

北海道大学工学部	正員	高桑哲男
同、	正員	船水尚行
同		蛭名一樹

1. はじめに

雨天時にマンホールから下水が流出するかどうかを判定し、また流出するとしたらその量はどれくらいかを推定するための基礎として、本報告では管網解析法と適用した方法を述べる。普通の管網解析法¹⁾と異なる点は、摩擦以外に分流の損失を考慮していることとマンホールからの流出量を未知として取り扱っていることである。

2. 実験

次節で示す計算式と計算法の妥当性を確認するために必要となる①管路摩擦と分流による損失と②マンホールからの流出量を実験によって求めた。実験管路は長さ 1.9 m、内径 2.8 cm の透明塩化ビニル管であり、上・下流側タンクに可撓管で接続されている。マンホールとしては高さ 5 cm、内径 1.8 cm の透明アクリル製立ち上がり管を上記管路に 50 cm 間隔で 3 個取りつけた。流出量は立ち上がり管頂部の受け枘からパイプでメスシリングに導き、一定時間にたまる量で測定した。マノメータを本管から立ち上がり管への分流部直上流点および本管上流端から 30 cm 下流点、下流端から 20 cm 上流点に取りつけ、測定した水頭を速度水頭を加えて各点のエネルギー位を算出した。

摩擦損失は図-1 に示すようにブラジウス式によって表わされたので、指数型流量式 $Q = C D^b I^a$ の形で

$$Q = 8.300 \lambda^{-1/7} D^{19/7} I^{4/7} \quad (1)$$

となる。ここに、 λ は動粘性係数、 D は直径、 I はエネルギー勾配である。一方、分流損失係数 f_p は上流側本管流量 $\bar{Q}$ と分流量 P の関数として次式の形で表現された。

$$\left. \begin{aligned} f_p &= A \cdot (P/\bar{Q})^2 + B \cdot (P/\bar{Q}) + C \\ (A &= 19.8, B = -2.56, C = 1.32) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3. 計算式と計算法

本管路流量を Q 、マンホール流出量を P とすると、マンホール点 i について流量の連続条件は

$$\sum_j Q_{ij} + P_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (3)$$

と書かれる。ここに、 j は節点 i の隣接節点、 M は対象区域内マンホール数である。一般的には上式を節点エネルギー位 E で表わし、対象区域の上・下流点エネルギー位を既知として解けばよい。以下には今回の実験値と照合する目的で具体化しておく。

本管部では摩擦損失のみ、マンホール部では分流損失と流出水頭を考慮すれば

$$Q_{ij} = C D^b (E_i - E_j) |E_i - E_j|^{a-1} L_{ij}^{-a} \quad (4)$$

$$E_i - G_i = \frac{8}{\pi^2 g} \left(f_p \frac{Q_{ij}^2}{D_{ai}^5} + \frac{P_i^2}{d_i^5} \right) \quad (5)$$

の関係がある。ここに、 L は管長、 G はマンホール流出口の高さ、 μ は節点 i の上流側節点番号、 d はマンホール直径である。

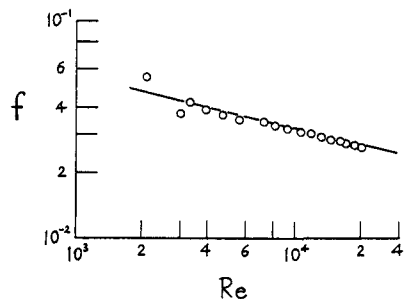


図-1 摩擦損失係数

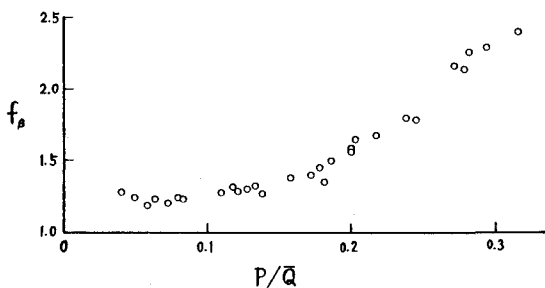


図-2 分流の損失係数

式(2)を式(5)に代入した関数 $F(P_i)$ は P_i の2次関数となり、解が確定しない。
そこで、図-3に示すように1価関数に直して解くと

$$P_i = (-BQ_{ui} \pm \sqrt{\pm R_{ui}}) / 2A' \quad (6)$$

となる。ただし、 $R_{ui} = (B^2 - 4A'_{ui}C)Q_{ui}^2 + 4A'_{ui}\alpha_{ui}(E_i - G_i)$ 、 $A'_{ui} = A + (D_{ui}/d_i)^4$ 、 $\alpha_{ui} = \pi^2 g D_{ui}^4 / 8$ であり、複号は R_{ui} の正負に対応する。式(4)および式(4)を代入した式(6)によって式(3)を表わし、これをニュートン法によって1次化すると次式となる。

