

# 雨水流入量予測システム

坪田 浩治\*

\*日新電機(株) 電子制御事業部  
京都市右京区梅津高畝町47

## 概要

都市化が進につれて不浸透域が増大し、近年、強降雨時の下水管渠の容量不足が深刻な問題とされている。管渠の見直しなどの根本的な解決は困難であり、ポンプ場の効率的な運転により対応することが望まれている。

当社では、下水管渠を水理モデルによりモデル化し、降雨からポンプ場に流達する雨水量をリアルタイムに予測し、オペレータのポンプ運転を支援するシステムを開発した。本システムは5分周期で雨水の流入量をポンプの運転状況とともに予測し、オペレータに最適な運転ガイダンスを与えるものである。システムの中核にはワークステーションを採用し、大容量のデータベースを構築することでポンプ場の全ての情報を長期的に管理・解析することを可能としている。

## キーワード

都市化 不浸透域 下水管渠の容量不足 ポンプ場の効率的な運転 水理モデル  
雨水量を予測 運転ガイダンス ワークステーション

## 1. システムの概要

システムの基本構成をFig.1に示す。心臓部には32bitワークステーションを用い、300MBのハードディスク、音声出力装置、プリンター、ハードコピー装置を周辺装置として接続している。

ハードディスクには降雨量やポンプ場の水位、ポンプの運転状況などを分単位データ3カ月、時間単位データ3カ月、日単位データ13カ月分を保存する。これによりポンプ場の日報・月報・年報の帳票の作成や長期トレンドの作成を可能にしている。また、予測に用いる基本データと予測結果はRUNデータとして別に保存し、予測モデルの検証や調整を容易にしている。

予測の結果、オペレータに運転ガイダンスを与えるときは、CRT画面によるばかりでなく音声出力装置を用いる

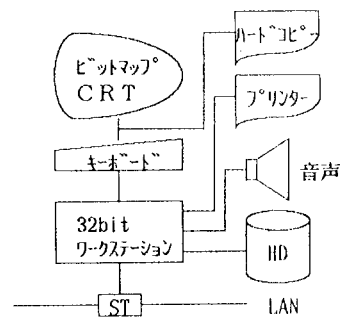


Fig.1 システム構成図

ことで直接的な言語でガイダンスできるようになっている。

## 2. モデルの構成

モデルの構成をFig.2に示す。雨水の流出現象をモデル化するためにあって、降雨が地表流となり下水管支線により集水され主幹線に流出するまでと、主幹線を通してポンプ場に流達するまでとに分離し、前者には流出モデルとしてタンクモデル、後者には開水路と管水路の混在する管渠モデルを用いている。さらに、ポンプ場の雨水貯留・雨水放流を表現するため、水量収支によるポンプ場モデルを組み立てて用いている。

**タンクモデル** タンクモデルとは、降雨地域を下水管支線系統によりいくつかのブロックに分け、そのブロックからの雨水流出をFig.3に示すような仮想のタンクによって近似しようとするものである。

降雨による雨水は一時タンクに貯えられ、タンクの側面と底面にある流出孔から徐々に雨水が流出するものとする。側面から流出するものを主幹線への流出、底面から流出するものを浸透としている。

タンクモデルは近似精度によりタンクの段数と貯留-流出曲線を選定するが、ここではもっとも基本的な「ひとつのタンクで流出が貯留高に比例する」という一次遅れの指数関数モデルを用いた。

