

仲田 雅司郎
NAKADA Masajiro

初鹿 行雄
HATSUSHIKA Yukio

長岩 明弘
NAGAIWA Akihiro

下水道の社会的責務は、大きく分けて①環境保全のための汚水の浄化と、②市民とその財産の安全確保のための雨水の排除の二つに分けることができる。この両者に大きな影響を与えるのが雨水の挙動である。この雨水の挙動は、近年の都市部の道路の舗装率の向上などにより、保水能力が低下し、流出量の増大や到達時間短縮化へと変化し、下水道の維持管理を非常に困難なものとしている。当社の雨水排水システムは、利用目的により雨量計や流量計の計測情報を適切に選択し、降雨移動予測、流出・流下計算、ファジィ制御などの高度な情報処理技術と組み合わせることにより、この問題の軽減・解決を可能としている。

Sewage systems have two important public functions: to protect the environment from waterborne pollution, and to prevent flooding resulting from rainstorms. Rainwater movements affect both functions. The capacity of water-holding basins has recently been decreasing due to the expanding area of paved roads. As a consequence, the operation of sewage facilities has become very difficult due to the increasing quantity and sudden arrival of rainwater runoff.

We have developed system technologies for rainwater drainage in which information from rain gauges and/or flowmeters is appropriately gathered according to the purpose of use, and a combination of advanced information processing technologies is employed including rainfall movement forecasting, runoff and flow calculation, and fuzzy technologies. These system technologies permit the alleviation of the problems mentioned above.

1 まえがき

道路の完全舗装化や高層ビル化が進んだ都市域では、雨水の大部分が下水道経由で河川や海に流出する。そのため、局所的な集中豪雨による浸水被害、いわゆる都市型水害を招く傾向にあり、発生した雨を的確に処理できる雨水対策が重要な課題になっている。

また、夜間勤務の軽減など労働環境の変化や厳しい財政状況下での維持管理費の削減により、ポンプ場の運転・保守管理は少人数制あるいは無人化へと急速に進んでいる。この省人化の流れもあり、雨水貯留管などの土木的な施設整備計画とともに、施設整備に依存しない既存の雨水排水施設を最大限に活用したシステム技術が求められている。

ここでは、降雨情報を基にポンプ場の安全で効率的な運転管理を支援する雨水情報システムとファジィ制御を導入した雨水ポンプ自動制御システムについての実施例を紹介する。

2 下水道システムの雨水対策

下水道分野の降雨時の問題には、雨水自体が原因となる浸水被害と、二次的に影響を与える放流水の水質問題がある。浸水の防除を目的とした現在(1996年度末)の全国の施設整備水準は、計画確率降雨に対しその対象区域面積の整

備済区域面積で示す雨水対策整備率で47%であり、21世紀初頭には100%とすることを目標に整備が進められている。また、情報整備による改善として雨水対策の基本となる気象情報なども利用されているが、施設の有効利用という観点での適用は、ごく一部に限られている。

2.1 施設整備

雨水対策を図るための施設整備として、雨水を速やかに排除する方法と雨水の急激な流出を抑制する方法が採られている。このため、前者では雨水管渠(きよ)の整備、後者では貯留・浸透施設の整備が進められている。この導入効

