

# I-35 波のある場合の開水路の乱流特性

東北大学工学部 学生員○戸田賢治  
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

開水路流れの特徴は、自由水面が存在することである。その流速分布や乱流特性を論議する場合、水深の2倍を持つ閉管路として扱うことが便宜的に行われている。しかし、自由水面は単にシェアフリーの境界であるばかりではなく大規模な乱流構造を制約する、波動としてのエネルギー伝搬性を有するなどの力学的役割を持っている。そのため自由水面付近では閉管路に比べ流速分布や乱れ強度などに影響が出るはずである。そこで本研究では、ほぼ等しいレイノルズ数の射流状態での滑面開水路・閉管路の乱流特性を比較した。更に、底面から生じる大規模な渦が水面に衝突し波動として伝搬する現象に、水位を強制的に変動させることにより開水路の乱流特性がどのように変化するかを調べた。

## 2. 実験装置及び実験方法

実験には、幅36cm・高さ6cm・長さ10m・勾配約1/250の長方形断面を持つアクリル製循環式水路を用いた。水路の下流端にはゲートが設けてあり水深の調整が可能である。上流端には水面変動を加えるためプランジャー式造波器を設置した。測定は上流端から5mの位置で水路横断面中央部で行なった。座標軸は流れ方向にX軸、鉛直上方にY軸をとった。流速の測定には前方散乱方式のレーザー・ドップラー流速計を用い2成分を同時に計測した。データ個数は6000個とし、100Hz・60秒でA/D変換を行なった。実験条件を表-1に示す。ここで、Rは径深、hoは開水路では水深、閉管路では水深の1/2とした。

表-1 実験条件

| 実験ケース    | ho<br>(cm) | R<br>(cm) | Uo<br>(cm/s) | U*<br>(cm/s) | Re<br>*10 <sup>4</sup> | Fr   | 周期<br>(cm) | 波長<br>(cm) |
|----------|------------|-----------|--------------|--------------|------------------------|------|------------|------------|
| 開水路      | 3.3        | 2.78      | 63.7         | 3.84         | 7.1                    | 1.22 |            |            |
| 閉管路      | 3.0        | 2.57      | 64.3         | 3.53         | 6.61                   | 1.28 |            |            |
| 開水路（波あり） | 3.3        | 2.78      | 59.5         | 4.07         | 6.62                   | 1.14 | 0.78       | 46         |

$$Re = \frac{4U_o R}{\nu} \quad Fr = \frac{U_o}{\sqrt{gR}}$$

## 3. 実験結果

図-1に平均流速Uの分布を示す。ここで平均は全データを時間平均したものである。Y/ho=1.0付近の流速勾配に着目すると、開水路では底面から対数則に従って一定の勾配であるのに対し、閉管路ではY/ho=0.9付近から勾配がゼロとなっている。これは、開水路では底面からのみ流速分布が決定されるのに対し、閉管路では両側の壁面から決定することによると思われる。波を重ね合わせた場合には、静水面付近から上方で流速が大きくなっている。これは波と流れの干渉により流れの平均流速が歪められたものであると考えられる。図-2には乱れ強度( $\overline{u'u'}$ ,  $\overline{v'v'}$ )の分布を示す。乱れ強度( $\overline{u'u'}$ )の分布は、底面付近では閉管路・開水路ともにほぼ同じ分布を示している。開水路はY/ho=1.0付近で閉管路より大きな値をとっており、乱れの減少が抑えられていることが

