

扶桑建設工業(株) 正 員 ○岡 佳宏
 愛媛大学大学院 学生員 重田尚秀
 愛媛大学大学院 学生員 サロジ・カル・パンデイト
 愛媛大学大学院 正 員 渡辺政広

1. はじめに

下水道の浸水対策の立案・検討には浸水の状況を精度高く詳細にシミュレートできる流出解析モデルが必要である。本研究では、このような流出解析モデルの一つであるプライスマンスロットモデルに着目した。本モデルは、現在、都市下水道管渠網の流出解析に広く利用されているが、下水道管渠網への適用については以下のような問題点が残されている。

本モデルを使った流出解析では、しばしば、計算時間を短縮するため（実用的な計算時間間隔 Δt で計算を安定させるため）、管渠に仮想的に設けたスロットの幅を広げて流出計算がなされる。しかし、スロット幅を広くするにつれ、これらのモデルでは、計算水位が実用上問題となる程度まで低下してくることがある。このことは、特に、浸水氾濫を伴うような場合には致命的欠陥である。

本研究では、上記の問題を解消するための方法について検討・考察を行った。

2. プライスマンスロットモデルの基礎式¹⁾

プライスマンスロットモデルでは、図-1 に示すように、管頂部に微小幅のスロットを立ち上げ、実際の圧力流れを見かけ上の開水路流れとして取り扱うものとし、以下に示す仮定を設定している。

- ①水は非圧縮性である
- ②管壁は弾性変形しない
- ③スロット壁面は摩擦損失に関与しない
- ④スロット幅は微小である

上記仮定により、下水管渠の非定常流れ（圧力流れ）に対する運動方程式および連続の式は、それぞれ、次式のように表される。

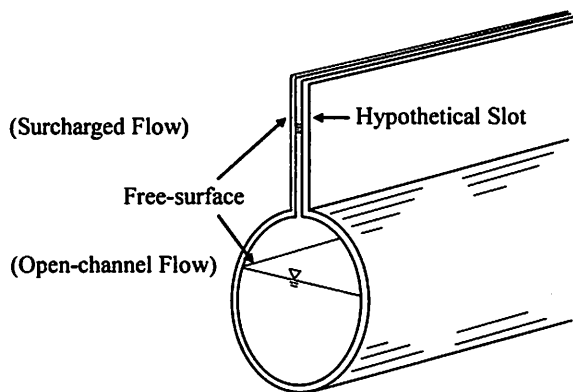


図-1 仮想スロットをもつ下水管渠

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \cdots (1) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 ; c = \sqrt{\frac{gA}{B_s}} = c_a \cdot \sqrt{1 + \frac{gB_s}{A_p} (y - D)}, c_a = \sqrt{\frac{gA_p}{B_s}} \cdots (2) \end{aligned} \right.$$

ここに、 V ：断面平均流速， y ：水深あるいは圧力水頭， R ：径深， S_0 ：管渠勾配， n ：マンニングの粗度係数， g ：重力加速度， c ：微小擾乱（圧力波）の伝播速度， B_s ：スロット幅， A ：流水断面積， A_p ：下水管渠の断面積， D ：下水管渠の直径， c_a ： $y=D$ のときの微小擾乱（圧力波）の伝播速度， t ：時間， x ：距離，である。

3. 水位低下補正手法

プライスマンスロットモデルでは、仮定③により、スロット幅が広がる（圧力波伝播速度が小さくなる）につれ、計算水位が大幅に低下するようになる。本研究では、運動方程式(1)の摩擦項に係数 Γ を乗じて水位低下を補正する方法を提案する。すなわち、 Γ の評価式は、定常圧力流れの基礎式を下水道管渠網の実状に近いモデルであるラテラルモデル²⁾のそれと一致させることにより、次式のように導出される。

$$\Gamma = \left\{ 1 + \frac{B_s(y-D)}{A_p} \right\}^2 \cdot \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right) F \pm \frac{V_{full}^2}{c^2} F ; F = \frac{R'^{4/3}}{R^{4/3}} \left\{ 1 + \frac{B_s}{A'_p} (y-D') \right\} \cdots \cdots (3)$$

ここに、 V_{full} ：満管等流流速、 R' ：スロット部を除く径深、 D' ：管渠底からスロット接合部までの長さ、 A'_p ：スロット部を除く管路側の流水断面積、である。

4. 数値実験による水位低下補正手法の有用性に関する検討

本研究で提案する水位低下補正手法の有用性について数値実験による検証を行った。数値実験に用いた管渠システムの諸元は表-1 および図-2 のとおりである。また、境界条件は、上流端に単一のピーク流量 Q_p ($Q_p = 1.3 \times Q_{full}$; Q_{full} ：満管等流流量) をもつ周期 5～60 分の sine 型の洪水を、下流端に管底からの高さが管径の 1.05 倍となる一定水位を与えた。

