

表-1 測定水理量一覧

case	H (cm)	B (cm)	B/H	Q (cm ³ /s)	U _m (cm/s)	I	ν (cm ² /s)	R (cm)	Re = U _m R/ν	Fr = U _m /√gH	U _{1R} (cm/s)
A-1	50	997	20	1730	34.8	0.00167	0.01084	249	0.779×10 ⁶	0.704	202
A-2	100	997	10	4260	42.8	0.00167	0.01464	332	0.937×10 ⁶	0.750	233
A-3	150	997	0.67	7500	50.4	0.00166	0.00962	373	1.95×10 ⁶	0.834	246
A-4	200	997	0.50	10600	53.4	0.00166	0.00956	398	2.22×10 ⁶	0.855	255

1. はじめに 複数の境界面を有する開水路の流れの場は底面、側壁および自由水面に規定され、水路横断面内の二次流を含む複雑な乱流場である。本研究は形状の簡単な長方形開水路で水深幅比を変化させて各境界面の役割と二次流の効果についての実験的検討を行った。本報では従来報告されている乱流強度分布式に基づき、水路横断面内の乱流強度の各方向成分の分布別の検討を行い、適用性と問題点を検討する。用いた座標系は流下方向にx軸、水路工方にy軸、横断方向にz軸として、それぞれの平均流速をu, v, wとせ、乱流強度(rms値)をu', v', w'とする。測定は表-1に示す水理量でこれか十分発達した地点の水路横断面内の乱流計測を二成分ホトソルム流速計で行った。

2. 壁面摩擦速度分布 水路横断面内の分布別を検討する際には壁面の摩擦速度を初等的に与える必要がある。前回報告したように最大流速位置までを水深y'としたとき木村の用いた摩擦速度分布は実験値と良好一致を与える。

$$u = \frac{K}{\kappa} \ln\left(\frac{y'}{y_0}\right) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1) \quad u_w = K \ln\left(\frac{y'}{y_0}\right) \quad (3)$$

$$y = 0.111 \frac{\nu}{u_{*w}} \quad y' = 0.111 \frac{\nu}{u_{*b}} \quad (2) \quad u_{*b} = K \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (4)$$

$$K = \sqrt{\frac{8.2 B K'}{2 \kappa' \left\{ \ln\left(\frac{y'}{y_0}\right) - 1 \right\}^2 + 1} + B \left\{ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - 1 \right\}^2 + 1} \quad (5)$$

B: 水路幅, y': 最大流速水深
I: 初水勾配, L: 初水勾配係数
u_{*b}: √gRI 壁面平均摩擦速度
u_{*w}: 側壁面摩擦速度
κ: カルマン係数 (=0.4)

滑面水路では式(2), (4)を連立に解くことによってy', y₀, Kが与えられ、式(3)にて壁面摩擦速度分布が与えられる。

3. 開水路横断面内の乱流強度分布に関する検討

二次元流れの開水路乱流に対する乱流強度の普遍関数表示式はいくつか報告さ

れており、その中で中川和津の式は乱流強度の三成分を与え水路の粗滑による使用できる点で有効である。底面、側壁に対してこの関数式を適用するために式を変形して式(5), (6), (7)に示す。図-1は乱流強度の水路中中部割線でのy方向変化と最大流速付近でのz方向変化を示している。プロットされた実験値は流速分布に対数則を用いて逆算された摩擦速度u_{*b}, u_{*w}で

