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算定式

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

大雨や局地的集中豪雨の増加によって水害が頻発し，全国各地で外水氾濫や内水氾濫により大きな被害を受けている．現在の下水道の設計では，計画降雨に相当する降水量があっても浸水しないことになっている．しかし，マンホールで生じる形状損失を無視していることから，計画降雨に至らなくても雨水が地表面に溢水することもあり得る．マンホールを介して接続される雨水管の流下能力は，管路での摩擦損失とマンホールでの形状損失を考慮して正確に計算する必要がある. そこで, これまで著者らは, 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 [1), 2), 3)]. 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 [3)]. そこで本研究では, 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．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て実験を行った。また，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(cm)	D_2(cm)	D_3(cm)	D_o(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

３．エネルギー損失係数の算定式

3 本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(1)から式(11)に示す. マンホールに対して直管として流入する流入管 1 に関するエネルギー損失係数を K_{e1}, 直管に対して 90 度の角度で流入する 2 本の横流入管 2 と 3 に関するエネルギー損失係数を K_{e2}, K_{e3} と定義する.

1) K_{e1} の定式化

$$K_{e1}=K_0C_{Q1}C_B+C_{D1} \tag{1}$$

$$K_0=0.702\left(\frac{b}{D_o}\right)^{0.630} \tag{2}$$

$$C_{Qi}=\frac{K_{ei}}{1.49} \tag{3}$$

$$C_{Q1}=-0.278\left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)^2+0.350\left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)+0.208 \tag{4}$$

$$C_{D1}=0.380\left\{\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4-1\right\}^{1.14}\left(\frac{Q_1}{Q_o}\right)^{1.66}+0.190\left\{\left(\frac{D_o}{D_2}\right)^4-1\right\}^{0.650}\left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)^{3.00}+0.150\left\{\left(\frac{D_o}{D_3}\right)^4-1\right\}^{0.500}\left(\frac{Q_3}{Q_o}\right)^{0.91} \tag{5}$$

2) K_{e2} の定式化

$$K_{e2}=K_0C_{Q2}C_B+C_{D2} \tag{6}$$

$$C_{Q2}=-1.07\left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)^2+2.48\left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)-0.470 \tag{7}$$

$$C_{D2}=1.00\left\{\left(\frac{D_o}{D_2}\right)^4-1\right\}^{1.03}\left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)^{2.91}-1.04\left\{\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4-1\right\}^{0.620}\left(\frac{Q_1}{Q_o}\right)^{3.39}+0.900\left\{\left(\frac{D_o}{D_3}\right)^4-1\right\}^{0.950}\left(\frac{Q_3}{Q_o}\right)^{2.59} \tag{8}$$

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:0852-36-522

© Japan Society of Civil Engineers

3) K_{e3} の定式化

$$K_{e3} = K_0 C_{Q3} C_B + C_{D3} \quad (9)$$

$$C_{Q3} = -1.07\left(\frac{Q_3}{Q_o}\right)^2 + 2.48\left(\frac{Q_3}{Q_o}\right) - 0.470 \quad (10)$$

$$C_{D3} = 0.950\left\{\left(\frac{D_o}{D_3}\right)^4 - 1\right\}^{1.03}\left(\frac{Q_3}{Q_o}\right)^{2.19} - 0.740\left\{\left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4 - 1\right\}^{0.770}\left(\frac{Q_1}{Q_o}\right)^{3.08} + 2.70\left\{\left(\frac{D_o}{D_2}\right)^4 - 1\right\}^{0.550}\left(\frac{Q_2}{Q_o}\right)^{2.92} \quad (11)$$

ここで，C_B はマンホール底面形状に関する係数である．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．これらの計算式の関数形は，対向する 2 本の横流入管の流量が同一の条件で開発された計算式 [3]を基に考案し．式(5)，式(8)及び式(11)に関する係数や乗数については，最初に 3 本の流入管が同一径である TypeA から TypeD の実験結果を基に考えた．このとき，エネルギー損失係数 K_{ei} の計算値と実測値と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．

4. 計算式の検証

ここでは式(1)から式(11)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 1 は K_{e1} における計算値と実測値の比較を，図 2 は K_{e2} における計算値と実測値の比較を，図 3 は K_{e3} における計算値と実測値の比較を示す．これらの図は，TypeE～TypeG のいずれにおいても Q_1/Q_o=0.375 の場合で検証したものである．

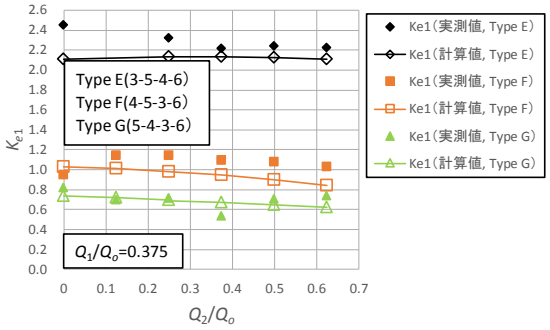

図 1　K_{e1} の実測値と計算値の比較（Q_1/Q_o=0.375）

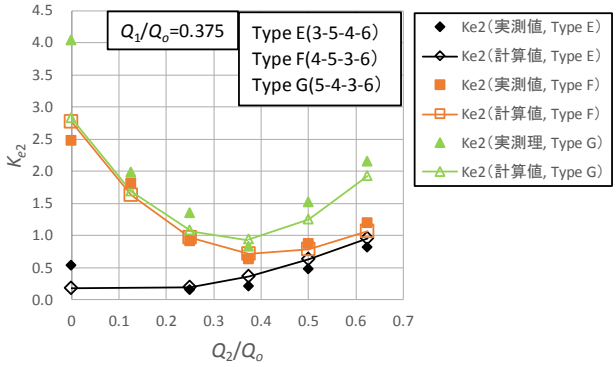

図 2　K_{e2} の実測値と計算値の比較(Q_1/Q_o=0.375)

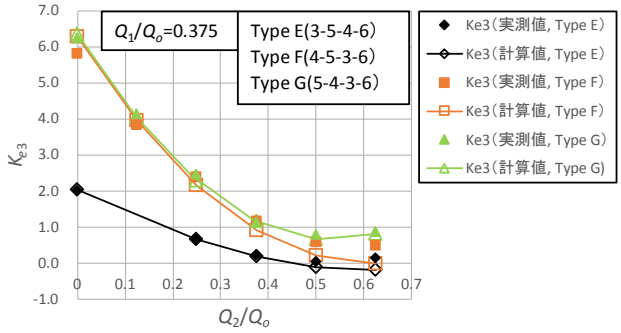

図 3　K_{e3} の実測値と計算値の比較(Q_1/Q_o=0.375)

これらの図から，3 本の流入管の内径が異なりしかも平面的な配置が変わるいずれの Type においても計算値が実測値を概ね再現できていることがわかる．

5. まとめ

マンホールの内径，3 本の流入管と流出管の内径，3 本の流入管の流量を無次元変数として取り込んだエネルギー損失係数 K_{e1}，K_{e2}，K_{e3} の計算式を考案した．この計算式を用いて，3 本の流入管の流量比を種々変化させた結果，ほとんどの条件下で計算値が実測値をほぼ再現できた．今後は，流入管と流出管の間に落差を有する場合でも損失係数を計算できる算定式を開発する予定である．

参考文献

1) 荒尾慎司，楠田哲也：管水路圧力流れにおける 2 方向接合円形落差マンホール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.
2) 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.
3) 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.

© Japan Society of Civil Engineers