

S WMM法を用いた都市下水道流況予測システム

Runoff Simulation for Urban Sewer System Using SWMM  
Combined with Computer Mapping

神田 徹\*・神吉和夫\*\*・山田敏\*\*\*・西山武志\*\*\*\*

By Tohru KANDA, Kazuo KANKI, Satoshi YAMADA, and Takeshi NISHIYAMA

In this paper, runoff simulation for urban sewer system using SWMM combined with computer mapping is discussed. The method of input-output data formation for SWMM is modified using computer mapping. To reduce the computation time and capacity, the effect of the simplification of sewer system on the results of simulation is examied as for EXTRAN of SWMM and the comparison of the runoff computation accuracy of RUNOFF with kinematic wave model is carried out as for RUNOFF of SWMM.

Keywords : SWMM, computer mapping, urban sewer system, runoff

1. はじめに

わが国の下水道普及率は全国的には低い段階にあるが、東京、大阪をはじめとする都市域では敷設事業が進捗し普及率が高くなってきており、それに伴って都市の水循環要素としての重要性が増し、都市内河川の渇水時流量の減少、下水道放流先河川等への負荷の増大、また計画降雨を超過する降雨時の下水道からの溢水の恐れ等の新たな問題が生じている。したがって、今後の都市下水道は、計画降雨を排除し得るように管渠の流下能力を確保することに加えて、任意の降雨に対して流況を予測できるシステムを整備することが重要である。

一方、都市域では街路下に張り巡らせた上水道管、ガス管、電話線などのライフライン施設に関する情報をコンピュータマッピング技術により管理しようとする動きが盛んである。下水道に関しても、従来台帳に記入してきた管渠網に関する情報の管理にコンピュータマッピングを導入することが検討されており、東京、大阪、神戸などの大都市において、台帳のデータをコンピュータに移し替える作業が進められている<sup>1)</sup>。

本研究では、米国で汎用されている流出・水質に関する下水道総合シミュレーションモデルであるSWMM法(Storm Water Management Model)を基本モデルとし、コンピュータマッピングと結びつけた都市下水道

|      |      |    |                                          |                                |
|------|------|----|------------------------------------------|--------------------------------|
| *    | 正会員  | 工博 | 神戸大学教授                                   | 工学部建設学科<br>(〒657 神戸市灘区六甲台町1-1) |
| **   | 正会員  | 工修 | 神戸大学助手                                   | 工学部建設学科                        |
| ***  |      | 工修 | ㈱C T I 情報処理研究所<br>(〒540 大阪市中央区大手前1-2-15) |                                |
| **** | 学生会員 |    | 神戸大学大学院工学研究科                             |                                |

流況予測システムを構築することを目的として、コンピュータマッピングを用いたSWMM法のデータ入出力システムの開発とSWMM法の内、下水道管渠網流出ブロックEXTRANおよびそのサブシステムである排水域流出ブロックRUNOFFの改良のための検討を行った。

## 2. SWMM法<sup>2), 3)</sup>

SWMM法は米国環境保護局が1971年以来開発を進めている都市域における流出・水質に関する総合的シミュレーションモデルで、現在Ver. 4が使用されている。ここではEXTRANとそのサブシステムであるRUNOFFを用いる。EXTRANは開水路流れ、管路流れ、および両者の遷移流れが混在する流況をシミュレートできる。

### 2.1 EXTRAN

下水道管渠網をlinkとnodeのネットワークで表現し(図-1参照)、排水域からの流出などの管渠網への流入はjunctionで生じるとする。link区間の流量は一定とし、linkで流量、junctionで水位を求める。したがって、Dynamic Wave Modelが管渠網を細く分割して流量、水位を求めながら流れを追跡するのと大きく異なり、コンピュータマッピングとの組合せが容易である。

基礎式を以下に示す。これらを陽形式の差分法により解く。

・開水路流れ

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

$$\text{ここに, } S_f = \frac{n^2}{AR^{4/3}} |V|Q \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q}{A_s} \quad (3)$$

ここに、 $Q$ : 流量、 $V$ : 流速、 $A$ : 流水断面積、 $H$ : junctionの水位、 $g$ : 重力加速度、 $S_f$ : 摩擦損失勾配、 $R$ : 径深、 $n$ : Manningの粗度係数、 $\sum Q$ : nodeへの流入出量の合計 ( $= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{in}$ )、 $A_s$ : nodeの水表面積。

