

3 方向接合円形落差マンホールの損失特性 一定式化に向けて

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 ○平塚 俊祐
 極東興和 非会員 野津 翔平
 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 荒尾 慎司 広瀬 望 浅田 純作
 北九州市立大学国際環境工学部 フェロー会員 楠田 哲也

1. はじめに

道路のT字路交差点下には、雨水排除を目的とし、流入管2本と流出管1本が接合する3方向接合マンホールが設置されている。既往の研究¹⁾では、3方向接合マンホールにおけるエネルギー損失係数や圧力損失係数の算定式がいくつか考案されているものの、マンホールや接続管路にかかわる構造上の変数が全て考慮されているわけではなく算定式の適応範囲に制限がある。

一般的に、道路勾配が急なところでは、設計流速が上限値を超えないように流入・流出管の間に段差を設けることがあり、平坦なところでも、地中のほかの埋設物との位置関係により、やむを得ず段差を設けることがある。しかし、従来の研究で段差を考慮して検討を行っているものは少ない¹⁾。

本研究の目的は、接続管路とマンホールに関する種々の構造要素を考慮したエネルギー損失係数の定式化を最終目標とし、管内流量、流入・流出管の段差を種々変化させた実験を行い、3方向接合円形落差マンホールのエネルギー損失特性を明らかにすることである。

2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

本研究で用いている実験装置(模型)の概要を図-1に示す。各管は管頂を基準に接続する。

2.2 実験方法

- ① 圧力管路流れとなるように2か所の流量調節バルブにより、上流管流量 Q_u と横流入管流量 Q_l を所定の流量に設定する。
- ② 下流管内壁頂部から水面までの距離をマンホール水深 h (図-2 参照) とし、それが所定の水深になるように下流管末端部の越流水槽内の堰高を調節する。
- ③ マンホール水深 h は、マンホール外壁に取り付けた4か所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。
- ④ 上・下流管及び横流入管にそれぞれ3箇所ずつ取り付けられたマンノメーター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。

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

$$K_{e*} = \frac{\Delta E}{\left(\frac{V_d^2}{2g}\right)} \quad (1)$$

$$K_{p*} = K_{e*} + 1 - \left(\frac{V_*}{V_d}\right)^2 \quad (2)$$

ここに、 V_* は流入管の断面平均流速、 V_d は下流管の断面平均流速である。

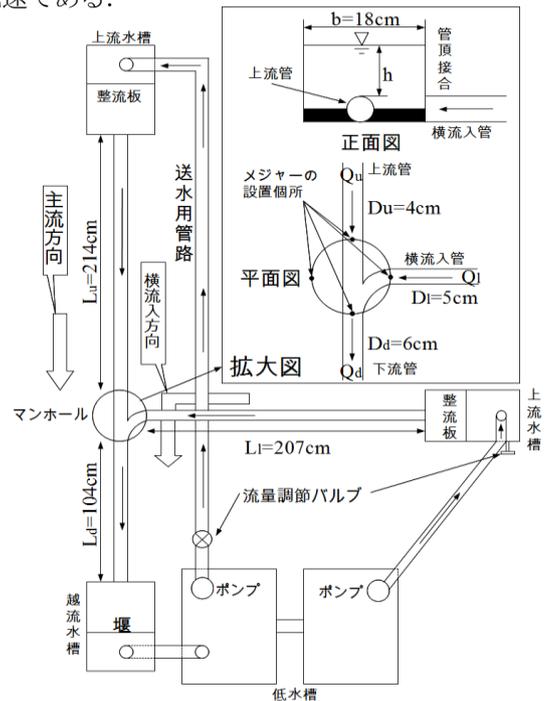


図-1 実験装置の概要

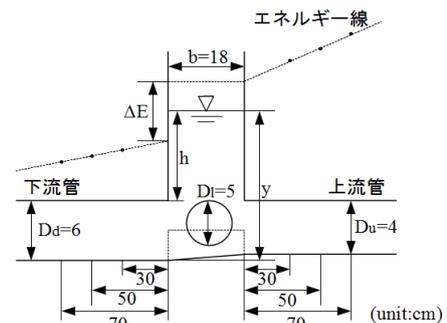


図-2 エネルギー損失水頭 ΔE の定義

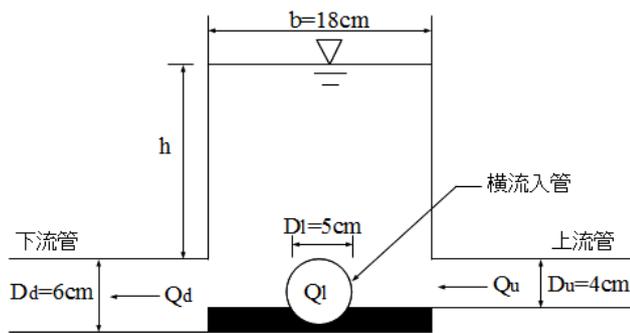


図-3 段差なし(Type A)

