

II-75

雨水管路網におけるマンホール部のエネルギー損失に関する実験的研究

九州共立大学工学部
九州大学工学部
福岡県

正会員○荒尾 慎司
正会員 森山 克美
正会員 脇田 秀俊

九州大学工学部 正会員 楠田 哲也
九州大学工学部 学生員 山下 孝光

1. はじめに

近年、都市部及びその周辺流域での開発が急速に進んでおり、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、雨水管路網の流下能力を適正に評価し、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実験的に検討したものである。

2. 実験装置及び実験条件

図-1及び2に実験装置の概略を示す。本実験では、上・下流管のなす角を 180° 及び 90° 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1/10とした。実験に用いたマンホール径、上・下流管径の組み合わせを表-1に示す。それぞれの実験シリーズにおいて、①下流端の堰高を一定にして、マンホール部の段差を変化させた場合、②マンホール部の段差を一定にして、下流端の堰高を変化させた場合について検討を行った。

表-1 実験ケース

実験シリーズ	角 度	上 流 管 径 D_u (cm)	マンホール径 D_m (cm)	下 流 管 径 D_d (cm)	D_m/D_d	D_m/D_u
1	180°	5	7	5	1.4	1
2		5	9	5	1.8	1
3		5	12	5	2.4	1
4		5	9	6	1.5	1.2
5	90°	5	9	5	1.8	1

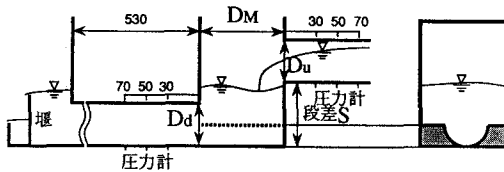


図-1 直管流れの実験装置 (単位cm)

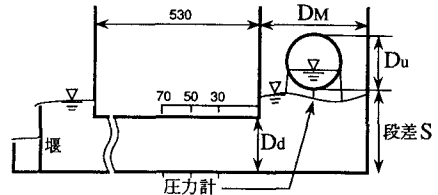


図-2 曲管流れの実験装置 (単位cm)

3. 実験結果及び考察

(1) 直管流れ

マンホール部のエネルギー損失は、次式で表せる。

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

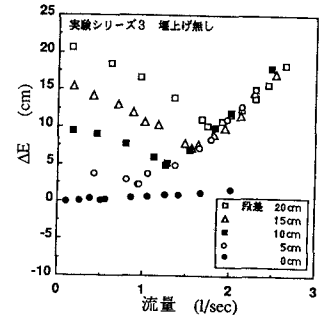
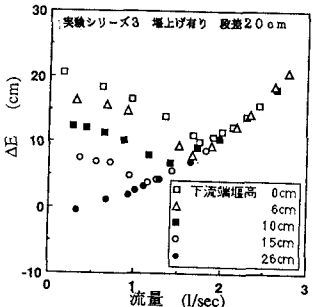
ここに、 ΔE ：マンホール部の全損失エネルギー、 E_1 、 E_2 ：マンホール直上部と直下部の全エネルギーである。 E_1 、 E_2 はそれぞれ、位置水頭、圧力水頭、速度水頭の和として求めた。

1) 流量及び速度水頭とエネルギー損失(ΔE)との関係

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、マンホールに段差がある場合には、流量の増加にしたがって ΔE が低下していく部分（開水路流れ）と、流量の増加に伴ってマンホール内水位が上流管管頂と一致した時、 ΔE が増加していく部分（管路流れ）が認められる。図-4は段差を固定し、堰上げにより下流端の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、管路流れでは 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。図-5に管路流れの速度水頭と ΔE の関係図を示した。

2) 段差と下流管径との比(S/D_d)とエネルギー損失係数 k との関係

図-6に S/D_d を変数とした各実験シリーズの損失係数 k を示す。この図から、段差がある場合と無い場合とでは明らかに k の値に差が生じていることがわかる。

