

向かい合う2本の流入管の段差を考慮した3方向接合円形マンホールの損失特性

松江工業高等専門学校 正会員 ○荒尾 慎司 京都大学大学院 学生会員 平塚 俊祐
国土交通省中国地方整備局 岩崎 浩茂 九州大学名誉教授 フェロー 楠田 哲也

1. はじめに

近年、多発しているゲリラ豪雨等による洪水時の浸水深、浸水面積や避難経路等の情報を住民に周知させるため、各自治体では洪水ハザードマップが作成されている。しかし、内水氾濫を含む洪水ハザードマップ作成時の浸水予測計算では、雨水管の接合部であるマンホールでの損失が軽視または無視されており、実際の浸水現象を必ずしも的確には予測できていない。

著者らは既往の研究^{1), 2)}において、2本の流入管と流出管と間の水平面接合角度が 180° と 90° の場合(図-1参照)、2本の流入管の水平面接合角度がいずれも 90° の場合(図-2参照)の3方向円形落差マンホールのエネルギー損失特性を明らかにしてきた。著者らはこれらの実験結果をもとに、マンホールと接合管路のそれぞれの内径、流入管と流出管の水平面接合角度、流入・流出管の間の落差及び流入量と流出量の比(流量比)に関する6個の無次元変数を考慮することにより3方向円形落差マンホールのエネルギー損失係数の算定式を開発している¹⁾。本式の適用範囲を図-3に示す。本式では流入・流出管の間に落差がない場合には、2本の流入管と流出管の水平面接合角度が $90^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で計算できる。また、流入・流出管の間に落差がある場合は、片方の流入管と流出管の水平面接合角度を 180° と固定して、もう一方の流入管の接合角度を $90^\circ \sim 180^\circ$ として計算できる。しかし、本式では流入・流出管の間に落差がある場合に、一方の流入管の接合角度を 180° に固定した条件下でしか計算ができない。

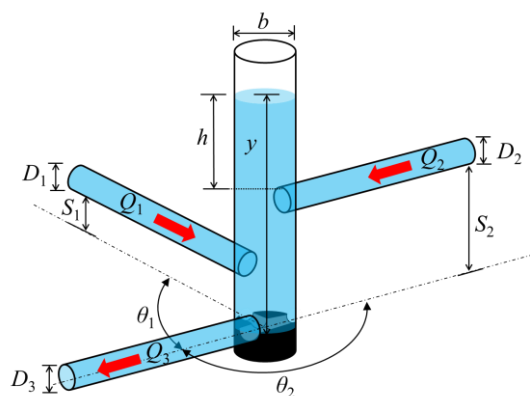


図-1 3方向接合円形落差マンホール

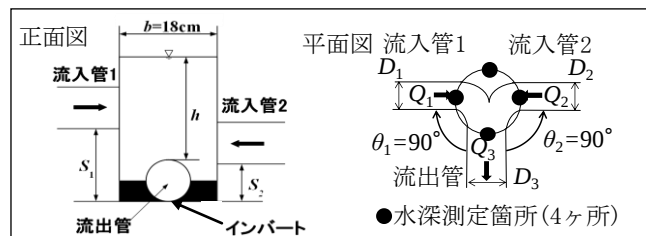


図-2 流入・流出管とマンホールの接合状態

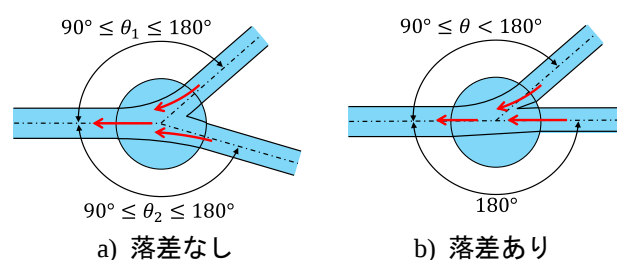


図-3 既往の研究による提案式の適用範囲

そこで本研究では、T字路交差点下における2本の流入管が向かい合って接続する3方向接合円形落差マンホールを対象に、流入・流出管の流量、マンホール内の水深及び向かい合う2本の流入・流出管の間の落差を種々変化させた実験を行うことで、マンホールでのエネルギー損失特性を明らかにし、従来の提案式¹⁾より汎用性の高い計算式を考案するための基礎データを得ることを目的とする。

