

都市雨水排水システムにおける雨水流出モデルの簡易化について

愛媛大学工学部 正員 豊国永次, 渡辺政広
フジタ工業(株) 正員 ○浜田寛正

これまで、都市雨水排水管渠システムにおけるサーチャージを伴う流出を詳細にシミュレートしうる管渠流出モデル（Dynamic Wave モデル）とその簡易化について検討を進めている。本報告では、Storm Water Management Model (SWMM の管渠流出モデル・ EXTRAN) ならびに検討を進めてきている SURKNET モデルをとりあげ、これら簡易モデルの適用性について、基本的な管渠システムならびに実流域（規模）の管渠システムを対象に検討した。

1. 管渠流出モデルの概要

1) Dynamic Wave (DW) モデル

管渠システムで発生する開水路流れとパイプ流れを共に dynamic wave として取り扱う。前者には開水路非定常流の、後者には管水路非定常流の基礎式を適用する。なお実際の解析では、管路頂部に微小幅の仮想スロットを想定し、管渠システムの流れを一貫して開水路流れとして取り扱う。

2) 簡易モデル

(i) SURKNET モデル；管渠システムの流出を実用的にシミュレートするため、開水路流れとパイプ流れ、さらに遷移流（開水路流れ → パイプ流れ）に分けて取り扱う。開水路流れに対しては kinematic wave 近似を適用し、パイプ流れに対しては定常管路の式とマンホールでの連続式を組合わせて用いる。なお遷移の取扱いにおいて、ここでは流量に不連続が生じない条件を用いる。

(ii) SWMM (EXTRAN) ；管渠システムを図 1 に示すように link - node 表示する。まず link (管渠) 内の流れには、次の開水路非定常流の運動方程式を適用する。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -gAS_f + 2V(\partial A/\partial t) + V^2(\partial A/\partial x) - gA(\partial H/\partial x) \quad \dots \quad (1)$$

ここに、Q : 流量、H : 水位、V : 流速、A : 流水断面積、S_f : 摩擦こう配、g : 重力加速度、x : 距離、t : 時間。

次に node (分合流点) における流れの連続関係には、開水路流れとパイプ流れの場合に対し、それぞれ次の (2-1) やび (2-2) 式を適用する。

$$\text{開水路流れ} : \frac{\partial H}{\partial t} = (\Sigma Q)/A_s \quad \dots \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned} \text{パイプ流れ} : \Delta H &= -(\Sigma Q)/(\Sigma (\partial Q/\partial H)) \\ \frac{\partial Q}{\partial H} &= gA(\Delta t)/(1-K) / L \quad \left. \right\} \dots \quad (2-2) \\ K &= -gn^2(\Delta t)|V|/R^{4/3} \end{aligned}$$

ここに、H、A_s、ΣQ、ΔH : node における水位、水面積、流入出流量の合計、水位増分、Q、V : パイプ流れの流量、流速、A、R、L、n : node に接続する管渠の断面積、径深、長さ、粗度係数、Δt : 計算時間きざみ。

上式の数値計算ではΔtを2ステップに分け、各ステップで、はじめに(1)式より流量を計算し、次いで(2)式より水位を求める。なおΔt後(第2ステップ)の流量の計算には、修正オイラー法を用いる。

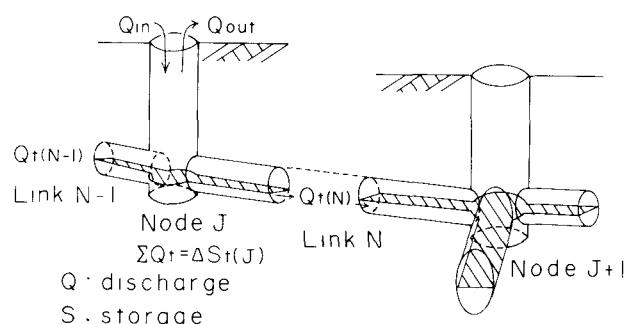


図 1 link - node 表示 (SWMM)

2. 簡易モデルの適用性に関する検討

上述した簡易モデルの適用性について、特にサーチャージを伴う出水を対象に、実測結果ならびにDWモデルによる結果と対比して検討した。

1) SURKNET モデル

松山市街地の調査流域 (0.234 km^2 , 図2) で発生した昭和54年梅雨前線豪雨時の出水をシミュレートした結果の1例(流域下流端)を図3に示す。これらより、SURKNET モデルを用いて、主要な流出の諸特性を実用上の精度で再現できることが分る。

