運転変更台数と和を極小化した雨水ポンプ運転 アルゴリズム

正員 小 館 英 實 (東 芝)
正員 関 尚 重 (東 芝)

1. ま え が き

昭和 61 年を初年度とする第 6 次下水道整備 5 箇年計画においては、雨水排水設備の整備にも重点が置かれた予算編成となっている。この整備事業を行うにあたり、処理区域ごとに管渠を布設し、雨水排水機場を設けて、降雨が機場に到達する状況をあらかじめ解析し、ポンプ井に流入した雨水流量をポンプにより適切に排水することが重要である。従来から雨水ポンプは使用されているが、近年の都市化現象に伴い、降雨が大地に浸透することなく、舗装道路や雨樋を経て、直接、地下埋設下水管路に流入してくるようになり、その流量も多量となってきた。そこで、ポンプ運転方法も流入流量の動的変化に対応した、しかも頻繁な運転停止を伴わない寿命を考慮した方法が求められるようになってきた。このためには、ポンプ井への流入流量を把握することが必要であるが、ポンプ井の入側は、通常、複数台ポンプ用の分岐口が並置し、更にその先には大口径管となっているので、流量計を設置できる構造となっていない。また流入流量は降雨に基因するが、その時間変化は自然現象のため再現性がなく、統計的処理では十分な把握とはならない。

流入流量を把握するもう一つの方法として、流出解析がある。流出解析は降雨量 (mm/h) から流量 (m^3/s) を算出する方法である。当初、河川の洪水対策のために、最大流量を算出する Rational (合理) 法が用いられ、次に利水用に時間流量や日流量の動特性を算出するタンクモデル法や貯留関数法などが開発され、近年、都市における住宅密集や舗装道路の普及により、降雨

時に発生する浸水の対策として、この種の解析法が適用されるようになった。後者は河川の場合と区別して、都市流出解析と呼ばれている。前者が大地への浸透を重視するのに対し、後者は不浸透分、すなわち直接流出に着目している点が主な違いである。都市流出解析としては、イギリス Road Research Lab. (道路研究所) の Watkins 氏が開発した RRL 法⁽¹⁾と環境問題の評価に関連したアメリカ EPA (Environmental Protection Agency) が監修した SWMM (Storm Water Management Model) 法⁽²⁾の二つが広く用いられている。RRL 法は作業手順が 5 段階から構成されているが、現在、作図を除く、後半 3 段階がプログラム化されていて⁽³⁾、FORTRAN で約 200 ステップと短い。SWMM 法は水質モデルを含み、全体で 2 万ステップであり、流量解析部のみとした Flow-SWMM⁽⁴⁾でも 4 千ステップである。RRL 法と SWMM 法を比較すれば、前者は流れを一樣流として扱い、最下流点 1 点の流量曲線を算出するのにに対し、後者は不定流で、複数地点の算出が可能である。ポンプ運転法に組み込むためには、秒単位ではなく、分単位の量を扱うので一樣流で良く、短いステップ数が望ましいが、実際の大規模な下水管路網ではポンプ所が複数箇所であったり、連結管路が敷設されたりする。結局、RRL 法を複数地点で算定可能のように拡張することが必要となる。

一方、ポンプ制御装置の周辺技術であるコンピュータ、特にマイクロコンピュータ (MP) が最近、安価で高性能となり、各種の用途に普及してきており、これを装置要素として用いるようになってきた。従来の制御装置には、ラダー図、機能ブロック図などの動作内容表現法が用いられている。ポンプ駆動用電動機をシーケンス制御により、運転台数調整する場合には論理演算であり、ラダー図で表現される。新しい運転アルゴリズムは MP の採用により、論理演算に算術演算や比較処理などを付加して構成することができる。

A New Operational Algorithm of Stormwater Pumps to Decrease at Most Total Number of Changing Pump Sets. By Hidemi Kodate, Member (Heavy Apparatus Engineering Laboratory, Toshiba Corp.) & Naoshige Seki (Electrical Apparatus Engineering Dept.-Public Facilities, Toshiba Corp.).

