## 3本の流入管の流量の違いを考慮したマンホールのエネルギー損失の評価式

松江工業高等専門学校 生産・建設システム工学専攻 学生会員 ○岡本 彩果 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 荒尾 慎司 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 広瀬 望

#### 1. はじめに

雨水管の接合部であるマンホールで生じるエネル ギー損失は、マンホールを含む雨水管の流下能力を 正確に評価する上で重要である.しかし、日本では 現在でも雨水管の設計や浸水予測計算において、マ ンホールでのエネルギー損失が無視されていること が多い.この理由のひとつは、マンホールに流入す る管路の数が多くなるのに伴いマンホールで生じる エネルギー損失を定式化することが容易でなくなる からである.そこで著者らは、これまでに2,3及び4 方向接合マンホールのエネルギー損失係数の算定式 を考案してきた<sup>1).2).3).4)</sup>.4方向接合マンホールにお いては、2本の対向する横流入管の流量が同じときに 限り適用可能である<sup>3).4)</sup>.本研究では、4方向接合円 形マンホールにおいて3本の流入管の流量変化を考 慮した新しいエネルギー損失の計算式を考案する.

# 2. 定式化する際に考慮する構造要因と変数

本研究で構造上の変数の中で考慮するものは、マ ンホール径,管径,接合管路の水平面接合角度とす る. マンホールや管路の形状は現場で多用されてい る円形とする.また、水深の影響も考慮しない.本 研究では管水路圧力流れを対象としているため、い ずれの勾配の管路でも水平勾配の測定結果と同じに なる. そこで実験では管路を水平勾配とした. 図 1 に4 方向接合マンホールの概要を示す.ここで、b はマンホールの内径. D1, D2, D3 はそれぞれ流入管 1, 2, 3の内径, Doは流出管の内径, Q1, Q2, Q3は それぞれ流入管1,2,3の流量,Q。は流出管の流量  $(O_0 = O_1 + O_2 + O_3), \theta_1, \theta_2, \theta_3, \mu$ はそれぞれ流入管 1, 2, 3と流出管の水平面接合角度である.本研究では十字 路交差点を対象とするため,流入管1と流出管との 間の水平面接合角度は θ<sub>1</sub>=180°, 流入管 2 と流入管 3では  $\theta_2=\theta_3=90^\circ$ とする.また、流入・流出管との間 の落差 S<sub>i</sub>は考慮せず,現場で多用されている管頂接 合とする.以上のことから,マンホールのエネルギ 一損失係数K<sub>ei</sub>は式(1)に示す7個の無次元数の関数と なる.

$$K_{ei} = f\left(\frac{b}{D_o}, \frac{D_o}{D_1}, \frac{D_o}{D_2}, \frac{D_o}{D_3}, \frac{Q_1}{Q_o}, \frac{Q_2}{Q_o}, \frac{Q_3}{Q_o}\right)$$
(1)

#### 3. 実験装置

本研究で用いている実験装置の概要を図2に示す. 実験装置におけるマンホールと管路の材質は、透明 なアクリルパイプである.模型は実規模(マンホール 径90cm,管径25cm等)の1/5程度の縮小模型であり、 マンホール形状を円筒として、実物よりも簡易なモ デルとしている.マンホール底面には、管内径の1/2 に相当するインバートを設置している.



キーワード 十字路交差点,下水管,マンホール,エネルギー損失,エネルギー損失係数の計算式 連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4 松江工業高等専門学校 TEL:0852-36-5225

# 4. 実験方法

- 3 ヶ所の流量調節バルブにより、管内を管水路圧 力流れにして流入管 3 本の流量をそれぞれ所定の 流量に設定する.このときの流量は±1%以内の誤 差で所定の値に設定している.
- 2) 流入管の内壁頂部から水面までの距離をマンホ ール水深 h とし,それが所定の値になるように流 出管末端部の越流水槽内の堰高を調整する.
- 3) マンホール水深hは、マンホール外壁に取り付けた4点のメジャーにより測定し、それらの平均値を測定値とする.なお、本研究では管路の接合を現場で多用されている管頂接合としていることからマンホールに接続する管径が変化しても4か所とも管路の内壁頂部の位置を0cmとしてマンホール水深を計測している.
- 4)3本の流入管及び流出管にそれぞれ3ヶ所ずつ取り付けたマノメーターによって管内の圧力水頭を2回測定した.マンホール内の水深が小さいときには、スケールの大きな渦の発生により水面変動が大きくなることから、マノメーターの水面も上下に変動する.マンホール内の水深が大きいときにはマノメーターの水面はほとんど変動しない.いずれの水深でも各マノメーターの水面の平均的な位置を読んで、その値の2回の平均値を採用する.この圧力水頭に速度水頭(V<sup>2</sup>/2g)を加えたものからエネルギー線を計算することにより、マンホール部でのエネルギー損失水頭を求める.

