

都市下水道管渠網の簡易化とSWMMによる豪雨流出シミュレーションに関する検討

愛媛大学工学部 正員○渡辺政広, 復建調査設計(株) 正員 栗原 崇
横 浜 市 正員 時尾嘉弘, 前 田 道 路 (株) 正員 森嶋洋幸

都市域の下水道管渠網におけるサーチャージ流れ時のマンホールの水理学的役割, すなわち, マンホールでの貯留作用によってサーチャージ流れの圧力を開放し流れの伝播を緩やかにして流出ハイドログラフを扁平化させる効果について検討¹⁾を進めてきている。

本報告では, 下水道管渠網を簡易化する際に (具体的には, マンホールを無視する際に, あるいはマンホールの水面積を無視して取り扱う際に) 留意すべき事項について, SWMMモデルを用いて数値実験的に検討した結果を述べる。

1. サーチャージ流れの基礎式¹⁾

マンホールが数100本の (仮想の) 取付管からなる集合体であり, かつこれら仮想の取付管の全てを直下流の下水管渠に付け替え得るとする。このとき, 下水道管渠網における圧力流れの基礎式は, 以下のよう無次元表示される。

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

$$\frac{\partial H_*}{\partial t_*} + c''_*{}^2 \frac{\partial V_*}{\partial x_*} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$0 = \Sigma(Q_{in})_* - \Sigma(Q_{out})_* \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$; \alpha_1 / \alpha_2^2 = 0.014 \cdot (L/D^{4/3}), \quad \alpha_1 = (LS_0)/D, \quad \alpha_2 = V_{full}/\sqrt{gD} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$; c''_* = \frac{c''}{\sqrt{gD}} = \frac{c'_* \cdot c'_M}{\sqrt{c'^2_* + c'^2_{M*}}} \approx c'_M, \quad c'' = \sqrt{g \frac{L \cdot A_p}{F_M + N(A_\ell / \sin \theta)}} \\ ; c'_* = \frac{c'}{\sqrt{gD}}, \quad c' = \sqrt{g \frac{L}{N} (\sin \theta) \frac{A_p}{A_\ell}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$; c'_M = \frac{c'_M}{\sqrt{gD}} = \sqrt{\frac{\pi}{4} \frac{1}{F_{M*}}}, \quad c'_M = \sqrt{g \frac{L \cdot A_p}{F_M}}, \quad F_{M*} = \frac{F_M}{DL} \\ ; \begin{cases} V_* = V/\sqrt{gD}, & H_* = H/D, & R_* = R/(D/4), \\ Q_* = Q/(\sqrt{g} \cdot D^{5/2}), & x_* = x/L, & t_* = t/(L/\sqrt{gD}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに, V : 断面平均流速, H : 圧力水頭 (水位), R : 径深, Q : 流量, L, D, S_0, A_p : 下水管渠の長さ (マンホール間の距離), 直径, 勾配, 断面積, N, A_ℓ, θ : 取付管の接続本数 (L 当り), 断面積, 接続角度 (水平面となす角), c' : 実在する取付管により規定される圧力波の伝播速度, c'_M : マンホールから付け替えられた仮想の取付管のみによって規定される圧力波伝播速度, c'' : 実在する取付管と仮想の取付管の両者によって規定される圧力波伝播速度, F_M : マンホールの水面積, $\Sigma(Q_{in})$: マンホールへの流入流量の合計, $\Sigma(Q_{out})$: マンホールからの流出流量の合計, V_{full} : Manning 型の満管等流流速, g : 重力加速度, t : 時間, x : 距離。