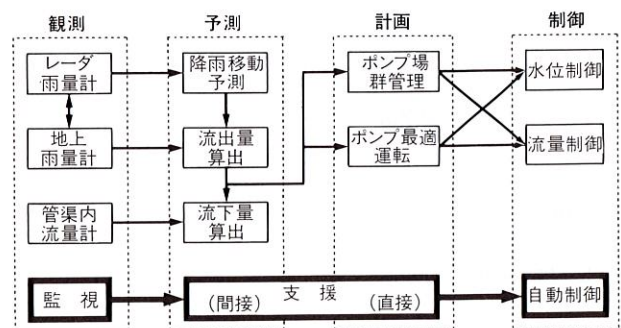


図1. 雨水対策とシステム制御技術 雨水対策を実施するためには、観測技術、予測技術、計画化技術、制御技術の密接な連携が必要となる。

System technologies for rainwater drainage

果は確実であるが、これらの施設の整備には膨大な費用や長い期間が必要となる。

2.2 情報整備

情報整備の観点からは、降雨情報や管渠内水位情報を有効に活用し、被害を軽減するための早期人員配備や施設の効率的な運用を実現する。一般的にこれらの情報には、つねに測定誤差が含まれているので、この誤差を低減させ、かつ誤差が発生した場合の対応を事前に考慮しておくことが重要である。近年の技術革新により、誤差要因の多くは解決され、これらの情報はより有効なものとなっている。

現在は、これらの情報の導入における有効性が実証されつつあり、その次の段階として適用範囲をどのように広げるべきかを検討する時期になっている。図1に雨水対策におけるシステム制御技術を示す。

3 雨水排水支援システム

一般的に雨水排水支援システムには、運転操作に関連する情報を提示するレベルのものと、運転操作機器に関する直接的な情報を提示するレベルのものが導入されている。

3.1 降雨移動予測

降雨予測は、図2に示す手法が一般的に知られている。

これらの手法のうち、下水道分野の雨水排水を目的としたリアルタイムの短時間予測が必要となるシステムに適しているのは、運動学的な手法である。運動学的手法としては、相互相関数法、雨域追跡法、移流モデルによる手法などが知られている。降雨の変化は移動だけでなく、雨域の大きさや強さも変化しているため、これらの要素や目標とする予測時間を考慮したうえで、上記の手法を適用していく必要がある。降雨域の移動方向の算出例を図3に示す。

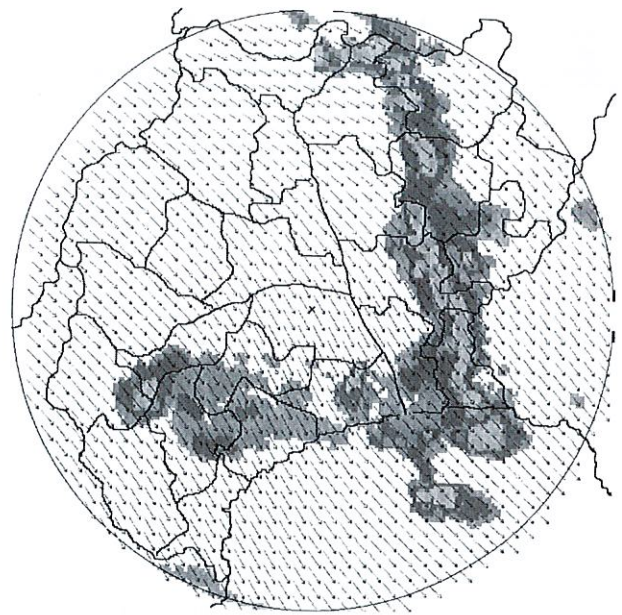


図3. 降雨移動予測の表示画面例 画面上の矢印が移動の方向と速度を表している。

Example of rainfall movement forecast display

の下水道分野では、表面流出以外が無視できるため、単成分型が適用されている。この手法としては、合理式、修正RRL (Road Research Laboratory: 建設省土木研究所が開発) などの手法が適用されている。

当社では、対象領域の拡大や幹線流下、ポンプ場パラメータを加味できる拡張RRL法を適用している。この手法の流出量算出では対象領域をいくつかの部分領域に分割し、部分領域ごとに地域の不浸透面積、貯留特性、流下時間などを基に算出し、流下量算出では移送モデルと貯留モデルの両者を組み合わせ、ポンプの稼働状況を加味して計算できるようにしている。流入量算出の概念を図4に示す。

ポンプ場への流入量は、管渠自体が貯留状態となる場合もあり、流下量だけでなくポンプの稼働状況にも大きく左右される。したがって、貯留部に対する流入量が運転管理上重要となっている。