2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

本研究で用いた実験装置の概要を図-4に示す。図-4は2本の流入管の接合角度が $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ であり、平成24年度の研究³⁾では段差のない場合を対象とした。

本研究では一方の流入管に段差を設けた場合として $S_1 = 2.5\text{cm}$, 5cm , 10cm の3種(Type B, Type C, Type D), 2本の流入管ともに段差を設けた場合として $S_1 = S_2 = 2.5\text{cm}$, $S_1 = 5\text{cm}$, $S_2 = 2.5\text{cm}$ 及び $S_1 = S_2 = 5\text{cm}$ の3種(Type E, Type F, Type G)を検討対象とした。実験模型のサイズは実規模の1/5(マンホール径 $b = 18\text{cm}$, 流入管径 $D_1 = D_2 = 5\text{cm}$, 流出管径 $D_3 = 6\text{cm}$)である。マンホール底面には管径の1/2のインバートが設置されている。

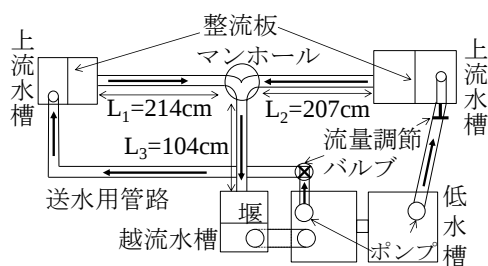


図-4 実験装置の概要(平面図)

2.2 実験方法

実験の手順は以下の通りである。

- ① 2か所の流量調節バルブにより、流入管1の流量 Q_1 と流入管2の流量 Q_2 を所定の流量に設定する。
- ② 最も高い位置にある流入管内壁頂部から水面までの距離をマンホール水深 h とし(図-1 参照), 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節する(図-4 参照)。
- ③ マンホール水深 h は, マンホール外壁に取り付けた4か所のメジャーにより測定し, それらの平均を測定値とする(図-2 参照)。
- ④ 流入管1と2及び流出管にそれぞれ3箇所ずつ取り付けたマンホールによって管内の圧力水頭を測定し, これに速度水頭($V^2/2g$)を加えたものからエネルギー線を計算することにより, マンホール部のエネルギー損失水頭 ΔE を求める¹⁾ (図-5 参照)。

さらに, (1)式によりエネルギー損失係数 K_{e*} を, (2)式により圧力水頭係数 K_{p*} を算定する。

$$K_{e*} = \Delta E / (V_3^2 / 2g) \quad (1)$$

$$K_{p*} = K_{e*} + 1 - (V_*^2 / V_3^2) \quad (2)$$

K_{e*} , K_{p*} の添字*は, 1 のとき流入管1と流出管に関する係数, 2 のとき流入管2と流出管に関する係数を表す。 V_3 は流出管の断面平均流速, g は重力加速度である。

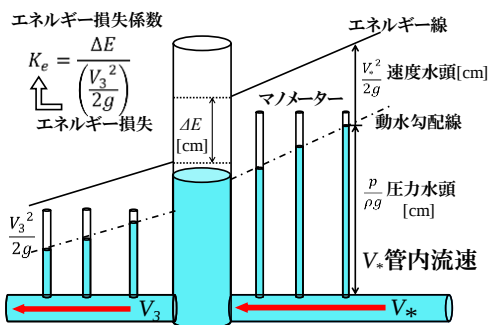


図-5 マンホールのエネルギー損失水頭 ΔE の算定

3. 実験条件

表-1 に既往の研究も含めた各段差 (S_1 , S_2) と接合角度 (θ_1 , θ_2) の組み合わせを示す。また, 表-2 に示すように, 流入管1の流量 Q_1 と流入管2の流量 Q_2 を変化させ, 流量比 Q_2/Q_3 ($Q_3 = Q_1 + Q_2$) を9種設定した。

