

## 円管内開水路流れについて

金沢大学工学部 正員 辻本 哲郎  
金沢大学工学部 ○高野 卓弥

### 1. まえがき

近年都市域では河川の地下管路化が進められ、下水道が雨水排除・内水排除あるいは貯留の面でこれまで以上の役割を課している。こうした状況で、これまで以上に下水道の流量把握が必要になってきたし、また高度的確な運用を図るため流量モニタリング技術が検討されるようになってきている。このためには管内での流速分布が把握されねばならないが、広幅開水路や管路のサーチャージ流れに比べ流速分布についての研究が極めて少ない。Chiuら<sup>1)</sup>がエントロピーモデルを提案しておりその適用が試みられたが<sup>2)</sup>、水理学的な意味づけが一般には理解しがたい。また信頼できる実測値<sup>2)</sup>も少ない状況である。著者らは上記のような都市環境問題における重要性から、管路内開水路流の流速分布について研究を開始したが、本報はその第1報で、実験水路で3次元流速分布を測定した結果とその考察を述べる。

### 2. 実験の概要

実験は長さ12m、幅0.4mの水路内に設置された内径(D) 35cmの亚克力樹脂製円管路(2m)で行なった。矩形断面水路と円管は滑らかに接続され、水位調節は矩形断面部の下流端堰によった。水路は水平に置かれ、水面勾配で流れる条件とした。これはフルード数を小さくして断面変化部の擾乱の影響域が小さくなるよう、またポンプの能力に合わせ流量を小さいまま $h/D$ の条件( $h$ :水深、管路最低部から水面までの鉛直距離)が広く変えられるよう配慮したことによる。

流速測定は主流成分( $u$ )は直径3mmのプロベラ流速計、鉛直・横断方向成分( $v, w$ )は小型電磁流速計(L型プローブで、この場合流れへの投影面積が最小で8mmφの円)を用い、いずれも20Hz、1024個のサンプリングとした。出力はデジタルレコーダでフロッピーに記録し、パソコン処理した。測定点は図1の等流速線図に示されるとおりである。

### 3. 実験結果とその考察

図1に等流速線図を示す。 $h/D=0.13$ の例では等流速線は境界にはほぼ平行で中央の水面で最大流速が得られているのに対し、 $h/D=0.2$ から最大流速点が左右2つにあらわれしかも水面下となっている。それが $h/D=0.5$ 以上では2つの最大流速点が1つに統合される傾向が見られる。このような複雑な流速分布はChiuらのエントロピーモデルを用いても記述が難しい。

最大流速点が水面にある場合については比較的取り扱いが容易で、基本的には等流速線に直交する軸(これに沿うせん断応力がゼロ)に沿って対数則の成立が期待される。図2は円管最底部に

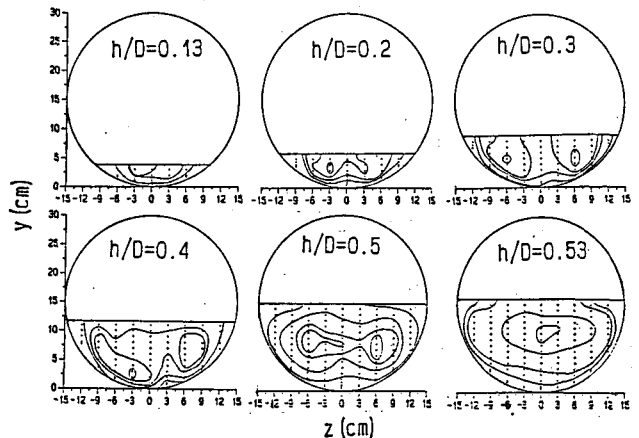


図1 主流速の等流速線図

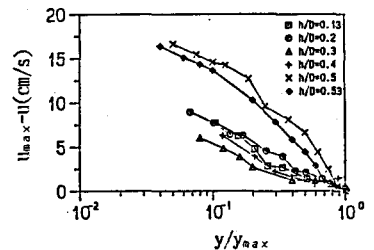


図2 中央鉛直線に沿う流速分布

直交する鉛直軸（中央鉛直軸）に沿う流速分布を欠損則表示したものである。最大流速点が水面下にある場合も中央鉛直軸上で最大流速となる高さ（ $y_{max}$ ）とそこでの流速（ $u_{max}$ ）を用いた欠損速表示とした。この結果、欠損速は最大流速点が水面下になっても（2つに分裂しても）中央鉛直軸の最大流速より下方では対数型に近似的に従っている。今回の実験では測定区間の短いこと、水面勾配が極めて小さいことなどからエネルギー勾配ひいては摩擦速度（ $u_*$ ）の決定が極めて難しかったので、この方法で $u_*$ を決定した。さらに、これより $I=u_*^2/(gy_{max})$ と言うようにエネルギー勾配 $I$ を逆に推定した（ $g$ ：重力加速度）。推定されたエネルギー勾配 $I$ は表1にまとめた。