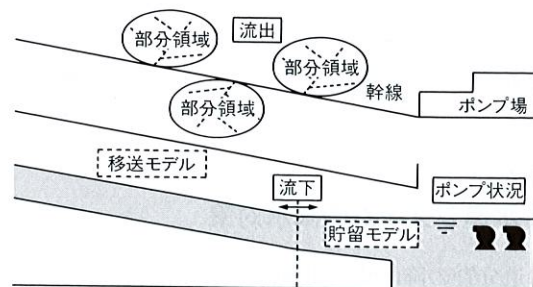


図4. 流入量算出の概念 流入量は、雨水の流出・流下、ポンプ場稼働状況からリアルタイムに算出される。

Concept of inflow calculation

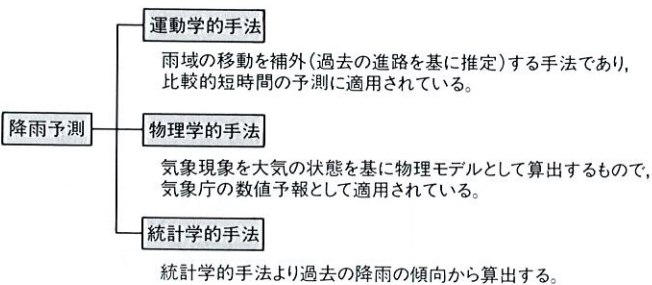


図2. 降雨予測手法 下水道分野の雨水排水を目的としたシステムには運動学的手法が適している。

Rainfall forecasting method

3.2 流出解析

流出解析には、表面流出だけを扱う単成分型と、中間流出および地下水流出まで扱う多成分型がある。日本の都市

3.3 ポンプ運転計画

雨水ポンプの運転は、ポンプ容量などにもよるがその立上げに数十秒から数分程度かかる。また、雨水の流入量は降雨状況により急激に変化し、場合によっては数分程度で浸水が発生することがある。このため、操作員は流入量の変化をポンプ井の水位変化やポンプ場に設置してある地上雨量計の観測状況から事前に判断し運転する必要があり、極度の緊張を強いられている。

ポンプ運転計画は、流出解析により求められた貯留部の流入量からポンプ特性などを考慮し、運転準備時間の確保、運転方法の改善による相対的な施設能力の向上、動力費の低減などを実現する。

ポンプ運転計画の支援画面例を図5に示す。

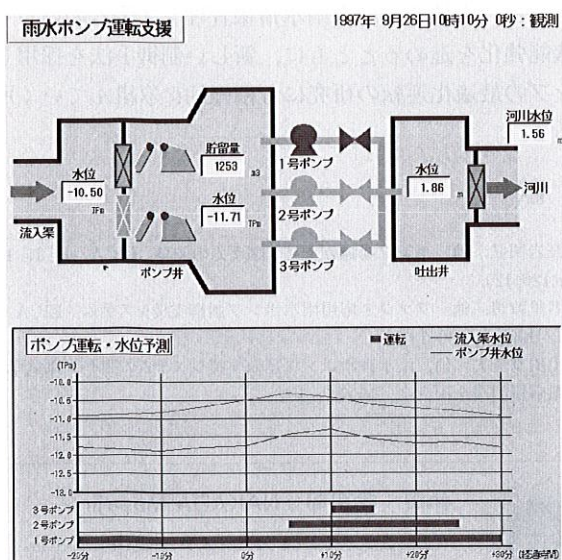


図5. ポンプ運転計画の支援表示画面例 流入流量に応じて、事前にポンプの運転指示を提示し、操作員が余裕をもって運転させることができる。

Example of pump operating plan support display

4 雨水ポンプ自動制御システム

ポンプ場は雨水を排除して、汚水を処理場施設に中継する機能をもつが、流入する汚水・雨水に追従したポンプ能力の確保が必要である。従来の雨水ポンプ自動制御では、ポンプ台数、ポンプ回転数または吐出弁開度などを制御要素として、ポンプの起動水位が固定的なポンプ井の水位制御が一般的であった。これでは雨天時の急激な流入量変化に対応できず、運転員の手動介入を必要としていた。

