

東北大学大学院 学生員 ○ 石井 義裕  
東北大学工学部 正 員 沢本 正樹

### 1 : はじめに

開水路流れでは、管路流れと異なり自由水面が存在する．簡便的には、開水路をその倍の幅の流路の管路と同等のものとして扱う方法もあるが、自由水面の持つ力学的役割は必ずしも単純ではなく、管路流れで得られた結果をそのまま開水路流れに適用することは、問題がある．そこで、本研究では同じレイノルズ数を持つ滑面開水路乱流と滑面管路乱流を計測し、流速分布、乱れ強度分布に及ぼす自由水面の影響を検討する．

### 2 : 実験装置及び実験方法

本実験で用いた水路は、幅0.36m、長さ10.00m、高さ0.08mの長方形断面の透明アクリル製である．この水路は、開水路と管路の実験を行えるように下流のゲートで水深の調節が可能である．測定断面は、水路上流端から $x = 5$  m下流とし、水路横断方向中央部 $y = 0$ で測定を行った．測定には、レーザー・ドップラー流速計を用いた．測定は $x$ 方向のみの測定とし受光方法は前方散乱型で行なった．測定時間90秒・サンプリング周波数100HzとしてA/D変換を行ない、平均量、パワースペクトルを計算した．実験条件は表1に示すように開水路と管路において、レイノルズ数を合わせて数ケース行なった．ここでは、開水路・管路ともに代表的な実験結果を用いた．水路は開水路時にアスペクト比( $B/h$ ) $>12:1$ であり、2次流の影響は考慮しなくてよい．

表1 開水路流れと管路流れにおける水理条件

| ケース | $h$<br>(cm) | $B/h$ | $R$<br>(cm) | $U_{max}$<br>(cm/s) | $U_0$<br>(cm/s) | $U^*$<br>(cm/s) | $Re$<br>$\times 10^4$ | $Fr$ |
|-----|-------------|-------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|------|
| 開水路 | 2.15        | 16.7  | 1.92        | 81.38               | 69.56           | 3.17            | 5.3                   | 1.52 |
| 管路  | 6.00        | 6.00  | 2.57        | 64.11               | 57.15           | 2.99            | 5.9                   |      |

$$U_0 = \frac{1}{h} \int_0^h u dz, Re = \frac{4RU_0}{\nu}, Fr = \frac{U_0}{\sqrt{g'h}}$$

### 3 : 実験結果及び考察

図1、図2にそれぞれ開水路流れ、管水路流れの平均流速分布を示す．流速は、断面平均流速( $U_0$ )で、無次元化されている． $h_0$ 、開水路流れでは水深( $h$ )とし、管路流れでは管路高の半値( $h/2$ )とした． $y/h_0 \approx 0.6$ では同様な分布となっている． $y/h_0 > 0.6$ になると両者に違いが生じている．管路流れでは水面近くで $\partial u / \partial y \approx 0$ となっている．一方、開水路流れでは、底面から対数則で水面まで分布している．管路では管路中央部から流速分布が決って行くのに対し、開水路では水底から流速分布が決っている．この違いは主に自由水面が存在することによる開水路の自由水面が必ずしも管水路の半分、すなわち対称条件に対応していないことによる．

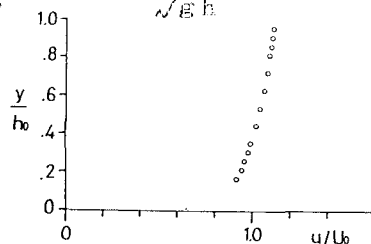


図-1 平均流速分布 (開水路)

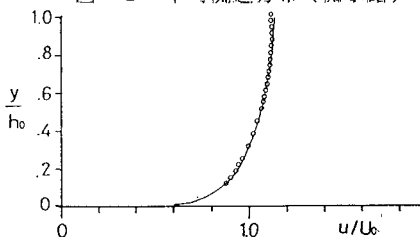


図-2 平均流速分布 (管路)