小館英實: 正員, (株)東芝 重電技術研究所
関 尚重: 正員, (株)東芝 公共電機技術部

このような複合機能の装置に適した図式表現法の一つにペトリネット (PN) 図⁽⁵⁾がある。そこで、複合機能を有する複雑な動作のポンプ運転制御装置を製作するときに、まず制御による状態遷移を十分把握することが必要であり、PN 図の作成を設計の一部に組入れることが有効である。

従来、信頼できる状態量としての水位による運転アルゴリズムが用いられることが多く、また水位変分を加味した改良法もあるが、ポンプ運転台数の変更が多くなるという欠点があった。これは自然現象である降雨が確率的な挙動を示すため、過去から現在までのデータの活用では、十分な対処とにならないことを示している。そこで、この欠点を克服するため、水位と組合せて流入流量算定値を取入れたことと時間区間ごとのポンプ運転台数の増減を高々 1 台に制限することの二点を特徴とする運転アルゴリズムを構築した。以下にまず RRL 法の拡張⁽⁶⁾、運転アルゴリズム作成方法、アルゴリズム評価プログラムの作成⁽⁷⁾について記し、開発環境を整えた⁽⁸⁾ことを説明する。次に、ポンプ運転変更台数之和が極めて少なくなるヒューリスティックを設けて、アルゴリズムを構成し評価プログラムを用いたシミュレーションにより、その効果が大なることを明示する。

2. ポンプ設備構成と運転方法

ある地域に降った雨が地形により川に流れ込む場合、その地域を流域と呼んでいるが、雨水排水システムはこの流域単位に構築される。従って、市町村の行政区画の一部の区域や複数の行政区画にまたがる区域が単位となる。大規模となれば、図 1 のようにポンプ所が流域の最下流の地点ばかりでなく、途中の地点にも設置されることもある。都市の舗装道路に降った雨を除去するための下水管路は地下に埋設され、雨水ポンプ所まで敷設される。ポンプ所に設置されるポンプ

図 1 大規模な下水管路網

Fig. 1. Large-scale stormwater pipe network.

図 2 ポンプ所設備構成

Fig. 2. Components of pumping facilities.

は複数台となっているので、一本の大口徑管を分岐するために流入渠、分布水路を経て複数水路となり、ゲート、整流部、沈砂池、スクリーンを通り、図 2 のようにポンプ井につながっている。

通常、雨水ポンプは計画雨水量、確率年、開発段階などにより容量、すなわち定格流量が決定される⁽⁹⁾。機器定格が定まれば、雨水ポンプはポンプ井の所与の上下限水位範囲を逸脱しないように、水位を適当に保持しながら運転される。本文では、雨水ポンプは以下の構成で運転されているものとする。

- 〔構成 1〕 ポンプは同一定格の複数台設置され、電動機または原動機で駆動される。
- 〔構成 2〕 ポンプ井には水位計が設置されている。
- 〔構成 3〕 ポンプ井の流入側では流量計測をしない。
- 〔構成 4〕 ポンプ吐出量は運転台数を変えることにより調整される。
- 〔構成 5〕 ポンプへの運転停止の指令はマイクロプロセッサを用いた制御装置から発せられる。

水位を検出して運転する場合によく採用される方法としては、一台目について中位水位 H_m よりも高い運転水位 H_{01} と低い停止水位 H_{11} を与え、二台目にはわずかな水位をそれぞれに付加して、運転水位 H_{02} と停止水位 H_{12} として、設置台数すべてについて同様に運転水位と停止水位を設定する方法がある。この場合には、上限水位 H_s 、下限水位 H_n と表せば、 $H_s > \dots > H_{02} > H_{01} > H_m > \dots > H_{12} > H_{11} > H_n$ となる。流入流量が増大して所定の水位を超えれば、ポンプが更に一台運転されるが、その後に流入流量が減少していく場合には、今後は所定の停止水位を下まわることになり、一台停止しなければならない。その後の流入流量の減少を考慮することができれば、運転台数の変更は少なくなる。

