

管水路流れにおける3方向接合円形マンホールの形状損失の定式化

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員○荒尾 慎司
 京都大学大学院工学研究科 学生会員 平塚 俊祐
 九州大学名誉教授 フェロー 楠田 哲也

1. はじめに

内水氾濫解析では、雨水管の接合部であるマンホールでの損失が適切に考慮されていないことがあるため、氾濫解析結果の信頼性に課題が残されている。マンホールと管路の接続形態は非常に多様であり、これらがマンホールでの損失に与える影響は未だ完全には明らかにされていない。そこで、本研究では、2本の流入管と1本の流出管が接続する3方向接合円形マンホールを対象として、管水路流れのもとで接続管路の管内径、管内流量、2本の流入管の接合角度を種々変化した実験を行い、マンホールでのエネルギー損失特性を明らかにする。さらに実験結果を基に、管路とマンホールに関する種々の構造要素と水理学的要因を考慮したエネルギー損失係数の算定式を新たに開発する。

2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

本研究で用いている実験装置(実規模の1/5)の概要を図-1に示す。各管はマンホールを介して管頂を一致させて接続している(管頂接合)。

2.2 マンホールのエネルギー損失水頭

各管路にマンホール内壁から30cm, 50cm, 70cmの距離に設置した3ヶ所のマノメーターにより、圧力水頭を測定し、それに速度水頭を加えたエネルギー線がマンホールの流入口と流出口で交差するところのエネルギー差をマンホール部のエネルギー損失水頭 ΔE^* とする。この ΔE^* から式(1)によりエネルギー損失係数 K_{e^*} を算定する。

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

ここに、 K_{e^*} の添字*は、1のとき流入管1から流出管への流れ方向を、2のとき流入管2から流出管への流れ方向を表す。 V_3 は流出管の断面平均流速、 g は重力加速度である。

表-1に示すように、流入管1と流入管2の流量を変化させることにより流量比 Q_2/Q_3 を9種設定した。

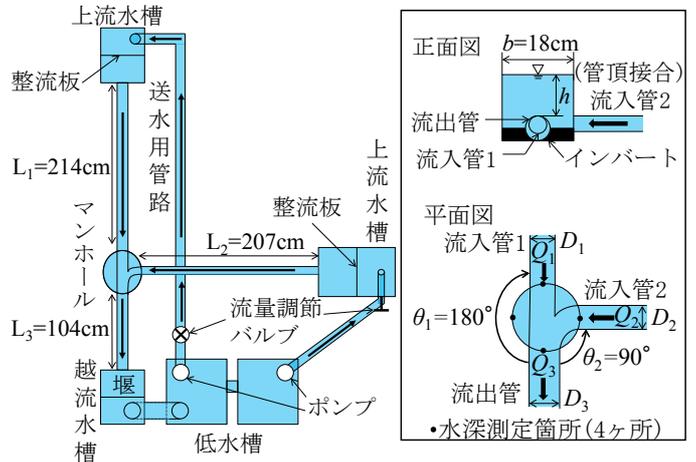


図-1 実験装置の概略図(Type A-Type G)

表-1 流量比の組み合わせ

実験ケース	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
流入管1 Q_1 [l/sec]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.75	0.50	0.25	0
流入管2 Q_2 [l/sec]	0	0.25	0.50	0.75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
流出管 Q_3 [l/sec]	1.0	1.25	1.50	1.75	2.0	1.75	1.50	1.25	1.0
流量比 Q_2/Q_3	0	0.20	0.33	0.43	0.50	0.57	0.67	0.80	1.0