表1 エネルギー勾配

| $h/D$ | $h(\text{cm})$ | $I$     |
|-------|----------------|---------|
| 0.13  | 3.85           | 0.00040 |
| 0.2   | 5.91           | 0.00032 |
| 0.3   | 9.03           | 0.00019 |
| 0.4   | 11.67          | 0.00030 |
| 0.5   | 14.89          | 0.00006 |
| 0.53  | 15.98          | 0.00058 |

円管での開水路の流量については古典水理学的にはマンニングの平均流速公式の援用が図られる。アクリル樹脂面のマンニングの粗度係数（ $n$ ）は矩形広幅水路での実験などから $n=0.0098$ 程度と推定されている。マンニング式を用いて推定された $h/D$ と断面平均流速（ $V$ ）の関係はエネルギー勾配をパラメー

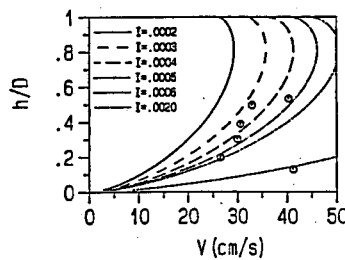


図3 平均流速・水深図

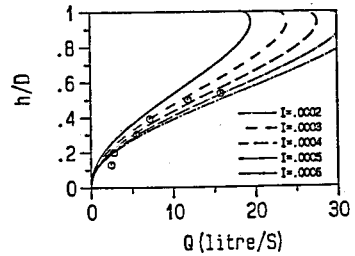


図4 流量・水深図

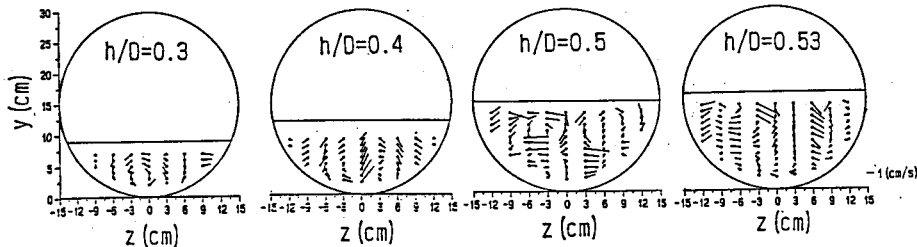


図4 断面内の2次流ベクトル図

タとして計算されその結果を示すと図3のようである。また流量 $Q$ と $h/D$ の関係として表したものは図4である。これらの図には実験で得られた流速分布の数値積分で得られた平均流速、流量もプロットで示したが、これによると水路中央鉛直軸の流速分布を対数型欠損則にあてはめて推定した摩擦速度から得られたエネルギー勾配（表1参照）を用いると計算値が実験値を比較的良好に説明していることがわかる。

図4は小型電磁流速計で図られた（ $v, w$ ）成分より、断面内2次流をベクトル表示したもので、2次流が最大流速点の降下や分裂をもたらしていることが理解される。すなわち水路中央での下降流と水路壁に沿った上昇流といった1対のセルが最大流速点降下をもたらし、水路中央軸での上昇流を境とし、断面を横断方向に1/4に分割する2対のセル形成が最大流速点の分裂と対応している。

#### 4. あとがき

3成分流速測定によって2次流セルの形成と主流速コンターの変化（最大流速点位置の変化）の様子が調べられた。また水路中央鉛直軸に沿って底面から最大流速点まで近似的に対数則が成立し、これによって評価された摩擦速度からエネルギー勾配（これの直接測定が一般に困難）を計算すると、マンニングの平均流速公式を用いた古典的な方法が概ね適用できる。今後2次流と流速分布の歪み、これらが流量公式に与える影響などの検討を行なって行く予定である。

#### 参考文献

- 1) Chiu : Entropy and 2-D velocity distribution in open channels, *Jour. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol.114-7, 1988.
- 2) 蔵重・本橋：下水道内流速分布に関する基礎的研究, NSC研究年報, 日水コン(株), Vol.16-1, 1991.