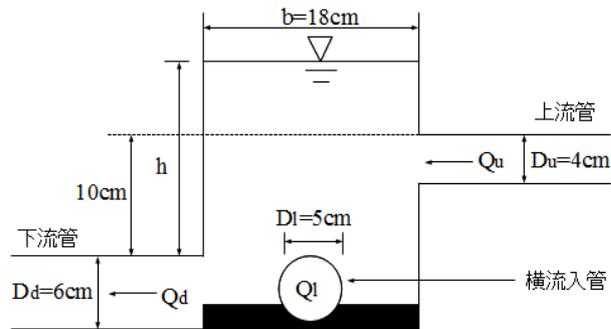


図-4 上流管のみ 10cm の段差(Type B)

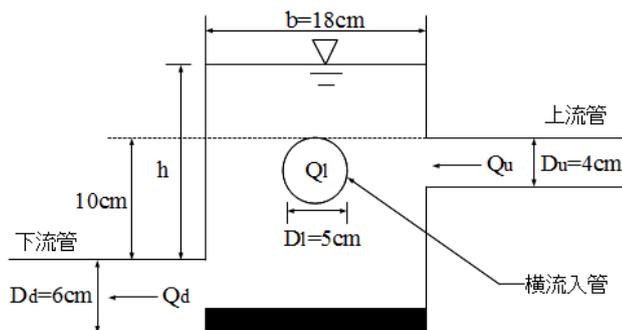


図-5 上流管、横流入管に 10cm の段差 (Type C)

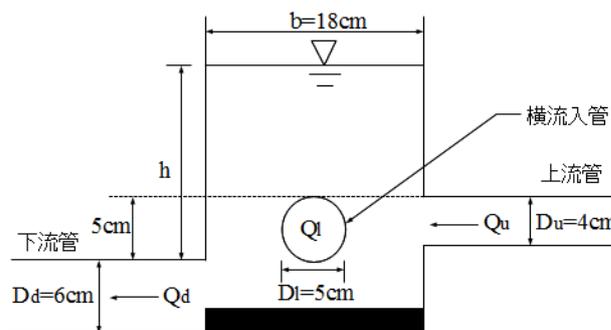


図-6 上流管、横流入管に 5cm の段差 (Type D)

3. マンホールと管路の接合方法

マンホールと管路の側面図を図-3~6に示す。主流方向の上流管の管径は $D_u=4\text{cm}$ 、横流入管の管径は $D_l=5\text{cm}$ 、下流管の管径は $D_d=6\text{cm}$ とする。図-3は、下流管の管頂を基準に、管路とマンホールを管頂接合した場合(Type A)、図-4は、上流管のみ段差を 10cm とした場合(Type B)、図-5は、上流管、横流入管ともに段差を 10cm とした場合(Type C)、図-6は、上流管、横流入管ともに段差を 5cm とした場合(Type D)である。

4. 実験ケース

表-1に示すように、上流管流量 Q_u 、横流入管流量 Q_l 、下流管流量 Q_d を変化させることにより、Type A~Type D に、それぞれ流量比 Q_l/Q_d を 9 ケース設定した。

5. 実験結果及び考察

流量比 Q_l/Q_d と主流方向及び横流入方向のエネルギー損失係数 K_{eu} 、 K_{el} との関係を図-7 と図-8 に示す。

(1) 主流方向のエネルギー損失係数 K_{eu}

図-7に示すように、流量比 Q_l/Q_d が 0.5 よりも小さくなると、Type A とそれ以外の Type B~D では損失係数 K_{eu} が大きく異なっている。これは Type B~D では主流方向に段差を設けているため、上流管からの流れがマンホール内壁へ衝突し、運動エネルギーの損失が大きくなるからである。

Type C と Type D を比較すると、Type D の損失係数が

表-1 流量比 Q_l/Q_d 一覧

上流管流量 Q_u (ℓ/s)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.50	0.25	0
横流入管流量 Q_l (ℓ/s)	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
下流管流量 Q_d (ℓ/s)	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
流量比 Q_l/Q_d	0	0.20	0.33	0.43	0.50	0.57	0.67	0.80	1.00

