảy.

2.2. Phương trình bình đồ dòng chảy trên đoạn sông cong

Với đoạn sông cong và lòng sông không biến đổi đột ngột, khi đó ta có thể chấp nhận giả thiết mặt cắt ướit là phẳng, độ nhám không thay đổi, hệ phương trình bình đồ dòng chảy trở thành:

$$\frac{\partial W}{\partial l} \cdot W = g \cdot I_l - \frac{g \cdot W^2}{C^2 \cdot H}$$

$$\frac{W^2}{r} = g \cdot I_b$$

$$Q = W\omega$$

Trong đó:

Q - Lưu lượng sông;

ω - diện tích mặt cắt ướit lòng sông.

Lập bình đồ dòng chảy cho đoạn sông cong chính là giải hệ phương trình trên.

3. Lập bình đồ dòng chảy trên đoạn sông cong

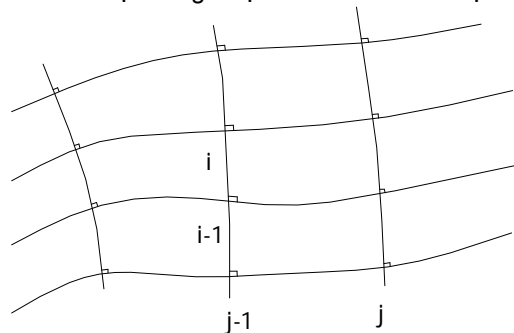
Với đoạn sông tương đối thẳng, lòng sông không có gềnh cạn người ta sử dụng phương pháp mặt cắt phẳng, khi đó có thể chấp nhận các đơn giản hoá sau:

- Độ dốc và độ nhám không thay đổi theo phương ngang;
- Vận tốc dòng chảy ít biến đổi theo phương dòng chảy.

Với đoạn sông cong ta cần viết hệ phương trình bình đồ dòng chảy cho đoạn sông cong.

3.1 Hệ phương trình sai phân

Đối với đoạn sông cong ta phải giải hệ phương trình ở trạng thái đầy đủ vì không thể bỏ qua độ dốc ngang. Phương pháp giải chỉ có thể là phương pháp số, cụ thể là phương pháp sai phân (phương pháp Bernasky). Khi đó đoạn sông được chia thành các mặt cắt và bó dòng.



Hình 2. Sơ đồ lưới sai phân.

Sai phân hoá phương trình thứ nhất còn được gọi là phương trình cân bằng dọc (theo phương dòng chảy) cho bó dòng thứ i và mặt cắt $j-1, j$ ta có:

$$z_{i,j} = A_{i,j-1} + F_{i,j-1,j}$$

Trong đó:

$$\bar{C}_{i,j-1,j} = \frac{C_{i,j-1} + C_{i,j}}{2}; \bar{H}_{i,j-1,j} = \frac{H_{i,j-1} + H_{i,j}}{2}; \bar{W}_{i,j-1,j}^2 = \frac{W_{i,j-1}^2 + W_{i,j}^2}{2}$$

$$A_{i,j-1} = z_{i,j-1} + \frac{W_{i,j-1}^2}{2g}; F_{i,j} = \Delta l_{i,j-1,j} \frac{\bar{W}_{i,j-1,j}^2}{\bar{C}_{i,j-1,j} + \bar{H}_{i,j-1,j}} + \frac{W_{i,j}^2}{2g}$$

Sai phân hoá phương trình thứ hai còn được gọi là phương trình cân bằng ngang cho mặt cắt j và các bó dòng i-1, i (hướng từ bờ lồi sang bờ lõm) ta có:

$$z_{i,j} - z_{i-1,j} = \frac{\Delta b_{i-1,j} + \Delta b_{i,j}}{2g} \frac{W_{i-1,j}^2 + W_{i,j}^2}{2r_{i-1,i,j}}$$

Kết hợp với phương trình cân bằng dọc ta được:

$$z_{i,j} - z_{i-1,j} = A_{i,j-1} + F_{i,j-1,j} - (A_{i-1,j-1} + F_{i-1,j-1,j}) = \frac{\Delta b_{i-1,j} + \Delta b_{i,j}}{2g} \frac{W_{i-1,j}^2 + W_{i,j}^2}{2r_{i-1,i,j}}$$

Suy ra:

$$\Delta b_{i,j} = \frac{2gB_{i,j}}{H_{i,j}} - \Delta b_{i-1,j} \text{ hay: } \Delta b_{i,j} = M(\Delta b_{i-1,j})$$

Trong đó:

$$B_{i,j} = A_{i,j-1} + F_{i,j-1,j} - (A_{i-1,j-1} + F_{i-1,j-1,j}); H_{i,j} = \frac{W_{i-1,j}^2 + W_{i,j}^2}{2r_{i-1,i,j}}$$

Công thức trên cho phép tính được bề rộng bó dòng sau theo chiều rộng bó dòng trước. Nếu có N bó dòng ta có N-1 phương trình, tuy nhiên tổng các bó dòng phải bằng bề rộng sông nên ta có N phương trình cho mặt cắt j:

$$\begin{cases} \Delta b_{1,j} = M(\Delta b_{0,j}) \\ \dots\dots\dots \\ \Delta b_{N-1,j} = M(\Delta b_{N-2,j}) \\ \sum \Delta b_{1,j} = B_j \end{cases}$$

Do số ẩn bằng số phương trình nên hệ trên giải được với điều kiện tại mặt cắt j-1 các đặc trưng của bó dòng đều đã biết, tuy nhiên hệ trên là hệ phi tuyến và các đại lượng phụ thuộc lẫn nhau nên chỉ có thể dùng phương pháp lặp. Khi tìm được bề rộng của bó dòng ta dễ dàng xác định được tọa độ, vận tốc bó dòng.