降雨量( $qr$ )、降雨面積( $S$ )、貯留高( $X$ )、主幹線流出量( $q$ )、浸透( $z$ )、減水率( $\gamma$ )、流出係数( $Ct$ )、時間( $t$ )を用いて次のように表わされる。

$$q = \alpha X \quad (2-1-1) \quad \alpha + \beta = \gamma \quad (2-1-4)$$

$$z = \beta X \quad (2-1-2) \quad \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = Ct \quad (2-1-5)$$

$$\frac{dX}{dt} = -(q+z) + qr \quad (2-1-3)$$

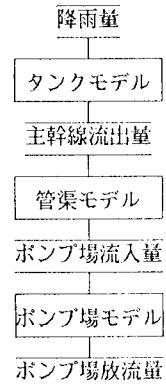


Fig.2 モデルの構成

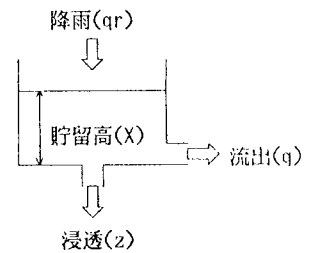


Fig.3 タンクモデル

**管渠モデル** 降雨時の下水管渠は、雨の降り始めの非満管状態から次第に流量が増加しついに満管状態へと流動が変化する。この状態を説明するために次の2つのモデルを用いた。

**非満管状態モデル**…下水管渠が非満管状態で自由表面を持った流れの場合、その状態は開水路における不定流の運動方程式と連続の式により表現でき、重力加速度( $g$ )、流速( $v$ )、水頭( $H$ )、流量( $Q$ )、流束断面積( $A$ )、伝達係数( $k$ )、距離( $x$ )、時間( $t$ )、系に流入する流量( $q$ )を用いて次のように表わされる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{k^2} = 0 \quad (2-2-1) \quad \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial q}{\partial x} = - \frac{\partial A}{\partial t} \quad (2-2-2)$$

**満管状態モデル**…下水管渠が満管状態の場合、その状態は管水路の運動方程式と連続の式により表現でき、圧力波速度( $a$ )を用いて次のように表わされる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{k^2} = 0 \quad (2-2-3) \quad \frac{a^2}{g} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{a^2}{gA} \frac{\partial q}{\partial x} = - \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2-2-4)$$

管渠モデルにおいては、これら2つのモデルを管渠内の流動状態に応じて使い分ける必要がある。なお、コンピュータ上では蛙跳び法(Leap Frog Method)<sup>1)</sup>により差分方程式に展開して演算させている。

ポンプ場モデル ポンプ場モデルは、ポンプ場の雨水の流入量とポンプの放流量による水量収支に基づくものである。ポンプ場水位(Hp)、流入量(Qin)、放流量(Qout)、ポンプ場断面積(Sp)を用いて次のように表わせられる。

$$S_p \frac{dH_p}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (2-3-1)$$

### 3. モデルへのあてはめ

実際の下水管渠網をモデルにあてはめるには、支線と主幹線の切り分けが必要である。主幹線の選定においては次の2点に留意した。

- ・ポンプ場に至る中心的役割を持つルートとなっていること。
- ・ポンプ場までの到達時間が5分以上で、かつ、総流入量の約50%が把握できる地点を主幹線の始点とすること。

前者は自明であるが後者は管内貯留を表現するために必要な距離を確保することとタンクモデルが細分化するのを防ぐ為である。

こうして選定した主幹線の始点以前をひとつの大きなタンクとしてモデル化し、さらに主幹線に合流してくる支線系統をブロックにまとめ、いくつかの小さなタンクが主幹線に結合される形で全体をモデル化している。(Fig.4)

管渠モデルは差分として解いているが、管渠データとして主幹線を5mのメッシュに切り用いている。演算の単位時間は1秒である。

境界条件として、管渠モデルの始端ではタンクモデルの流量を取り、終端ではポンプ場の水位としている。これにより、ポンプ場の雨水貯留と管渠の雨水貯留をうまく表現できるモデルに仕上がっている。

