

都市下水道管渠網における圧力流れの無次元パラメータと流出特性について

愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広
 愛媛大学工学部 正 員 栗原 崇
 (株)青木建設 正 員 ○石丸 久人
 愛媛大学大学院 学生員 時尾 嘉弘

都市域の下水道管渠網における圧力流れを伴う流出の解析において、マンホールの貯留効果（これに起因する圧力解放効果）とこれが圧力流れの流出特性に及ぼす影響に関する理論的検討については、これまで、ほとんど行われてきていない。このため、しばしば、そうした効果を見逃した流出解析が行われているが、このような解析結果には、致命的な誤差が含まれていることも十分に考えられる。

本報告は、上述した貯留効果（圧力解放効果）を理論的・数値実験的に検討し、これまで特に明らかにされることのなかったマンホールの一つの水理学的役割を明らかにしようとするものである。

1. 圧力流れの基礎式（ラテラル・モデル）^{1), 2)}

マンホールを取付管の集合体と見なすことができ、かつこれら（仮定の）取付管の全てを直下流の下水管渠に付け替えることができるとする。このとき、管渠における圧力流れの運動方程式および連続式は、式(1)および式(2)のように、また、マンホールにおける圧力流れの連続式は、式(3)のように、それぞれ無次元表示される。

$$\frac{\partial V_*}{\partial t_*} + V_* \cdot \frac{\partial V_*}{\partial x_*} + \frac{\partial H_*}{\partial x_*} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2^2} \cdot \frac{|V_*| V_*}{R_*^{4/3}} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial H_*}{\partial t_*} + c''_* \cdot \frac{\partial V_*}{\partial x_*} = 0 \quad \dots\dots\dots (2), \quad \Sigma (Q_{in})_* - \Sigma (Q_{out})_* = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、無次元変数（添字 *）および各変数は、次のように定義されている。

$$\alpha_1 = (L \cdot S_0) / D, \quad \alpha_2 = V_{full} / \sqrt{gD}, \quad \alpha_1 / \alpha_2^2 = 0.014 \cdot (L / D^{4/3}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} c''_* = \frac{c''}{\sqrt{gD}}, \quad c'' = \frac{c' \cdot c'_M}{\sqrt{c'^2 + c'^2_M}} \div c'_M, \quad c'_M = \frac{c'_M}{\sqrt{gD}}, \\ c' = \sqrt{g \frac{L}{N} (\sin \theta) \frac{A_p}{A_l}}, \quad c'_M = \sqrt{g \frac{L \cdot A_p}{F_M}}, \quad c'_* = \frac{c'}{\sqrt{gD}} \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_* = V / \sqrt{gD}, \quad H_* = H / D, \quad R_* = R / (D/4), \quad Q_* = Q / (\sqrt{g} \cdot D^{5/2}), \\ x_* = x / L, \quad t_* = t / (L / \sqrt{gD}) \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (6)$$

V: 断面平均流速, H: 圧力水頭（水位）, Q: 流量, R: 径深, V_{full} : Manning タイプの満管等流々速, D, A_p , L, S_0 : 管渠の直径, 断面積, 長さ（マンホール間の距離）, こう配, F_M : マンホール断面積, $\Sigma (Q_{in})$, $\Sigma (Q_{out})$: マンホールにおける流入流量および流出流量の合計, N, A_l , θ : 取付管の接続本数（L 当り）, 断面積, 接続角度, c' : 実在する取付管により規定される圧力波伝播速度, c'_M : 仮定の取付管により規定される圧力波伝播速度, c'' : 実在および仮定の取付管により規定される圧力波伝播速度, g: 重力加速度, x: 距離, t: 時間。

上式 (1) ~ (6) および実流域での調査結果 (図1, 2) より, 都市下水道管渠網の圧力流れについて, 次の諸点が指摘される。① 流れを規定する無次元パラメータは, c_{M*} および α_1/α_2^2 の2つである。② c_{M*} および α_1/α_2^2 は, いずれも管渠径 D のべき関数として表される。③ これより, 流れを規定する無次元パラメータは, 実際上は, c_{M*} の1つであるとも言える。④ 以上の結果は, 数少ない流出シミュレーションにより, 圧力流れの一般的かつ普遍的な流出特性を把握しえることを示す。

