

都市下水道網における遷移流れの実用的な流出モデル —スロット・モデル—

愛媛大学工学部 正 員 渡辺 政広
 宇部興産(株) 正 員 ○竹内 明
 復建調査設計(株) 正 員 栗原 崇

1. はじめに 都市域の下水道管渠網では、開水路流れとサーチャージ流れ（圧力流れ）の間の流れの遷移がしばしば発生する。こうした遷移流れを伴う管渠網の流出を実用的に解析しえるモデルとして、ブライスマン・スロットの手法を応用したモデル（スロット・モデルと呼ぶ）が用いられている。このモデルは当初、発電所放水路トンネルでの遷移流れの解析に考案されたもので、管渠頂部に微小幅のスロットが取り付けられていると仮定し（図1参照）、実状のサーチャージ流れを見掛け上の開水路流れに置き換えて取り扱う。したがって、サーチャージ流れに対しても開水路流れと同形の基礎式を適用できる利点を持っている。しかし下水道管渠網への適用に際しては、①スロット幅（あるいは圧力波伝播速度）の合理的な算定法が確立されていない、②スロット幅が大きい（あるいは圧力波伝播速度が小さい）下水管渠では、スロット壁面が摩擦抵抗を及ぼさない仮定の影響が計算水位の異常低下となって現われ、特にはらん解析結果の精度が著しく低下する、の2つの問題が残されている。本報告では、これらを解決する方法を提示すると共に、このようにして得られたスロット・モデルの適用性を検討する。

2. スロット・モデル (1) 流れの基礎式：管渠頂部にスロットをもつ下水管渠（図1）のサーチャージ流れに対する基礎式（無次元）は、次のように表わされる。ここで、①スロット断面は下水管渠と一体の流水断面として作用する、②スロット壁面は流れに摩擦抵抗を及ぼさない、と仮定する。

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

$$\frac{\partial h_*}{\partial t_*} + V_* \cdot \frac{\partial h_*}{\partial x_*} + c_*^2 \cdot \frac{\partial V_*}{\partial x_*} = 0 \quad (2)$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = LS_0/D, & \alpha_2 = V_{f0.11}/\sqrt{gD}, & c_* = c/\sqrt{gD}, \\ c = \sqrt{gA_P/B_S} \cdot \sqrt{1 + (h-D) \cdot B_S/A_P} \approx \sqrt{gA_P/B_S}, \\ x_* = x/L, & h_* = h/D, & t_* = t/(L/\sqrt{gD}), \\ V_* = V/\sqrt{gD}, & R_* = R/(D/4) \end{cases}$$

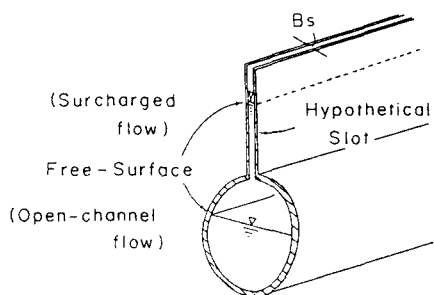


図1 下水管渠とスロット

ここに、 V ：断面平均流速、 h ：管渠底から測った圧力水

頭、 c ：流れの伝播速度、 A ：流水断面積、 R ：径深、 B_S ：

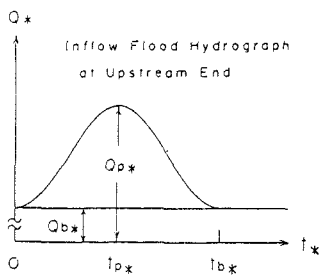
スロット幅、 D 、 L 、 A_P 、 S_0 ：下水管渠の直径、長さ、断面

積、勾配、 $V_{f0.11}$ ：Manning型の満管等流流速、 g ：重力加速度、 x ：距離、 t ：時間。下添字*は無次元量を表す。

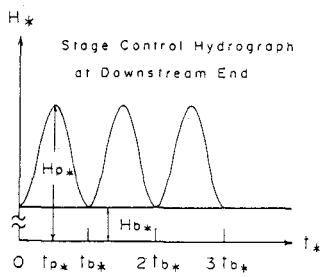
(2) ラテラル・モデルとスロット・モデル：実流域の下水管渠には取付管が多数接続しているが、こうした下水管渠におけるサーチャージ流れをほぼ厳密に解析できるラテラル・モデル¹⁾を既に提案している。はじめに、上記①の問題に対し、スロット・モデルにおけるサーチャージ流れの伝播特性（速度）がラテラル・モデルのそれに等しくなる条件より、新たに次のスロット幅の算定式を得る。

$$B_{S*} = B_S/D = (\pi/4)/c_*'^2 \quad ; \quad c_*' = c'/\sqrt{gD}, \quad c' = \sqrt{g(L/N)(\sin \theta)(A_P/A_1)} \quad (3)$$