そこで、“水位が高い”や“水位上昇が早い”など、人間の感覚的な量を制御に使い、ポンプの起動水位を感覚的に下げて、早めに雨水排水を行うファジィ制御を導入した。

4.1 ファジィ制御機能の構成

制御対象は4台の固定速ポンプと吐出弁であり、ファジィ演算機能をもつプロセスコントロールステーション (PCS) によりポンプの運転台数と吐出弁の開度を制御する。図6にファジィ制御機能の構成を示す。

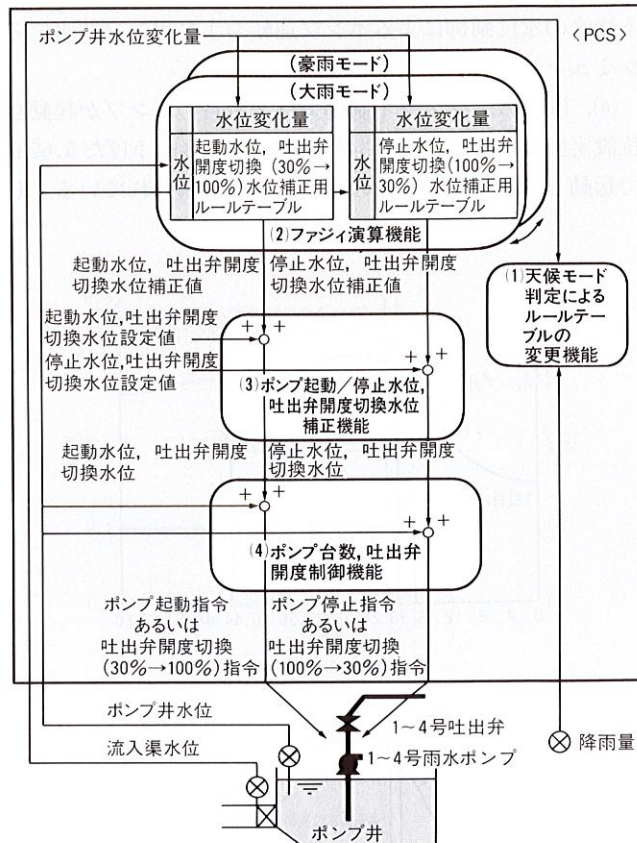


図6. ファジィ制御機能の構成 天候が通常モードの場合は、ファジィによる補正はしない。

Configuration of fuzzy control function

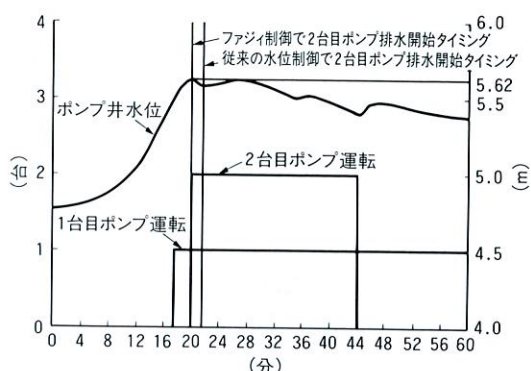
- (1) 天候モード判定機能 ポンプ場内に設置された雨量計からの降雨量と流入渠の水位により、現状の天候が通常、大雨、豪雨の3モードいずれであるかを判定する。その判定結果によって、大雨、豪雨のときにルールテーブルを自動的に切替える。
- (2) ファジィ演算機能 大雨、豪雨のときにはポンプ井水位とポンプ井水位変化量を入力して、ポンプ起動/停止水位設定値および吐出弁開度切換水位設定値に対する補正量をファジィ演算する。
- (3) ポンプ起動/停止, 吐出弁開度切換水位補正機能 ポンプ起動/停止水位, 吐出弁開度切換水位設定値と設定値に対する補正量により、ポンプ起動/停止水位と吐出弁開度切換水位を決定する。
- (4) ポンプ台数, 吐出弁開度制御機能 ファジィ演算