3. 実験ケース

表-2に既往の研究も含めた管内径(D_1, D_2, D_3), 流入・流出管の接合角度(θ_1, θ_2)の組み合わせを示す。

表-2 管内径, 流入・流出管の接合角度の組み合わせ

	流入管1の接合角度 θ_1	流入管2の接合角度 θ_2	流入管1の管内径 D_1	流入管2の管内径 D_2	流出管の管内径 D_3
Type A	180°	90°	5cm	5cm	5cm
Type B			5cm	5cm	6cm
Type C			5cm	4cm	6cm
Type D			4cm	5cm	6cm
Type E			5cm	3cm	6cm
Type F			3cm	5cm	6cm
Type G			3cm	3cm	6cm
Type H	90°	90°	5cm	5cm	6cm
Type I			5cm	3cm	6cm
Type J			3cm	5cm	6cm
Type K			3cm	3cm	6cm

キーワード 内水氾濫, 雨水管, マンホール, エネルギー損失

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 環境・建設工学科 TEL 0852-36-5225

4. 定式化

ここでは、実測値を正確に計算できるようにエネルギー損失係数の算定式として、既往の研究成果¹⁾と本実験結果を基に以下の式(2)~式(13)を新たに提案する。これらの式は関数形が実験結果を表現しうるように相当な数のトライアルにより決定したものである。また式(3)~(13)に関しては、既往研究の式¹⁾では管路のサイズによっては、計算値にやや問題が残っていることが判明したため、より正確な計算値が求められるように修正を加えた。

$$K_{ei} = K_0 C_d C_Q C_P C_B + C_{Di} + C_{Dj} \quad (2)$$

$$[(i, j) = (1, 2) \text{ or } (2, 1), \quad C_d = 1 (\text{管水路流れ})]$$

$$K_0 = 0.702 \left(\frac{b}{D_3}\right)^{0.63} \quad (3)$$

$$C_Q = \alpha_1 \left(\frac{Q_i}{Q_3} - 0.5\right) + 0.4 \quad [0.5 \leq Q_i/Q_3 \leq 1] \quad (4)$$

$$C_Q = \alpha_2 \left(0.5 - \frac{Q_i}{Q_3}\right) + 0.4 \quad [0 \leq Q_i/Q_3 < 0.5] \quad (5)$$

$$C_{Di} = \alpha_3 \left\{ \left(\frac{D_3}{D_i}\right)^4 - 1 \right\}^{1.45} \left(\frac{Q_i}{Q_3}\right)^{1.75} + \alpha_4 \left\{ \left(\frac{D_3}{D_i}\right)^4 - 1 \right\}^{0.89} \left(\frac{Q_i}{Q_3}\right)^{2.5} \quad (6)$$

$$C_{Dj} = \alpha_5 \left\{ \left(\frac{D_3}{D_j}\right)^4 - 1 \right\}^{0.3} \left(1 - \frac{Q_i}{Q_3}\right)^{0.28} + \alpha_6 \left\{ \left(\frac{D_3}{D_j}\right)^4 - 1 \right\}^{0.95} \left(1 - \frac{Q_i}{Q_3}\right)^{3.5} \quad (7)$$

