

雨水管路マンホール部におけるエネルギー損失の実験的研究

九州大学工学部 学生員 ○脇田秀俊 正 員 森山克美 正 員 楠田哲也
九州大学工学部 学生員 山下孝光 九州共立大学 正 員 荒尾慎司

1. はじめに 近年、都市化の進行にともない、雨水の流出係数が増大しつつある。このため、都市型浸水が頻発する危険性が高まっている。これに対処するには、雨水管路網の流下・貯流能を適正に評価し、これをもとに雨水排除計画を修正する必要がある。そこで、本研究では雨水管路網の流下能力を数値計算により算定できるように、その計算上必要となるマンホール部のエネルギー損失を検討したものである。

2. 実験条件、実験装置 実験に用いたマノル径、上下流管径の組合せを表-1に示す。それぞれの実験ケースで、実験条件の組合せを図-1に示す。これらの実験はマノル径の相違がエネルギー損失に及ぼす影響を調べるものである。図-2に示すとおり本実験装置では、上下流管のなす角を 180° に設定し（管勾配は水平）、縮尺はフルードの相似則を考慮し $n=1/10$ とした。また、下流端の水深を変化させるために、高さが調節可能な堰を設けた。

表-1 実験ケース

実験 ケース	上 管 径 D _u (mm)	流 注 管 径 D _{in} (mm)	マンホ 下 管 径 D _{il} (mm)	D _{in} /D _{il}	D _u /D _{il}
1	5	7	5	1.2	1
2	5	9	5	1.8	1
3	5	12	5	2.4	1

実験ケース i

↓
段差条件
[0,5,10,15,20cm]

下流端条件

↓
流量条件

图-1 实验条件概略图

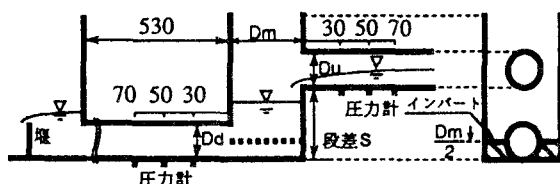


图-2 实验装置 (单位:cm)

3. 実験結果及び考察 ①実験結果:72ホール部のエネルギー損失は次式で表わされる。

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (1)$$

ここに、 ΔE :フネル部の全損失エネルギー、 E_1 :フネル直上部の全エネルギー、 E_2 :フネル直下部の全エネルギーである。 F_1 、 E_2 はそれぞれ、位置水頭、圧力水頭、速度水頭の和として求めた。

図-3に実験結果の一例として、段差を変化させた時の流量- ΔE 関係図を示す。この図から、77ノールに段差がある場合には、流量増加にしたがって ΔE が低下していく部分(開水路流れ)と、77ノール内水位が上流管の流れに影響を与え上流管がサーチャージ流れ(77ノール内水位が上流管管頂と一致するとき)となったとき ΔE が増加していく部分が認められる。これは、開水路流れでは、流出時に77ノール内の流体が段差による位置エネルギーを得て加速されるため ΔE が低下し、サーチャージ流れでは77ノールの急拡、急縮、渦、空気の混入等によるエネルギー損失が生じ、 ΔE が増加していくためと考えられる。図-4は段差を固定し、堰上げにより下流端水深を変化させた時の流量- ΔE 関係図である。この図から、下流端の堰高が増すにしたがって、開水路流れでは等流量下で ΔE は減少し、サーチャージ流れでは ΔE は堰高によらず流量と一義的に対応することがわかる。そこで、図-5に、速度水頭を変数としてサーチャージ流れの ΔE を示す。通常サーチャージ流れのエネルギー損失は次式で表せる。

$$\Delta E = k \frac{v_d^2}{2g} \quad (2)$$

ここに、 k : エネルギー損失係数、 v_d : 下流管の平均流速、 g : 重力加速度である。

図-6に段差を変数として各実験ケースの損失係数 k を示す。この図から、段差がある場合と無い場合とであきらかに k の値に差が生じていることがわかる。また、段差 $S=5\text{ cm}$ で k に

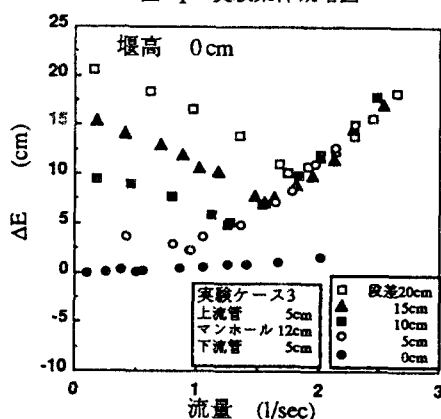


図-3 流量-AF 関係図(段差による影響)

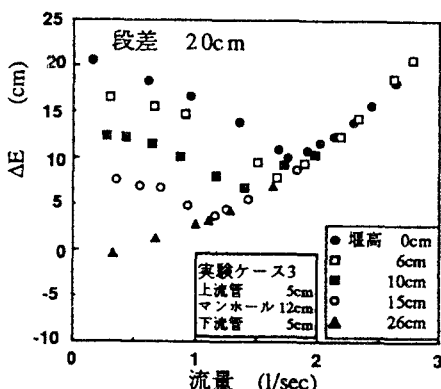


図-4 流量-AF 関係図(堰上げによる影響)

