

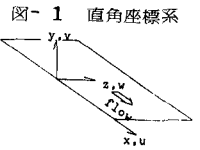
長方形開水路における周面摩擦に関する一検討

日本大学工学部 正員 長林 久夫
日本大学工学部 正員 木村 善代治

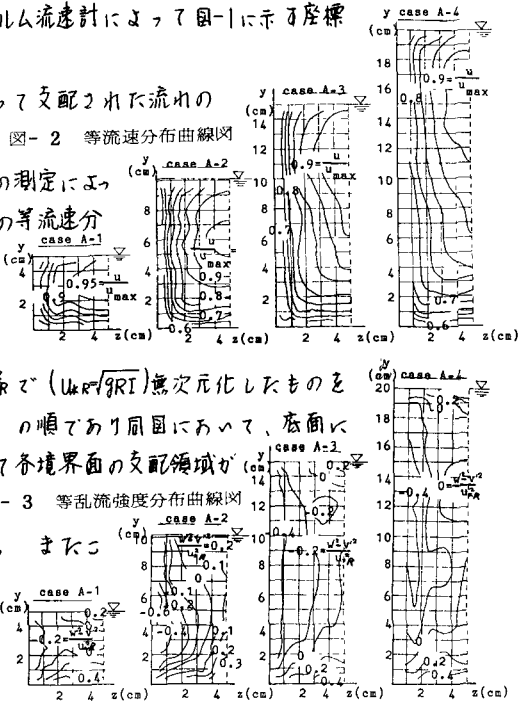
表-1 測定水理量

case	H (cm)	B (cm)	B/H	Q (cm ³ /s)	U _m (cm/s)	I	L	R (cm)	Re =U _m R/ν	Fr =U _m /√gR	U ₀ /U _m
A-1	5.0	9.97	2.0	1730	34.8	0.00167	0.01084	2.49	0.799×10 ⁴	0.704	2.02
A-2	10.1	9.97	0.99	4100	40.7	0.00169	0.01221	3.34	1.14×10 ⁴	0.714	2.35
A-3	15.0	9.97	0.67	7500	50.4	0.00166	0.00962	3.73	1.95×10 ⁴	0.834	2.46
A-4	20.0	9.97	0.50	10600	53.4	0.00166	0.00566	3.98	2.22×10 ⁴	0.855	2.55

1. はじめに 複数の境界面を有する流れの場合は、自由水面と固体境界面によって規定され、二次流を含めた大規模渦構造の複雑な乱流場となっている。本研究はこの様な流れの場を把握するために比較的簡単な形状を有する長方形開水路において乱れの計測を行ない乱流構造の面から各境界面の役割に関する検討を行うものである。本報では水路幅Bに比べて水深Hのより深い流れにおいて、自由水面と各境界面における壁面摩擦の一検討を行った。実験は表-1に示すようにB/Hを変化させて、長さ15m、幅10cmの長方形開水路にて行った。乱流計測は二成分ホットフィルム流速計によって図-1に示す座標系の各流速成分の乱流計測を行った。



2. 乱流強度分布から見た境界区分 複数の境界面によって支配された流れの場合においては、流速分布の検討を行う際にそれぞれの境界面による領域の評価が必要となる場合が多い。ここでは今回の測定によって領域区分を乱流強度の等速線から行う。図-2は各ケースでの等流速分布曲線を示している。最大流速位置はB/Hが小さくなれば水面より下方により低下するとは限らずケースA-3, A-4の2ケースについてはほぼ一定値を有するようである。図-3は水路横断面内の乱流強度の差($w^2 - v^2$)を断面平均摩擦速度 U_{*R} で ($U_{*R} = \sqrt{gR}$) 無次元化したものを示している。二次元剪断乱流における乱流強度は $U^2 w^2 v^2$ の順であり風図において、底面に対してはwが側壁に対してはvが支配的であり、これによって各境界面の支配領域が良く示されている。一部であるが水面側にも等強度線の零の線が引かれ、水面が分担する領域が存在するようである。またこの項は二次流を引起す漂動力であるとしておいて符号の逆転する境界に沿った二次流の存在が予想される。



3. 周面摩擦に関する一検討 ここでは前項で示す等速線図に対する流速分布の検討を行なう。図-4は最大流速発生位置の検討を行ったもので、水面から最大流速位置までの距離とし、横軸は相対水深B/Hである。図中の実線は佐藤によるものである。図中の凡例のケースは今回のもので、他は以前の実験を併記したものである。1.5 < B/H < 9 まではB/Hの減少傾向が認められB/H < 1.5においても減少傾向を示している。図-5は水路中央

図-4 最大流速位置の検討

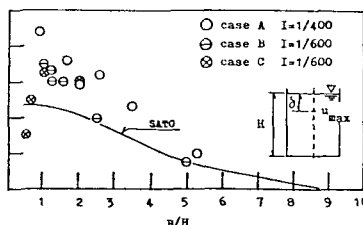
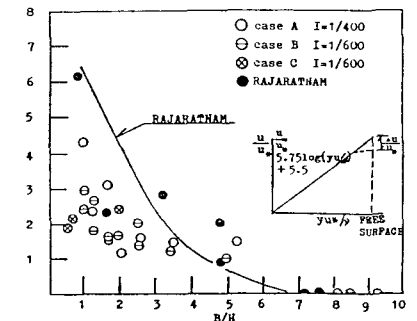