$$\alpha_1 = 1.1032 - 1.494(1 - \sin \theta_i) \quad (8)$$

$$\alpha_2 = -0.2232 - 1.6(1 - \sin \theta_j) \quad (9)$$

$$\alpha_3 = 0.17 \cos^2 \theta_i \quad (10)$$

$$\alpha_4 = 1.408 \sin^2 \theta_i \quad (11)$$

$$\alpha_5 = 0.35(1 - \sin \theta_i) \sin \theta_j \quad (12)$$

$$\alpha_6 = -0.6 + 0.6(1 + 1.5 \sin \theta_i) \sin \theta_j \quad (13)$$

ここに、下付き添字*i*はエネルギー損失係数の計算対象となる流入管の番号、*j*は計算対象ではない流入管の番号を表す。例えば*K_{e1}*の算出時(*i*=1, *j*=2)には*D_i*=*D₁*, *D_j*=*D₂*, $\theta_i = \theta_1$, $\theta_j = \theta_2$ となり、*K_{e2}*の算出時(*i*=2, *j*=1)には*D_i*=*D₂*, *D_j*=*D₁*, $\theta_i = \theta_2$, $\theta_j = \theta_1$ となる。*C_{Di}*は流出管と計算対象となる流入管の管径比(*D₃*/*D_i*)に関する係数、*C_{Dj}*は流出管と計算対象ではない流入管の管径比(*D₃*/*D_j*)に関する係数、 $\alpha_1 \sim \alpha_6$ は流入・流出管の接合角度に関する補正係数である。本研究では管水路流れを対象としているため、*C_P*=1 (突入流の影響なし)、マ

ンホール底面形状に関する係数は*C_B*=0.95 とした。

5. 計算値と実測値の比較

図-2~図-5 に流入管 1 と流出管の接続角度を 180 度から 90 度に変化させたときの計算値 (実線, 破線) と実測値 (点) の比較を示す。図中の凡例に示すいずれの条件でも、計算値は実測値をほぼ再現できている。

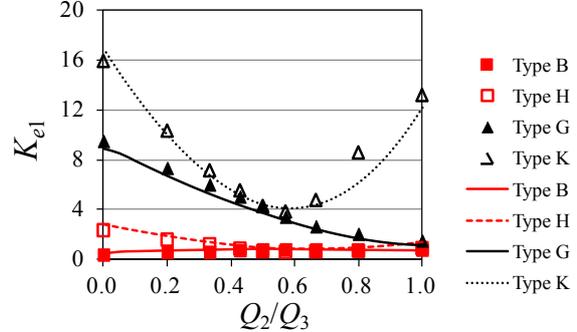


図-2 流入管 1 の計算値と実測値の比較

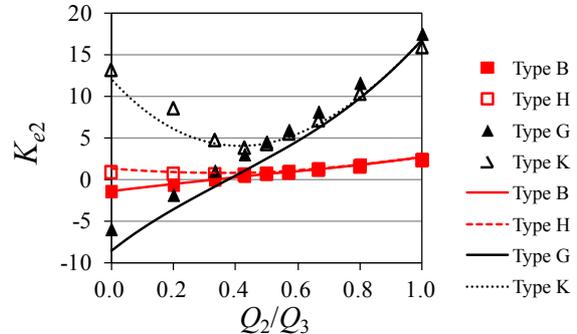


図-3 流入管 2 の計算値と実測値の比較

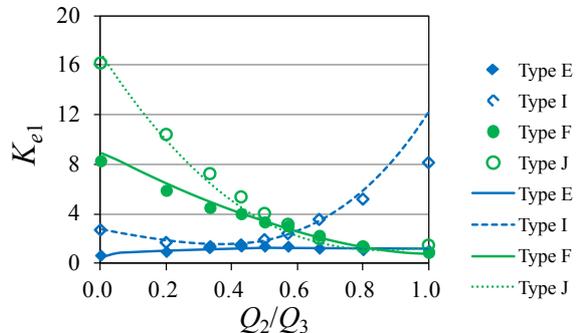


図-4 流入管 1 の計算値と実測値の比較

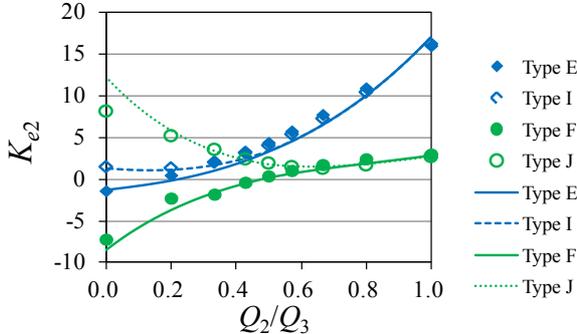


図-5 流入管 2 の計算値と実測値の比較

[参考文献] 1) 平塚俊祐ら: 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の定式化, 第 57 回水工学論文集, pp.1-661-666, 2013.