3. 運転アルゴリズム開発ツールの作成

〈3・1〉 都市流出解析 RRL 法の拡張 下水管路網とポンプ所からなるシステムでは、節点と有向枝からなるネットワークを構成するが、流量曲線としては、流出解析による曲線、管路内移送時間を伴う曲線、ポンプ運転法に依存した曲線の3種が存在することになる。RRL 法は最初の曲線を出力するものであるから、第二の曲線を含めて出力するようにすることが拡張の内容である。そこで、解くべき問題は以下の三点である。

- (1) 管路内移送時間の計算方法の選定。
- (2) ネットワーク構成からの入力データ作成方法。
- (3) 節点間の先行関係を保持した演算順序の確保。

前出の移送時間面積関係の作成において、等到達時間曲線の作図は流れを一樣流として扱っているので、(1)項も一樣流で計算することにする。(2)項では、ネットワークと流出解析をまとめて扱うので、通常用いられる接続行列が Sparse となることの対策として、接続有の成分のみを Sequential に並べて、必要最小限の成分で入力データを構成することにした。また、その作業は五つの手順にまとめた⁽⁸⁾。この結果、得られたネットワーク図は下水管路網についての平面的なものに流出解析を加えたので、立体的ネットワークと呼ぶことができる。(3)項については、入力のない出力節点をまず計算してから、先行関係を有する入出力節点の計算に入れば良いことになるが、節点の上下流関係を確認するための計算順序決定サブルーチンプログラムを作成した。

図3は立体的ネットワークの一部で、任意の入出力節点 i に接続する節点関係を表しているが、同図で離散時刻 k における連続の式が成立つ。

図3 節点 i の入出力関係

Fig. 3. Input/output connections of node i .

$$= \left(\sum_{n=1}^{n=N_i} d_{in} \right) Q_i(k) \quad (1)$$

ここで、 J_i 、 M_i 、 N_i ：節点 i に接続しているそれぞれ流出解析流量本数、入力節点数、出力節点数、 $Q_i(k)$ ：節点 i の流量、 $R_j(k)$ ：出力節点 j の流出解析流量、 K_{mi} ：節点 i の入力節点 m からの所要時間で演算周期時間の整数倍に量子化した時間、 d_{ji} 、 d_{mi} ：それぞれ節点 i の入力節点 j 、 m の入力分配係数、 d_{in} ：節点 i の出力節点 n の出力分配係数。

従って、右辺の $Q_i(k)$ の係数である出力分配係数と1となる。分配係数の決定は一樣流として扱うときには、分岐管路の管径とこう配から流速を計算して、これに比例させることも一方法であるが、必要に応じて不等流解析を採用すればより正確になる。

〈3・2〉 ポンプ運転アルゴリズム作成方法

(1) 運転アルゴリズム作成順序 対象システムにおいては、ポンプ井が貯蔵容量を有しているので、ある一定の時間周期ごとに状態の調整をすれば良いことになる。この調整は制御器〔構成5〕で行うことになるが、制御器は運転アルゴリズムを内蔵し、それによってポンプ吐出量を演算して、必要に応じてポンプの運転停止指令を発する。この場合、演算周期時間 T_c (min) を決定しなければならないが、上限水位と下限水位がそれぞれ H_x (m)、 H_n (m)、ポンプ井底面積 A (m²)、ポンプ単機定格吐出量 Q_c (m³/s) が与えられているので、ポンプ容量比 V_p を次式で定義すると便利である。

$$V_p = \frac{60.0 Q_c T_c}{(H_x - H_n) A} \quad (2)$$

この V_p はポンプ1台で単位演算周期時間 T_c に排水できる水量のポンプ井容積に対する比を表すもので、換言すれば、ポンプ1台で時間 T_c だけ排水したときに生じる水位低下高さをポンプ井の所与の許容変動水位高さ $(H_x - H_n)$ に対する比で表したものである。所与のデータ Q_c 、 H_x 、 H_n 、 A に対し、 V_p を与えれば時間 T_c が決定される。 V_p をある値、例えば0.2に保つときには、 Q_c が大きければ T_c は小さな値となる。実際には、 T_c は計算値の端数を四捨五入して整数値とする。

運転アルゴリズムは従来から単純で強靱なものが使われているが、これは装置の経済性、部品の故障率、その他の理由による。MP を用いれば、これらの理由はすべて解決されるが、複雑なアルゴリズムの採用には、その作用を事前に十分検討しておかなければ