### 5. 実験条件

表1に管内径 $(D_1, D_2, D_3, D_o)$ の組み合わせを示す.  $D_1, D_2, D_3$ はそれぞれ流入管 1, 2, 3 の内径,  $D_o$ は流出管の内径である.各 Type において流入管1の流 量 $Q_1$ ,横流入管2の流量 $Q_2$ 及び横流入管3の流量  $Q_3 を様々な値に設定した. その例として Type F に$ おいて設定した流量46ケースを表2に示す. Type Eと Type G では,これよりも流量条件をやや少なくして検討を行っている. なお,既往研究<sup>3),4)</sup>で Type A $~ Type D に関しては簡易的に流量比<math>Q_{lad}/Q_o$   $(Q_{lad}=Q_2+Q_3, Q_2=Q_3)$ を6種のみ設定して検討を行っている.それぞれの条件でマンホール内の水深hを 5cm から 30cm の間で変化させた.

表1 管径の組み合わせ

	$D_1(\text{cm})$	$D_2(\text{cm})$	$D_3(\text{cm})$	$D_{o}(\mathrm{cm})$	実施年
Type A	5	5	5	5	2017
Type B	5	5	5	6	2017
Type C	4	4	4	6	2018
Type D	3	3	3	6	2018
Type E	3	5	4	6	2018
Type F	4	5	3	6	2019
Type G	5	4	3	6	2019

表2 流量の設定 (Type F)

-		D1=4cm	D2=5cm	D3=3cm	Do=6cm				
	No.	Q1(£/s)	Q2(£/s)	Q3(L/s)	Qo(l/s)	Q1/Qo	Q2/Qo	Q3/Qo	Σ Qi/Qo
Q1=0.02/s	1	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0
	2	0.0	0.125	0.875	1.0	0.0	0.125	0.875	1.0
	3	0.0	0.25	0.75	1.0	0.0	0.25	0.75	1.0
	4	0.0	0.375	0.625	1.0	0.0	0.375	0.625	1.0
	5	0.0	1.0	1.0	2.0	0.0	0.5	0.5	1.0
	6	0.0	1.25	0.75	2.0	0.0	0.625	0.375	1.0
	7	0.0	1.5	0.5	2.0	0.0	0.75	0.25	1.0
	8	0.0	1.75	0.25	2.0	0.0	0.875	0.125	1.0
	9	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	1.0
Q1=0.252/s	10	0.125	0.0	0.875	1.0	0.125	0.0	0.875	1.0
	11	0.125	0.125	0.75	1.0	0.125	0.125	0.75	1.0
	12	0.125	0.25	0.625	1.0	0.125	0.25	0.625	1.0
	13	0.25	0.75	1.0	2.0	0.125	0.375	0.5	1.0
	14	0,25	1.0	0.75	2.0	0.125	0.5	0,375	1.0
	15	0.25	1.25	0.5	2.0	0.125	0.625	0.25	1.0
	16	0.25	1.5	0.25	2.0	0.125	0.75	0.125	1.0
	17	0.25	1.75	0.0	2.0	0.125	0.875	0.0	1.0
	18	0.25	0.0	0.75	1.0	0.25	0.0	0.75	1.0
Q1=0.50%/s	19	0.25	0.125	0.625	1.0	0.25	0.125	0.625	1.0
	20	0.5	0.5	1.0	2.0	0.25	0.25	0.5	1.0
	21	0.5	0.75	0.75	2.0	0.25	0.375	0.375	1.0
	22	0.5	1.0	0.5	2.0	0.25	0.5	0.25	1.0
	23	0.5	1.25	0.25	2.0	0.25	0.625	0.125	1.0
	24	0.5	1.5	0.0	2.0	0.25	0.75	0.0	1.0
Q1=0.6672/s	25	0.667	0.667	0.667	2.0	0.334	0.334	0.334	1.0
	26	0 375	0.0	0 625	1.0	0.375	0.0	0 625	10
	27	0.75	0.25	1.0	2.0	0.375	0.125	0.5	1.0
	28	0.75	0.5	0.75	2.0	0.375	0.25	0.375	1.0
Q1=0.75£/s	29	0.75	0.75	0.5	2.0	0.375	0.375	0.25	1.0
	30	0.75	1.0	0.25	2.0	0.375	0.5	0.125	1.0
	31	0.75	1.25	0.0	2.0	0.375	0.625	0.0	1.0
Q1=1.02/s	32	1.0	0.0	1.0	2.0	0.5	0.0	0.5	1.0
	33	1.0	0,25	0,75	2.0	0.5	0.125	0.375	1.0
	34	1.0	0.5	0.5	2.0	0.5	0.25	0.25	1.0
	35	1.0	0.75	0.25	2.0	0.5	0.375	0.125	1.0
	36	1.0	1.0	0.0	2.0	0.5	0.5	0.0	1.0
Q1=1.25£/s	37	1.25	0.0	0.75	2.0	0.625	0.0	0.375	1.0
	38	1.25	0.25	0.5	2.0	0.625	0.125	0.25	1.0
	39	1.25	0.5	0.25	20	0.625	0.25	0.125	1.0
	40	1.25	0.75	0.10	20	0.625	0.375	0.0	10
Q1=1.502/s	41	1.5	0.0	0.5	2.0	0 75	0.070	0.25	10
	42	1.5	0.0	0.0	2.0	0.75	0 1 2 5	0 125	1.0
	43	15	0.20	0.20	2.0	0.75	0.25	0.120	10
	44	1 75	0.0	0.0	2.0	0.75	0.20	0.125	1.0
Q1=1.75£/s	45	1.70	0.0	0.20	2.0	0.875	0.0	0.120	1.0
01-2.00/0	48	1./0	0.20	0.0	2.0	1.0	0.120	0.0	1.0
UI-2.UX/8	0	2.0	J.U	J.U	2.0	1.0	0.0	0.0	1.0

