

京都大学防災研究所 正員 宇民 正

1 概説

水制、河川幅の急縮部あるいはもぐりゼマなど開水路隅角部の前面に生じる局所流を解明することは、河川構造物の前面洗掘や流木などの浮遊物による災害現象を取扱う上の基本となる。本報告は、こうした目的で一様長方形断面水路に急縮部を設け、その前面に生じる流れの三次元的な機構を実験的に把握し、それについて二次元解析の方法を用いて検討を加えたものである。

2 開水路幅の急縮部における流れ

(1) 水面近傍の流れのパターン； 幅 20 cm, 勾配 $1/500$ の透明アクリライト製実験水路の両側の側壁にそれと直角に幅 4 cm の突出壁を設け、 0.95 l/sec の流量の下で水面におがくすを流し、それを数回写真撮影することにより、水面近傍の流線の平均的なパターンを調べた。その結果を図-1 に示す。流れは常流であり、水深は急縮部より上流側で 5.0 cm, 下流側で 4.9 cm である。隅角部の所には逆流が生じて流線が流心方向に押しやられることが認められた。

(2) 水路底面近傍の流れのパターン； 底面に接して染料を流し、その平均的な流跡線を追跡したものを図-2 に示す。図において流線を記入していない部分は染料の流下方向が変動して定まらず流速も他の部分に比較して遅い部分である。なお、逆流の相対的強さは水面近傍より強いようである。

(3) 開水路隅角部前面における流れの内部機構； 水の電気分解で生じる細かい水素気泡をトレーサーとして用いて流れの内部における流線のパターンを観察した。突出壁が水路側面から出ている場合および水路底面から出ている場合のいずれにおいても隅角部に不安定な渦が発生していることが認められた。このような渦の存在は、水に代りにグリセリンを用いて層流状態で実験を行なったときにより明確に認められた。この

ような渦の発生の結果、突出壁の前面に沿って水面に近い部分では上向きの流れ、水路底に近い部分では下向きの流れが発生する。それら二つの流れの境界は stagnation line となる筈であるが、これは非常に不安定である。また、水面、水路底面および水路側壁面の近傍では上流側に向かう流れが存在する。図-3 に開水路隅角部前面に生じるこのような三次元的な渦の構造の概念図を示す。

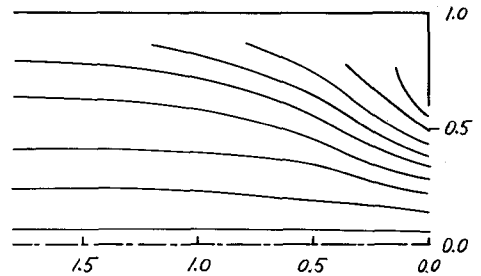


図-1 開水路幅急縮部前面における流れの水面近傍での流線のパターン

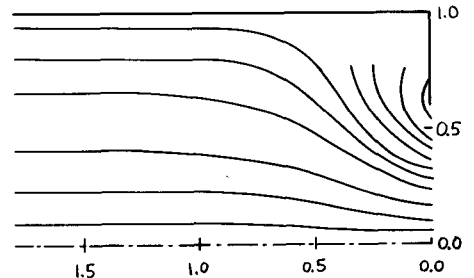


図-2 開水路幅急縮部前面における流れの底面近傍での流線のパターン

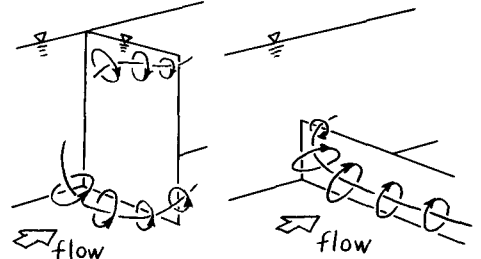


図-3 開水路隅角部前面に生じる渦の機構

3 南水路隅角部前面の流れのパターンの近似解析

上述した所に基つき、隅角部前面の三次元的な流れの機構を次の様な二次元場で近似的に解析する。すなわち、流れの場を水路底面に平行な平面で切断し、突出壁面とその断面との交線から湧出があるとする。水面あるいは水路底面近傍においては湧出量は正であり、stagnation line近傍においては湧出量は負であるとする。このような湧出線を含む二次元場で解析を行なう。流線に沿って流体の単位質量あたりのエネルギーが保存されると仮定すると、同じく流線に沿って渦度も保存されること示される。¹⁾ その場合、渦度は流線の関数となるから、流れ関数を ψ 、渦度を $-f(\psi)$ で表わすとき、次式が成立する。

$$\nabla^2 \psi \equiv \partial^2 \psi / \partial x^2 + \partial^2 \psi / \partial y^2 = f(\psi) \quad \text{----- (1)}$$

