

下水道台帳データベースを利用した都市下水道の雨水流出解析システム

Urban Runoff Analysis

Using the Data Base of Sewer Information

神田 徹*・神吉和夫**・西山武志***

By Tohru KANDA, Kazuo KANKI, Takeshi NISHIYAMA

An urban runoff simulation system that utilizes a GIS sewer data base has been developed and applied to a catchment in Kobe. The runoff analysis is based on the Storm Water Management Model (SWMM). The system provides an interface that allows actual sewer network data to be read from the data base and then to be transferred into the link-node format required by SWMM. In addition, the system facilitates the formulation, via computer mapping software, of SWMM-formatted data for drainage catchments which are not included in the data base. The system was applied to a drainage catchment in Kobe and acceptable results were obtained.

Keywords : Urban runoff, GIS sewer data base, SWMM

1. はじめに

下水道は都市環境の改善を目的として整備され、敷設の進んだ大都市では水循環系の重要な要素となっており、近年、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、現況施設の評価、改修計画立案、豪雨時の流況把握等のために、効率的な運用が可能な雨水流出解析システムを整備することが重要となってきた。

筆者ら^{1), 2)}は、米国で汎用されている雨水・汚濁負荷流出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)を基本モデルとして、コンピュータマッピングと結びつけた都市下水道流況予測システムの開発とSWMM法の改良を検討した。一方、政令指定都市をはじめとする主要都市では、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整備が進められている。都市によりデータ構造などが異なっているが、このシステムはSWMM法に必要な下水道の構造諸元を保持していると考えられる。しかし、流出シミュレーションに必要なデータは、モデル化された下水道管渠網に対するものであるから、下水道台帳データベースの管渠網データをそのまま利用することはできない。下水道台帳データベースの流出シミュレーションへの利用に関して建設省土木研究所³⁾でも検討を行っているが、使

* 正会員 工博 神戸大学教授 工学部建設学科
(〒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
*** 正会員 工修 (株)建設技術研究所 大阪支社
(〒540 大阪府中央区大手前1-2-15)

用する流出モデルが筆者らのものとは異なる。

本研究は都市下水道の雨水流出解析システムの構築を行うものであり、神戸市を事例にSWMM法の管渠網入力データ作成に関して下水道台帳データベースを利用する場合の問題点を指摘し、その解決方法について検討する。一方、下水道台帳データベースでは保持されていない排水域入力データをコンピュータマッピングを用いて作成する。また、本システムを実流域に適用し、システムの発展性について述べる。

2. 都市下水道の雨水流出解析システム

本システムの構成を図-1に示す。システムは①入力データ作成、②SWMM法による流出シミュレーション、③シミュレーション結果の表示、の3つの部分に分けることができる。①において下水道台帳データベースを利用する。一方、①においては地図を解析して地理情報を取得するために、また③においてはシミュレーション結果を表示するために、コンピュータマッピングを使用する。

2.1 入力データ作成

入力データは、link-nodeデータ、サブキャッチメントデータ、降雨データ、計算制御データの4つのカテゴリーに分類できる(SWMM法では、下水道管渠網をlinkとnodeのネットワークとして、排水域をサブキャッチメントの集合としてモデル化する)。link、node、サブキャッチメントについて、必要なデータ項目を表-1、図-2に示す。計算制御データとは、計算時間ステップ、全ステップ数、結果の出力時間間隔、最下流端nodeの境界条件などのデータである。

表-1 SWMM法における入力データ項目

link	番号, 長さ, 断面の形状・大きさ, 粗度係数, 両端の高さ, 両端のnode番号
node	番号, 地表面高さ, 底面高さ
サブキャッチメント	番号, 流入node番号, 面積, 幅, 勾配, 不浸透面積率, 凹地貯留, 浸透パラメータ

SWMM法による計算を行うためには、作成されたデータを最終的にSWMM法の入力データ・フォーマットに変換する必要があるが、そのフォーマットは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行ずつ並べるという、システムティックなものである。したがって、必要な入力データがテキストデータとして作成できれば、それらをSWMM法のフォーマットに変換することは容易である。