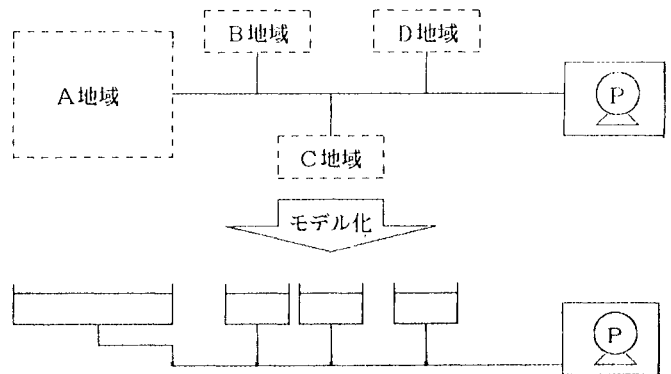


Fig.4 管渠のモデル化

### 4. S市の場合

この度、本システムをS市に納入したが、そのシステム構成はFig.5の通りである。S市の場合、ポンプ場の運転は下水処理場で集中管理される。よって、システムは遠方監視制御装置と接続している。さらに、主幹線始点に管渠内水位・流量計測計を設置し、タンクモデルのパラメータ調節、管渠モデルの検証に用いている。

前述したモデルでモデル化した下水管渠をFig.6に示す。主幹線は5幹線存在し、各々Table 1のようにモデル化した。

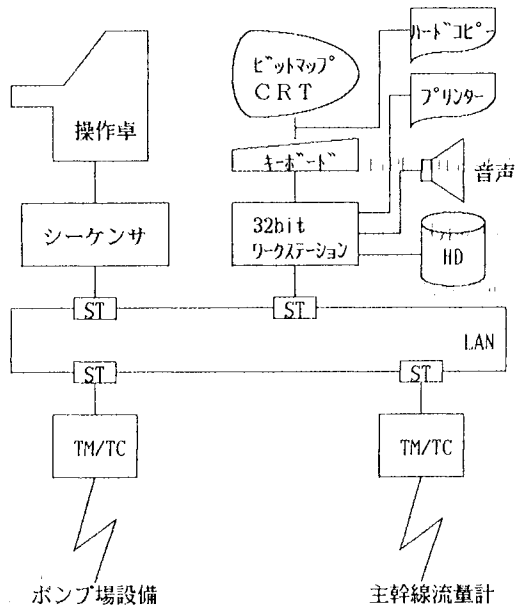


Fig.5 システム構成例 (S市の場合)

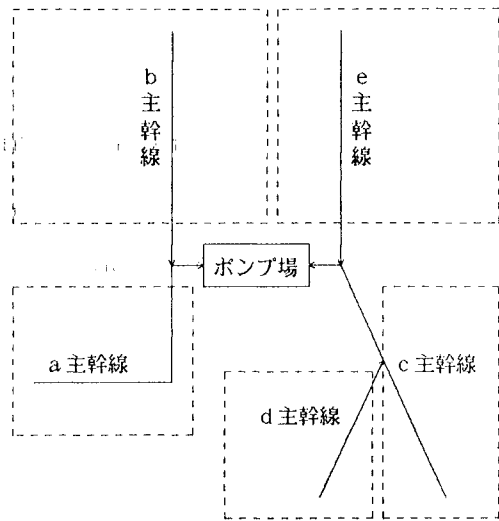


Fig.6 S市の下水管網

Table1 S市の下水管網のモデル化

主幹線	延長(m)	タンクモデル数	終端境界条件
a主幹線	625	7	ポンプ場の水位
b主幹線	390	4	a主幹線の水位
c主幹線	670	6	ポンプ場の水位
d主幹線	470	6	c主幹線の水位
e主幹線	540	4	c主幹線の水位

##### 5. おわりに

本システムはS市において9月に実運転に入ったばかりで実績データが得られなかったことから、今回はシステムの概要を報告するにとどまったが、今後得られるデータを解析し予測の効果や問題点を次回報告する所存である。

##### 参考文献

1. Ballofet A : One-dimensional analysis of floods and tides in open channels, Jour. ASCE, 95, No. HY4 (1969)