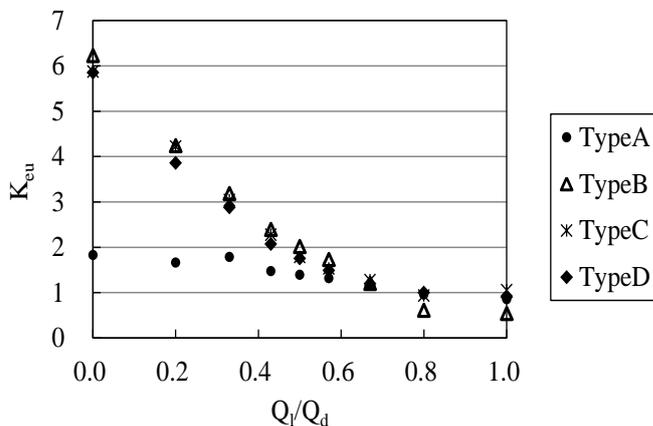


図-7 主流方向の K_{eu} と Q_l/Q_d の関係

若干小さくなる傾向にある。このことから、段差の違いが主流方向の損失係数に与える影響は小さいと言える。また、Type B と Type C では流量比 Q_l/Q_d が 0.8 と 1.0 のときを除くと、損失係数 K_{eu} がほぼ同じ値であることから、横流入方向の段差の有無が主流方向の損失係数に与える影響は小さいことが分かる。

(2)横流入方向のエネルギー損失係数 K_{el}

図-8より、Type B と Type C では損失係数 K_{el} がほぼ同じ値であることが分かる。これは、流量比 Q_l/Q_d が大きくなると、段差の有無にかかわらず、横流入管からの流入水がマンホール内壁に直接衝突すること、また流量比 Q_l/Q_d が小さくなると、主流方向の上流管の流量が多いため、段差の影響に比べて、上流管の流れの影響が大きくなるからである。このことから、横流入方向の段差が損失係数 K_{el} に与える影響は小さいことが分かる。Type B ~ Type D を比較すると、主流方向と同様に横流入方向でも、主流方向の段差の有無が損失係数に与える影響は大きい。また、Type C と Type D を比較すると、横流入方向の段差を 5cm から 10cm にしても損失係数 K_{el} はやや増加する程度である。

6. 定式化の考え方³⁾

(1) Urban Drainage Design Manual²⁾に掲載されている式

本研究では、Urban Drainage Design Manual (以下 UDDM と表記) に掲載されている式²⁾をもとに定式化を進める。UDDM による式はエネルギー損失係数 K_E を算定する上で、既往の研究の中でも適用範囲は広いと考えられる。その式形は下記の通りである。

$$K_E = K_o C_D C_d C_Q C_P C_B \quad (3)$$

$$K_o = 0.1 \left(\frac{b}{D_d} \right) (1 - \sin \theta) + 1.4 \left(\frac{b}{D_d} \right)^{0.15} \sin \theta \quad (4)$$

$$C_D = \left(\frac{D_d}{D_i} \right)^3 \quad (5)$$

$$C_d = 0.5 \left(\frac{y}{D_d} \right)^{0.6} \quad (6)$$

$$\left[0 \leq \frac{y}{D_d} \leq 3.2, \frac{y}{D_d} > 3.2 \text{ then } C_d = 1 \right]$$

$$C_Q = (1 - 2 \sin \theta) \left(1 - \frac{Q_l}{Q_d} \right)^{0.75} + 1 \quad (7)$$

$$C_P = 1 + 0.2 \left(\frac{z}{D_d} \right) \left(\frac{z-y}{D_d} \right) \quad (8)$$

ここで、 b はマンホールの内径、 D_d は流出管の内径、 D_i は流入管の内径、 h はマンホール内の水深、 K_o はマンホール径比(b/D_d)と流出・流入管の接合角度(θ)に関する係数、 C_D は流入・流出管の管径比(D_d/D_i)に関する係数、 C_d はマンホール内の水深比(y/D_d)に関する係数(管水路流れで、水深の影響を考慮しない場合、 $C_d=1$)、 C_Q は流入・流出管の流量比(Q_l/Q_d)に関する係数、 C_P は突入流に関する係数

(全ての管が管水路流れの場合、 $C_P=1$)、 z は最も高いところにある流入管の流れと流出管の中心線との鉛直距離である。 C_B はマンホールの底面形状に関する係数(1/2 のインバートが設置されている場合、 $C_B=0.95$)である。

