

マンホールの調圧効果を利用した実用的な流出シミュレーション法

愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広
 (株) 青木建設 正 員 ○越智 兼夫
 愛媛県 石本 勲

1. はじめに

都市域の下水道管渠網におけるサーチャージ流れ（圧力流れ）を厳密に解析できる流出モデル（ラテラル・モデル）¹⁾を提示し、その適用性について検討を進めている。取付管が多数接続する実状の下水管渠におけるサーチャージ流れの伝播速度は、通常、10～100 m/secであることを確かめているが、CFL条件より定まる計算時間間隔 Δt は、実用上の立場からは一般にかなり小さいものとなる。本報告では、下水道管渠網に多数存在しているマンホールの調圧効果に着目し、これを利用して、流出シミュレーションの実用性を向上させる手法について検討した。

2. ラテラル・モデル¹⁾

取付管が接続する下水管渠のサーチャージ流れの基礎式（無次元）は、次式のように表わされる。

$$\frac{\partial V_*}{\partial t_*} + V_* \frac{\partial V_*}{\partial x_*} + \frac{\partial h_*}{\partial x_*} - \alpha_1 \left(1 - \frac{|V_*| V_*}{\alpha_2^2} \right) = 0 \cdots (1), \quad \frac{\partial h_*}{\partial t_*} + c'^2 \frac{\partial V_*}{\partial x_*} = 0 \cdots (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = LS_0/D, \quad \alpha_2 = V_{full}/\sqrt{gD}, \quad V_* = V/\sqrt{gD}, \quad h_* = h/D, \\ R_* = R/(D/4) = 1, \quad x_* = x/L, \quad t_* = t/(L/\sqrt{gD}), \quad c'_* = c'/\sqrt{gD}, \end{array} \right. \quad c' = \sqrt{g \frac{L}{N} \frac{A_p}{A_1} \sin \theta} \cdots (3)$$

ここに、 V ：断面平均流速、 h ：管渠底から測った圧力水頭、 R ：径深、 c' ：微小擾乱の伝播速度、 L 、 D 、 S_0 、 A_p ：下水管渠の長さ、直径、勾配、断面積、 A_1 、 N 、 θ ：取付管の断面積、 L 当たりの接続本数、傾斜角度、 α_1 ：管渠勾配の無次元量、 α_2 ：水深直径比 h/D がおよそ 0.85 のときの開水路流れの伝播速度 $\sqrt{gD}$ に対する満管等流流速 V_{full} の比を表わす無次元量、 g ：重力加速度、 x ：距離、 t ：時間。

また、マンホールにおける連続の式（無次元）は、次のように表わされる。

$$F_* \frac{dh_*}{dt_*} = \Sigma(Q_{in})_* - \Sigma(Q_{out})_* \cdots (4); \quad \left\{ \begin{array}{l} F_* = F_M \quad (h_* < h_{G*} \text{ のとき}), \quad F_* = F_{G*} \quad (h_* > h_{G*} \text{ のとき}), \\ F_{M*} = F_M/(DL), \quad F_{G*} = F_G/(DL), \quad h_{G*} = h_G/D, \quad Q_* = Q/(\sqrt{g} \cdot D^{5/2}) \end{array} \right.$$

ここに、 F_M ：マンホール面積、 F_G ：マンホールを含む地表面はらん域面積、 h_G ：マンホール深、 Q ：流量、 $\Sigma(Q_{in})$ 、 $\Sigma(Q_{out})$ ：流入および流出流量の合計。

3. 下水管渠網におけるサーチャージ流れの伝播特性

(1) サーチャージ流れの伝播特性

マンホールを、多数（数10～数100本）の取付管の集合体と考える。このとき、取付管の集合体としての上流端マンホールをも含めた下水管渠（長さ L ）におけるサーチャージ流れの伝播速度 $c''_* = c''/\sqrt{gD}$ は、次式のように表わされる。

$$c'' = \sqrt{g \frac{L \cdot A_p}{F_M + N(A_1/\sin \theta)}} = \frac{c'_* c'_M}{\sqrt{c'^2 + c'^2_{M*}}} \cdots (5); \quad \left\{ \begin{array}{l} c'_{M*} = c'_M/\sqrt{gD}, \\ c'_M = \sqrt{gLA_p/F_M} \end{array} \right. \cdots (6)$$

上式中の c'_M は、1下水管渠長 L にわたってマンホール面積に等しい総面積 F_M の取付管が均等に配置されているとときのサーチャージ流れの伝播速度である。ここで、下水管渠網におけるサーチャージ流れの伝播特性に寄与するマンホールおよび取付管の調圧効果の寄与率 Pc'_M および Pc' は、それぞれ次のように表わされる。

$$Pc' = \frac{(c''_*/c'_*)^2}{(c''_*/c'_*)^2 + (c''_*/c'_{M*})^2} \cdots (7), \quad Pc'_M = \frac{(c''_*/c'_{M*})^2}{(c''_*/c'_*)^2 + (c''_*/c'_{M*})^2} \cdots (8)$$