### 6. エネルギー損失係数の定式化

ここでは TypeA~TypeG の実験結果を基に,全て の流入管の流量変化を考慮したエネルギー損失係数 の算定式を考案した.それらの式を式(2)から式(12) に示す.式(2)~式(6)は流入管1おけるエネルギー損 失係数  $K_{e1}$ を,式(7)~式(9)は流入管2におけるエネ ルギー損失係数  $K_{e2}$ を,式(10)~式(12)は流入管3に おけるエネルギー損失係数  $K_{e3}$ に関する計算式であ る.なお, $C_B$ はマンホール底面形状に関する係数で, ここではマンホール底面に管内径の1/2に相当する インバートが取り付けられているため, $C_B$ =0.95 とし ている.

1) Ke1 の定式化

$$K_{e1} = K_0 C_{Q1} C_B + C_{D1}$$
 (2)

$$K_0 = 0.702 \left(\frac{b}{D_o}\right)^{0.630}$$
 (3)

$$C_{Qi} = \frac{K_{ei}}{1.4946} \tag{4}$$

$$C_{Q1} = -0.278 \left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)^2 + 0.350 \left(\frac{Q_2}{Q_o}\right) + 0.208$$
(5)

$$C_{D1} = 0.380 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_1} \right)^4 - 1 \right\}^{1.14} \left( \frac{Q_1}{Q_o} \right)^{1.66} + 0.190 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_2} \right)^4 - 1 \right\}^{0.650} \left( \frac{Q_2}{Q_o} \right)^{3.00} + 0.150 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_3} \right)^4 - 1 \right\}^{0.500} \left( \frac{Q_3}{Q_o} \right)^{0.91}$$
(6)

2) Ke2 の定式化

$$K_{e2} = K_0 C_{Q2} C_B + C_{D2} \tag{7}$$

$$C_{Q2} = -1.07 \left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)^2 + 2.48 \left(\frac{Q_2}{Q_o}\right) - 0.470 \qquad (8)$$

$$C_{D2} = 1.00 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_2} \right)^4 - 1 \right\}^{1.03} \left( \frac{Q_2}{Q_o} \right)^{2.91} - 1.04 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_1} \right)^4 - 1 \right\}^{0.620} \left( \frac{Q_1}{Q_o} \right)^{3.39} + 0.900 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_3} \right)^4 - 1 \right\}^{0.950} \left( \frac{Q_3}{Q_o} \right)^{2.59} (9)$$