表-1 段差と接合角度

	流入管1 S_1	流入管2 S_2	流入管1 θ_1	流入管2 θ_2
TypeA	0cm	0cm	90°	90°
TypeB	2.5cm			
TypeC	5cm			
TypeD	10cm			
TypeE	2.5cm	2.5cm	90°	90°
TypeF	5cm	2.5cm		
TypeG	5cm	5cm		

表-2 流量比の設定

Q_1 [l/s]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00
Q_2 [l/s]	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Q_2/Q_3	0.00	0.20	0.33	0.43	0.50	0.57	0.67	0.80	1.00

4. 実験結果と考察

4.1 マンホール内の水深と損失係数との関係

図-6～図-9 にマンホール内の水深比 h/D_3 とエネルギー損失係数 K_{e1} , K_{e2} との関係の例 (片側段差の Type A ~ Type D, $Q_2/Q_3=0.33$, 0.57) を示す。 Type A や Type D では, h/D_3 が2を超えると損失係数は水深の変化によらず, ほぼ一定となることがわかる。その他のタイプでは, h/D_3 を2以上としたデータしかとっていないが, 水深によらず損失係数はほぼ一定となっている。この結果は, 流入・流出管が1本ずつ接合するマンホールに関する既往の研究⁴⁾でも確認されている。本研究では, 管水路流れて, しかも水深変化の影響を受けないところの損失係数を定式化することを最終目的としていることから, 以下では, マンホール水深比 h/D_3 が2以上の損失係数の平均値を算定し, 後述する流量比 Q_2/Q_3 との関係を明らかにする際にこの値を用いる。

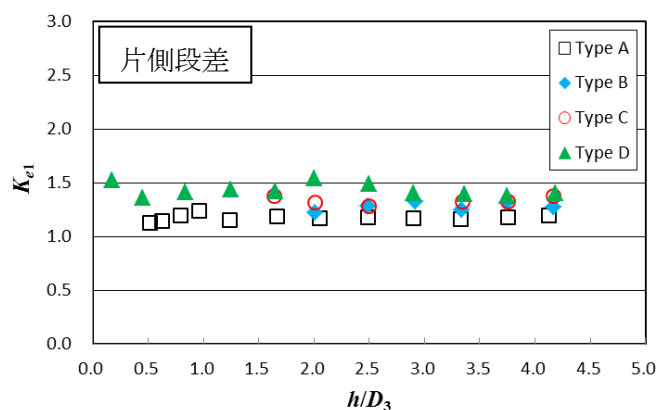


図-6 流入管1のエネルギー損失係数 K_{e1} ($Q_2/Q_3=0.33$)

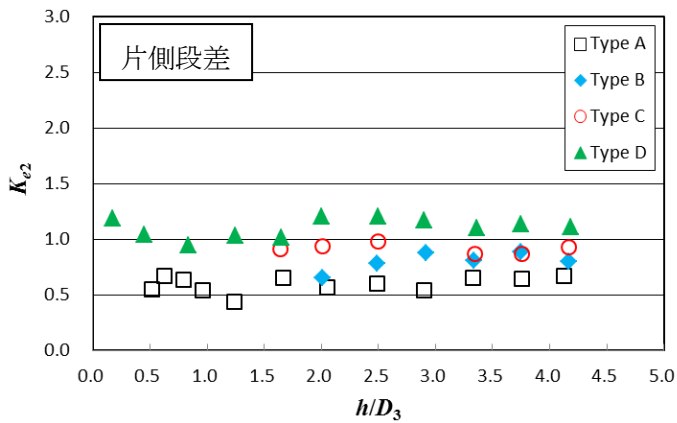


図-7 流入管 2 のエネルギー損失係数 K_{e2} ($Q_2/Q_3=0.33$)