3.2 Thuật toán

Thuật toán để giải phương trình bình đồ cho đoạn sông cong như sau:

1. Chia đoạn sông thành các mặt cắt, ấn định số bó dòng, với điều kiện mặt cắt ban đầu không bị ảnh hưởng bởi đoạn cong hay nói cách khác: với mặt cắt ban đầu có thể áp dụng phương pháp mặt cắt phẳng;

2. Xác định bề rộng, vận tốc bó dòng cho mặt cắt ban đầu theo phương pháp mặt cắt phẳng. Suy ra xác định được các đại lượng $A_{i,0}$;

3. Xác định các bề rộng bó dòng của mặt cắt sau:

3.1 Giả định $\Delta b_{0,j}$ tìm $\Delta b_{1,j}$ và các bề rộng còn lại, tuy nhiên để tìm được các $\Delta b_{i,j}$ cũng phải dùng phương pháp lặp do hàm $M(\Delta b_{i-1,j})$ cũng chứa $\Delta b_{i,j}$;

3.2 Tính tổng $\Delta b_{i,j}$ và so sánh với B_j nếu khác cần giả định lại $\Delta b_{0,j}$. Phép lặp sẽ kết thúc khi đạt được sự bằng nhau;

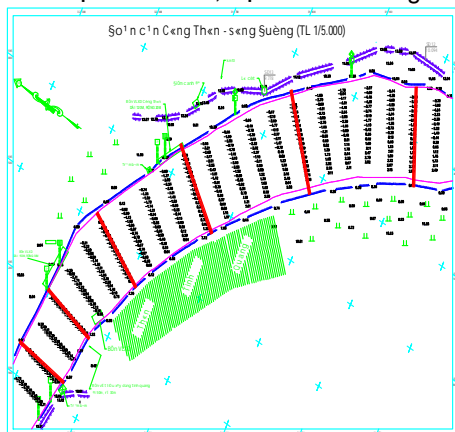
3.3 Tính cao độ mặt nước cho mặt cắt j;

- 3.4 Tiếp tục thực hiện việc xác định bề rộng bó dòng cho các mặt cắt tiếp theo;
4. Xác định tọa độ các bó dòng trên các mặt cắt;
5. Xác định vận tốc bó dòng của các mặt cắt;

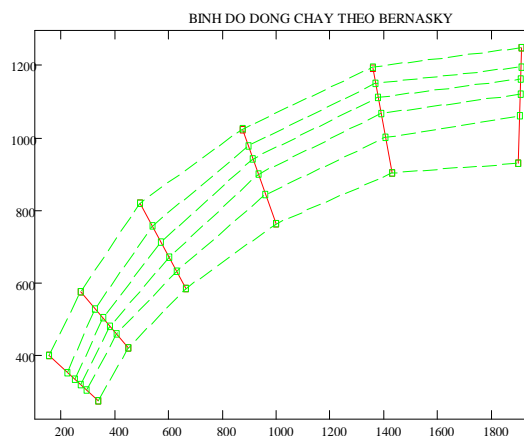
Để hiện thực hoá thuật toán trên tác giả lập chương trình trong Mathcad.

4. Ví dụ tính toán thực tế

Với ví dụ thực tế, đề tài lấy bình đồ đoạn cong Cống Thôn với lưu lượng $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$, ứng với mực nước 7m, hệ số nhám lòng sông $n=0,025$. Kết quả xác định được như sau:



Hình 3. Bình đồ địa hình đoạn Cống Thôn sông Đuống.



Hình 4. Kết quả bó dòng đoạn cận Cống Thôn.

Vận tốc bó dòng tại các mặt cắt (m/s):

$$vt_bo_dongB = \begin{pmatrix} 0.485 & 0.579 & 0.606 & 0.553 & 0.39 \\ 0.388 & 0.649 & 0.625 & 0.588 & 0.421 \\ 0.437 & 0.563 & 0.532 & 0.504 & 0.384 \\ 0.298 & 0.562 & 0.593 & 0.608 & 0.453 \\ 0.361 & 0.472 & 0.503 & 0.539 & 0.466 \\ 0.286 & 0.519 & 0.57 & 0.578 & 0.392 \end{pmatrix}$$

3.3 Kết luận

Bằng phương pháp sai phân và chương trình máy tính ta có thể giải được phương trình bình đồ dòng chảy ở dạng tổng quát có tính đến phương trình cân bằng ngang (điều không thể bỏ qua với đoạn sông cong).

Chương trình viết trong Mathcad cho phép hiện thực hoá thuật toán, cho kết quả tính toán mà không thể thực hiện được bằng các tính toán thủ công. Chương trình này hoàn toàn có thể áp dụng trong thiết kế, giảng dạy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K.V. Grisanin. *Lý thuyết quá trình lòng sông*. Nhà xuất bản "Giao thông Vận tải". Moscow 1972.
- [2] Đào Văn Tuấn. Đề tài NCKH cấp trường "*Lập bình đồ dòng chảy cho đoạn sông cong bằng phương pháp Sai phân*". Đại học Hàng hải 2005.

Người phản biện: TS. Phạm Văn Trung