以下、本システムにおけるlink-nodeデー

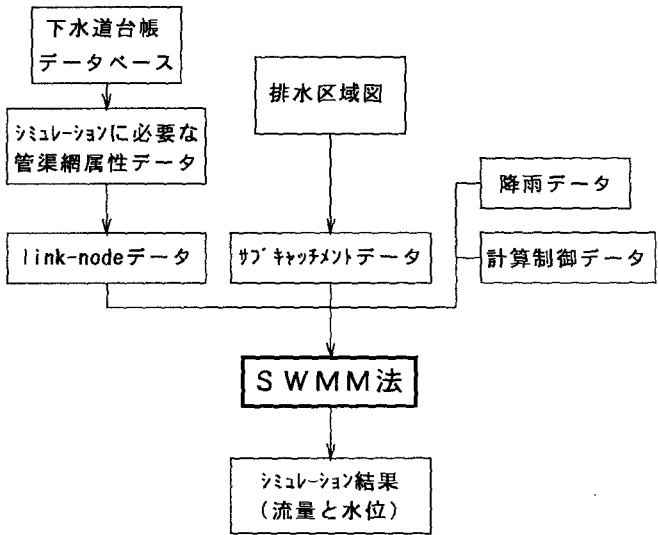


図-1 システムの構成

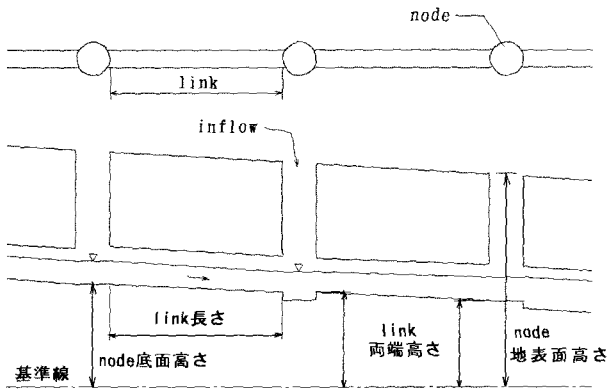


図-2 link-nodeデータ

タおよびサブキャッチメントデータの作成手法を述べる。

(a) link-nodeデータの作成

link-nodeデータの作成は次の2段階に分けて行う。まず始めに、実下水道管渠網の各々の管渠をlink, 全ての管渠両端をnodeとする。次いで、第1段階でできたlink-node系を単純化する(図-3参照)。

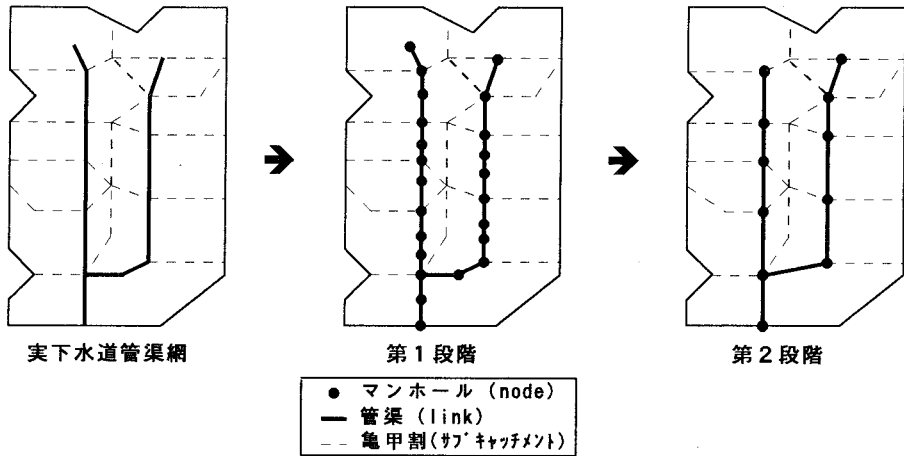


図-3 link-node系の作成

(第1段階)

本研究で使用した神戸市の下水道台帳データベースは、link-nodeデータに関して、粗度係数を除き、表-1に示したデータ項目を全て保持していた(一部若干の計算を必要とする)。ところが、神戸市の実際のデータをみると、link-nodeネットワークを作成する場合に不都合な点があることがわかった。現実の下水道管渠網では一つの管渠の両端に必ずマンホールが存在するとは限らず、その場合、施設の接続関係を表す管渠属性データ中の上下流接続施設はマンホールではなく管渠となり、管渠をlink, マンホールをnodeと置き換えただけでは、link-node系とはならない。

原則として管渠の径や勾配が変化する地点にはマンホールが設けられるが、実際には属性の異なる管渠と管渠が直接結合されている場合がある。また水路が連続している場合、その接続点は施設としてデータ化されない。さらに、台帳データベースにおいては、管径などの物理的な属性は変化しないにもかかわらず、別々の管渠としてデータ化される場合がある。すなわち、管渠の属性として道路管理者という項目があり、それが変わる地点(例えば官民境界地点)を境に別々の管渠となる。したがって、マンホール以外の管渠端も全てnodeとし、link-node系を作成する。

