

雨水排水シミュレーション システム

新井和敏*

* (株) 荏原製作所 システム技術センター
大田区羽田旭町11-1

概要

流域の市街化等に伴う急激な雨水流出に対応することのできる排水設備や運転方式を策定・評価するためには、流域全体（雨水集水域、導水路、排水設備などを含む）を対象としたシミュレーションを行う必要がある。

本システムは、その種の広域シミュレーションをコンピュータを用い柔軟かつ迅速に行うものであり、排水施設の妥当性検討、実設備における予測制御支援、および運転操作トレーニングなどの用途に利用することができる。

本システムは、雨水流出域、水路、貯水池、ポンプ、制御設備などに対応する各種の機能ブロックを有しており、それらを相互に結合することにより、対象とする雨水排水系に合致するシミュレーションモデルを柔軟に構築することができる。また、CRT画面上に表示された操作ガイドおよび系の挙動のグラフィック出力にもとづき、容易にシミュレーションを実施することができ、また、シミュレーションモデルに含まれる排水機器類を対話式に運転操作（ポンプの起動/停止や、ゲートの開/閉など）することが可能である。

キーワード

流域 治水 雨水流出解析 非定常流 排水設備 シミュレーション 計算機プログラム
ソフトウェア ポンプ

1. まえがき

土木技術等の進歩によって、治山、治水工事が進められ河川の氾濫は近年少なくなりつつあるが、流域の都市化現象や急速な地域開発などによって集中豪雨時には、洪水、浸水の被害はまだ後をたたない。

これらの被害を防止するためには、①雨水流入量予測、②水路や排水設備の整備、③排水機器類の適切な運転操作、などに関連する「予測・計画・検討・評価」を行う必要があるが、対象とする流域は一般に、地形、地表、河川等の天然の条件、および水路、ポンプ設備、ゲート等の人工の条件から構成された大規模な系であり、また豪雨の発生頻度も少なく、再現性も乏しいので、実設備や物理モデルによる実験を行うことが困難である。

この種の複雑かつ大規模な系を総合的に把握し評価するために、近年様々な分野で、数値的モデルを用いた計算機シミュレーションが浸透しつつある。このたび当社では、広域かつ複合的な「雨水流下・排水系」をシミュレートすることのできる柔軟性の高い計算機プログラムFLECS（Plood Estimate & Control Systemの略）を開発したので、以降その内容について紹介する。

2. FLECSの概要と利用用途

比較的単純な雨水排水系の一例をFig.1に示す。この系を例にとると、本システムは、①時間分布雨量（ハイエトグラフ）、②排水対象区域特性（面積、流出率、貯留関数の係数と指数）、③水路の仕様（断面寸法、長さ、勾配、粗度係数）、④ポンプの仕様（流量～揚程特性）、などの条件にもとづき、微小時間ステップきざみで

- (1) 雨水流出計算：時間分布雨量にもとづく、排水対象区域からの雨水流出量の算出。
- (2) 水路内の非定常流況解析：(1)で得られる雨水流出量、および(3)で得られるポンプ排水量にもとづく、時々刻々変化する水路内の流況（水深や通水量）の算出。
- (3) 排水ポンプ設備に対する対話式運転操作（起動や停止操作など）に応じた排水量の算出。

を一貫して実行し、雨水排水系全体の挙動をシミュレートする。そして、系の挙動を示す各種状態量（例えば水位や流量）は、トレンドグラフや水路流況図として、表示画面上にリアルタイムにグラフィック表示される（Photo 1、Photo 2）。

本システムを用いることにより、河川や合流式下水道などの雨水流下・排水系に対し

- 水路からの溢水や水位の異常低下が起こらない。
- 追従性が良く、また異常停止やハンチング等が発生しないよう排水ポンプ類を運転できる。

などの条件を満足する「適切な排水」が可能か否かを即座に知ることができる。よって

- (1) 計画設計：設備仕様（水路の大きさ、ポンプ容量など）の策定や評価、および適切な運転操作や制御方式の立案、治水対策検討。
- (2) 予測制御：実設備の運転に先立ち、予想降雨量に対応するシミュレーション（模擬運転）を実施し、実設備の運転指針を得る。
- (3) 設備運転操作トレーニング：平常時に、まれにしか起こらぬ豪雨を想定しシミュレーションを行い、豪雨時の状況を予備体験するとともに、そのような事態に対する対応策を検討する。

