

II-124

用水路における2次流構造についての検討

日本大学 工学部 学生会員○小金 理宏
 日本大学 工学部 正会員 長林 久夫
 日本大学 工学部 正会員 木村 喜代治

1. はじめに

開水路流れは、側壁などの存在によって3次元構造となり、第2種の2次流が発生する。その構造や発生機構は、実験的検討や応力方程式モデルを代表とする数値計算などにより詳細に検討されている。そして、用水路における測定も行われ、実験水路の2次流構造の知見が適用されることが示されている。しかし、実規模水路の乱流構造については、測定例が少なく、より多くのケースにおける検討を必要としている。本研究では $b/h=5.4$ の安積疏水において乱流構造計測を行い、2次流構造について検討した。

2. 計測方法

直線区間 $L=270\text{m}$, 幅 $b=3.8\text{m}$, 水深 $h=70\text{cm}$, 水路勾配 $i=1/1160$ のコンクリート製の長方形開水路で計測を行った。計測断面は、直線区間の中間地点である。計測は、L字型2成分電磁流速計を流れの直交方向と上流方向に向けることにより、 u, v 成分と v, w 成分の流速測定を行った。計測の測線は側壁より5測線、各測線で10点から11点計測を行った。

3. 実験結果および検討

3-1. 乱流特性量の分布についての検討

主流流速の鉛直、横断分布を対数表示して図1に、レイノルズ応力- uv の鉛直分布を図2に示す。図1の U_{*b}, U_{*w} は、それぞれ対数則によって評価された底面、側壁の各測線の摩擦速度である。底面付近では、河床堆積物の影響により、局所的に値が散乱していたために、 $y=10\text{cm}$ 以上の点で対数則が成立するように求めている。鉛直方向の分布では、 $y/h=0.2$ まで対数則に従うが、それを越えると対数則から離れ wake 領域が見受けられる。また、最大流速位置がほぼ $y/h=0.6$ のところにあり、最大流速位置が水面より降下しているのが分かる。図2のレイノルズ応力- uv の鉛直分布では、 $z=80\text{cm}$ 以下の側壁付近では、2次元開水路の直線分布の傾向からはずれており3次元効果を強めている。これらのことより、対数分布則およびレイノルズ応力分布より求めた底面と側壁面の摩擦速度の分布を図3に示す。なお、両方とも断面平均摩擦速

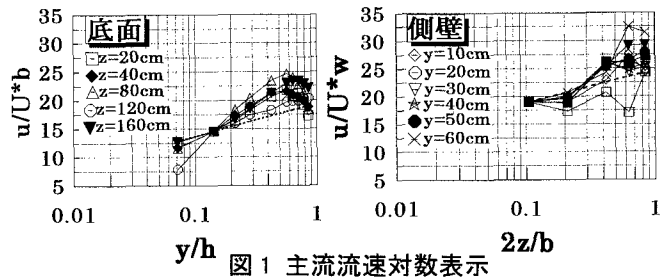


図1 主流流速対数表示

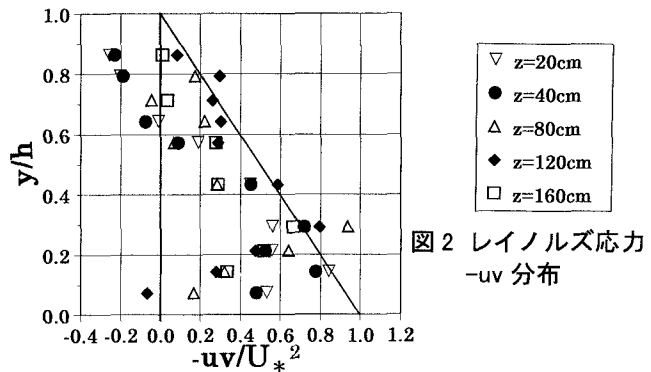
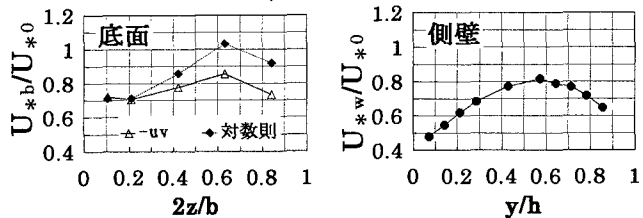
図2 レイノルズ応力- uv 分布

図3 壁面摩擦速度分布

度 $U_{*0} = \sqrt{gRI}$ で無次元化している。底面摩擦速度の分布は、中央付近においては U_{*0} よりも大きいものであるがレイノルズ応力による評価法は、それを下回っている。また、側壁摩擦速度の分布は、 $y/h=0.6$ でピークとなり、そこから水面に近づくにつれて減少するのが見受けられる。さらに、図4に主流乱れ強度 u' の鉛直分布を示す。各測線とも対数則で評価した底面摩擦速度 U_{*b} で無次元化したものである。 $y/h=0.2$ 以上で実線の普遍分布に適合するが、 $z=40, 80\text{cm}$ の水面付近で乱れが増大している。