ならない。そこで、複雑なアルゴリズムを含む種々なアルゴリズムを作成する順序として、以下の6ステップからなる方法を構成した。

- 〔順序1〕 所要入力データを収集する。
- 〔順序2〕 (2)式から演算周期時間 T を決定する。
- 〔順序3〕 運転アルゴリズムを多数案出する。
- 〔順序4〕 案出アルゴリズムによるシステムの状態遷移を PN 図に描き、十分検討する。
- 〔順序5〕 検討したアルゴリズムごとにサブルーチンプログラムを作成する。
- 〔順序6〕 シミュレーションを実行し、評価指標結果を比較して最良のものを選定する。

〔順序1〕の所要入力データは対象システムが与えられれば定まるシステム定数、降雨量曲線のように数種類必要なシステム変数およびシミュレーション条件の三種がある。最後の条件の中には、シミュレーション時間が含まれるが、これは入力データである降雨量曲線の降雨持続時間に総降雨量に比例させた数時間を加算して決定される。

(2) ペトリネット図の活用 PN 図は Petri 氏が考案した図式表現法で、bipartite directed multigraph である⁽⁵⁾。すなわち、節点が場所 (Place) と遷移 (Transition) に二分され (二部グラフ)、これらが有向枝により交互に連結され、1 節点の入力枝と出力枝がともに複数本で構成される図である。PN 図の構造 S は場所 P 、遷移 T 、入力 I 、出力 O の4要素からなり、 $S = (P, T, I, O)$ と表すことができる。場所 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ($m \geq 0$)、遷移 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ ($n \geq 0$) で、これらの共通部分はないから、 $P \cap T = \emptyset$ 。入力関数 $I: T \rightarrow P^B$ 、出力関数 $O: T \rightarrow P^B$ と表されるが、これはともに遷移集合から場所の多重集合 (P の添字 B は Bags (多重) の意) への写像であることを示している。PN 図に属するもので、入力枝と出力枝が一本ずつに制限されている Marked graph と Finite state machine は、図4に示すようにそれぞれ場所と遷移を中心にしており PN 図は遷移を中心にして、複数本の入力枝と出力枝を介して場所と連結する構成となっている。

PN 図の応用は非同期的取扱いが可能であるから、連続的システムよりも離散的システムが多く、順序的動作にも、並進的動作にも適用できるので、大規模な計算機システムや FA (Factory Automation) システム⁽¹⁰⁾を主な対象としており、更にその適用範囲が拡大している。前出(順序4)において用いられる PN 図は上記の基本的構造のものであるが、アルゴリズムに

図4 ペトリネット図

Fig. 4. Petri net graphs.

よっては、タイマ、排他的 OR などを使用するほうが便利となるので、そのときには拡張 PN 図⁽⁵⁾を適用することになる。

(3.3) 運転アルゴリズム評価プログラム

(1) プログラム構成 雨水ポンプの運転アルゴリズムを評価するときに、ツールとして使用するプログラムはシステム定数を与えれば、演算周期時間ごとに流入流量に対してポンプ吐出量を決定して、水位変化を算出する必要がある。図5はプログラムの全体流れ図である。流入流量は都市流出解析拡張 RRL 法により算出することで得られるが、下水道が未整備の場

図5 プログラムの全体流れ図

Fig. 5. General flow chart of the program.

合をも考慮して、入力データを与えることもできるようにしてある。この解析を行うときには、前述のように対象流域のシステム定数を入手して、作図し、降雨量曲線を入力する。ポンプ吐出量の決定は運転アルゴリズムによる。1回に比較できるアルゴリズムの最大個数は半ダース(6)とした。ポンプ井水位計算は演算周期時間 T_c ごとに行われ、離散時刻 k について以下の式を用いる。

$$h(k) = h(k-1) + (q_i(k) - q_o(k))T_c / 60.0 / A \quad (3)$$

ここで、 $h(k)$: ポンプ井水位 (m)、 $q_i(k)$ 、 $q_o(k)$: それぞれポンプ井の流入と流出の流量 (m³/s)、 A : ポンプ井底面積 (m²) で通常水位に依存しないが、依存する場合には $A = A(h)$ の関係を調べておけば良い。