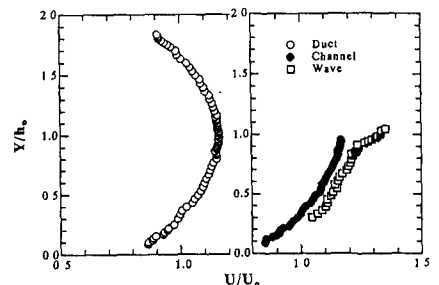


図-1 平均流速分布

わかる。乱れ強度 ( $\overline{v'v'}$ ) は ( $\overline{u'u'}$ ) に比べ1割程度の大きさである。閉管路ではほぼ一様な分布を示しているのに対し、開水路では底面付近で大きな値をとっているが自由水面付近では乱れが抑制されている。これは、自由水面が存在することにより鉛直方向の運動が拘束されていることによると考えられる。波を重ね合わせた場合には ( $\overline{u'u'}, \overline{v'v'}$ ) とともに  $Y/h_0=0.3$  付近から上方では乱れ強度が等流の場合に比べ大きくっており水面変動の影響が現れているものと考えられる。図-3には乱れエネルギーの図を示す。閉管路では管路中央で乱れエネルギーの勾配がゼロになっており、流れの対称条件を満たしているが、開水路では自由水面に向かって減少しており対称条件は当てはまらない。図-4, 5, 6にはそれぞれ開水路の等流に波を重ね合わせたときの位相平均をとった平均流速・乱れ強度・レイノルズ応力の等値線を示す。図中のハッチングを施した部分に着目する。波高の高い部分が通過する時に加速された流体が入って来きて、水面から底面まで平均流速が大きくなる。このとき、乱れ強度 ( $\overline{u'u'}$ ) やレイノルズ応力は底面から  $Y=h_0/2$  程度まで大きな値をとる。波高が低くなると乱れ強度は小さくなるが、レイノルズ応力は波前面から  $3\pi/2$  位相程度まで大きな値をとる。水面が変動する場合には、水位の上昇に伴う加速流体の流入により流速勾配が大きくなり乱れ強度 ( $\overline{u'u'}$ ) が大きくなると考えられる。

#### 4. まとめ

開水路において乱れ強度 ( $\overline{u'u'}$ ) の減衰は自由水面で抑制されている。乱れ強度 ( $\overline{v'v'}$ ) は自由水面付近で減衰する傾向が見られる。このため、開水路においては自由水面において流れの対称条件を適用することはできない。波を重ね合わせた場合、底面付近では水位の変動の影響をあまり受けないが、 $Y/h_0=0.3$  以上の水深では水位の上昇にともない乱れ強度 ( $\overline{u'u'}$ )、レイノルズ応力が大きくなる。

<参考文献> 石井義裕・栗山幸久・沢本正樹：開水路乱流及び管路乱流の比較，昭和63年度東北支部技術研究発表会 講演概要，1989，pp170-171。

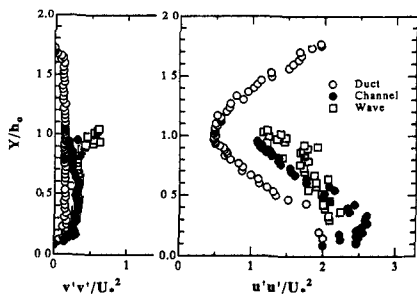


図-2 乱れ強度分布

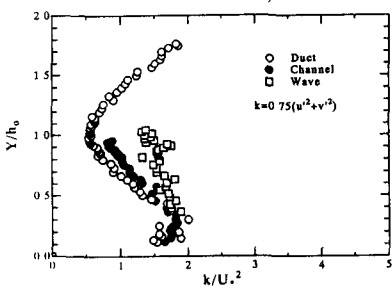


図-3 乱れエネルギー分布

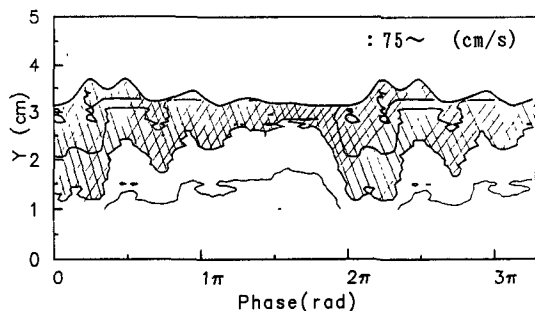


図-4 平均流速分布 (位相平均)

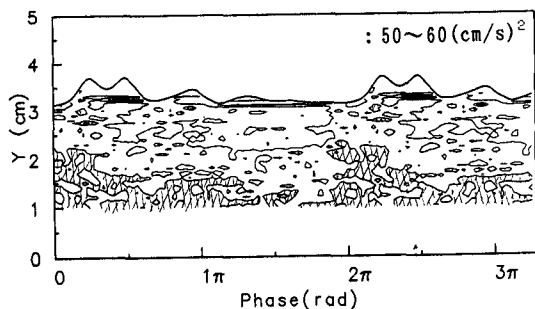


図-5 乱れ強度 ( $\overline{u'u'}$ ) 分布 (位相平均)

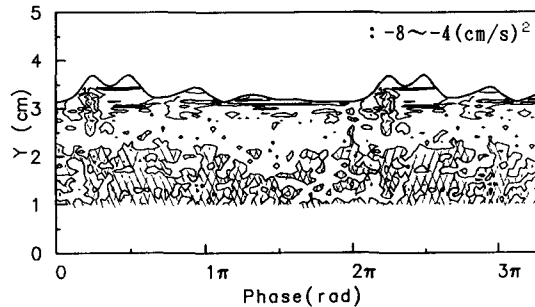


図-6  $\overline{v'u'}$  応力 ( $\overline{u'u'}$ ) 分布 (位相平均)