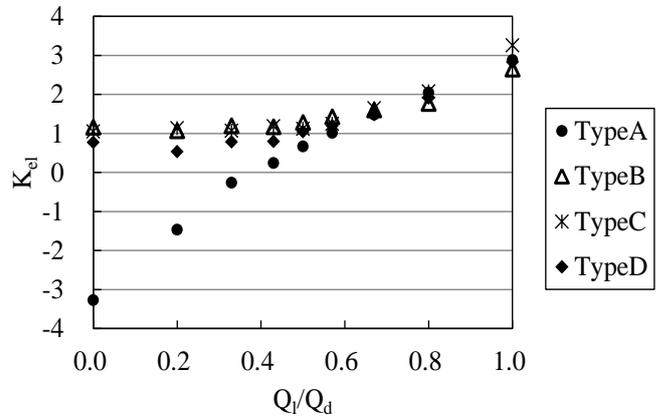


図-8 横流入方向の K_{el} と Q_l/Q_d の関係

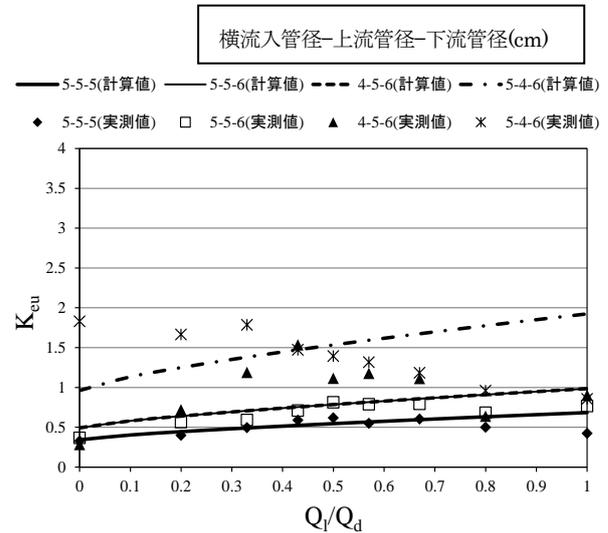


図-9 UDDM による主流方向の計算値と実測値の比較

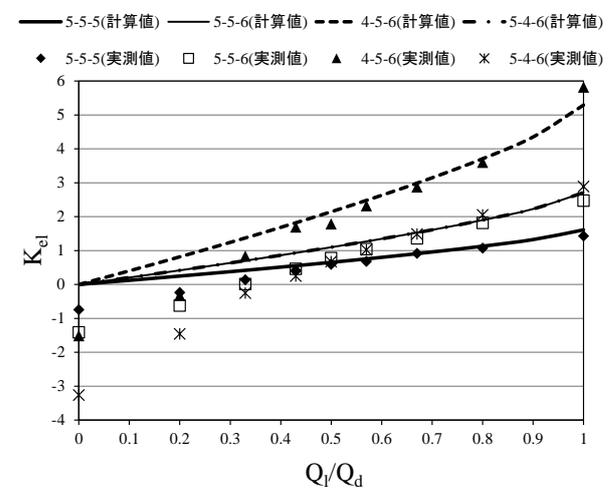


図-10 UDDM による横流入方向の計算値と実測値の比較

UDDMによる計算値と実測値の比較を図-9と図-10に示す。(3)式～(8)式を使って損失係数を計算すると、流量比や管径比によっては、実測値と大きな差を生じることがわかる。

(2)修正式の提案³⁾

ここでは、実測値をより正確に計算できるように修正式として(9)式～(11)式を提案する。なお、(4)式と(5)式に関しては、2方向接合円形落差マンホールの損失特性に関する研究³⁾で得られた修正式(9)式と(10)式を採用する。(11)式の作成手順は以下の通りである。まず、図-9の管径比5-5-5(横流入管径-主流方向の上流管径-下流径)の主流方向と5-4-6のケースを除く主流方向と横流入方向の実測値 K_{eu} 、 K_{el} をもとに、(9)式と(10)式で求めた K_o 、 C_D 及び(3)式から C_Q を算出した。次に、 C_Q の値をもとに主流方向と横流入方向のそれぞれについて最小二乗法による回帰式を求め、 $\sin \theta$ を変数とした式に合成した。

$$K_o = 0.09 \left(\frac{b}{D_d} \right) (1 - \sin \theta) + 1.3 \left(\frac{b}{D_d} \right)^{0.15} \sin \theta \quad (9)$$

$$C_D = \left(\frac{D_d}{D_i} \right)^{3.2} \quad (10)$$

$$C_Q = (-1.634 \sin \theta + 1.252) + (0.816 \sin \theta + 0.579) \frac{Q_i}{Q_d} \quad (11)$$