(2) アルゴリズム評価指標選定 ポンプ運転アルゴリズム評価指標の演算のために、まず評価指標を選定しなければならない。前述のポンプ設備構成に適するものとして、以下の三指標を用いることにした。

〔指標1〕 ポンプ井水位の上下限水位範囲逸脱回数。

〔指標2〕 ポンプ運転変更台数。

〔指標3〕 演算周期ごとのポンプ運転台数。

計量の方法として、〔指標2〕の変更台数とは回数ではなく演算周期ごとの変更台数をシミュレーション時間にわたり加算した値、すなわち台数である点が重要である。これら三指標で最も重要なものは〔指標1〕で、数十年に1回しか発生しないような大雨の場合を除き、零となって初めて一方法として認められることになる。〔指標2〕は入力データの降雨量曲線に大きく依存するので、絶対値はあまり有意でないが、相対値が重要で小さい値のほうが望ましい。〔指標3〕は排水した水量に比例すると考えられるので、この値の多少は消費電力の多少を表すと理解できる。この値も相対値に意味があり、小さいほうが良いと言えるが、多少大きくとも浸水防止が達成されれば良いことになるので、その良さの程度が〔指標2〕に比し、弱いと言える。

4. 運転変更台数と極小化アルゴリズム

〈4.1〉 ヒューリスティックの設定 ポンプ運転状態を演算周期ごとに調整する場合、ポンプ井水位を所定の許容変動水位範囲内に保持することが留意すべき第一点である。更に、従来の水位のみによる方案の欠点であるポンプ運転台数の変更回数が多くなる点を克服する方策を考える。水位変化を抑えるためには、

(3)式からわかるようにポンプ吐出量は流入流量に等しい流量とすることであるが、前記〔構成4〕のため吐出量が量子化値をとり、流入流量に近い値をとることになる。このために水位変動が生ずることになり、演算周期において水位修正が必要となる。ここでは、水位修正は水位が中位水位 H_m に近い範囲であれば不要であると考えられるから、水位の許容変動範囲を上から、第一上位域、第二上位域、第二下位域、第一下位域の4域に分け、第一上位域と第一下位域のときに行うことにした。次に、運転変更台数と極小化を考える。演算周期ごとに行う吐出量演算は流入流量に水位修正分を加算して得られる値をポンプ単機定格吐出量で量子化するが、水位修正を一演算周期ごとに行うのではなく、その以後の複数の演算周期を含めた周期で行えば良いことにした。この実現のためには一周期前の運転台数と比較して増減台数を高々1台とし、しかも1台増加(減少)するときには、水位が上(下)位域にあるときのみに制限することというヒューリスティックを設けた。

〈4.2〉 ペトリネット図による検討 前章の極小化アルゴリズムは算術演算、論理演算、比較処理などを含んだ複雑なものである。このPN図をポンプ設置台数3台の場合について示したものが図6である。表1は図6中の場所に関する内容説明である。入力デ

表1 ペトリネット図の場所説明

Table 1. Scenario on places of the petri net graph.