ここに、 c' ：圧力波伝播速度（ラテラル・モデル）、 A_1 、 θ 、 N ：取付管の断面積、傾斜角度、 L 当たりの接続本数。上式より、スロット幅は取付管と下水管渠の諸量をもとに物理的に算定されることが分かる。次に上記②の問題に対し、摩擦抵抗を見掛け上大きくして水位低下を補正する方法を考える。すなわち、(1)式において、 $|V_*| V_*/R_*^{4/3} \Rightarrow \Gamma \cdot |V_*| V_*/R_*^{4/3}$ なる変換を行なう。補正係数 Γ の評価式は、定常サーチャージ流れの基礎式が両モデルで一致する条件より求められる。



(a) 流入ハイドログラフ



(b) 水位ハイドログラフ

図2 上・下流端条件

表1 管渠システムと流れのパラメーター

Sewer Systems	Length	Number of Manholes	α_1	α_2	c'	F_{M*}	F_{G*}	h_{G*}	$L/\sqrt{gD}$
(S)	10	10	0.9	0.5	8	0.08	40	6.00	20
(M)	10	10	0.3	0.5	16	0.04	20	3.50	20
(L)	10	10	0.1	0.5	32	0.02	10	2.25	20

表2 出水とその諸元

Runoff	Sewer System	Inflow hydrographs at upstream end				Stage hydrographs at downstream end			
		Q_{b*} (r_{Q_b})	Q_{p*} (r_{Q_p})	τ_{p*}	τ_{b*}	H_{b*}	H_{p*} (r_{H_p})	τ_{p*}	τ_{b*}
(I)	(S)	0.4123 (1.05)	0.4909 (1.25)	45.0	90.0	1.10	—	—	—
	(M)		0.5105 (1.30)				—	—	—
	(L)		0.5695 (1.45)				—	—	—
(II)	(S)	0.4123 (1.05)	—	—	—	1.10	5.90 (0.983)	15.0	30.0
	(M)		—	—	—		3.15 (0.900)		
	(L)		—	—	—		2.15 (0.956)		
(III)	(S)	0.4123 (1.05)	0.4909 (1.25)	45.0	90.0	1.10	5.90 (0.983)	15.0	30.0
	(M)		0.5105 (1.30)				3.15 (0.900)		
	(L)		0.5695 (1.45)				2.15 (0.956)		

$$Q_{full*} = 0.3927 = \text{const.}, r_{Q_b} = Q_{b*}/Q_{full*}, r_{Q_p} = Q_{p*}/Q_{full*}, r_{H_p} = H_{p*}/H_{G*}$$

3. 適用性 (1) 数値実験の概要；松山市公共下水道管渠網においてみられる標準的な無次元パラメータをもつ3タイプのプリズマチックな排水管渠システムを想定した(表1)。(S)、(M)、(L)に対応する実流域での排水管渠径はそれぞれ0.25、1.0、2.0 m程度である。また、図2および表2に示す3タイプの出水(サーチャージ流れ)を想定した。管渠システムの下流端水位が一定のもとで上流端より洪水流入がある場合(出水I)、上流端より一定流入のもとで下流端で水位(流量)調整運転が行なわれる場合(II)、上流端よりの洪水流入と下流端での水位調整運転が合わさって地表面はらんが発生する場合(III)、の3出水である。

(2) 流出シミュレーション結果；上述の3タイプの管渠システムと出水を対象に、スロット・モデルによる流出シミュレーション結果をラテラル・モデルによるそれらと対比して、スロット・モデルの適用性を検討した。スロット・モデルによる結果の適合度が最も低下し易い管渠システムSの出水IIIに対する両モデルによるシミュレーション結果の1例を図3に示す。これより、ここに提案したスロット・モデルによって、厳密な解析結果の得られるラテラル・モデルとほぼ同精度の結果の得られることが分かる。

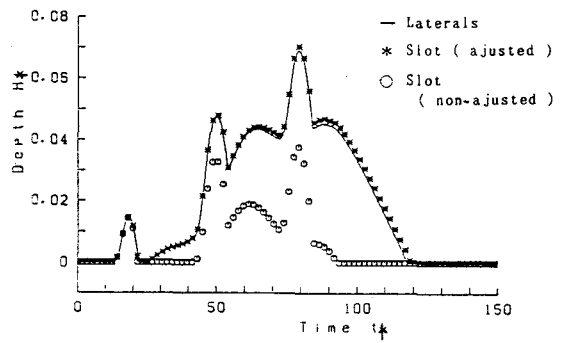


図3 地表面はらん水深(システム全体)

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。