図-2 乱流強度の各方向成分

無次元化されている。

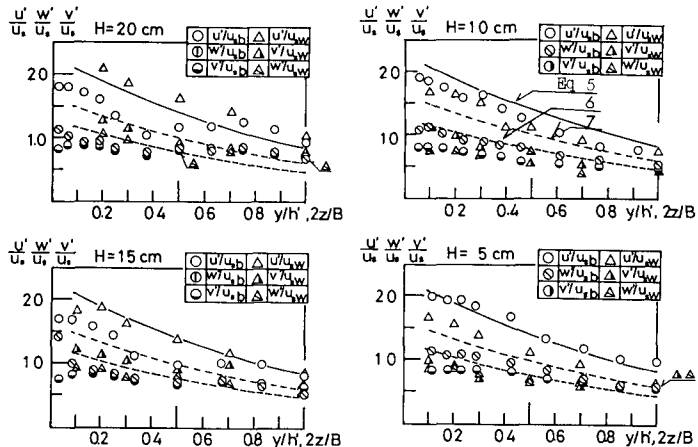
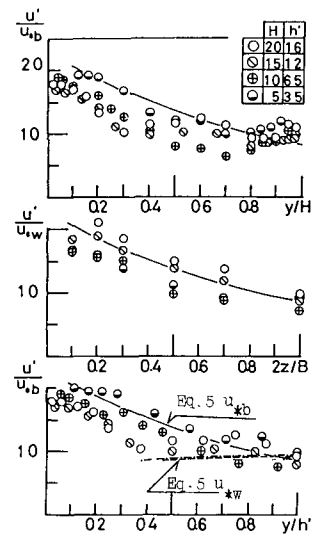
$$\frac{u'}{u_b} = 2.30 \exp\left(-\frac{y'}{B}\right) \quad \frac{u'}{u_w} = 2.30 \exp\left(-\frac{2z}{B}\right) \quad (5)$$

$$\frac{v'}{u_b} = 1.27 \exp\left(-\frac{y'}{B}\right) \quad \frac{v'}{u_w} = 1.27 \exp\left(-\frac{2z}{B}\right) \quad (6)$$

$$\frac{w'}{u_b} = 1.63 \exp\left(-\frac{y'}{B}\right) \quad \frac{w'}{u_w} = 1.63 \exp\left(-\frac{2z}{B}\right) \quad (7)$$

図中の実験は式(5)による。図-1工部にy/Hで示したものはH=5cmのケースが図中の実線の傾向と良く一致するが他のケースは大きく離れている。下部の図はy/B'にて示したものでH=5, 10cmがほぼ式(5)の傾向を示している。また中図に示す側壁面から

図-1 主流乱流強度分布に関する検討



の変化は $H=20, 15 \text{ cm}$ のニケースが二次元開水路の分布に良く一致することが分る。

図-2は乱流強度の各方向成分を各ケース毎に示している。
 丸印は底面から、△印は側壁からの変化を示し、图中の実線、一点鎖線、破線はそれぞれ式(5),(6),(7)を示している。これより図-1で見られたように、水深の大きいケースの最大流速位置付近での側壁面からの分布は各式に良く適合し、 $H=5 \text{ cm}$ になると底面側からの分布が二次元流れの傾向を良く示している。

図-3、図-5はそれぞれ主流、横断面方向の乱流強度の等強度線を示している。これより水路中央部 $y=6 \text{ cm}$ 付近より底面側壁への隅角部へ向い、主流乱流強度の弱い領域や $w^2/v^2/u_R^2$ の零となる境界線がほぼ対角線状に存在している。現在のところ隅角部付近での流れの運動量輸送機構等が明確でないで、ここでは図1,2によって得られた乱流強度の分布特性をもとに、乱流強度の分布を断面分割法を用いた手法によって表現する。分割境界点を式(3)による摩擦速度の等しい点とすると、その座標は

$$U_{kb} = U_{*w} \quad \text{より} \quad y = \exp \left\{ \ln \beta - \ln \left(\frac{y}{\beta} \right) \right\} \quad (8)$$

水路横断面内の主流 U 及び w^2/v^2 の分布は

$$\frac{U^2}{U_R^2} = \left\{ 2.3 \frac{U_{*b}}{U_R} \exp \left(-\frac{y}{\beta} \right) \right\}^2 = \left\{ 2.3 \frac{U_{*w}}{U_R} \exp \left(-\frac{2y}{\beta} \right) \right\}^2 \quad (9)$$

$$\frac{w^2/v^2}{U_R^2} = \left\{ 1.044 \left(\frac{U_{*b}}{U_R} \exp \left(-\frac{y}{\beta} \right) \right) \right\}^2 = \left\{ 1.044 \left(\frac{U_{*w}}{U_R} \exp \left(-\frac{2y}{\beta} \right) \right) \right\}^2 \quad (10)$$