図-5 水面流速低下量の検討



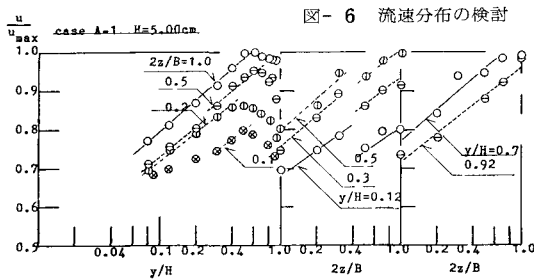


図-6 流速分布の検討

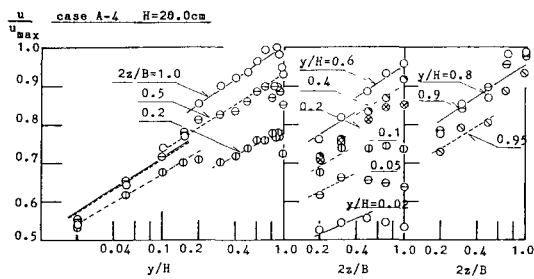
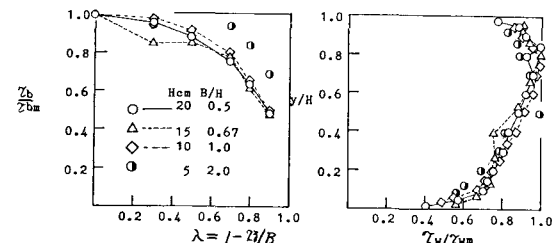


図-7 底面最大せん断力分布

図-8 周面せん断力分布



部の測線に対数則を適用し、水面における計算値と実験値の差を無次元化した $\Delta u/u_s$ を示している。国中の Rajaratnam の実験より幾分低下するが図-4と同様な傾向を示している。図-6は各測線の流速分布を対数表示したもので、

国中の実験は摩擦速度を仮定した場合の対数則を示している。国-7は水路中央部の底面摩擦速度を示しており、国中の Cruft,

Rajaratnam 等と同様な傾向が得られた。国-8は底面および側壁の壁面剪断力の分布を示している。以下ではこれらの摩擦速度の分布則に関する検討を行う。流速分布式は木村^⑤による近似計算式によって次のように変形される。流速分布式は

図-9 周面せん断力分布の検討

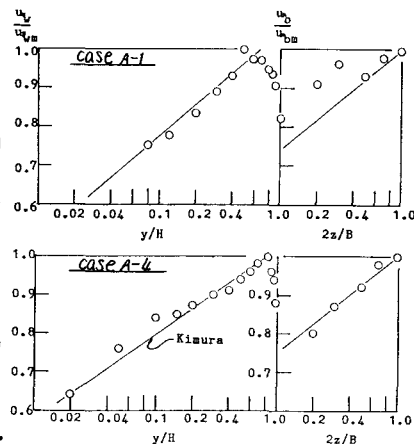
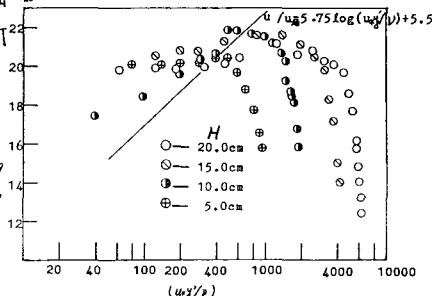


図-10 水面側流速分布の検討



$$\frac{u}{u_b} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) \quad (1)$$

$$\frac{u}{u_w} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) \quad (2)$$

$$y = \frac{u u_w}{u_b^2}, \quad y_0 = \frac{u_w}{u_b}$$

$$y = \frac{B}{2} \text{ であるとき}$$

$$\frac{u_s}{u_w} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{B}{2y_0} \right) = C \quad (3)$$

$$\therefore u_{sw} = \frac{u_b}{Ck} \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) \quad (4)$$

$$\text{最大壁面摩擦速度 } u_{wm}$$

$$\text{との比をとると、}$$

$$\frac{u_{sw}}{u_{wm}} = \frac{1}{A_w} \ln \left(\frac{y}{H} \right) + B_w \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_w = \ln(y_0/y) \\ B_w = \frac{1}{A_w} \ln(H/y) \end{array} \right.$$

$$\frac{u_b}{u_{bm}} = \frac{1}{A_b} \ln \left(\frac{2z}{B} \right) + B_b \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_b = \ln(B/2z) \\ B_b = \frac{1}{A_b} \ln(B/2z) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_b \text{ 右面摩擦速度} \\ u_{bw} \text{ 側壁面摩擦速度} \\ k: \text{カルマン定数} \text{ 及} \\ \gamma: \text{動粘性係数} \end{array} \right.$$

図-9は式(5)、(6)で示される周数式と対数則から逆算される摩擦速度の適合性を調べたものであり、両ケースとも最大流速位置までは比較的良好に一致している。最大流速位置から水面までの流速分布について検討する。図-10は対数則を水面側から適用したものを示している。

$u/u_s = 5.5 + 5.75 \log_{10}(u_s y / \nu) \quad (7)$ ここで u_s : 水面平均摩擦速度, y : 水面からの距離である。この式と以前の B/H が 1~2 の間の実験^⑥と比較すると、 B/H が 1 以下に減少するに従い対数則に適合する領域が広くなるが、図-10では B/H が 1 より小さくなると対数則に従う領域は狭くなり水面側に速度勾配の小さな領域が存在する。よってこの領域には新しい流速分布則の検討が必要であると思える。

< 参考文献 >

- ① N. RAJARATNAM & D. MURLIDHAR: "BOUNDARY SHEAR STRESS DISTRIBUTION IN RECTANGULAR OPEN CHANNELS LA MOULLE BLANCHE 1969, No. 6 pp. 40-59"
- ② 木村孝治郎「長方形水路における流れの一近似解析」土木学会論文集 No. 251/1976-7
- ③ 及川、長林、木村 土木学会東北支部、昭和55年3月、
- ④ 佐藤清一著「技術者のための水理学」森北出版