

東京都建設局 ○ 東野 寛
早稲田大学理工学部 学生員 木下 献一
早稲田大学理工学部 正員 吉川秀夫

1° まえがき 狭窄部を通過する開水路流れでは、急縮部前後に於て流線が3次元的に急激に曲がるため、この付近での底面せん断力 τ は wRi では表わせない。本研究では、片山・田中等の手法を3次元に拡張して、境界形状が与えられた場合の底面せん断力算定方法を考え、実測値と照合してその適否を考えた。更に、横流入の概念を導入することにより、水面形状の推定を試みた。

2° 実験装置 本実験では、図1に示す様な水路を使用した。水路は幅0.3 m、滑面固定床とし、最上流部に於て十分に整流される様に配慮した。また、レーザー流速計を使用するため、両側壁は透明アクリル版とした。尚、せん断力測定は、抵抗則とPrestonの手法を用いた。

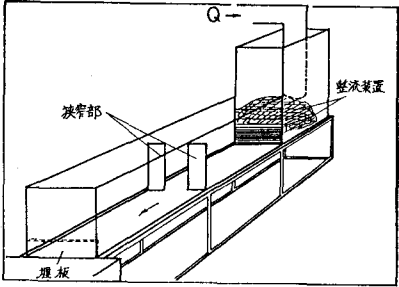


図1. 実験水路

3° 底面せん断力算定の理論 本実験では、3次元³⁾的な流線の曲がりを生じるが、3次元で解くのは困難であるため、Schlichtingの方法でNavier-Stokes方程式の各項のorderを比較し、2次元への近似化を計った結果、流れの中央測線底面近傍についてのみ考えれば、式(1)の様な2次元のKarmanの運動量方程式を用い得ることがわかった。

$$\frac{\partial}{\partial x} (U^2 \delta) + \delta^* U \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\tau_0}{\rho} \quad \delta : \text{運動量厚} \quad \delta^* : \text{排除厚} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式(1)に、式(2)で表わされるBlasiusの抵抗則を連立させて式(8)を得、これを差分形にして式(2)とより、主流速 U を代入して、底面せん断力 τ と、境界層厚 δ を得る。

$$\frac{\tau}{\rho U_{\max}^2} = 0.0225 \left(\frac{U_{\max} \delta}{\nu} \right)^{-\frac{1}{4}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{7}{72} U \frac{\partial}{\partial x} \delta + \frac{23}{72} \delta \frac{\partial U}{\partial x} = 0.0225 U \left(\frac{U \delta}{\nu} \right)^{-\frac{1}{4}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

4° 算定結果 以下に述べる如く、case1、case2の2通りの流れについてせん断力を算定した。

case 1 水路下流端をセキ上げて、急縮部付近で水面形に急激な変化がない様な場合について行なった。このcaseでは、鉛直方向の流線の曲がりほとんどないため、 $dp/dy = \text{const.}$ と見做すことができ、境界層内での鉛直方向流速分布は、対数則に従うと考えられる。レーザー流速計による測定により、底面から十分に離れたところでは、ポテンシャル流れに近いことがわかった。

なので、式(3)の主流速 U として実測 $U_{\max}$ を代入して τ を算定した。図2に結果を示す。

case 2 狭窄部近傍に於て常流から射流に移行する。この場合は流線に3次元³⁾的な曲がりを生じるため、 $dp/dy = \text{const.}$ とならず、

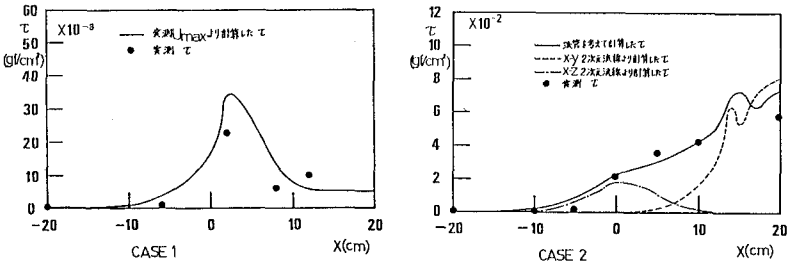


図2,3 セン断力算定結果

式(8)の仮定に反する。そこで流れの中に以下の場を想定した。1) 流れは境界層領域とその外縁に分かれ、外縁に於て主流速 U をもつ。2) 境界層内では $\frac{dp}{dy} = \text{const.}$ で流速は対数則に従う。3) 2次元のポテンシャル解析により求めた流線を縦横組合せて底面中央測線付近に流管を考え、これにより求めた $U_{\max}$ を主流速 U とする。以上の仮定を用い、case1と同様に $U(i)$ と $\delta(0)$ を差分式に代入して底面せん断力 τ を得る。図3に結果を示す。図2、図3より、本研究のせん断力算定手法は、 $\tau \propto (\frac{d\phi}{dx})^2$ 、 $\tau = wRi$ 等、従来の方法より良い精度で、せん断力を算定できることがわかる。