2. 数値実験による検討

標準的な諸元をもつ9種のブリズマチックな下水管渠システム ($D=0.25\sim 2.0$ m)²⁾を構成し, 上・下流端境界条件を種々に想定して, SWMM³⁾を用い, 流出シミュレーションを行った。ここで, マンホールの貯留効果を考慮する場合 (Storage) と無視する場合 (Regular) のシミュレーション結果を対比することにより, 前述したマンホールの圧力解放効果とこれが流出特性に及ぼす影響を把握できる。

定常圧力流れ (水深 $\approx 1.3\times$ 管渠径, 満管等流流量) の初期条件と, 上流端で sine 型の洪水 (周期15分, ピーク流量 $\approx 1.4\times$ 満管等流流量), 下流端で一定水位の境界条件を与えたときの流出シミュレーション結果の1例を図3に示す。また, これと同等の初期・境界条件を与えた各管渠システムでのシミュレーション結果をもとに, マンホールの圧力解放効果を評価した1例 (水深の相対誤差) を図4に示す。

これらより, c_{M*} がおよそ5程度以下の管渠システムでは, マンホールの貯留効果 (圧力解放効果) を無視した場合, 特に, 水位の計算結果に致命的な誤差を伴う危険性の高いことが指摘できる。

参考文献: 1) 靉・硯: マンホールの圧力解放効果を利用したサーチャージ流出の実用的な解析手法, 紅犂犂, 第36巻, pp. 653~658, 1992. 2) 靉・硯: 下水道管渠網におけるサーチャージ流れの圧力解放効果に関する検討 (2), 土木学会中国支部平成4年度研究発表会講演要録, pp. 172~173, 1992. 3) Roesner, L. A. et al.: Storm Water Management Model, Ver. 4, Part B: EXTRAN Addendum, USEPA/600/3-88/001a, 1988.

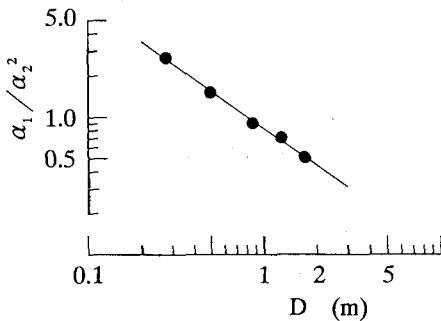


図1 $\alpha_1/\alpha_2^2 \sim D$ 関係 (松山市)

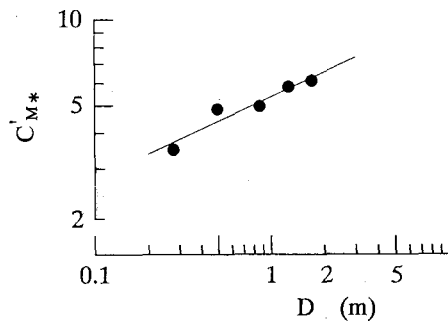


図2 $c_{M*} \sim D$ 関係 (松山市)

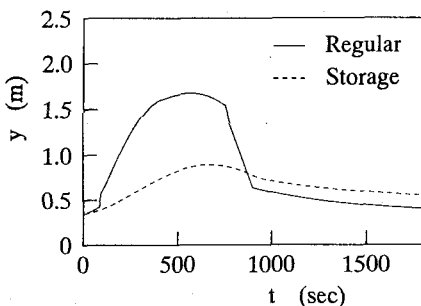


図3 水深 (y) の比較 ($D=0.25$ m, 上流端)

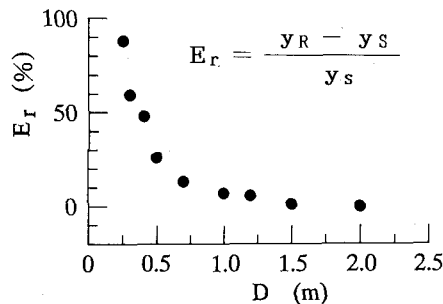


図4 水深 (y) の相対誤差 (上流端)