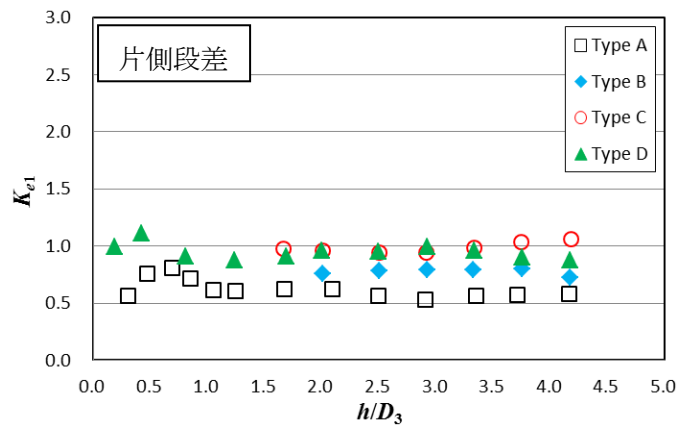


図-8 流入管 1 のエネルギー損失係数 K_{e1} ($Q_2/Q_3=0.57$)

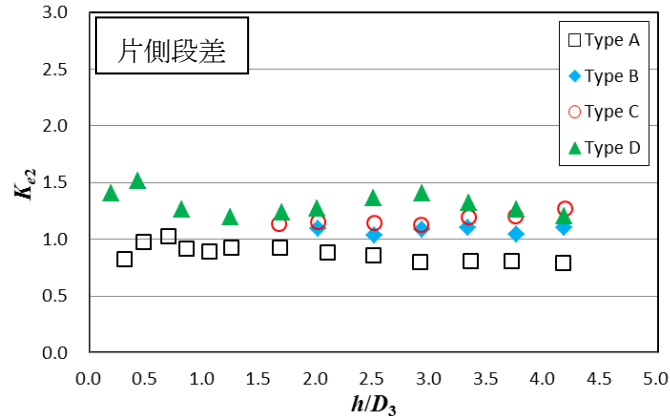


図-9 流入管 2 のエネルギー損失係数 K_{e2} ($Q_2/Q_3=0.57$)

流量比 Q_2/Q_3 とエネルギー損失係数 K_{e1} , K_{e2} との関係について、片側段差を図-10 と図-12 に、両側段差を図-11 と図-13 に示す。

4.2 流入管 1 に関するエネルギー損失係数 K_{e1}

図-10 に示す片側段差においては、Type D を除くとある流量比で損失係数の極小値をとることがわかる。流量比 Q_2/Q_3 が 0 か 0.5 までは段差 S_1 が大きくなるほど損失が大きくなる傾向にあるが、 Q_2/Q_3 が 0.5 より大

きくなるにつれて Type D の損失は減少し、 Q_2/Q_3 が 1.0 では他のタイプと比べて損失がかなり小さくなった。 Q_2/Q_3 が 1.0 のとき、Type D の損失が減少した理由は、流入管 2 にのみ水が流れており、段差が 10cm と大きいことから、段差が小さい他のタイプと異なり、流入管 2 からマンホールへ流入する水が流入管 1 の圧力上昇には寄与しないからである。Type B, Type C においては Q_2/Q_3 が 0.5 から 1.0 まで損失係数はほぼ同程度の値となり、 Q_2/Q_3 が 0.8 ではいずれのタイプでもほぼ同じ値となった。図-11 に示す両側段差において、Type A, Type E 及び Type G を比較すると、両側に同じ段差があると段差が大きくなるにつれて損失係数が大きくなる傾向にある。この原因のひとつは段差が大きくなるにつれてインバートの効果が小さくなるためである。Type F はいずれの流量比でも Type G と損失係数はほぼ同じか Type G より小さくなるが、 $Q_2/Q_3=1.0$ のときを除くと Type E と近い値になっている。 Q_2/Q_3 が 1.0 のとき Type F が Type E や Type G よりも損失係数がかなり小さくなるのは、Type F では 2 本の流入管の段差が $S_1=5\text{cm}$, $S_2=2.5\text{cm}$ と 2.5cm 異なるため、流入管 2 からの流入水の半分に満たない面積しか流入管 1 の圧力上昇へは寄与しないためと推察される。