・管路流れ

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -gAS_f - gA \frac{\partial H}{\partial x} \quad (4)$$

$$\Delta H = - \frac{\sum Q}{\sum \frac{\partial Q}{\partial H}} \quad (5)$$

$$\text{ここに, } \frac{\partial Q}{\partial H} = \frac{g}{1-K} \frac{A}{L} \Delta t, K = - \frac{gn^2}{R^{4/3}} |V| \Delta t \quad (6)$$

ここに、 $Q, V, A, R, L$ : junctionに接続するlinkの流量、流速、断面積、径深、長さ、 $\Delta t$ : 計算タイムステップ。

・遷移流れ ( $D \leq y \leq 1.25D$ )

$$\Delta H = \frac{\sum Q}{DENOM} \quad (7)$$

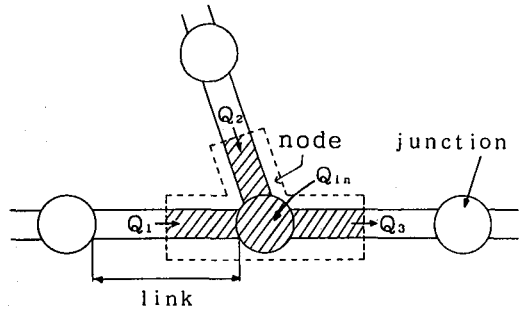


図-1 下水道管渠網のlink-node表示

$$\text{ここに, } DENOM = \sum \frac{\partial Q}{\partial H} + \alpha \left\{ \frac{A_s}{\Delta t} - \sum \frac{\partial Q}{\partial H} \right\} \quad (8)$$

$$\alpha = \exp \{-15(y-D)/D\}$$

ここに,  $D$ : linkの直径,  $y$ : junctionの水深.

## 2.2 RUNOFF

排水域をサブキャッチメントに分割し, それをさらに透水域, 不透水域などの基準によりサブエリアに分割し, 各々を非線形のタンクと考える(図-2参照). 基礎式を以下に示す.

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = Ai - Q \quad (9)$$

ここに,  $V$ : サブエリア上の水量,  $d$ : 水深,  $t$ : 時間,  $A$ : サブエリアの面積,  $i$ : 降雨超過(降雨強度-浸透能),  $Q$ : 流出量.

$$Q = W \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} I^{1/2} \quad (10)$$

ここに,  $W$ : サブエリアの幅,  $d_p$ : 凹地貯留の深さ,  $I$ : サブエリアの勾配.

各サブエリアの流出量の合計がサブキャッチメントの流出量となり, 特定の下水道管渠網のjunctionに流入する. すなわち, EXTRANの入力データ(流入ハイドログラフ)となる. したがって, サブキャッチメントおよび流入junctionの設定が下水道管渠網への雨水流入条件を決定することになる.

## 2.3 入力データ

入力データはEXTRANではlinkの長さ, 断面の形状, 粗度係数, 両端の段差, 両端のjunction番号(linkの接続関係を与える), junctionの地表面高さ, 底面高さを入力する. 最下流のjunctionは境界条件を指定する. RUNOFFではサブキャッチメントを均一な特性をもった理想的な長方形にモデル化し, サブキャッチメントの面積, 幅, 勾配, 透水域・不透水域の割合, 凹地貯留, 浸透パラメータを設定する.

SWMM法では以上の入力データをデータシート形式で作成する. 一つのまとまった内容のデータ(例えば, ある管渠のデータ)を1行ずつまとめて作成するようになっており, その行に必要なデータを決められた順番に並べる. 書式についての制約が少なくシステムティックな入力データ作成が可能であるが, 手作業によるデータ入力を行うとすれば誤入力の恐れも少なくない.

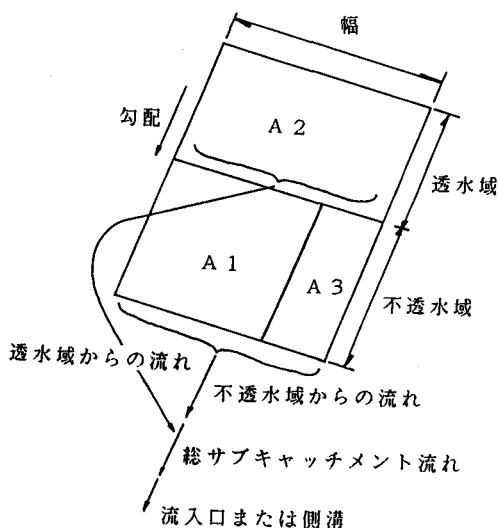


図-2 サブキャッチメント

## 3. 都市下水道流況予測システム

### 3.1 システムの構成

本システムの構成を図-3に示す. 別途作成されているコンピュータマッピングを利用した下水道台帳管理システムのデータベースは実下水道管渠網そのものである. 合理式を基礎とする現行の下水道設計手法での亀甲型排水域区分法による排水域を基礎としてSWMM法で排水域に必要なデータを作成し, 実管渠網の構造データからSWMM法に必要なデータを作成すればSWMM法により流況予測計算は可能であろうが, 多くの場合, データ容量縮小と計算時間短縮のためモデル化が必要と思われる. 下水道管渠網の単純化を行い, link, junction, 各排水域の流入junctionを決定する. その設定をもとに, 実下水道管渠網の台帳データ