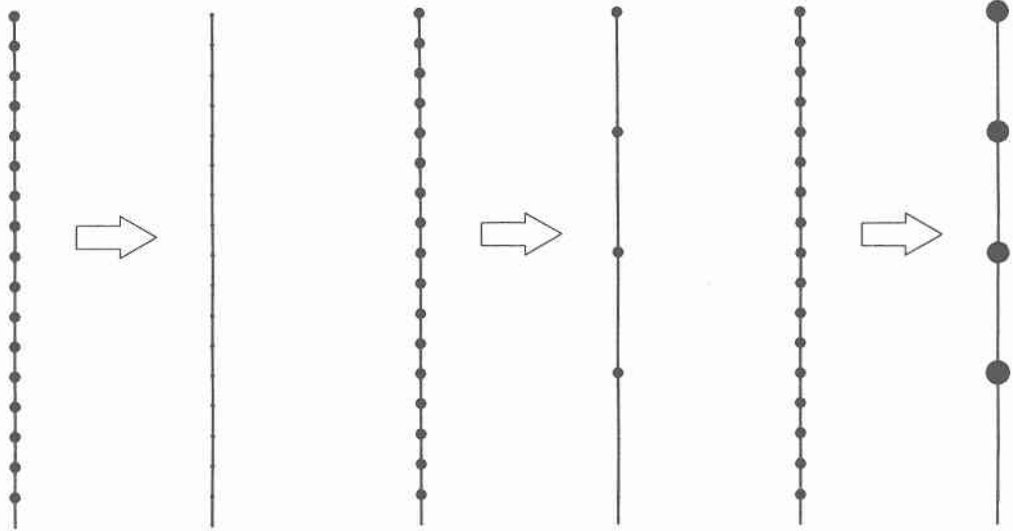
上式および既往の調査結果¹⁾より, 下水道管渠網のサーチャージ流れは, 無次元パラメータ $c''_* \approx c'_M$ (すなわち, マンホールあるいはマンホール水面積) により支配されていることが分かる。

また, 式 (5) より, 幾つかのマンホールを, いわゆる「間引いて」, 管渠システムの簡易化を図る場合, 無視したマンホールの水面積は, 近接する他のマンホールに振り分けておくべきである (すなわち, 管渠システム全体のマンホール水面積の総計は保存されるべきである) ことが指摘される。

2. 下水道管渠網の簡易化に関する数値実験による検討

幾つかのプリズマチックな管渠システム¹⁾を対象に、上述したマンホールの取り扱いに関する指摘の妥当性を明らかにするため、以下の3つの簡易化が、サーチャージ流れの流出シミュレーションの解析精度に及ぼす影響について、SWMM²⁾を用いて数値実験的に検討した。

- * 簡易化1 (Regular Type) : 全てのマンホールとマンホール水面積を無視する場合
- * 簡易化2 (Storage-A Type) : 一部のマンホールとマンホール水面積を無視する場合
- * 簡易化3 (Storage-B Type) : 一部のマンホールを無視するが、無視するマンホールの水面積は近接する他のマンホールの水面積に振り分けておく（加算しておく）場合
- * 通常 (Storage Type) : 全てのマンホール（マンホール水面積）をそのまま取り扱う場合



(a) 簡易化1

Storage $\Rightarrow$ Regular

(b) 簡易化2

Storage $\Rightarrow$ Storage-A

(c) 簡易化3

Storage $\Rightarrow$ Storage-B

図1 下水管渠システムの簡易化

検討結果の一例を、図2に示す。

これらの結果は、上述した指摘、すなわち、サーチャージ流れの解析を行う場合の下水道管渠網の簡易化に当たっては、上の簡易化3に相当するところの方法を採用する必要があることをよく示している。

参考文献：1) 渡辺政広・栗原崇・時尾嘉弘・藤田和博：下水道管渠網・地下河川網におけるマンホール・立坑の水理学的役割，水工学論文集，第38巻，pp. 525～530，1994. 2) Roesner, L. A. et al. : Storm Water Management Model, Ver. 4, Part B; Extran Addendum, U. S. EPA/600/3-88/001b, 1988.

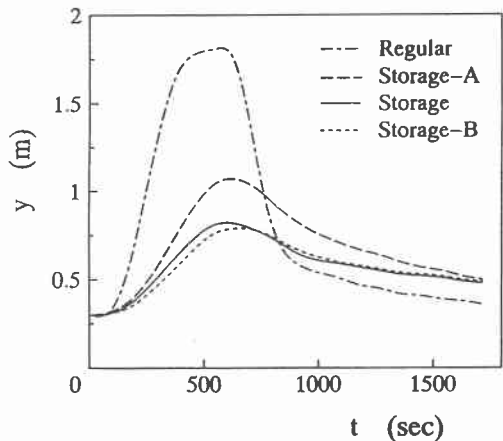


図2 流出シミュレーション結果・上流端水深 ($D=0.25\text{m}$, $L=30\text{m}$, $F_M=0.61\text{m}^2$, 管渠システム長 $=510\text{m}$, 上流端sine型洪水流入(周期900秒, 最大流量 $0.0563\text{m}^3/\text{s}$, 初期定常流量 $0.0470\text{m}^3/\text{s}$, 下流端一定水位)