

II-117

底面が横断方向に傾斜した開水路流の水利特性

名古屋工業大学 学生員 草野 清
名古屋工業大学 正会員 富永 晃宏

1 はじめに 一般河川では複雑な断面形状や表面粗度状態を有しており、水路内部のいたるところで横断方向のせん断が働き、流れの構造に影響を及ぼす。移動床河川における砂州発生領域や傾斜の緩やかな護岸などでは底面の傾斜により水深が変化する。流砂輸送問題においてはこのような流れの底面せん断応力の予測が重要であるが、横断面のせん断応力についてはまだ不明な点が多い。そこで本研究は、流速が横断方向に連続的に変化する底面を傾斜させた開水路流れにおいて、横断面のせん断応力と渦動粘性係数を評価し、水深平均の運動方程式による解析を試みた。

2 実験条件 長さ8m、幅29cmの水路を用い、水深、底面の勾配の違いで4ケース行った。ケース比較表を表1に横断面図を図1に示す。流速計はX型ホットフィルム流速計を用い、3成分の流速を計測した。

	hL	hR
NANA1	4	1.8
NANA2	6	3.8
NANA3	4	0.8
NANA4	6	2.8

表1 ケース比較表 (cm)

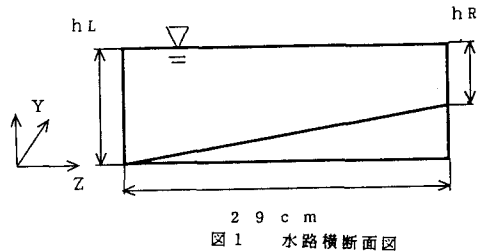


図1 水路横断面図

3 実験結果 4つのうちNANA1の等流速線図を図2に乱れ強度 u' の分布を図3に示す。等流速線図をみると水深の浅い右岸側で相対的に流速が減少しており、最大流速は水路中央より左岸側に現れる。左側壁近傍では長方形断面と同様の2次流の影響が認められるが水路中央領域では顕著な2次流は認められない。また u' の分布をみると底面にはほぼ平行で水面方向に u' が減少しており、局所的摩擦速度で無次元化された乱れ強度の y 方向分布は y/h に対して普遍分布に従うことが分かった。

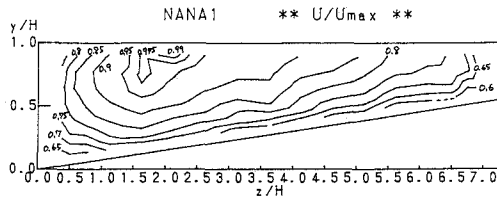


図2 NANA1 等流速線図

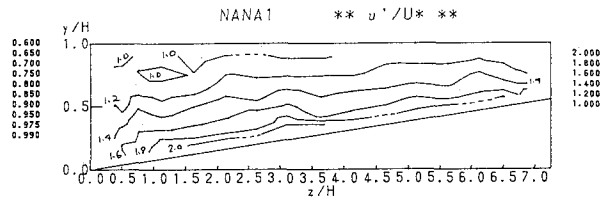


図3 NANA1 u' 分布

さて、せん断応力は

$$\tau = \rho U_*^2 \dots\dots\dots (1)$$

で表され、摩擦速度 U_* は対数則分布から求めた。対数則は

$$U/U_* = (1/\kappa) \ln(U_* y/\nu) + A \dots\dots (2)$$

と表され、 $\kappa = 0.41$, $A = 5.29$ とした。図4, 5, 6, 7はNANA1, NANA2, NANA3, NANA4の U_*^2 と $ghle$ の分布である。(leはエネルギー勾配) 水深の浅いNANA1, NANA3の U_*^2 は中央より左岸側で最大値をとり、右岸側に向かって連続的に減少する。水深の深いNANA2, NANA4の U_*^2 の分布は左岸側で極大値が現れず、左側壁の影響が大きいと考えられる。また、4つとも重力による釣り合いである $ghle$ よりも小さく分布しておりこの減少は側壁及び横断方向の流速勾配の影響と考えられ、それらを考慮した解析を以下に行った。