ベースからSWMM法のためのモデル下水道管渠網の入力データを作成する。その後、降雨データを与えてSWMM法で計算し、結果の出力をディスプレイ上に表示する。SWMM法の出力結果は、そのままでは非常に把握しづらいものであるが、コンピュータマッピングと組合せることにより改善できる。

現段階で開発したデータ入出力システムについて概要を述べる。流域図をあらかじめデジタイザを使用して作成し、それが表示されたディスプレイ上でjunction, linkの位置をマウス操作で確定し、junction, linkのデータをキーボードから入力する。排水域をサブキャッチメントに分割し、各サブキャッチメントのデータ、流入junction番号を入力する。降雨ハイトグラフをマウス操作により入力し、すべての入力作業が完了する。この時点でのディスプレイ表示を図-4に示す。これまで入力したデータはファイルに保存され、それらからSWMM法による流出計算の入力データを作成する。

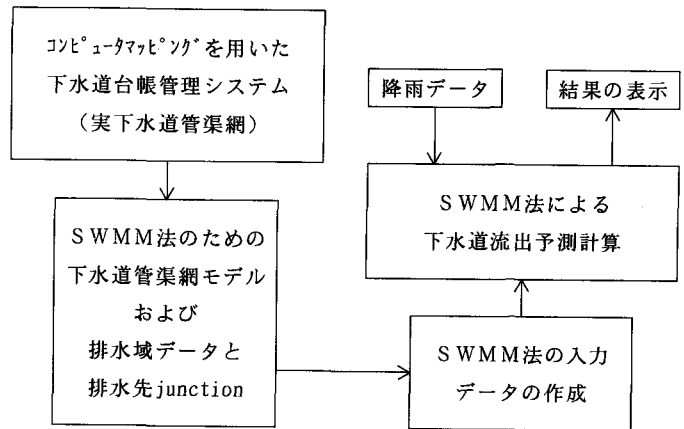


図-3 システムの構成

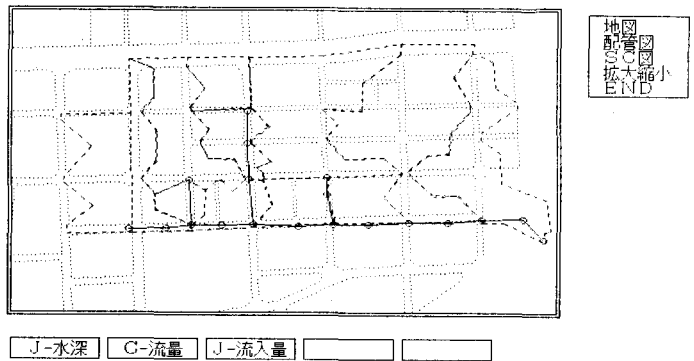
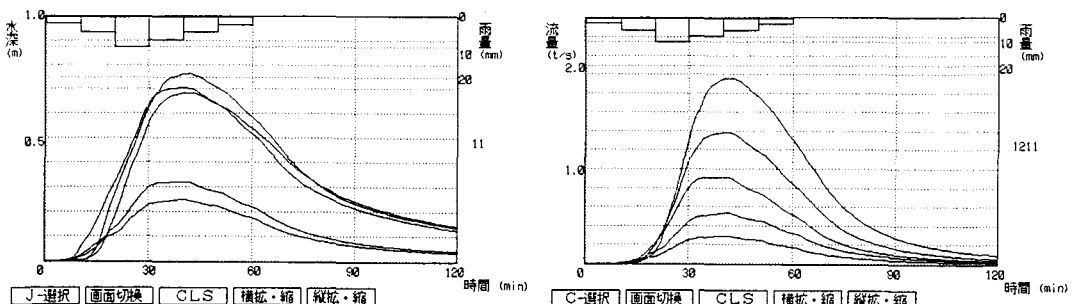