具体的には、まずnodeに番号を与え、台帳管理システムのマッピング画面を参照してその台帳データベースにおける施設番号を明らかにしておく。次に台帳管理システムの検索機能を用い、台帳データベースの中から全ての管渠およびマンホールについて表-1に示したデータ項目を抽出し、それを加工する。

nodeについては、まず抽出した全マンホールデータ中のマンホール番号をnode番号で置き換える。次に、これだけでは管渠端に設定したnodeのデータが存在しないので、新たに作成する。すなわち、node番号とそのnodeが上流端である管渠の番号の対応にしたがって管渠データを検索し、その中からnodeとして必要な項目を取り出す。

linkについては、抽出した全管渠データ中の上流および下流施設番号をnode番号で置き換え、それをネットワークの上流から下流の順に並べ替える。

(第2段階)

第1段階のlink-node系は、計算時間およびデータ容量の点から実用上不適切であり、多くの場合、その単純化が必要と思われる。SWM法では、link長が差分計算の空間ステップであり、その値が小さいと計算

時間ステップもまた小さな値に制限され、計算時間が長くなる。また、数値計算の安定の面からも、できる限りlink長が揃っていることが望ましく、他に比べてあまりに短い管渠は計算上なくすべきである。SWM M法では、最長管が最短管の3～4倍を超えないことを目安としている。

管渠網の単純化の方法は、まず重要度の高いnodeを決定し、それらのnode間のlinkデータを参照して、複数のlinkを一つのlinkとできるかどうかを判断するものである。nodeは、①管渠網の終点、起点、合流点、②流入地点、③屈曲点、④管渠属性変化地点、の4種類に分類でき、この中で①～③が重要度の高いnodeと考えられる。②は、合理式を基礎とする現行の下水道管渠設計手法での亀甲型排水区域区分(亀甲割)を基本として設定されたサブキャッチメントに対して一つのnodeを決定する。node数を減らすために、サブキャッチメントを大きくとって流入地点を減らすことも考えられるが、過度に減らすと管渠網への雨水流入が集中化され正しい計算とならない可能性がある。

linkの属性の中で勾配のみが異なる場合および短いlinkが存在する場合は一つのlinkとする。後者の場合で断面の形・大きさが異なっているときは、基本的に長いlinkの属性を用いる。断面の形・大きさが大きく変化する場合は一つのlinkとはせずnodeを設定したままとする(上記の分類で④に相当する)。以上の判断に基づいてデータの加工を行う。複数の管渠を結合して一つのlinkとする場合の概念図を図-4に、管渠属性変化地点にnodeを設定する場合の概念図を図-5に示す。最後に、linkに番号を与える。今回、データの加工は手作業で行ったが、プログラムによる自動化も可能と思われる。

(b) サブキャッチメントデータの作成

サブキャッチメントデータは、(a)で作成したlink-node系に対して作成する。サブキャッチメントデータは、面積を除けばSWM M法に対応したものであり、神戸市の台帳データベースでは保持していない。亀甲割の排水面積を地先面積として保持しているが、本研究では新たに作成することにした。

まず、縮尺1/2500の計画排水区域図の亀甲割をトレースして作成した入力原稿図をスキャナを用いてラスタデータとして読み取り、CADソフトによりベクトルデータ化する。デジタルにより図形の頂点座標を取得する方法に比べ、ベクトルデータ化の作業にかかる労力を軽減できる。次に、サブ

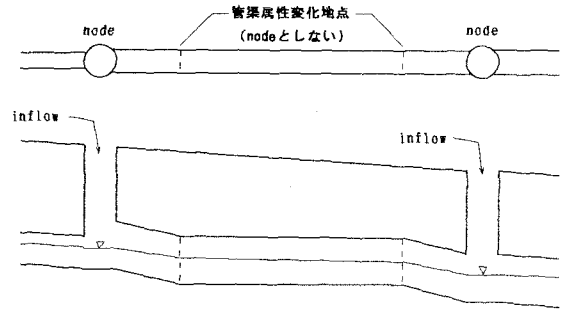


図-4 管渠属性変化地点について(1)