D_m/D_d の影響が認められるが、この理由として以下の事があげられる。孔から静止流体中に噴出された噴流は、摩擦や拡散などによりその移動距離に応じてエネルギーを失う。流体が上流管から下流管に達するまで噴流内のエネルギーを保持しえるなら、マンホール内のエネルギー損失はほとんど起こらない。ケース3の管径比 D_m/D_d はケース2よりも大きいので、拡散の度合、移動距離も増加し、損失の割合も増加すると考えられる。他の段差に関しては、 k に顕著な差異が認められないため、段差、 D_m/D_d は k に対し影響を与えることは少ないと推測される。

また、マンホール内では、上流管から流入してきた流体がマンホール下流壁に衝突し、鉛直方向やマンホール壁に沿って左右へ拡散しながら下方へ潜り、渦を生じるという複雑な運動が観察された。 $D_m/D_d=1.4$ は、これらの運動が他の2ケースより激しく、混入する空気量も多いため、 k が高くなっていると考えられる。

②マンホールのエネルギー損失の定式化:以上の実験結果をもとにマンホールのエネルギー損失の定式化を検討した。サーチャージ流の場合は、図-6に示す k を用いることにより ΔE は式(3)で表せる。

$$\Delta E = k_s \frac{v_d^2}{2g} \quad (3) \quad \text{ここに、} k_s: \text{段差} S \text{の損失係数である。}$$

図-7に示す開水路流れの場合は、 E_1, E_2 は次式で表せる。

$$E_1 = h_1 + \frac{Q^2}{2gA_d^2} + S \quad (4) \quad E_2 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA_d^2} + \frac{fL}{R} \frac{Q^2}{2gA_d^2} + \zeta \frac{Q^2}{2gA_d^2} \quad (5)$$

ここに、 h_1 :上流管の圧力水頭、 h_2 :下流管放流端の圧力水頭、 A_u, A_d :上下流管の流積、 f :管の摩擦損失係数、 R :径深、 L :下流管管長、 ζ :急縮損失係数である。よって、

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_d^2} - \frac{1}{A_u^2} - \frac{fL}{RA_d^2} - \zeta \frac{1}{A_d^2} \right) + h_1 - h_2 + S$$

ここで、 $h_1 - Q^m$ と仮定すると、

$$= \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_d^2} - \frac{1}{gA_d^2} - \frac{fL}{RA_d^2} - \zeta \frac{1}{A_d^2} \right) + \alpha' Q^m - h_2 + S$$

$$= \alpha Q^n - h_2 + S$$

$$\therefore \Delta E - (S - h_2) = \alpha Q^n \quad (6) \quad \text{ここで、} \alpha < 0 \text{である。}$$

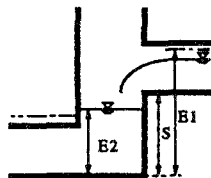


図-7

今回の実験では、ケース1が $n=1.86$ 、ケース2が $n=1.70$ 、ケース3が $n=1.65$ となった。 α についてはマンホール部（上下流管を含む）の特性と考えられる。

以上からマンホール部のエネルギー損失は、単なる急拡、急縮による損失だけではなく、マンホール内の流体の複雑な運動もエネルギー損失の原因となっている。また、段差が10cmより大きくなると損失係数はおよそ $k=1.8 \sim 2.3$ となり、段差が無い場合でも $k=0.3$ を示している。これは、管の摩擦損失に対応させると、およそマンホール径の4~50倍程度の長さに対応する。本実験から D_m/D_d が小さく、段差が大きいほどマンホール内で渦が生じることが認められた。渦はエネルギー損失の原因となるため、管路網の設計時には最適な D_m/D_d を考慮したマンホールが必要であると考えられる。

4. おわりに 以上より雨水管路網の設計や流域浸水シミュレーションに対してマンホールのエネルギー損失を考慮する必要がある。しかし、実際の現象は非定常であるため、定常状態のエネルギー損失式、損失係数を適用するには問題が残る。これらについては今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 山下ら: "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", 平成2年度土木学会西部支部研究発表会, pp.326~327, 1991
- 2) 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法について", 建設技術研究所報, 1984

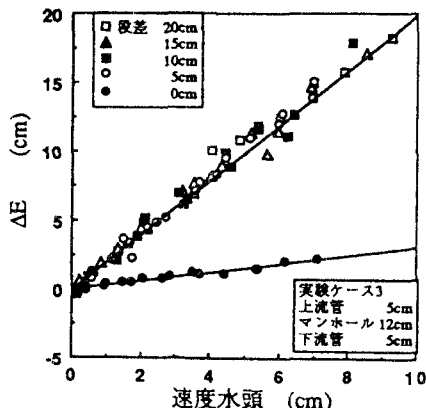


図-5 速度水頭- ΔE 関係図

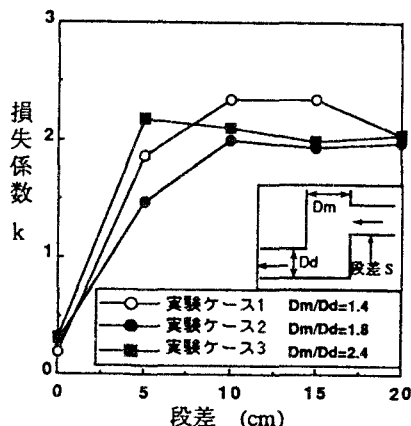


図-6 段差-損失係数関係図