図-11と図-12に、それぞれ主流方向と横流入方向に関する修正式での計算値と実測値の比較を示す。図-11より、主流方向のエネルギー損失係数は、主流方向の上流管と横流入管の管径が同じ場合(5-5-6, 5-5-5)では実測値をほぼ再現できているが、管内径が全て異径の場合(5-4-6, 4-5-6)では、流量比によっては実測値と大きな差を生じている。この理由のひとつに、主流方向のエネルギー損失係数の算出に下流管と横流入管の管径比(D_d/D_i)に関する係数が含まれていないことが挙げられる。また修正式には、段差に関する項も含まれておらず、段差の影響を無視できない場合に、この式を用いると損失を過少に見積もることになる。

7. まとめ

実験結果より、流量比 Q_i/Q_d が0.5以下の場合に、主流方向の段差が損失係数に与える影響が大きいことが分かった。また、横流入方向の段差が損失係数に与える影響は、小さいことも分かった。

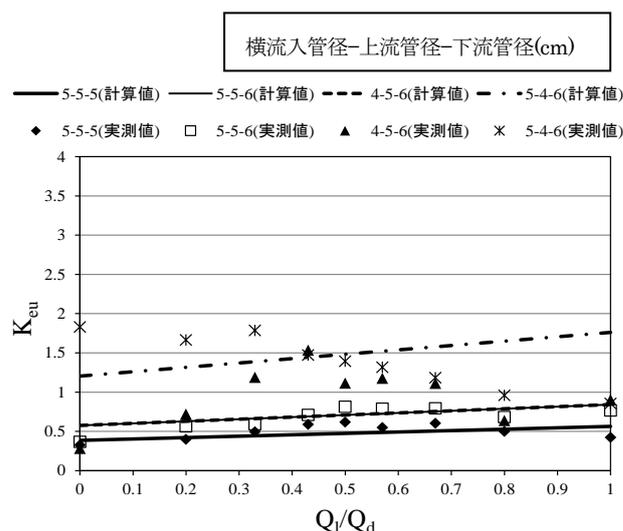


図-11 修正式による主流方向の計算値と実測値の比較

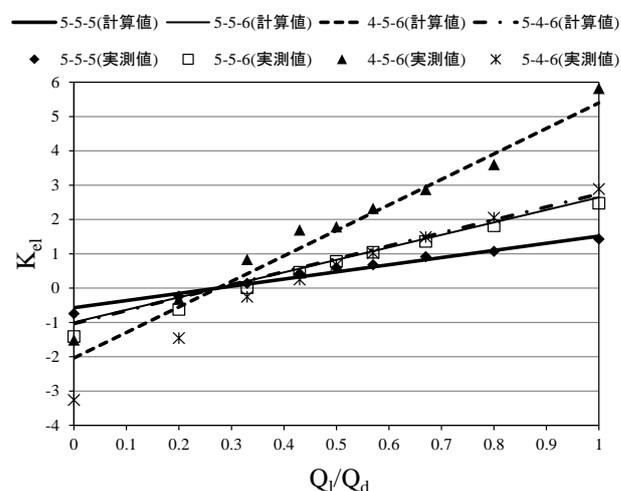


図-12 修正式による横流入方向の計算値と実測値の比較

また、Urban Drainage Design Manualに掲載されている損失係数の計算式をもとに修正式を提示したが、管径比や流量比によっては実測値と合わないことが明らかとなった。今後は、実験結果をもとに段差比 S_i/D_i (S_i は流入・流出管の段差)と流量比 Q_i/Q_d を計算式に組み込むことで、より汎用性の高い計算式を考案していきたい。

参考文献

- 1) 荒尾慎司, 楠田哲也 : 3方向接合マンホール部のエネルギー損失特性-レビューと課題-, 下水道協会誌, Vol.33, No.397, p.67-75, 1996.4.
- 2) Urban Drainage Design Manual HEC22 (<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/hec22.pdf>), 2001.
- 3) 荒尾慎司他 : 管水路流れにおける3方向接合円形マンホールのエネルギー損失特性, 水工学論文集, 第55巻, CD-ROM, 2011.2.