図-4 入力完了時のディスプレイ表示

SWMM法による流出計算が終了すると、その出力データをディスプレイ上に表示する。図-4のディスプレイ画面上で任意のjunction, linkをマウス操作により指定すると、図-5に示すような水深、流量ハイドログラフを表示することができる。実下水道管渠網の台帳データベースからSWMM法のためのモデル下水道管渠網の入力データ作成については、使用しているシステムにより違いがあると思われるので今後検討を進める予定である。



(a) 水深

(b) 流量

図-5 出力(ハイドログラフ)のディスプレイ表示

3.2 SWMM法の改良のための検討

ここでは計算時間短縮とSWMM法の検証のために、junction数を減少させたときのEXTRANの結果の変化の検討、RUNOFFとKinematic Wave Modelの比較を行った。

(a) EXTRAN

図-6に示すような排水面積約18ha、マンホール数35の実下水道管渠網について、流入条件は同一としてjunction数が20と12の2種類のモデルを設定し(図-7)、得られたハイドログラフを図-8に示す。両者にほとんど違いはみられないが、モデルIIのjunction CおよびDの水深ハイドログラフにおいて異常値がみられる。これは水深から判断すると開水路流れから管路流れに移り変わるとき、すなわち水位を求める式が切り替わるときであり、junctionを減少させた影響で数値計算上のエラーが発生したものと思われる。この例では管渠網を簡略化しても計算結果に大きな差が出なかったといえる。