などの用途に本システムを利用することができる。

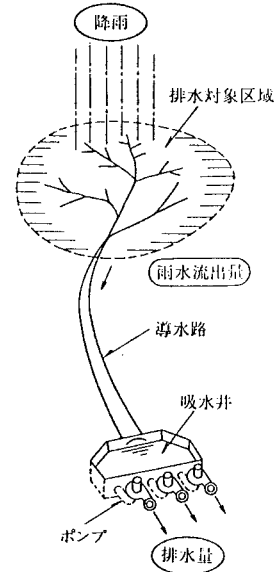


Fig.1 雨水排水系の一例

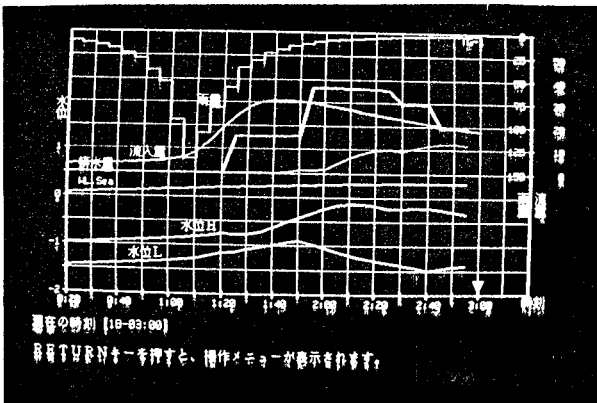


Photo 1トレンドグラフ

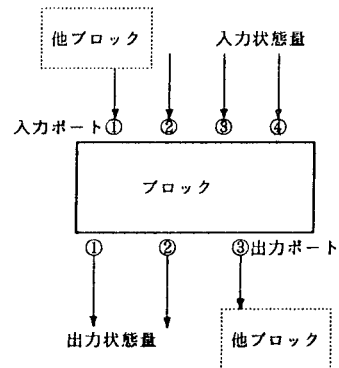


Fig.2 ブロックの概念

3. FLECSの構成と用途

複数の流域からなる雨水排水系のモデル図を、Fig.3に示す。一般にこの種の系は、流域、貯水池、水路、ポンプなどの要素から構成される。これらの要素は、Fig.2に示すように、与えられた入力状態量から出力状態量を算出する機構とみなすことができる。この機構を「ブロック」と呼ぶことにする。

FLECSは、Table 1に示すように、現実の設備や区域に対応する様々なブロックを備えており、これらのブロックを相互に結合することにより、対象とする雨水排水系に合致するシミュレーションモデルを構築することができる。ブロックの相互結合による柔軟なモデル化が可能なので、種々の治水対策ケーススタディを行ったり、地域開発に伴う水路や排水設備などの拡張に対応させ、モデルを更新させていくことができる。

Table 1に示す各種ブロックの特徴は次の通りである。

(1) 流域からの雨水流出量の算定：流出解析手法としては、「貯留関数法」および「修正RRL法」によるものの2種類が準備されており、前者は山間地や農地および下水道未完備な平地を、後者は市街地を扱うのに適している。これらの手法は、実測データ（流出記録）が無い場合でも、推定パラメータ（経験値もしくは雨水流下管路図にもとずき算出した値）を用い流出解析を行うことができるという特徴をもっている。そして流出記録が得られた段階でパラメータを更新し、より現実に近い流況を求めようモデルを洗練させていくことになる。

(2) 水路の流況算定：開水路の非定常流れを支配する偏微分方程式（運動および連続の方程式）を差分法し、それを陽解法（Explicit法）で解くことにより、水路に沿った水深や流量を求めている。なお、任意の断面形状をもつ開水路を扱うことができ、また水路延長上の任意の地点にて水を横流入・流出させよう考慮している。

(3) 排水機器（ポンプ、ゲート、バルブ）：機器の特性（例えばポンプの流量と揚程の関連など）を正確に解析に反映させているので、現実に即したシミュレーションを行うことができる。またシミュレーション実施過程の任意の時点で、排水機器類を対話式に運転操作することができる。

(4) 自動制御設備：ポンプ運転台数の自動切り換えを行うことにより水位を適正範囲内に維持させたり、ゲート開度を自動調節（PID制御）することにより水位または通水量の一定制御を行うことができる。