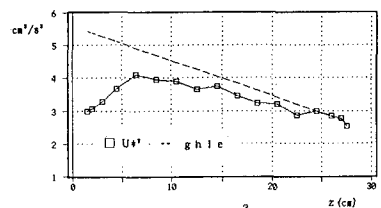


図4 NANA1 U_*^2 分布

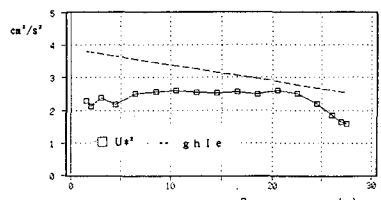


図5 NANA2 U_*^2 分布

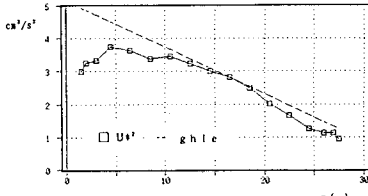


図6 NANA3 U_*^2 分布

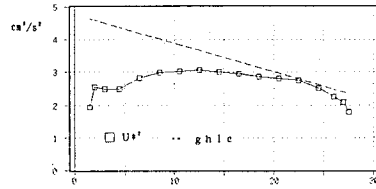


図7 NANA4 U_*^2 分布

4 運動方程式による数値計算 定常な等流の流れ方向のレイノルズ方程式を底面から水面まで積分し、次の条件を用いると式（3）が得られる。

1) 粘性項を無視 2) $y=0$ で $-uv=U_*^2, V=0$ 3) $y=h$ で $-uv=0, V=0$ 4) 二次流の項を無視

$$U_*^2 = ghle + \frac{d}{dz} \int_0^h (-\overline{uw}) dy - \frac{1}{h} \int_0^h (-\overline{uw}) dy \frac{dh}{dz} \quad (3)$$

ここでNANA1の水深平均のレイノルズ応力 $(-\overline{uw})$ 分布と水深平均流速の流速勾配分布を図8に示す。これを見ると両者の間に相関関係があることがわかる。そこで両者を結び付ける渦動粘性係数

$$E_{xz} = \frac{1}{h} \int_0^h (-\overline{uw}) dy / \frac{dU}{dz}$$

$$U = \frac{1}{h} \int_0^h U dy$$

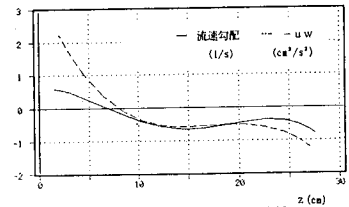


図8 NANA1 流速勾配 -uw比較

用いて、式（3）は次のようになる。

$$U_*^2 = ghle + \frac{d}{dz} E_{xz} h \frac{dU}{dz} - E_{xz} \frac{dU}{dz} \frac{dh}{dz} \quad (4)$$

ここで、主流速Uは対数則に従うものとし、式（2）を積分し水深平均流速を摩擦速度を用いて次のように表す。

$$U/U_* = (1/\kappa) \{ \ln(U_* h/\nu) - 1 \} + As \dots \dots (5)$$

式（4）と式（5）において E_{xz} を与えるとUのみが未知数となり数値的に解くことができる。図9にNANA1の E_{xz} の分布を示す。水路中央域ではほぼ一定で $E_{xz}/(B/2)U_* = 0.04$ 程度である。側壁付近で減少する傾向にあるが、この傾向はケースにより異なり特性が不明確であるため本解析では横断方向に一定と仮定した。また、側壁の境界条件は水深平均流速が横断方向に対数則に従うとし、側壁の U_* を与えた。図10に U_*^2 の実験値と計算値の比較を示す。これを見ると両者はほぼ一致し、横断方向に一定とした渦動粘性モデルで、水深平均の流れ場がある程度予測できることが示された。しかしその他のケース（特に水深の深いNANA2, NANA4）において E_{xz} を一定とすると計算値は側壁近傍が過小評価され、 E_{xz} の側壁近傍の減少を考慮する必要があると考えられる。

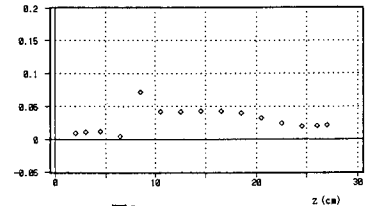


図9 NANA1 E_{xz} 分布

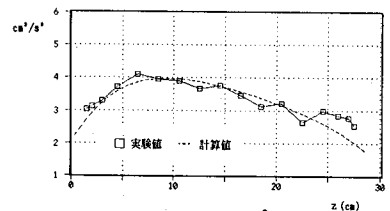


図10 NANA1 U_*^2 比較

5 おわりに 底面を横断方向に傾斜させたことにより、水路全体にわたる横断方向の渦動粘性係数が評価され、このような流れ場の分布特性がある程度予測できることが示された。しかし E_{xz} の与え方に問題があり、検討が必要であろう。