式(9),(10)による分布を示したのがそれぞれ図-4、図-6である。以上の事より壁面での摩擦速度の分布を与えると、隅角部での乱流強度の分布は実験値と比較して良好に示すことが分る。レカレ B/H の小さな水路幅に比べて水深の大きなものは、式(9),(10)に示される外部スケールと平均渦スケール LE との不一致により、底面側の乱流強度が過大評価される傾向があり今後の問題点である。またこの流れでの底面、側壁から計算される乱流強度の差は境界線上でかなり大きく、隅角部での二次流を考慮に入れても問題点が残るところであり、今後、外部パラメータによる乱流強度の分布式の検討が必要になるであろう。

<参考文献>

- ① 長村・本村「長方形水路における周面摩擦における検討」土木学会東北支部 55 年度月会 55 年 2 月 7 日 流体力学分科会
- ② 長村・本村「L」字水路における乱流場の可視化」10 年度流体力学分科会 55 年 2 月 13 日
- ③ 長村・本村「長方形水路横断面内の流体輸送に関する検討」土木学会全国大会 55 年 9 月
- ④ 本村「L」字水路における流れの一次化検討」土木学会論文発表 第 25 号 1976 年 7 月
- ⑤ 村澤久「開水路の乱流強度に関する研究」土木学会論文発表 第 26 号 1977 年 5 月
- ⑥ 長村・本村「開水路の乱流特性量に関する側壁の影響について」土木学会全国大会 55 年 10 月

図-3 主流乱流強度分布 (実験値)

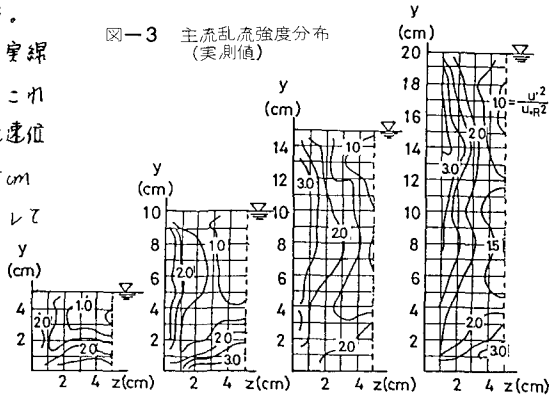


図-4 主流乱流強度分布 (計算値)

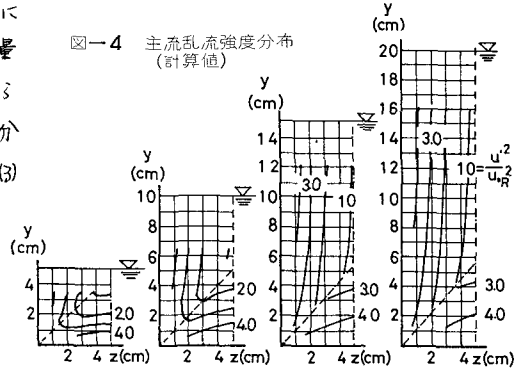


図-5 乱流強度差分布 (実験値)

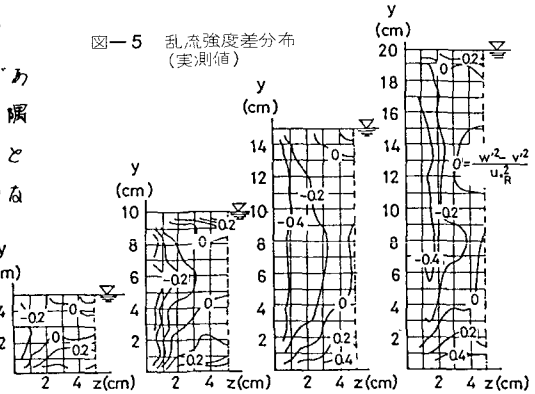


図-6 乱流強度差分布 (計算値)