3) Ke3の定式化

$$K_{e3} = K_0 C_{Q3} C_B + C_{D3} \tag{10}$$

$$C_{Q3} = -1.07 \left(\frac{Q_3}{Q_o}\right)^2 + 2.48 \left(\frac{Q_3}{Q_o}\right) - 0.470 \qquad (11)$$

$$C_{D3} = 0.950 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_3} \right)^4 - 1 \right\}^{100} \left( \frac{Q_3}{Q_o} \right)^{2.19} - 0.740 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_1} \right)^4 - 1 \right\}^{0.770} \left( \frac{Q_1}{Q_o} \right)^{3.08} + 2.70 \left\{ \left( \frac{D_o}{D_2} \right)^4 - 1 \right\}^{0.550} \left( \frac{Q_2}{Q_o} \right)^{2.92}$$
(12)

これらの計算式の関数形は、2本の対向する横流入 管の流量を同一とした条件で開発された計算式<sup>3),4)</sup> を基に考案した.式(6),式(9)及び式(12)に関する係 数や乗数を求める際には、最初に3本の流入管が同 一径である TypeA から TypeD の管路の組み合わせを 対象とした.このとき、エネルギー損失係数 K<sub>ei</sub>の計 算値と実測値の相対誤差の二乗和が最小になるよう にした.次に、流入管が異径である TypeE~TypeG に関する計算値がこれらの Typeの実測値に近づくよ うに係数と乗数を微調整して、最終的な値を求めた.

## 7.計算式の検証

式(2)から式(12)の計算式により求めたエネルギー 損失係数と実測値との比較を行った.図 3~図 5 は TypeE~TypeG における  $K_{e1}$ の比較結果を,図 6~図 8 は TypeE~TypeG における  $K_{e2}$ の比較結果を,図 9~ 図 11 は TypeE~TypeG における  $K_{e3}$ の比較結果を示 す.



図 6 K<sub>e</sub>

-88-



図7 Ke2の計算値と実測値の比較(TypeF)



図 8 K<sub>e2</sub>の計算値と実測値の比較(TypeG)



図9 Ke3の計算値と実測値の比較 (IypeE)

![](_page_3_Figure_7.jpeg)

図 10

![](_page_3_Figure_9.jpeg)

図11 K<sub>e3</sub>の計算値と実測値の比較(TypeG) これらの図を見ると,ほとんどのプロット点が直 線上にまたは直線付近にあることがわかる.だが, 所々直線から少し離れているプロット点もある.こ の場合,計算値と実測値との差はやや大きいが,こ れらのプロット点のほとんどは流入量Q<sub>i</sub>がOl/sの場 合である.実際の降雨を考えた場合に3本の流入管 のうちのいずれか1本に全く水が流れない状態は生 起確率が低いと思われる.したがって,3本の流入管 の内径が異なる場合において,計算値が実測値を概 ね再現していると判断できる.

### ;. まとめ

マンホールの内径,3本の流入管と流出管の内径,本の流入管に流量が無次元変数として考慮された (失係数 Kel, Ke2, Ke3の計算式を考案した.この計 に式を用いて,3本の流入管の流量比を種々変化させ :結果,ほとんどの条件下で計算値が実測値を再現 きることを確認した.今後は,この算定式を基に, i入管と流出管の間に落差を有する場合でも適用可 さな算定式を開発する予定である.

<sup>絵</sup>考文献

荒尾慎司, 楠田哲也:管水路流れにおける 2 方向接合円形落差 マンホール部の形状損失の定式化, 土木学会論文集 G, Vol. 62, No. 1, pp. 162-170, 2006.

 荒尾慎司,平塚俊祐,楠田哲也:管水路流れにおける 3
方向接合円形落差マンホールのエネルギー損失の定式化, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69, No. 2, pp. 105-122,
2013.

荒尾慎司, 平塚俊祐, 楠田哲也:管水路圧力流れにおける 4 方 向接合円形マンホールのエネルギー損失の定式化, 土木学会論 文集 B1 (水工学), Vol. 75, No. 1, pp. 49-60, 2019.

荒尾慎司,岡本彩果,平塚俊祐,楠田哲也,小田耕平:十字路 交差点における 4 方向接合円形マンホールのエネルギー損失算 定式の改良,下水道協会誌学術論文, Vol. 57, No. 695, pp. 60-67, 2020.