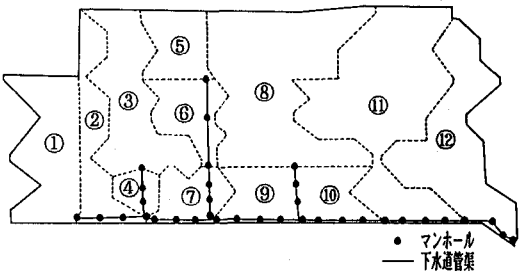


図-6 実下水道管渠網

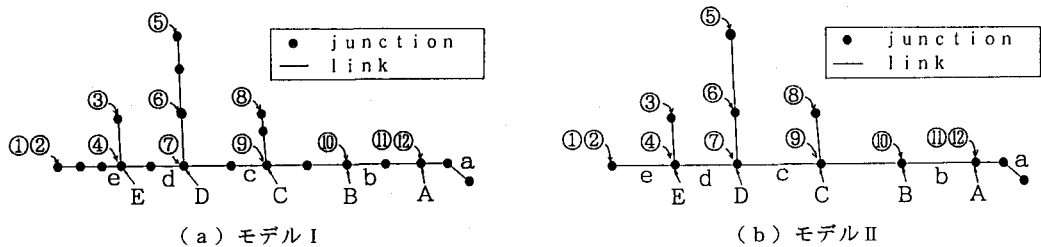


図-7 モデル下水道管渠網

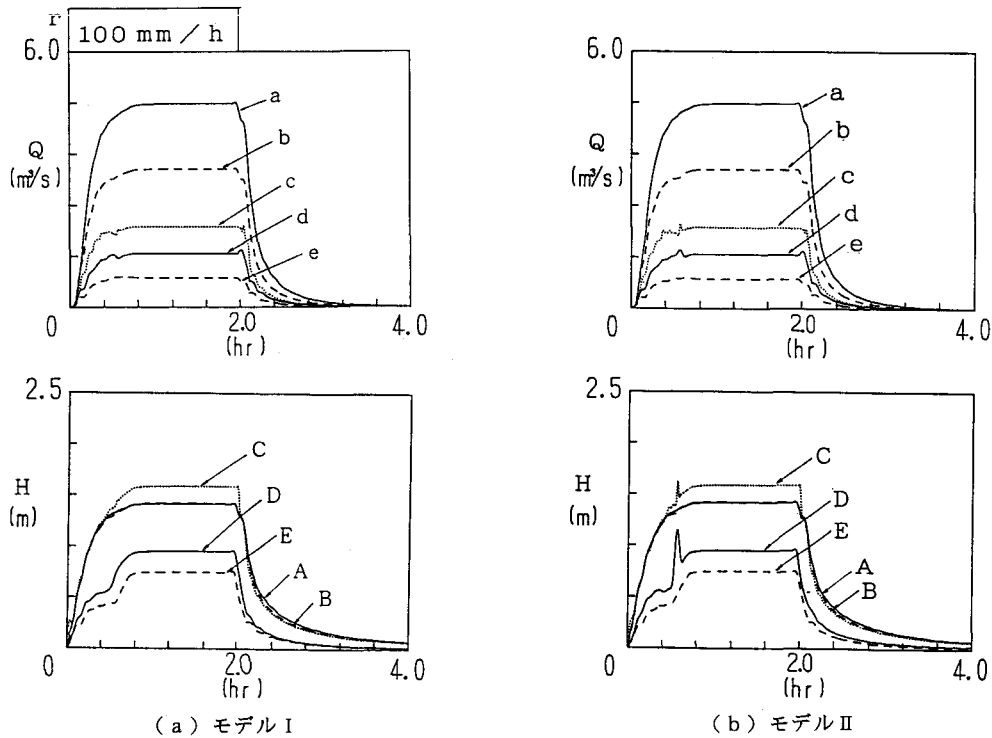


図-8 ハイドログラフ

## (b) RUNOFF

辺の長さが120mの正方形の排水域について全域が不透水域と想定し、粗度係数を0.01、0.02として一定強度50mm/hrの60分間継続降雨を与えたときの排水域最下流点におけるRUNOFFおよびKinematic Wave Modelで計算したハイドログラフを図-9に示す。RUNOFFの方がハイドログラフの立上がりは遅く、低減も緩やかである。これはRUNOFFとKinematic Wave Modelの粗度係数を同じ値にしたことにもよると考えられ、各モデルに応じた粗度係数の与え方が必要であることを意味する。RUNOFFの粗度係数が0.01、Kinematic Wave Modelの粗度係数が0.02の場合のグラフを比較すると(図-10)、RUNOFFの非線形タンク特有のピーク値に達する直前に増加が鈍る部分を除けば両者のグラフの増減はよく一致している。精度としては計算法からみてKinematic Wave Modelの方が優れていると考えられるが、RUNOFFの精度がEXTRANへの流入計算として十分なものであるならばこのまま使用してよい。わが国では都市流出へのSWMM法の適用はほとんど行われていないが、上記の問題点からも特にRUNOFFモデルの改良が必要と考えられ、今後種々の下水道システムへの適用を通じてその改良法を検討していきたい。

## 4. おわりに

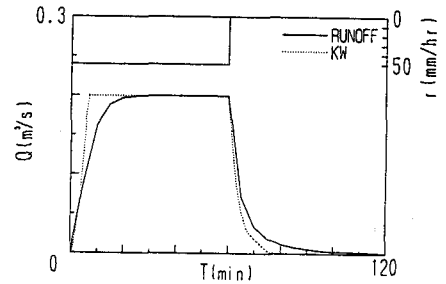
本研究では、まず、コンピュータマッピングを用いたSWMM法のデータ入出力システムを示し、SWMM法のデータ入出力の方法を改善した。次に、SWMM法の改良のための検討を行った。EXTRANについて下水道管渠網を簡略にモデル化する方法についての試みを示し、また、RUNOFFについてはKinematic Wave Modelとの比較を行い、わが国の都市流域への適用上の課題について考察した。

今後、実際の下水道台帳管理システムを使用し、コンピュータマッピングと組合せた都市下水道流況予測システムを完成させていきたい。

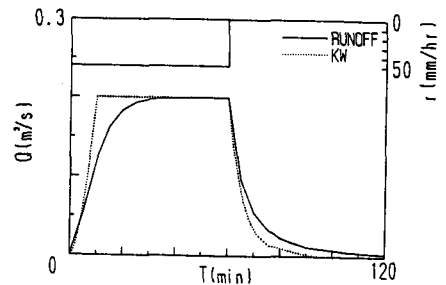
謝辞：本研究を遂行するにあたり、愛媛大学工学部、渡辺政広助教授の御教示を賜った。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 前川真幸：下水道台帳管理システムの構築と運用，下水道協会誌，Vol.29, No.340, pp.8-17, 1992.
- 2) Huber, W.C. and Dickinson, R.E.: Storm Water Management Model, Version 4, User's Manual, EPA/600/3-88/001a, Environmental Protection Agency, 1988.
- 3) Roesner, L.A., Aldrich, J.A. and Dickinson, R.E.: Storm Water Management Model, Version 4, User's Manual Extran Addendum, EPA/600/3-88/001b, Environmental Protection Agency, 1988.



(a) 粗度係数 0.01の場合



(b) 粗度係数 0.02の場合

図-9 ハイドログラフ

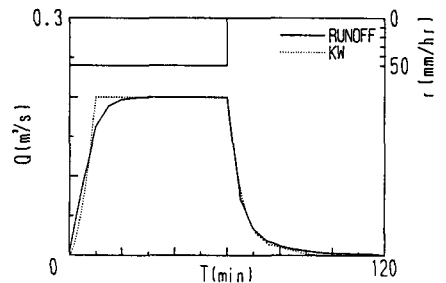


図-10 ハイドログラフ