

マンホールにおけるエネルギー損失と雨水管設計の一考察

九州大学工学部 学生員○山下 孝光
同 上 正 員 楠田 哲也

1. はじめに

現行の雨水あるいは合流管路の設計法には様々な問題点が内在している。この問題点には、1) 下水管路設計における管径の決定法 2) 計画流入水量の算定法 3) 単一管渠の設計時の流況仮定および管路網としての取り扱い方法等が挙げられる。一方、地球温暖化に伴う降雨パターンの変化は雨水量の変化をもたらし、社会基盤施設としての下水道のあり方を考える可能性がある。これらの社会的ニーズに応えるため、数々の問題点を含んだ現行設計法を改善し、確率の概念を導入した新しい設計法の樹立が求められている。このためには、ある設計法で設計され、それをもとに建設された現実の雨水管渠の流下能力の正確な把握が必要である。管路網では、接合部であるマンホール部でのエネルギー損失がかなり大きなものであり、設計上、最も問題のあるところであるが、正確に把握されていない。したがって、本研究では、雨水排除のシミュレーションを正確に行えるようにするための基本であるマンホール部でのエネルギー損失に着目し、これを明らかにするための実験を行ない、若干の知見を得たので報告する。

2. 下水管路網の流下水量計算の基本的な考え方

接合部における連続の式

$$\sum Q_1 + Q_2 = \frac{d s}{d t} \quad (S \leq S_c)$$

$$\sum Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad (S > S_c)$$

ここに、 Q : 接合部への流入・流出量 Q_1 : 直接的な接合部への流入量 Q_3 : 接合部での流出量、 S : 接合部での貯留量 S_c : 接合部での限界貯留量

接合部のエネルギー保存式

$$\begin{aligned} \sum Q \left(\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z \right) + Q_1 H_1 \\ = S \frac{dY}{dt} + \sum Q_i K_i \frac{V_i^2}{2g} \quad (S \leq S_c) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_i \left(\frac{V_i^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z_i \right) + Q_3 \left(\frac{V_3^2}{2g} + H_3 + Z_3 \right) \\ = \sum Q_i K_i \frac{V_i^2}{2g} \quad (S > S_c) \end{aligned}$$

ここに、 Z_i : i 番目の管の基準面からの高さ、 V : i 番目の管のマンホール近傍の流速、 P : i 番目の管のマンホール近傍の静水圧、 K_i : i 番目の管のマンホール部での流入・流出の損失係数、 H_1 : 直接入ってきた流入水の単位体積当りの位置エネルギー、 H_2 : 浸水時のマンホール部の水深、 Z_3 : マンホール部底面の基準面からの高さ、 Y : 接合部の水深、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度である。

運動方程式

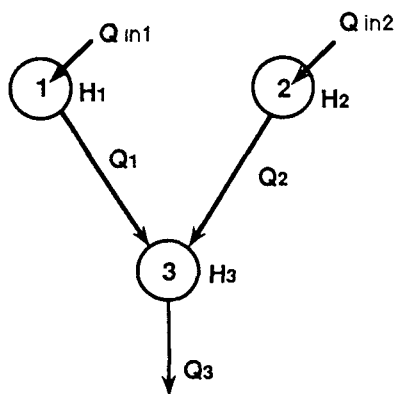
$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta V^2}{g} + \frac{P a}{\rho g} \right) = -S_1 + \frac{1}{\rho g A} \frac{\partial \tau}{\partial x} \quad (\text{満管路})$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - (S_2 - S_1) = 0 \quad (\text{開水路流})$$

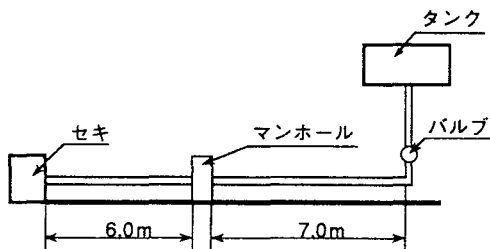
ここに、 V : 断面平均流速、 t : 時間、 x : 管の縦方向の座標、 β : 運動量補正係数、 $P a$: ピエゾ水頭、 S_1 : 摩擦損失勾配、 A : x 点での断面積、 τ : A に通常作用する内部応力の合力、 S_2 : 管路勾配である。