$$\Delta E_i \sum_j S_{ij} - \frac{(BP_i \pm 2Cg_{ui})S_{ui} - (\pm \alpha_{ui}/a) + g_{ui}}{2A'_{ui}P_i + Bg_{ui}} \Delta E_i - \sum_j S_{ij} \Delta E_j + \frac{(BP_i \pm 2Cg_{ui})S_{ui} + g_{ui}}{2A'_{ui}P_i + Bg_{ui}} \Delta E_u = -\frac{1}{a} \left(\sum_j g_{ij} + P_i \right) \quad (7)$$

ただし、 $r_{ui} \geq 0$ のとき $g_{ui} = 0$

$$r_{ui} < 0 \text{ のとき } g_{ui} = B^2 g_{ui} S_{ui} / A'_{ui}$$

ここに、 $S_{ij} = c D_{ij}^4 |e_i - e_j|^{a-1} L_{ij}$ である。 g, p, r はそれぞれ Q, P, R 中の節点エネルギー位 E に仮定値もしくは近似値 e を代入したときの値である。

式(7)を用いた計算法について補足すると、①エネルギー位の仮定値は上流側が高くなるように与える。ただし、すべての仮定値を等しくおいても収束することは確認されている。②流出量が負になるときは $p = 0$ とおき、ニュートン法における勾配を $p = 0$ のときの値を用いる。③ $p = 0$ で式(3)が満足されるときは、マンホールから流出がない状態を表わしている。④流出量の修正値が負、または管路流量の修正値と近似値の積 $Q \cdot g$ が負となるときは、得られた補正值 ΔE の1/2で補正する。

計算結果と実験値の比較例は図-4、5と表-1に示すとおりであり、両者はよく一致することが認められる。

4. あとがき

以上に述べた計算法自体は、処理タンク等への流量分配に用いられるmanifold-lateral系の設計²⁾に直接的に利用しうるのであろう。実際のマンホールでは分流損失よりもむしろ断面拡大の損失を重視すべきと考えられるが、そのときは式(7)よりも簡単な形で表現が可能である。

[参考文献]

- 1)高桑：配水管理のための管網解析プログラム、水協誌、第488号(1975.5)
- 2)Hudson, et al.: Dividing-Flow Manifolds with Square-Edged Laterals, Pro. ASCE, EE4(1979.8)

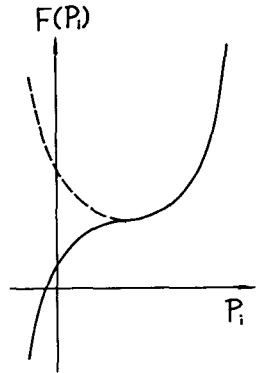


図-3 1価関数への変換

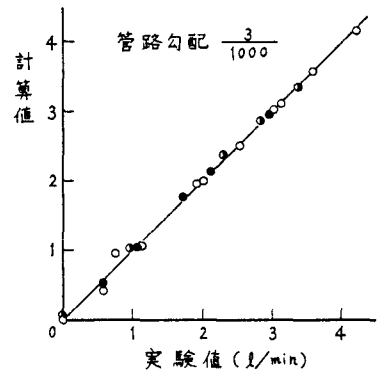


図-4 比較例

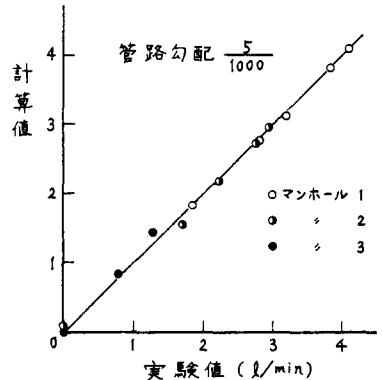


図-5 比較例

表-1 比較例 (管路勾配 1/100)

	エネルギー位(cm)		管路流量 (l/min)				流出量 (l/min)		
	E_0	E_4	Q_{01}	Q_{12}	Q_{23}	Q_{34}	P_1	P_2	P_3
実験値	10.10	7.05	23.10	21.00	20.00	20.00	2.10	1.00	0.00
計算値	—	—	23.08	20.98	20.00	20.00	2.10	0.98	0.00
実験値	14.37	8.61	35.29	31.22	28.32	26.40	4.07	2.90	1.92
計算値	—	—	35.23	31.18	28.28	26.30	4.05	2.90	1.98
実験値	9.54	7.18	20.92	19.10	17.53	15.30	1.82	1.57	2.23
計算値	—	—	20.89	19.06	17.43	15.11	1.83	1.63	2.32