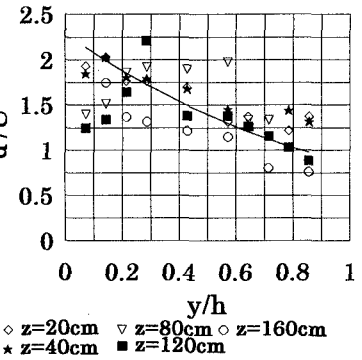


図4 主流乱れ強度分布

3-2. 2次流分布と2次流の発生機構についての検討

図5に2次流ベクトル図を示す。水面付近の比較的大きな中央に向かう渦と、底面付近に複数の小さな渦があることが推定される。しかし、中央付近では、測線間隔が粗く渦構造は、明確ではない。また、 x 方向の2次流に関する渦度方程式は、次式で示される。

$$V \frac{\partial \omega_x}{\partial y} + W \frac{\partial \omega_x}{\partial z} = \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} (\overline{v^2} - \overline{w^2}) + \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \overline{vw} + v \left(\frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial z^2} \right) \dots (1)$$

ここで $\omega_x = \partial w / \partial y - \partial v / \partial z$ である。右辺第1項は2次流発生項、第2項はレイノルズ応力項である。左辺および右辺第3項は、他の項よりも小さいので無視される。従って、右辺第2項のレイノルズ応力 $-\overline{vw}$ に渦動粘性モデルを導入すると次式が得られる。

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \varepsilon_{yz} \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y \partial z} (\overline{w^2} - \overline{v^2}) \dots (2)$$

(2)式の右辺から2次流が分布する。本測定での2次流発生項とレイノルズ応力項の無次元等値線分布図をそれぞれ図6, 7に示した。点領域は負の値である。図6の2次流発生項分布は、底面隅角部付近、水路中央の底面付近とその水面付近に正の領域が、水面隅角部付近と底面付近に負の領域が見受けられる。富永²⁾は、2次流発生項の符号の違いと2次流回転セルとの対応が、2次流発生項が負であれば回転セルは右回りとなり、正であれば左回りとなることを示した。これより、本測定でも、精度に疑問があるが同程度の対応が見受けられる。さらに、現地観測の結果より直接評価したレイノルズ応力項の分布を図7に示す。隅角部付近に高強度の正と負の領域が認められるが、河床堆積物による局所的变化と考えられる。また、 $y=60\text{cm}$ を境とした正負の区分は、図6とも対応しており、2次流分布に対応した変化特性を表しているが、その値は小さい。

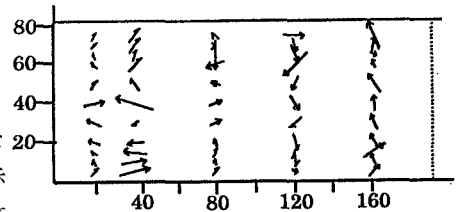


図5 2次流ベクトル図

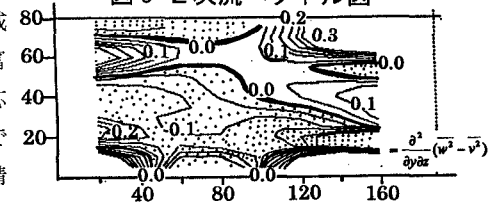


図6 2次流発生項分布

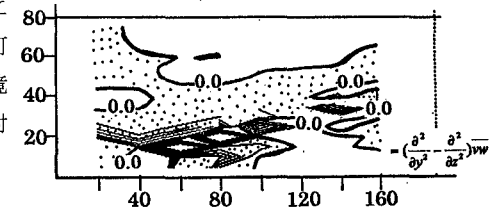


図7 レイノルズ応力項分布

4. おわりに

本測定は、精度上疑問が残るが次のようなことが言える

- ・ $b/h=5.4$ の用水路規模の流れにおいても実験水路と同様な2次流構造が得られた。
- ・ 2次流発生項分布の評価から、河床粗度の局所的な変化と2次流の関係を示した。
- ・ 2次流発生項よりもレイノルズ応力項は、小さな値をとる。

<参考文献>

- 1) 棚津, 富永, 中川(1993): 河川乱流の野外計測と2次流に関する研究, 土木学会論文集, No. 467/II-23, pp. 49-56
- 2) 富永, 江崎(1985): 長方形断面開水路流の三次元乱流構造に関する研究, 土木学会論文集, 第357号/II-3, pp. 81-88