p 1	時刻 (k-1) でポンプ井水位第1下位域
p 2	時刻 (k-1) でポンプ井水位第2下位域
p 3	時刻 (k-1) でポンプ井水位第2上位域
p 4	時刻 (k-1) でポンプ井水位第1上位域
p 5	時刻 (k-1) でポンプ井水位下位域
p 6	時刻 (k-1) でポンプ井水位上位域
p 7	時刻 (k-1) でポンプ井水位調整分考慮なし
p 8	時刻 (k-1) でポンプ井水位調整分考慮あり
p 9	時刻 (k-1) でポンプ3台運転
p 10	時刻 (k-1) でポンプ2台運転
p 11	時刻 (k-1) でポンプ1台運転
p 12	時刻 (k-1) でポンプ0台運転
p 13	時刻 (k) で流出解析による流入流量予測値
p 14	時刻 (k) でポンプ運転台数算定
p 15	時刻 (k) でポンプ3台運転
p 16	時刻 (k) でポンプ2台運転
p 17	時刻 (k) でポンプ1台運転
p 18	時刻 (k) でポンプ0台運転
p 19	時刻 (k-1) に対する時刻 (k) のポンプ運転台数3台減
p 20	時刻 (k-1) に対する時刻 (k) のポンプ運転台数2台減
p 21	時刻 (k-1) に対する時刻 (k) のポンプ運転台数1台減
p 22	時刻 (k-1) に対する時刻 (k) のポンプ運転台数増減なし
p 23	時刻 (k-1) に対する時刻 (k) のポンプ運転台数1台増
p 24	時刻 (k-1) に対する時刻 (k) のポンプ運転台数2台増
p 25	時刻 (k-1) に対する時刻 (k) のポンプ運転台数3台増
p 26	時刻 (k) でのポンプ運転台数1台減に決定
p 27	時刻 (k) でのポンプ運転台数増減なしに決定
p 28	時刻 (k) でのポンプ運転台数1台増に決定

図 6 極小化アルゴリズムのペトリネット図
Fig. 6. Petri net graph on the algorithm.

ータは縦六角形で表しており、時刻 $k-1$ の水位と運転ポンプ台数の二種と時刻 k の流入流量予測値である。場所としては、水位は 4 水位域に分かれているから、場所 $p1 \sim p4$ で示し、台数は 3 台から 0 台までの四つの場所 $p9 \sim p12$ であり、流入流量は場所 $p13$ となっている。出力データは横六角形で示していて、1 台減、増減なし、1 台増の三つの場所 $p26 \sim p28$ である。いま、時刻 $k-1$ の水位が第 2 上位域 ($p3$) にあり、運転台数が 2 台 ($p10$) であったとすれば、場所 $p6$ と $p7$ が生き、時刻 k の流入流量が算出 ($p13$) されれば、水位修正分を考慮せずに ($p7$)、台数演算 ($p14$) を行い、時刻 k の台数が決定される (p

15~p 18)。決定台数が 1 台 ($p17$) のときには、 $p10$ との組合せで 1 台減 ($p21$) となり、 $p6$ との組合せから台数増減なし ($p27$) が出力される。時刻 $k-1$ と時刻 k のポンプ運転台数差は、ポンプ設備台数 N 台のときには、 $-N, -N+1, \dots, 0, \dots, N-1, N$ まで、 $2N+1$ の場合となるが、3 台のとき ($N=3$) では、七つの場所 $p19 \sim p25$ が対応している。

〈4.3〉 シミュレーション結果 常用ポンプ 3 台のシステムを対象として、表 2 に示すように降雨事象 I~V の 5 ケースについて、従来の水位のみによる運転方法 (S 法と略記) と変更台数和極小化アルゴリズム (K 法と略記) とを比較するシミュレーションを行った。演算周期時間は 10 分でポンプ容量比 V は 0.187 である。図 7 は一例として、第一のケースの結果を示している。同図には降雨量、流入流量、ポンプ吐出力、水位の四種の曲線があり、後二者は S 法 (実線) と K 法 (破線) の 2 本ずつあるから、合計

表 2 シミュレーション結果の三指標値比較

Table 2. Comparison on 3 evaluation indices of simulation results.

事象番号	降雨量 (mm)	降雨時間 (h)	方 法	指標 1	指標 2	指標 3
降雨事象 I	49	14	S 法	0	22	67
			K 法	0	5	65
降雨事象 II	20	19	S 法	0	14	20
			K 法	0	10	17
降雨事象 III	20	12	S 法	0	12	17
			K 法	0	8	15
降雨事象 IV	17	10	S 法	0	10	14
			K 法	0	7	13
降雨事象 V	13	11	S 法	0	6	8
			K 法	0	4	7

図 7 シミュレーション結果例 (ケース I)
Fig. 7. An example of simulation results (case I).

図 8 等到達時間曲線

Fig. 8. Equi-travel time curve.