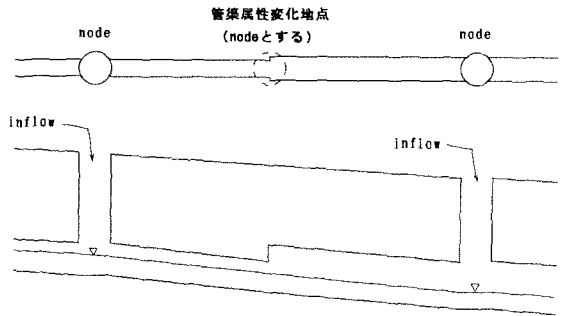
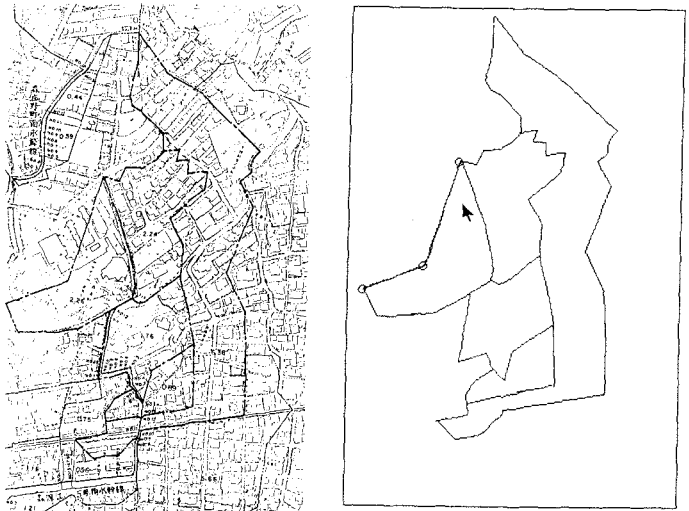


図-5 管渠属性変化地点について(2)



排水区域図(亀甲割) マッピング画面
図-6 亀甲割とサブキャッチメント

キャッチメント区画が表示された画面上でマウス操作により座標を得ることにより、面積および流下長を求めることができる。亀甲割とサブキャッチメントのマッピング画面を図-6に示す。

幅は面積を流下長で割ることにより求め、勾配は地形図から読み取った最大地盤高と最小地盤高の差を流下長で割ることにより求める。ただし、一部の地盤高は読み取るのが難しかったので、隣接するサブキャッチメントの勾配の値とした。不浸透面積率、粗度係数、凹地貯留、浸透パラメータについては、地形図および文献を参考にして決定した。この中で不浸透面積率は、コンピュータマッピングを利用して算定できる可能性があるが、不浸透域およびサブキャッチメントの地図をメッシュ化したデータを用意し、それらを解析して各サブキャッチメント内の不浸透面積率を算出できるようなソフトウェアが必要であり、今回は具体的な検討は行っていない。

2.2 SWMM法による流出シミュレーション^{4), 5)}

本システムの流出モデルとしてSWMM法を採用したのは、下水道管渠網における開水路流れ、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、かつ管渠網をlink-node表示することにより計算時間を短縮することができる点に着目したからである。一方、排水域流出モデルについては、わが国での適用例が少なく、パラメータの決定が難しいといえるが、別のモデル、例えば Kinematic Wave Model により置き換えることにより、改良することも可能である。さらに別のSWMM法の改良点として、マンホールにおいて大きな段差があり水位が不連続となる場合、計算できないことが挙げられる。

また、今回マンホールにおけるエネルギー損失について考慮しておらず（SWMM法ではlinkの摩擦損失に含めて評価する）、今後修正していきたい。

2.3 シミュレーション結果の表示

地図が表示されたディスプレイ画面において、任意のlink, nodeをマウス操作により指定すると、シミュレーション結果として、その地点の流量または水位ハイドログラフを表示できる。SWMM法単独でも、各地点の流量または水位の計算結果を表および簡略なグラフで出力できるが、コンピュータマッピングと組合せることにより、参照したい地点の計算結果を即座に呼び出すことが可能となる。

結果の表示にあたり、地図として、link, node, サブキャッチメント、道路（土地区画）の図形を表示することが考えられるが、今回のシステムでは、本システムにおいて最低限必要とされる link-nodeの図形のみを表示することにし、そのための図形データ(nodeの座標データ)を作成した。2.1(a)において決定されたnode地点に対応する実下水管渠網のマンホールおよび管渠端の座標を、台帳管理システムの図形データから取り出した。

3. システムの適用

3.1 システムの適用例

システムの適用例として、実測降雨を用いたシミュレーションの結果を示す。

対象とした排水区をモデル化した結果を図-7に示す。分流式下水道であり、排水面積は約56ha、管渠総延長は約3.3kmである。管渠数132、マンホール数80の管渠網を単純化した結果、link・node数はそれぞれ64となった。管渠の約半数が長さ20m以下の短い管渠であったが、そのほとんどを前後の管渠と一つにした。