2) SWMM; はじめに、表1および図4に示す管渠システムの各マンホールに三角形の流入hydro.を与える、流出シミュレーションを行った。その1例を図5に示す。次に、図2に示す管渠システムに台形の流入hydro.を与える、流出シミュレーションを行った。その1例を図6に示す。SWMMによる結果をDWモデルによる結果と対比すると、流入流量の急な変化に対し、解に振動が現われ易い、あるいは流出がやゝ早く現われるなどの傾向がみられる。しかし流出hydro.の性状はDWのそれとよく近似している。

なお、これら簡易モデルの流出シミュレーションに要する時間は、DWモデルのそれに対し、平均的にはおよそ $1/10 \sim 1/20$ 程度と、かなり短縮されてくる。

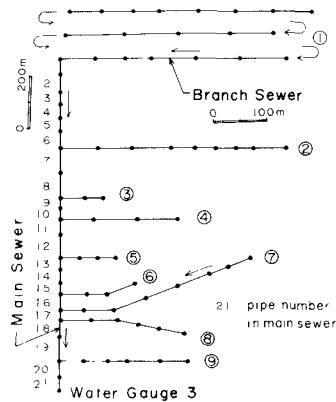


図2 実流域(調査流域)の管渠システム(等価流域 Model II)

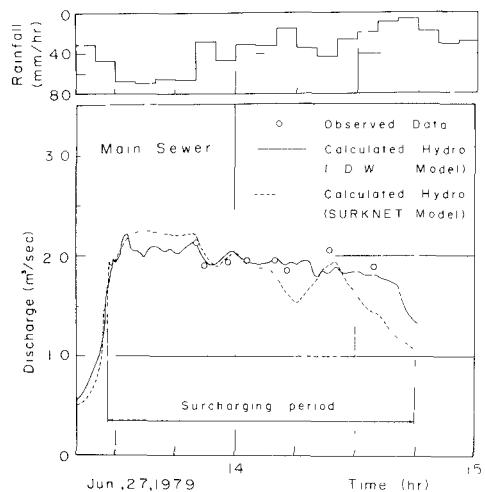


図3 サーチャージを伴う流出のシミュレーション結果(実流域の管渠システム)

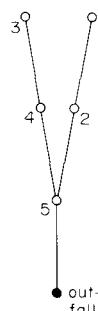


図4 基本的な管渠システム

表1 検討に用いた基本的な管渠システムとそれらの諸元

パイプ番号	諸元	パイプ番号		
		1, 3	2, 4	5
A-1	管径	0.4 m	0.5 m	0.6 m
	こう配	0.002	0.002	0.002
A-2	管径	0.8	0.9	1.0
	こう配	0.002	0.002	0.002
B-1	管径	0.4	0.5	0.7
	こう配	0.0025	0.006	0.0065
B-2	管径	0.6	0.7	1.0
	こう配	0.0025	0.006	0.0065

管渠長: 50 m 粗度係数: 0.015
マンホール径: 1.5 m

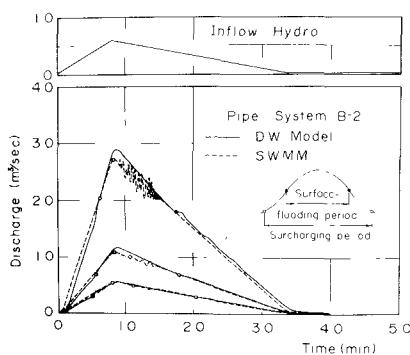


図5 サーチャージを伴う流出のシミュレーション結果(基本的な管渠システム)

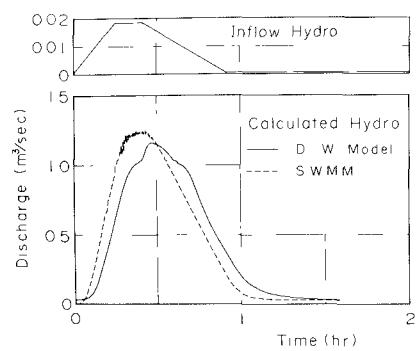


図6 サーチャージを伴う流出のシミュレーション結果(実流域規模の管渠システム)