ここで、最も簡単なモデルとしてNikuradse の半経験的計算法<sup>1)</sup>を用いた混合距離理論を使用する。図2に示した実線はNikuradse の混合距離分布に対する実験式をせん断応力分布と混合距離仮説に代入して厳密に積分したものである。これは、 $y/h_0 \approx 0$  付近を除いて実測値と良くあっている。

図3、図4に速度欠損則を示す。開水路流れでは水面まで対数則が成立しているが、管路流れでは $z/h_0 < 0.8$ では対数則が成立しているのが分かる。

図5、図6に乱れ強度 ( $u' = \sqrt{u'^2}$ ) の分布を示す。乱れ強度は、速度欠損則から求めた底面摩擦速度 ( $U_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$ ) で無次元化されている。開水路流れにおいては、 $y/h_0 = 0$ から自由水面に対して一定の角度を持って入っている。管路流れでは、流速勾配が0に近い値をとる $z/h_0 \approx 0.8$ 付近に特徴的な分布が表れている。すなわち、底面から $z/h_0$ の増加にともない $u'/U_*$ は減少していくが、 $z/h_0 \approx 0.8$ 付近で極小になった後、増加を始めている。これは管路にのみ生じた現象である。

また、祢津・中川<sup>2)</sup>の結果と比較すると自由水面近くで違いが表れている。これは、本実験では2次流の影響による、最大流速点の降下などアスペクト比によるものがないためであろう。図7 にはそれぞれ開水路流れ及び管路流れの $y/h_0 \approx 1$  でのパワースペクトルを示す。これは、100Hzでサンプリングを行い、1024個のデータをFFT法で処理したものである。これを見ると慣性領域では開水路・管路ともに $-5/3$ 乗則に従っており際だった違いは見られない。

#### 4：おわりに

開水路と管路の流れを比較してみると、流速分布には明かな違いがみられ、管路で得られた情報をそのまま開水路に適用することはできないことがわかった。これは主に開水路に自由水面が存在することによるものと考えられる。この点については、今後の研究が必要である。

#### <参考文献>

- 1) J.C.Rotta: 乱流, 227p, 1975, 岩波書店。
- 2) 祢津家久・中川博次: 開水路流れの三次元乱流構造 (縦渦) とそれに及ぼす自由水面の影響に関する研究, 京都大学防災研究所年報第28号B-1, pp.499-522, 1985。

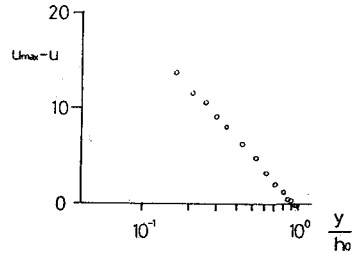


図-3 速度欠損則 (開水路)

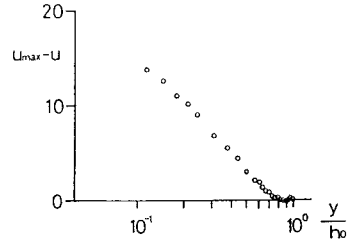


図-4 速度欠損則 (管路)

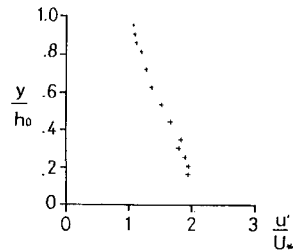


図-5 乱れ強度分布 (開水路)

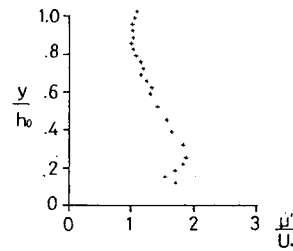


図-6 乱れ強度分布 (管路)

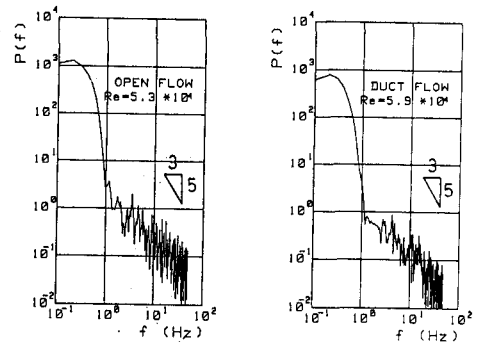


図-7 パワースペクトル