により求められた設定水位と実際のポンプ井水位を比較して、該当するポンプの起動指令、停止指令および吐出弁の開度切換指令を出力する。

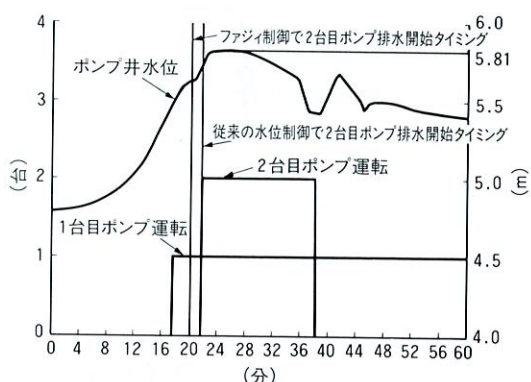
4.2 評価結果

図7に評価結果を示す。図7(a)が天候モード判定で大雨と判断された日のファジィ制御によるポンプ運転およびポンプ井水位の変動実績である。図7(b)が同日の降雨に対する従来の水位制御によるポンプ運転およびポンプ井水位のシミュレーション結果を示す。

(a), (b)から、ファジィ制御では2台目のポンプが起動水位設定値である5.7 mから補正により0.08 m下げた5.62 mで起動しており、その後の水位上昇が抑制されている。し



(a) ファジィ制御の場合



(b) 従来の水位制御の場合

図7. ポンプ運転とポンプ井水位の変化 ポンプ井水位の最高値は、ファジィ制御の場合が5.62 m、従来の水位制御の場合が5.81 mで、ファジィ制御のほうが抑制されている。

Changes in pump operation and pumping level using fuzzy and conventional systems

かし、従来の水位制御では起動水位設定の5.7 mで2台目のポンプを起動したため、水位上昇を招いていることがわかる。

よって、ファジィ制御のほうが従来方式より水位の制御に対して、水位抑制効果、初期排水能力ともに高いという結果が得られた。

5 あとがき

点在する複数のポンプ場を集中監視するポンプ場の群管理から始まって、処理場を中心として処理場およびポンプ場を一元管理する処理区の群管理、さらには処理区域間の群管理へと、今後は広域で全体を統括管理する時代へ進んでいく。こうした背景のもと、ポンプ場を安全にしかも効率的に運営する技術がますます求められる。

当社は、広域で高度な雨水情報管理システムのいっそうの機能強化を進めるとともに、新しい制御手法を採用したポンプの最適化運転の研究にも積極的に取り組んでいく所存である。

文献

- (1) 長岩明弘, 他. ポンプ場運転支援システムの開発. EICA, 1, 1, 1996, p.126-129.
- (2) 名里敦司, 他. ファジィ応用雨水ポンプ制御支援システム. EICA, 1, 1, 1996, p.130-133.
- (3) 山田富美夫, 他. 雨水排水ポンプ運転支援システムの開発. 電気学会産業応用部門全国大会, 1997, p.1-4.



仲田 雅司郎 NAKADA Masajiro

官公システム事業部 公共システム技術第二部主務。
下水道プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。
電気学会会員。
Government & Public Corporation Systems Div.



初鹿 行雄 HATSUSHIKA Yukio

官公システム事業部 公共システム技術第二部主務。
下水道プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。
電気学会会員。
Government & Public Corporation Systems Div.



長岩 明弘 NAGAIWA Akihiro

電力・産業システム技術開発センター 産業システム制御技術担当主務。公共システムの制御の研究・開発に従事。電気学会会員。
Power and Industrial Systems Technology Development Center