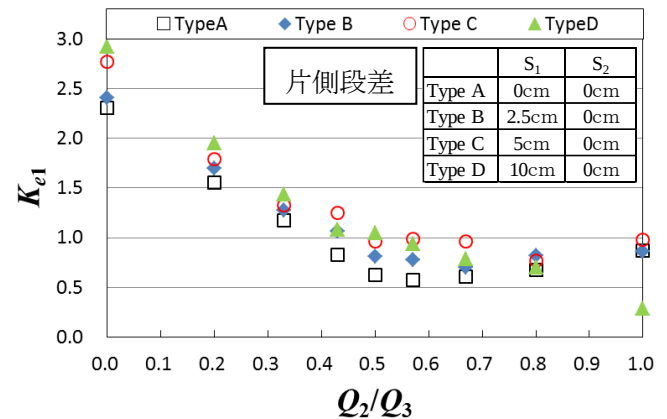


図-10 流入管 1 のエネルギー損失係数 K_{e1} (片側段差)

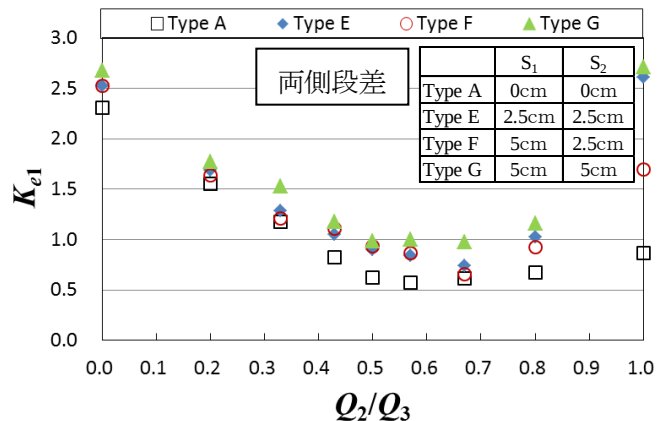


図-11 流入管 1 のエネルギー損失係数 K_{e1} (両側段差)

4.3 流入管 2 に関するエネルギー損失係数 K_{e2}

図-12 に示す片側段差においては、いずれのタイプにおいても、ある流量比で損失係数が極小値をとることがわかる。また、いずれの流量比でも段差が大きくなるにつれて損失が大きくなる傾向にある。図-13 に示す両側段差においては、流入管 1 に関するエネルギー損失係数 K_{e1} と同様、両側に同じ段差を有し、より段差が大きいくほど損失が大きくなる傾向にあることがわかった。

以上の実験結果から、本実験条件以上の落差を設定したとしても、本研究で得られたエネルギー損失係数の値を超えて極端に大きくなることはないと推察される。

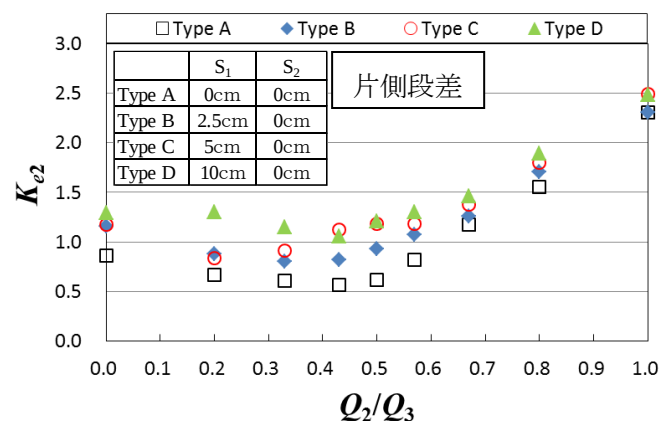


図-12 流入管 2 のエネルギー損失係数 K_{e2} (片側段差)