南水路急縮部における上式の境界条件として、①上流側流入部の流速分布は余弦型である。②湧出量は湧出線上で一様に分布する。③流出部の流速分布は一様である。という三つの仮定を設ける。図-4に示すように座標軸を設定するとき、上述の境界条件は、 $x=-\infty$ で $u/u_{\max} = \cos(\pi y/2)$ 、 $x=0$ かつ $0 \leq y \leq y_0$ で $u/u_{\max} = \text{一定}$ 、 $x=0$ かつ $y_0 \leq y \leq 1$ で $u/u_{\max} = \text{一定}$ と書きかえられる。ただし、ここで u は流速、 $u_{\max}$ は断面最大流速、 y_0 は急縮部出口幅の半分である。この場合、 $x=-\infty$ で $\psi = (2/\pi) \sin(\pi y/2)$ となるから、(1)式は

$$\nabla^2 \psi = -\pi^2 \psi / 4 \quad \text{----- (2)}$$

となる。境界条件を書き直すと次の様になる。(i) $y=0$ で $\psi=0$

(ii) $x=-\infty$ で $\psi = (2/\pi) \sin(\pi y/2)$ (iii) $x=0$ かつ $0 \leq y \leq y_0$ で $\psi = 2ky/\pi y_0$

(iv) $y=1$ で $\psi = 2/\pi$ (v) $x=0$ かつ $y_0 \leq y \leq 1$ で $\psi = 2/\pi + 2(k-1)(1-y)/\pi(1-y_0)$

$$\text{--- (3)}$$

ここで $2(k-1)/\pi$ が全湧出量である。以上の境界条件の下で(1)式を解いて次の解を得る。

$$\psi = \frac{2}{\pi} \sin \frac{1}{2} \pi y + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin n \pi y \cdot \exp(\sqrt{n^2 - \frac{1}{4}} \pi x) \quad \text{----- (4)}$$

$$C_n = \frac{4}{\pi^2} \left(\frac{k-y_0}{y_0(1-y_0)} \frac{\sin n \pi y_0}{n \pi} - \frac{\cos n \pi}{1-4n^2} \right)$$

上の解法はYih²⁾の方法を参考にしたものであるが、彼の解は流出幅が無限小で湧出量がない場合のものであり、(4)式において $y_0 \rightarrow 0$ 、 $k=1$ の場合に相当している。概説で述べたように、防災工學上とくに問題となるのは水面あるいは水路底面近傍の流れであり、その領域において k の値をいくらすべからかは今後の問題である。ここでけしあたって $k=1$ 、 $y_0=0.6$ の場合について(4)式を数値計算し、その結果を図-4に示した。図-1あるいは図-2に示した水面あるいは水路底面近傍の断面では $k>1$ となるから、流線は計算値より流心に押しやられた形になっている。

4 参考文献

- 1) 中川博次、宇民正：京大防災研究所年報，オ11号B，昭和43年3月
- 2) Yih, C.S.: Journal of Fluid Mechanics, vol. 5, 1959, p. 36-40.

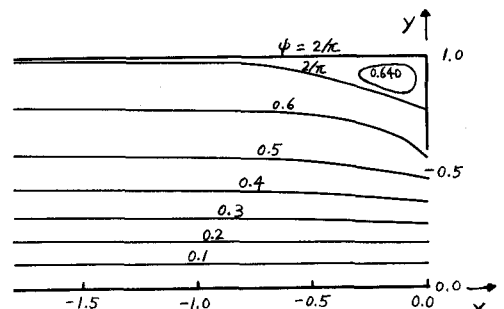


図-4 渦度保存則による流線パターンの計算
($y_0=0.6$, $k=1$ の場合)