6本の曲線が示されている。流入流量の算定のための拡張 RRL 法の第 1, 第 2 段階の雨水排水地図データ収集と等到達時間曲線作図の人手作業を実施して、入力データを作成した。図 8 はその作図例である。表 2 の指標 1 の欄はすべて零となっている。指標 2 の変更台数とは、図 7 の S 法では変更回数は 19 回であるが、時刻 6:20, 8:40, 9:00 の 3 回において 2 台変更となっているので、変更台数は 22 台となる。運転の難しさ、すなわち変更台数の多少は降雨量曲線に大きく依存するが、すべてのケースにおいて後者の K 法が少なくなっていて、この方法は降雨の確率的挙動の対策として、効果的であると言える。

5. ま と め

最近、急速に普及してきた安価で高性能な MP を装置要素として活用すれば、算術演算、論理演算、比較処理などを複合させた、より良いアルゴリズムによるポンプの運転が可能となってきている。その一例として、雨水ポンプを台数制御により運転する場合、降雨量曲線の非再現性による運転台数の変更がひんぱんとなることを克服したアルゴリズムを開発した。演算周期ごとのポンプ運転台数の増減を高々 1 台とし、しかも増加（減少）のときは水位が上（下）位域にあるときのみ制限するヒューリスティックを設けた。このポンプ運転変更台数極小化アルゴリズムを用いてシミュレーションを行い、その効果が大きいことを明示した。この場合、複合アルゴリズムは水位のほか流入流量を用いることが望ましいが、現状では下水

管路にて流量の計測を行っていない。そこで、流出解析の一方法である RRL 法を大規模な下水管路網に適用できるように拡張して、流入流量の活用を可能とした。また複合アルゴリズムは案出した多数の中から、評価により選定することになるので、6 ステップからなる順序を定めた。この第 4 順序の案出アルゴリズムの検討では、離散的システムの状態遷移表現法である PN 図を作成して、複雑なシステムの状態遷移内容を容易に確認できるようにした。

今後の課題としては、流出解析の入力データ作成における人手作業の作図の支援プログラム作成、短時間周期降雨量曲線予測、その他が残されている。後者は現在、数時間で総降雨量を予測することが行われているが、演算周期時間に等しい時間周期（例えば 10 分間隔）で予測するもので、このためにレーダ雨量計の活用⁽¹¹⁾も考えられている。レーダ雨量計は雨水排水対策の基本的データである降雨量を広範囲にわたり適確に把握するための有効な装置であり、今後、これらを統合した浸水防除システムの実現が待たれる。

(昭和 61 年 12 月 1 日受付, 同 62 年 3 月 31 日受付)

文 献

- (1) M. L. Terstriep, et al.: "Urban Runoff by Road Research Labo. Method", J. of Hydraulics Div. (ASCE) 95, HY-6, 1809 (1969-11)
- (2) W. C. Huber, et al.: "Storm Water Management Model—User's Manual (V-II)", Report No. PB 257-809 (NTIS) (1975-3)
- (3) 建設省都市局下水道監修: 「合流式下水道越流水対策と暫定指針」, 日本下水道協会, p. 29 (昭 57-7)
- (4) 小館・出口: 「Flow-SWMM プログラム」, 第 20 回下水道研究発表会講演集, p. 109 (1983-5)
- (5) J. L. Peterson: Petri Net Theory and the Modeling of Systems (1981) Prentice-Hall
- (6) 小館・石崎: 「多地点都市流出解析用拡張 RRL 法プログラム」, 昭 60 土木学会第 10 回電算機利用に関するシンポジウム, p. 23
- (7) 小館・関: 「ポンプ運転法評価プログラム」, 昭 61 電気学会全大, p. 1923 (1986-4)
- (8) 関・小館・蔵内: 「都市流出解析を用いた雨水ポンプ運転法」, 東芝レビュー, 41, 425 (昭 59-4)
- (9) 村田・佐藤編: ポンプ場の設計と考え方 (下水道講座 3), (昭 51-1) 鹿島出版会
- (10) 小館: 「機械加工ショップ状態遷移表現へのベトリネット図の適用」, オペレーションズリサーチ, 21, 45 (昭 59-12)
- (11) 畑・石川・小林: 「東京都災害情報システム」, 東芝レビュー 39, 596 (昭 59-6)