

管路内開水路流れの特性

金沢大学工学部 正 員 辻本哲郎
金沢大学大学院 学生員 ○岡田敏治

1. まえがき

近年、都市域での雨水排除に大規模下水道や地下河川への依存が高まり、その適切な管理、運用が重要となってきた。管路の場合、流量の変化により流況が様々に変化するが、特に管路内が開水路となって流れるときの知見は乏しく、流量モニタリングシステムを開発するのに必要な流速分布に関わる問題、管路底部の堆積・掃流の問題などに適切に対応できないのが現状である。こうした点に鑑み、本研究では、実験水路で管路内開水路流れを再現し、その流速、乱れ強度、Reynolds応力の分布を測定し、任意流量における流れの特性を実験的に把握し、流量モニタリングシステムの確立を目指すものである。

2. 実験概要

実験は、長さ12m、幅40cmの矩形断面の可変勾配鋼製水路内に、肉厚1.5cmで内径(D)が20cmの塩化ビニル製円管(流速測定を行う断面付近では、前後4mが透明アクリル樹脂製パイプとなっている)を図1のように設置して行った。水路勾配 $i_b=0.001\sim0.002$ 、水深H(管路最低部から水面までの高さ)を相対水深($H/D=0.2\sim1.0$ (サーチャージ流れ)の水力条件で、直径3mmの小型プロペラ流速計(流下方向成分)及び小型電磁流速計で3次元測定を行った。その際の測定断面中の測点(y, z)の配置は図2示すとおりである。座標軸は、水路底に沿ってx軸、水路底から上向きにy軸、横断方向にz軸を設定した。また測定区間を含む上、下流8m離れたところでポイントゲージで水位を測定し、水面勾配を求めた。

3. 実験結果による流量モニタリングシステムの検討

流速分布の測定例(サーチャージ流れ)を図3に示す。このような流速分布を、各ケースごとに積分して断面平均流速(U)を求め、エネルギー勾配(I_e)が同一のものごとに整理し、相対水深との関係を図4に示した。図中にはManningの粗度係数(n)を0.01とし、Manning式におけるエネルギー勾配を実験条件と同様な値を代入して計算した計算結果を併示したが、実験結果との対応は良好である。

$$U = R^{2/3} I_e^{1/2} / n \tag{1}$$

ここに、R:径深である。潤辺に沿う平均せん断力を τ_0 とすると、力の釣合から $\tau_0 = \rho u_{*0}^2 = \rho g R I_e$ (ρ :水の密度)であり、また

$$\frac{U}{u_{*0}} = \frac{R^{1/6}}{n\sqrt{g}} \tag{2}$$

である。以上から、等流時やエネルギー勾配が正確に知られているときは式(1)で流量を知ることができるが、一般的に管路内で不等流状態となっていることが多く、現場のエネルギー勾配の評価は至難である。実験で得られた流速分布を図5のように等流速線図に整理し、相対水深によるその流況の変化を考察した。管路内開水路流れは最大流速位置の変化で特徴づけられるようである。そこで、図6, 7に最大流速と平均流速の比(U_{max}/U)、最大流速点高さと水深の比(δ/H)と相対水深の関

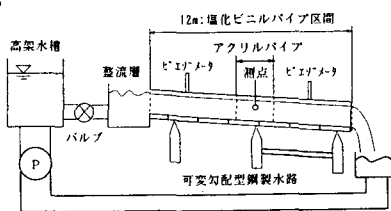


図1 実験水路図

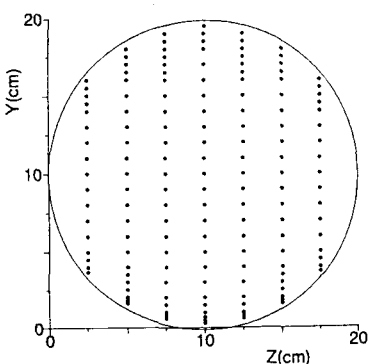


図2 流速測点図

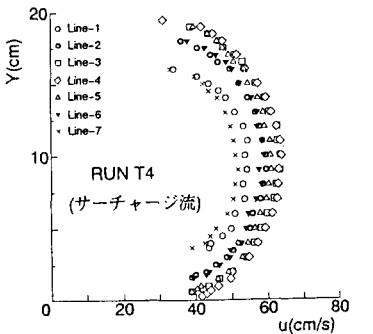


図3 流速分布測定例

係を調べた。これらより U_{max}/U は相対水深に対して一定値を示し、相対水深の増加とともに最大流速点が降下していることがわかる。ここで、実験結果を次のような式にまとめた。

$$U_{max}/U = m = 1.2 \quad (3)$$

$$\delta/h = f(h/D) = 0.5 [1 + \exp \{-5(h/D)\}] \quad (4)$$

上式を認めると、実際の管路において水深を測定することにより、最大流速点の位置が推定されその位置での流速測定によって流量が評価できる。しかしながら現場において水深の変化に応じて流速計を移動させて流速測定を行うのは困難である。そこで、断面中心軸に沿った