松山市公共下水道網のマンホール、下水管渠、取付管を調査した結果をもとに、 Pc' および Pc'_M を

算定した結果を、図 1 に示す。これより、下水管渠網におけるサーチャージ流れの伝播特性は、ほとんどマンホールの調圧効果によって規定されていること、すなわち取付管のそのの寄与率は数～10数%程度までに過ぎないことがわかる。

(2) マンホールと取付管との相互関係

取付管の集合体であるマンホールからその面積の一部を取り出し、これが下水管渠の取付管として付け替えられるとすると、下水道管渠網におけるサーチャージ流れの伝播速度 c^* を変化させることなく、下水管渠の c^* 値を小さくすること、したがって計算時間間隔 Δt を大きく採ることができ、流出シミュレーションの実用性を向上させることができる。今、マンホールの面積 F_M の一部 ΔF_M を下水管渠の取付管として付け替えるときの c^* を $(c^*)'$ と表わすとき、 $(c^*)'$ は次式および図 2 のように与えられる。

$$(c^*)' = c^* \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + (c^*/c_{M*})^2 \cdot (\Delta F_M/F_M)}} \quad \cdots (9)$$

これより、たとえば $\Delta F_M/F_M = 0.5$ とするとき、 $(c^*)' = (0.25 \sim 0.50) \times c^*$ となり、こうしたマンホールの取付管への付け替えによって計算時間間隔 Δt を 2～4 倍程度大きく採れることになる。

4. 数値実験

上述した手法の適用性について、数値的に検討した。これらの中、適合度が最も低下し易いケースの例（小規模の管渠システムで、 $\Delta F_M/F_M = 1.0$ のとき）を図 3 に示す。ここに、下水管渠システムは、松山市公共下水道網においてみられる標準的な無次元パラメータ（ $\alpha_1 = 0.9$ 、 $\alpha_2 = 0.5$ 、 $c^* = 8$ 、 $c_{M*} = 4$ 、 $F_{M*} = 0.08$ 、 $F_{G*} = 40$ 、 $L/\sqrt{gD} = 20$ 、 $h_{G*} = 6$ 、下水管渠およびマンホール数：各 10 組）をもつブリズマチックなものを、また出水は、上流端より sine 型（無次元ベース流量、ピーク流量、周期：0.41、0.49、45）の洪水流入があり、下流端で sine 型（無次元ベース水位、ピーク水位、周期：1.1、5.9、15）の水位調整運転が行なわれ、地表面はらんの発生するものを想定している。

これらより、実用上最も重要とな

る地表面はらん解析結果の誤差も数%以内に納まり、本手法の有用性が確かめられた。

1) 渡辺・竹内・川裾：取付管の調圧効果を考慮した下水道管渠網の雨水流出モデル、第33回水講演文集、pp. 157～162、1989。

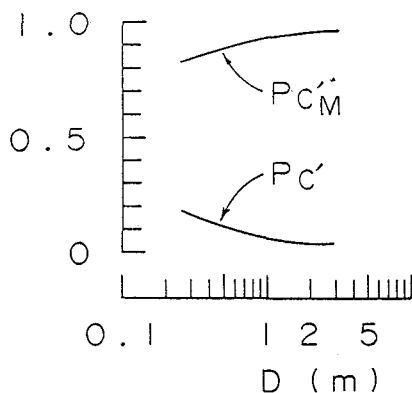


図1 寄与率

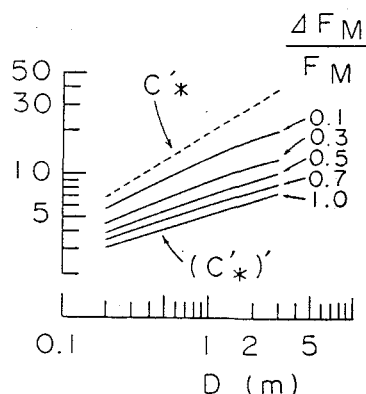


図2 マンホール面積の付け替え

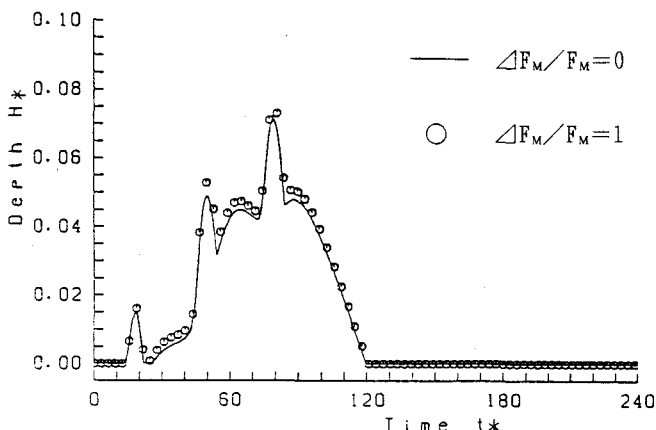


図3 地表面はらん水深（システム全体）