なお、雨水流出解析手法や雨水排水系構成要素には、様々なものがあり、Table 1に示すだけのブロックで事足りるわけではないが、FLECSは適宜

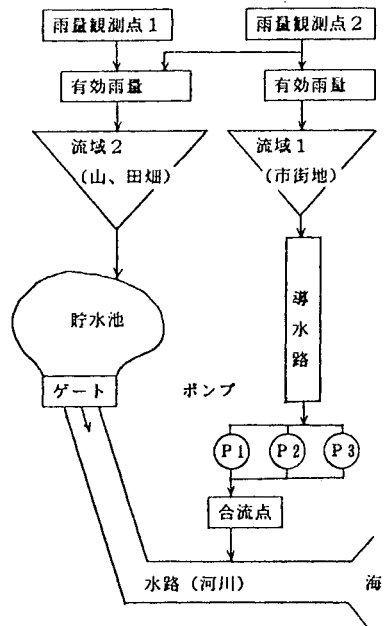


Fig.3 雨水排水系構成要素の結合

Table 1 ブロックの一覧表

ブロック種別	入力状態量	出力状態量
雨量観測点	時間分布雨量 (ハイトグラフ)	①観測雨量 [mm/h]
有効雨量算定	①～⑧観測雨量 at 観測点1～8	①有効雨量 [mm/h] ②流域平均雨量
流域流出量算定	①有効雨量	①流出水量 [m ³ /s]
河道流出量算定	①流入水量	①流出水量 [m ³ /s]
水量合流点	①～⑧流入水量 at 流入点1～8	①流出水量 [m ³ /s] (左記の合計水量)
貯水池	①流入水量 ②流出水量	①水位 [m]
開水路	①上流端水位 or 流量 ②下流端 " "	①水位 [m] ②流量 [m ³ /s]
水路結合点	①水路以外からの水量 ②水路の前時点の状態	①水位 [m]
排水機器： (Pump, Gate)	①上流側水位 ②下流側 "	①排水流量 [m ³ /s]

新たなブロックを追加することができるようなプログラム構造となっている。

4. FLECSの操作要領

FLECSを用いることにより、あたかも実設備を監視・操作すると同等な「対話式操作環境」のもとで、極めて容易にシミュレーションを実施することができる。常に操作ガイドがCRT画面上に表示され、そのガイドにしたがって操作することができるよう考慮されているので、操作説明書などの参照は不要である。そして、シミュレーション実施過程の任意の時点において、以下の操作を行うことができる。

(1) 表示画面切り換え：通常はPhoto 1に示すような「トレンドグラフ」が表示されており各種状態量の時間的変化を把握できるようになっているが、表示画面を切り換えることにより、水路延長方向に沿った水深や通水量の変化を表す「水路流況図 (Photo 2)」や、雨水排水系の主要部分の状況を模式的に表す「全体系統図 (Photo 3)」などを選択表示することができる。一般に事前に定義した複数の図の中から、CRT表示装置の数だけの図を任意に選択し、画面表示することができるよう考慮されている。なお、表示された状態図は、シミュレーションの進行に合わせて時々刻々リアルタイムに変化する。

(2) 機器運転操作：排水系モデル内に含まれるポンプを起動/停止したり、ポンプ回転数を調節したり、ゲートやバルブを開閉させることができる。また、それらの排水機器に対する自動制御装置をオン/オフすることにより、自動/手動切り換えを行うことができる。

5. あとがき

この計算機プログラムは、FORTRAN-77言語を用いて作成されており、主記憶容量約800Kバイトの領域で実行することができる。本プログラムで使用している各種解析手法はすでに確立されている公知の手法であるが、それらの手法を柔軟に組み合わせ一貫したシミュレーションを実施することにより、効率的な治水対策検討が可能となり、また排水機器類の運転操作指針を迅速に得ることができるようになった。

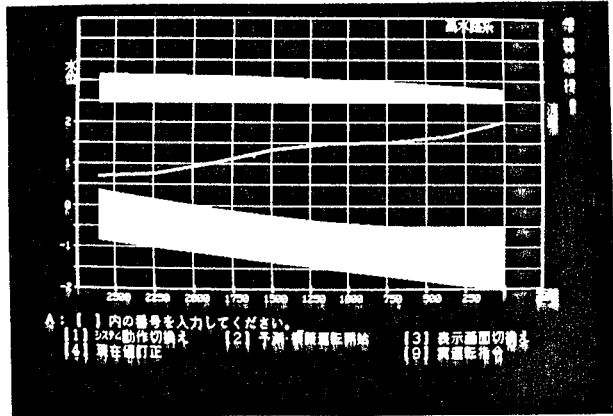


Photo 2 水路流況図

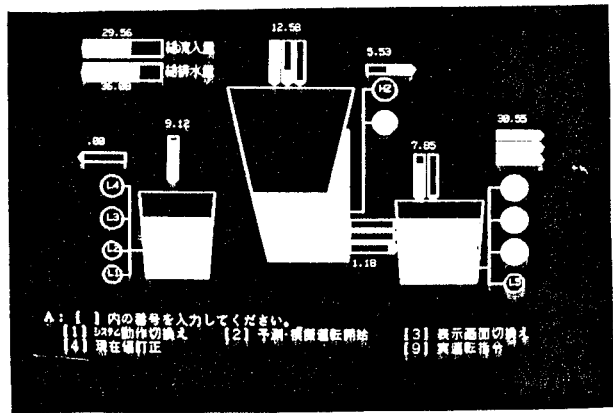


Photo 3 全体系統図