

II-40

下水道管渠網におけるサーチャージ流出のシミュレーション法について

愛媛大学大学院 学生員 山内 武志
 愛媛大学大学院 学生員 川裾 利雄
 愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広

1. はじめに

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圧力波伝播速度 c' は、取付管の調圧効果により、通常、 $c'=10\sim100$ m/sec となることを確かめている¹⁾。しかし、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ジャンクション・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結果を述べる。

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。

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = LS_o/D, \alpha_2 = V_{f_{u11}}/\sqrt{gD}, V_* = V/\sqrt{gD}, h_* = h/D, \\ R_* = R/(D/4) = 1, x_* = x/L, t_* = t/(L/\sqrt{gD}), c'_* = c'/\sqrt{gD}, \end{array} \right. \quad c' = \sqrt{g \frac{L}{N} \frac{(\sin \theta) \frac{A_p}{A_1}}{A_1}} \cdots (3)$$

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_o 、 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 $V_{f_{u11}}$ 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式(無次元)は、次式のように表わされる。

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

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、 $\Sigma(Q_{i,n})$ 、 $\Sigma(Q_{o,n})$: 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; 下水道管渠網に多数存在するジャンクション・マンホールを、幾つもの(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1下水管渠長 L にわたるサーチャージ流れの伝播速度を $c''_* = c''/\sqrt{gD}$ とすると、 c'' は次式のように表わされる。

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

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、マンホールを取付管とみなすとき、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割合(寄与率)をそれぞれ Pc'_M および Pc' とすると、これらはそれぞれ次式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) マンホール面積の付け替え；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特性 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、 c^* を $(c^*)'$ と表わすと、 $(c^*)'$ は次式および図2のように与えられる。

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

これより、たとえば $\Delta F_M/F_M=0.5$ とするとき、 $(c^*)' \approx (0.25 \sim 0.50) \times c^*$ 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倍程度も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・マンホール数：各10組）をもつプリズマチックなものを、また出水は、上流端よりsine型（無次元のベース流量、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（無次元のベース水位、ピーク水位、周期：1.1、5.9、15）の水位調整運転が行なわれ、地表面はらんが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回水理講演会論文集、pp. 157～162、1989。

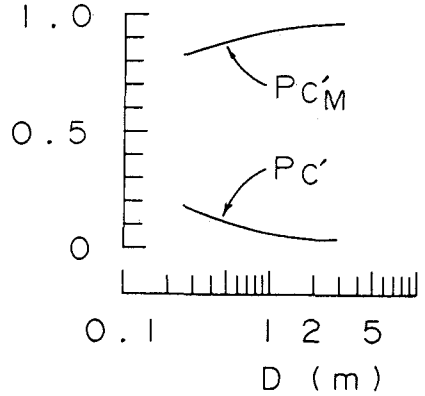


図1 寄与率

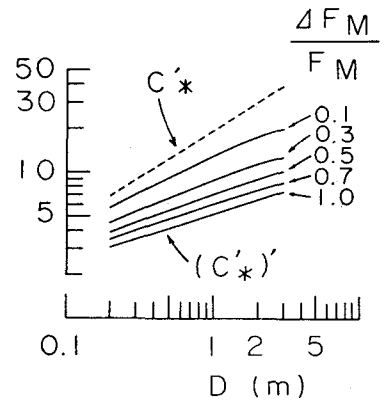


図2 マンホール面積の付け替え

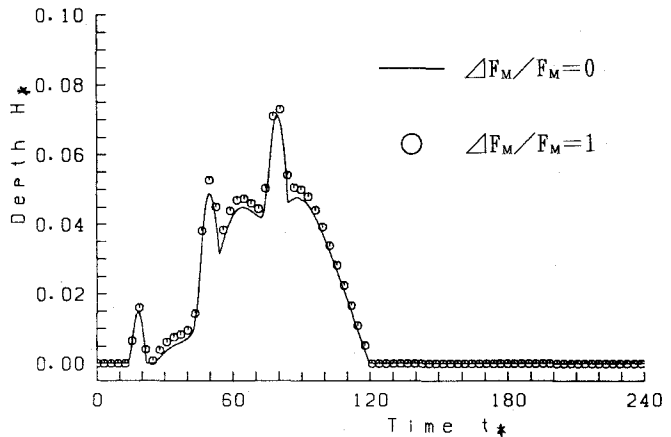


図3 地表面はらん水深（システム全体）