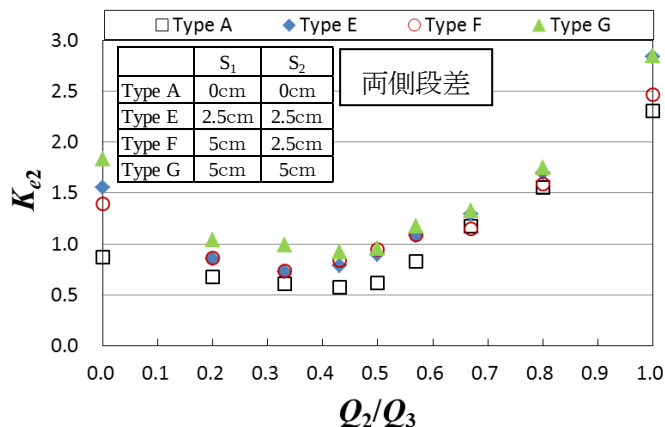


図-13 流入管 2 のエネルギー損失係数 K_{e2} (両側段差)

5. まとめ

本研究では、3 方向接合円形落差マンホールに関して、向かい合う 2 本の流入管の片側及び両側に段差を設けた実験を行った結果、下記の知見が得られた。

- 1) 流量比によっては異なる場合もあるが、流入・流出管の間の段差が大きくなるにつれ、損失係数は

大きくなる。これは、段差が大きくなるのに伴い、マンホール底面のインバートの効果が低減することと、片側段差では、管路から流入した水が直接マンホール内壁に衝突するためである。

- 2) 片側段差 Type D で流量比 Q_2/Q_3 が 1.0 のとき、落差が大きくなっても必ずしも損失係数 K_{e1} が大きくなっていない。これは、片方の流入管 2 にしか水が流れていないため、流入・流出管の落差が大きくなり、しかも流入管 1 の落差が 5cm を超えると、流入管 2 からマンホールへ流入する水が流入管 1 の圧力水頭の上昇に直接的な影響を与えないからである。
- 3) 両側段差の場合、流量比によっては両側に同じ落差のあるタイプの方が両側の落差が異なるタイプのものよりも損失係数がやや大きくなる。これは、両側に同じ落差がある方が、片方の流入管からの流水がもう一方の流入管の圧力水頭に与える影響がより大きくなるためと推察される。
- 4) 本実験結果から片側段差、両側段差いずれにおいても、今回設定した落差以上の段差を設けても、本実験結果を超えて極端に損失が大きくなるようなことはないと推察される。

今後は、2 本の流入管の内径が異なるもの（例えば、 $D_1=5\text{cm}$, $D_2=3\text{cm}$, $D_3=6\text{cm}$ ）で実験を行い、2 本の流入管の内径が等しい本研究成果を含めた結果を基に参考文献 1) で提案した式の汎用性を高めたい。さらに、未だ研究例がない十字路交差点下で 3 本の流入管が接合するマンホールに関する研究も進めたい。

参考文献

- 1) 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.
- 2) Arao, S., Kusuda, T., Moriyama, K., Hiratsuka, S., Asada, J. and Hirose, N.: Energy losses at three-way circular drop manholes under surcharged conditions, *Water Science & Technology*, Vol.66, No.1, pp.45-52, 2012.
- 3) 山崎勝太: 向かい合う 2 本の流入管が接続するマンホールのエネルギー損失特性, 平成 24 年度松江工業高等専門学校環境・建設工学科 卒業研究報告書, pp.1-2, 2012.
- 4) 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.