スロット幅 B_s を 0.0001～0.05m とし、水位低下補正ありの場合と水位低下補正なしの場合の流出シミュレーションを行った。補正ありの場合と補正なしの場合について、上流端マンホールの水深ハイドログラフを図-3 および図-4 に示す。

シミュレーション結果より、以下のことがわかった。

- ① Γ による補正を行うことにより、全シミュレーションを通じて水位低下の改善が確認できた。
- ② 流入ハイドロの周期が小さいほど、すなわち、時間的変化の激しい洪水ほど水位低下補正の効果が低くなる傾向にある。これは、定常圧力流れを想定して Γ を導出していること、すなわち、 Γ の導出過程において時間項（非定常項）が考慮されていないことによるものと考えられる。

表-1 管渠システム諸元

下水管渠の直径： D (m)	1.0
マンホール断面積： F_M (m ²)	2.332
管渠長（マンホール間隔）： L (m)	60.0
土被り： T_G (m)	2.5
管渠勾配： S_0 (‰)	3.8
管渠数： N (本)	17
マンニングの粗度係数： n (m ^{-1/3} s)	0.013

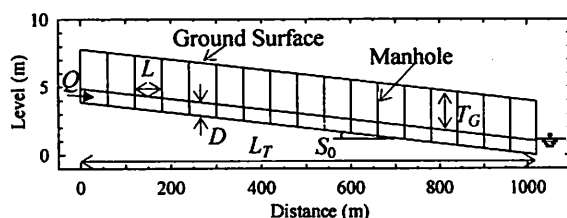


図-2 管渠システムの概要

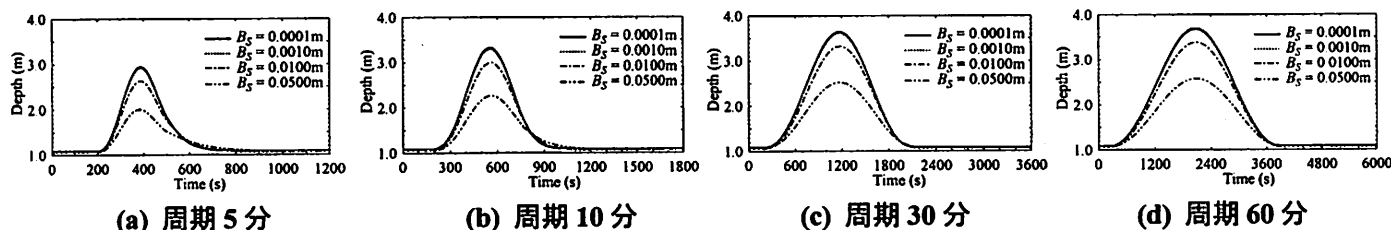


図-3 上流端マンホールの水深ハイドログラフ（水位低下補正なし）

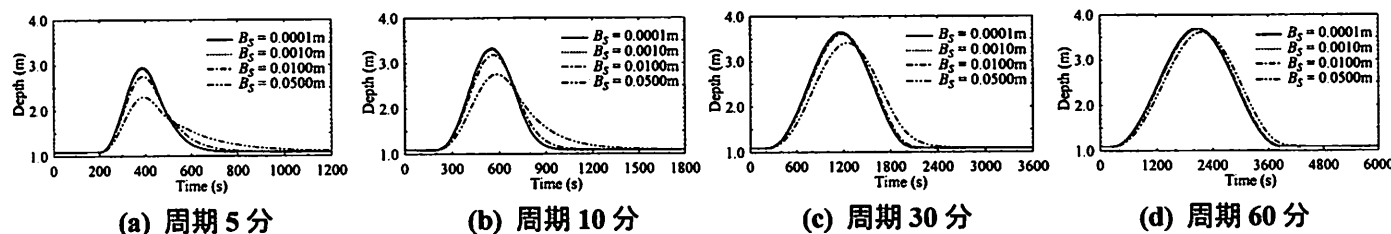


図-4 上流端マンホールの水深ハイドログラフ（水位低下補正あり）

5. おわりに

本研究で提案する水位低下補正手法により、スロット幅を広げることにより生じる水位低下を抑えられることを明らかにした。これにより、本手法による補正を行うことで、計算精度を保ったまま、スロット幅を大きくし、計算時間間隔を大きくすることが可能となる。

参考文献

- 1) Chaudhry, M. H. : Applied Hydraulic Transients, pp. 423～448, VNR Company, 1979.
- 2) 渡辺政広, 江藤剛治, 室田 明 : 取付管の調圧効果を考慮した下水管網内の遷移流計算法, 土木学会論文集, 第 411 号/II-12, pp. 81～90, 1989.