図-3 流量- ΔE 関係図図-4 流量- ΔE 関係図

①マンホール径と下流管径との比 (D_m/D_d) がエネルギー損失 k に与える影響

上・下流管径が5cmでともに等しいシリーズ1と3を比較すると、 S/D_d が0.0と1.0ではシリーズ3の方が若干損失係数 k が大きくなっている。 S/D_d が2.0と3.0では逆の傾向を示しており、これは、 S/D_d が大きいために D_m/D_d の増加に伴って直接流出来ない水流が流出可能となるためと考えられる。また、 S/D_d が増加するにつれて k が2.0前後に近づくようである。これは、宇井ら¹⁾が示唆した実験結果と類似している。

②上流管径と下流管径との比 (D_u/D_d) がエネルギー損失 k に与える影響

D_m/D_d が等しく D_u/D_d の異なるシリーズ2と4を比較すると S/D_d が1.0では k はほぼ同じであるが、 S/D_d が1.0を越えると明らかにシリーズ4の方が k が小さい。

(2) 曲管流れ

図-6中に曲管流れ(シリーズ5)について、 S/D_d を変化させた場合のエネルギー損失係数 k を示す。これから、直管流れの場合(シリーズ3)とは、かなり様子が異なることがわかる。曲管流れでは、 S/D_d が0.4の時 k が最大となっており、曲がりの影響を示していると思われる。

4. マンホール部で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部でのエネルギー損失の定式化を検討した。管路流れの場合は、図-6に示す k を用いることにより ΔE は次式で表せる。

$$\Delta E = k_s \frac{v_d^2}{2g} \quad (2) \quad \text{ここに、} k_s: \text{段差 } s \text{ の損失係数}$$

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。

$$E_1 = h_1 + \frac{Q^2}{2gA_d^2} + S \quad (3) \quad E_2 = h_2 + \frac{Q^2}{2gA_d^2} + f \frac{L}{R} \frac{Q^2}{2gA_d^2} + \zeta \frac{Q^2}{2gA_d^2} \quad (4)$$

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、 R : 径深、 L : 下流管管長、 ζ : 急縮損失係数

$$\begin{aligned} \therefore \Delta E = E_1 - E_2 &= \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_d^2} - f \frac{L}{R A_d^2} - \zeta \frac{1}{A_d^2} \right) + h_1 - h_2 + S \\ &= \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_d^2} - f \frac{L}{R A_d^2} - \zeta \frac{1}{A_d^2} \right) + \alpha' Q^n - h_2 + S \\ &= \alpha Q^n - h_2 + S \quad (5) \end{aligned}$$

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

今回の実験では、シリーズ1が $n=1.86$ 、シリーズ2が $n=1.70$ 、シリーズ3が $n=1.65$ 、シリーズ4が $n=2.02$ 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。

5. おわりに

マンホール部のエネルギー損失は、単なる急膨、急縮による損失だけでなく、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。 S/D_d-k の関係図(図-6)より直管流れと曲管流れとはその特性がかなり異なることが明かとなった。また、開水路流れの場合(5)式でエネルギー損失 ΔE を定式化出来ることを示した。以上より、管路網の設計時には最適な管径比 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。

(参考文献)

- 1) 宇井ら: "管路接続用チャンバーによるエネルギー損失"、第31回水理講演会、1987
- 2) 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、1991
- 3) 松元 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

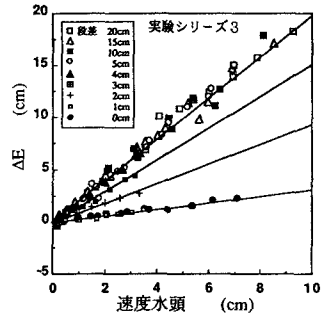


図-5 速度水頭- ΔE 関係図

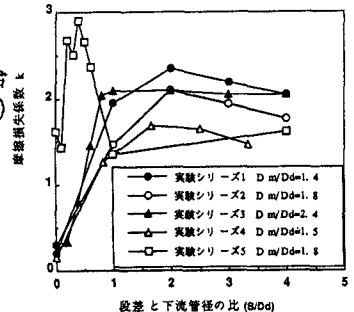


図-6 S/D_d -損失係数関係図

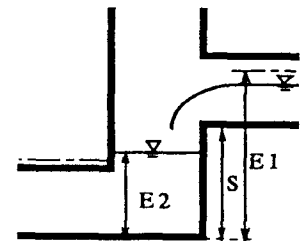


図-7 上流管が開水路流れの場合の流況図