降雨データは1989年9月14日早朝の雨で、時間雨量100mmの記録的な集中豪雨であった。最下流のlink地点における流量のシミュレーション結果を図-8に示す。計算時間ステップを5秒としたとき、

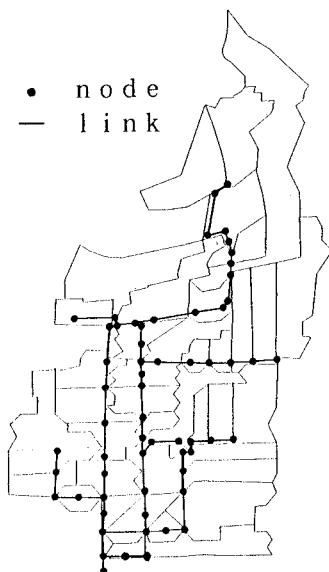


図-7 モデル化した排水区

パーソナル・コンピュータ(PC9800シリーズ, 486CPU, 40MHz)を使用して4時間に相当する計算に約10分を要した。この計算時間は、大きな流域での適用を考えれば十分に短いとはいえないが、今後のパーソナル・コンピュータの性能向上やEWS上でのシステム構築を考えれば、実用上問題ないと思われる。

3.2 システムの発展性

本システムに機能を追加していくことにより、システムの適用範囲を拡大することができる。

結果出力方法を改良することにより、下水道による雨水排水の実時間管理支援に用いることができる。サーチャージおよび溢水が発生したnode地点を地図上に表示したり、管渠縦断面図上にシミュレーション結果の水位の時間的变化を連続的に表示することが考えられる。

コンピュータマッピングを用いた入力データの追加・修正機能を加えることにより、下水道改良計画に用いることができる。例えば、土地利用の改変により下水道への雨水の流入量が増えた場合の下水道改良対策を検討するならば、管渠径を大きくする、バイパス管を増設するなどの対策案のシミュレーションを行うことになる。このとき、サブキャッチメントデータおよびlinkデータの一部変更、追加が必要であるが、コンピュータマッピングを用いた本システムによれば、その作業が非常にしやすい。

4. おわりに

本研究では、神戸市を対象に下水道台帳管理システムとSWMM法のインターフェースの開発を試みたわけであるが、他の都市への応用はプログラムの一部変更により可能と思われる。下水道台帳管理システムは単に台帳データを電算化する技術ではなく、各方面への応用が考えられており、本研究も応用システムの一つといえる。ただし、台帳データベースに排水域の面積その他の特性量を必要とするため、SWMM法の改良を含め検討課題は多い。今後とも、本システムの改善をはかるつもりである。

謝辞：下水道台帳データを提供していただいた神戸市下水道局と、台帳管理マッピングシステムの助言をいただいた俣オオバに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西山・神田・神吉・山田・増味：SWMM法を用いた下水道維持管理支援システム，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，1992。
- 2) 神田・神吉・山田・西山：SWMM法を用いた都市下水道流況予測システム，水工学論文集，第37巻，pp.117-122，1993。
- 3) 田中・栗城・木内：下水道データベースの流出・氾濫解析への適用，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，1994。
- 4) Huber, W. C., Dickinson, R. E. : Storm Water Management Model Version 4, User's Manual, EPA/600/3-88/001a, Environmental Protection Agency, USA, 1988。
- 5) Roesner, L. A., Aldrich, J. A., Dickinson, R. E. : Storm Water Management Model Version 4, User's Manual Extran Addendum, EPA/600/3-88/001b, Environmental Protection Agency, USA, 1988。

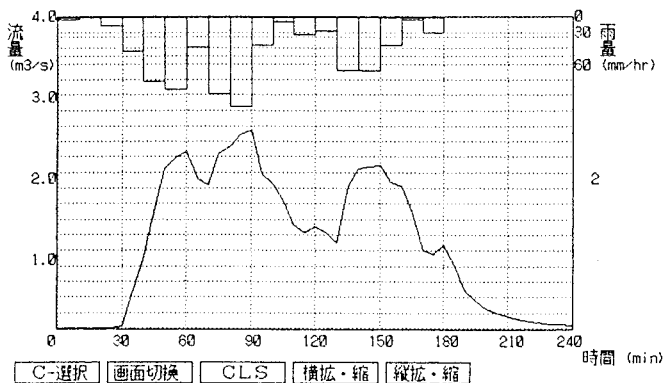


図-8 流量ハイドログラフ