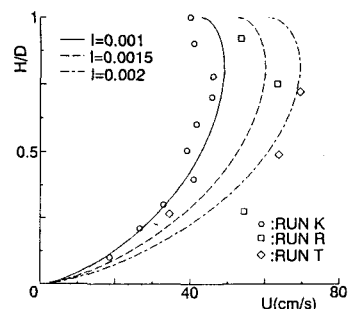


図4 平均流速と相対水深の関係

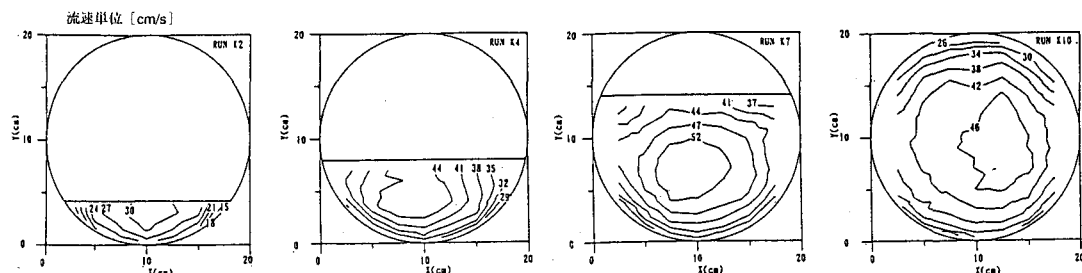


図5 等流速線図

ある高さ y_0 ($0 < y_0 < \delta$) における流速 u_0 を測定することによって流量評価が可能かどうかを以下に検討した。断面中心軸に沿った流速分布を欠速度表示すると、図8のように対数則が成立する。これより、次式の成立が期待される。

$$(U_{max} - u_0)/u_{*b} = -(1/\kappa) \ln(y_0/\delta) \quad (5)$$

ここで、 $u_{*b} = \sqrt{g R I_e} = \sqrt{\alpha g \delta I_e}$ ($\alpha = 1/2$): 断面中心軸底面での摩擦速度、 κ : Karman定数である。断面中心軸の底面摩擦速度、 u_{*b} と全径深に沿う平均摩擦速度、 u_{*0} の比は、

$$u_{*0}/u_{*b} = \sqrt{g R I_e} / \sqrt{\alpha g \delta I_e} = \sqrt{R/\alpha \delta} \quad (6)$$

と書けるので、式(2)、(5)、(6)から、断面平均流速 U は測定される一点流速 u から次式によって推定される。

$$U = u_0 \frac{1}{m + \frac{1}{\kappa n \sqrt{\alpha \delta g}} \ln \frac{y_0}{\delta}} \quad (7)$$

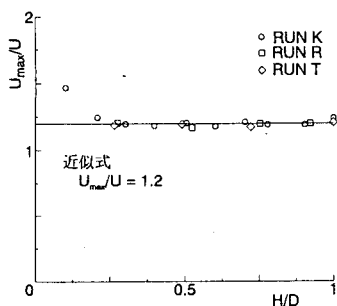


図6 最大流速と相対水深の関係

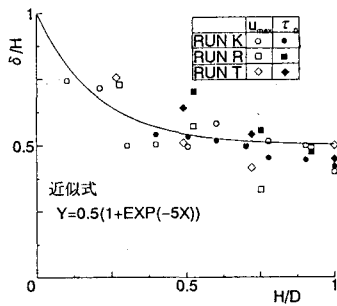


図7 最大流速発生点と相対水深の関係

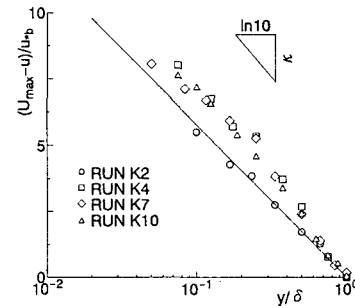


図8 欠速度表示

4. あとがき

本研究では、室内実験で行われた管路内開水路流れの流速分布についてのデータから、最大流速と断面平均流速の比、最大流速点の位置についての実験式を得、これをもとに任意の点での流速測定によって等流、不等流を問わず流量モニタリングが可能であることを示した。今後は代数応力モデルによる数値計算を延用して、流れの構造に関する考察を加え、手法の合理性を検証していく予定である。