5° 急縮現象を表わす横流入の式 従来の「垂直方向に横流入がある場合に水面形を与える式」に、斜め方向の横流入・流線の曲がりによる静水圧分布からのずれ(圧力補正係数 α')を考慮して、式(4)を得る。

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - Sf - \frac{2q_*Q}{gb^2y^2} + \frac{q_*v \cos \epsilon}{gby} + \frac{(\alpha'_1 - \alpha'_2)\bar{Z}}{\Delta x}}{\alpha'_2 - \frac{Q^2}{gA^2y}} \dots\dots (4)$$

$$Sf = \frac{n^2 Q^2}{b^2 y^{10/3}}, \quad S_0: \text{水路勾配}$$

式(4)に、中央測線実測による α' ・ポテンシャル流線による α' (図5,6,7,8)を用いて、各々計算1・2を行なったところ、実水面形とよく合うことから、急縮現象を横流入の概念を用いて考えてよいと言え、今後さらに合理的な、水面形・底面せん断力算定方法を確立して行く予定である。

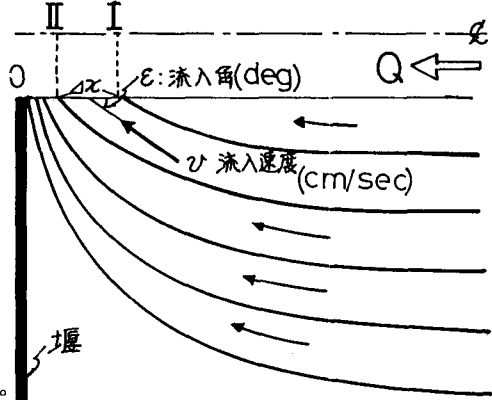


図4. X-Z 流線(上からみた場合)

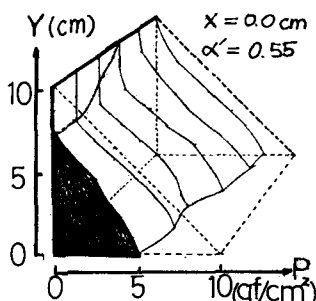


図5. Y-P 図

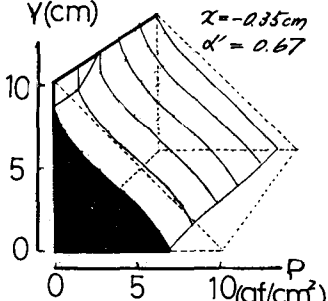


図6. Y-P 図

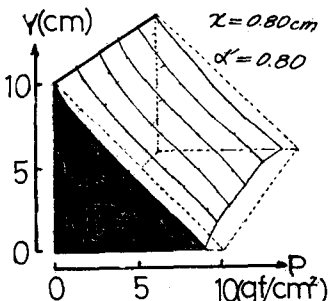


図7. Y-P 図

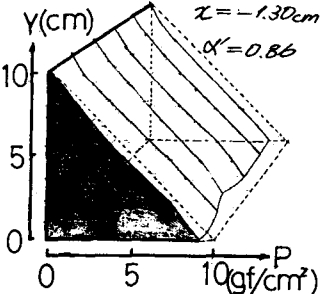


図8. Y-P 図

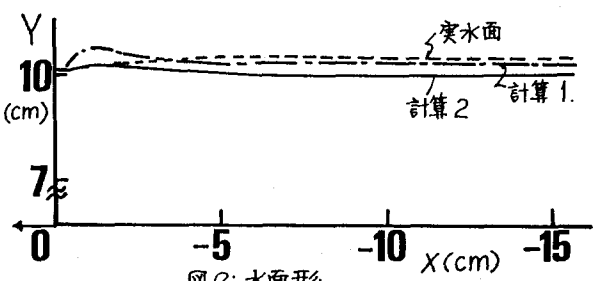


図9. 水面開形

なお、本研究は文部省科学研究費(自然災害特別研究(I) 都市河川の治水トータルシステムの信頼性に関する研究 代表者 吉川秀夫教授)の補助を受けた。記して謝意を表します。

参考文献: 1) 吉川秀夫、片山道夫、田中等、福井吉孝: 第26回水理公学会論文集、段落ち部の水理
2) H.P. reston: The determination of turbulent skinfriction by means of pitot tubes, J. Roy, Aero Soc., Vol. 54, 1954 3) H. Schlichting: Boundary Layer Theory, Seventh Edition.