3. 実験装置・方法

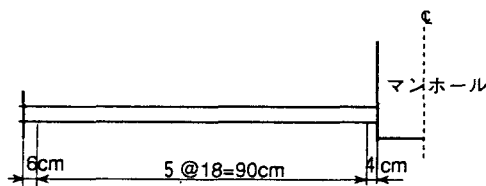
実験には、図-2に示すような上流管内径5.0cm、長さ7.0m、下流管内径5.0cm、長さ6.0m、中央部に内径9.0cmのマンホール部を設置したアクリル製の水路（管およびマンホール部については取り替え可能）を用いた。測定の際には、マンホール部の直上下流管に図-3のような測点を考え、管底にピエゾメータを設置した。なお、縮尺はフルードの相似則を考慮し、 $n=1/10$ とした。



図・1 下水管路網の流下水量計算の基本図



図・2 実験装置概略図



図・3 ピエゾメータ位置

4. 実験結果

マンホール部のエネルギー損失はまずピエゾメータにより測定した圧力水頭から各断面の水位、エネルギー断面を求め、これらを用いてマンホール部でのエネルギー断面の段差をマンホール部でのエネルギー損失と定義し、次式で表す。

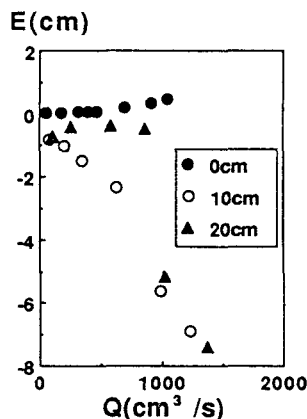
$$\Delta E = E_1 - E_2$$

ΔE : マンホール部での全損失エネルギー

E_1 : マンホール近傍の上流管での全エネルギー

E_2 : マンホール近傍の下流管での全エネルギー

実験条件は上流管径5cm、下流管径5cm、マンホール内径9cm、 $\theta = 180^\circ$ である。また、段差の存在するマンホールにおいては便宜上、段差分を差し引いた全エネルギーを用いてエネルギー損失を計算した。その結果を図-4に示す。



図・4 損失全エネルギーと流量の関係の一例

5. 考察

マンホールは、急拡、段落ち、急縮、屈折をもつ複雑な構造をしており、流況の観察によって、流れが非常に複雑になっていることが分かった。特に流量によって、全損失エネルギーが大きく異なることが、図-4から明らかである。また、段差のある場合、流量によっては位置エネルギーが運動エネルギーに変わるため跳水を生じたり、下流管の流入口で烈しい渦を生じたりする。図中の段差20cmの $Q=257.93\text{cm}^3/\text{s}$ の流況は水塊が下流管径に直接流入しているため流入口で跳水になる。そのためエネルギー損失が小さくなっている。段差20cmの $Q=577.19, 856.15\text{cm}^3/\text{s}$ についても直接流入ではないが壁面に衝突した後、跳水が起っている。段差10cmについても段差20cmと同様の傾向がみられ、 $Q=345.99, 618.52\text{cm}^3/\text{s}$ で跳水が起こっている。これらのことから全損失エネルギーはマンホールの形状に大きく依存していることが明らかになった。実際の管路網計算への適用に際しては、流況の条件で計算式が異なるため区分分けを詳細に行なう必要がある。

6. おわりに

定常状態のエネルギー損失について述べたが、開水路流、遷移流、満管流ではそれぞれの全損失エネルギーが大きく異なるため、それらの値をそのまま非定常状態に適用するには問題がある。今後、非定常状態における実験も合わせて行い、データ集積を計るとともに、円管の跳水現象の解明および、シミュレーション法の開発を行なっていく予定である。

7. 参考文献

- 1) 松本 良一、"マンホールの損失水頭を考慮した下水管渠設計について" (財)建設技術研究所 1984
- 2) YEN, B.C., "Hydraulics of Sewers," in Advance in Hydrosiences Vol.14, ed. by b.c.Yen, pp.1-122, Academic Press, Orlando, Florida, 1986a.