

雨水ポンプ場の監視制御技術

*1 若原 邦夫(わかはら くにお) *1 小島 勉(こじま つとむ) *1 上野 健郎(うえの たけお) *2 高見澤真司(たかみざわ しんじ)

*3 伊藤 修(いとう おさむ)

1 まえがき

下水道事業の主目的の一つに“雨水排除”があげられる。雨水排除とは都市域の雨水を集め、河川、海湾に揚排水することで、雨水集水ます、雨水管きよ、雨水ポンプ場、吐水口などにより設備が構成される。

昨今、都市域の急激な市街地化に伴う雨水流出量の増大、ヒートアイランド現象による局地的集中豪雨の頻発、更には地盤沈下の影響などにより、下水道整備地域においても浸水被害が増加し、対策を迫られている。

都市域であるため施工上の問題、土地確保の難しさから、対策は困難を極めるが、国及び地方自治体は、下水道整備重点課題として積極的に推進している。

また、一方設備の中核を担う雨水ポンプ場は河川管理上の制約から、放流口の位置、数が制限されること、更には河川改修の遅れなどで適当な放流先が少ないことなどから集約化、大規模化の傾向にあり、より高信頼な運用が求められている。

このような背景下、迅速・確実な設備運転により雨水排除能力を十分に発揮すべく、とりわけ雨水ポンプ場運用をつかさどる監視制御設備の使命は大きい。

本稿では最近の実施例及び今後の方向を交え、ポンプ制御方式を中心に雨水ポンプ場の監視制御技術のアウトラインを紹介する。

2 運用の特質と運転管理

雨水ポンプ場設備は、降雨時のみ機能の発揮を要求されることから、連続稼働の汚水関連設備の運用とは性格を異にしている。おのずと設計の要件にも大きな特徴がある。

2.1 運用の特質と設計要件

(1) 間欠運転

年間を通じて運転回数が少なく、運転時間も短い（一般に100時間/年程度）が、降雨時には全設備が迅速・確実に稼働しなければならず、休止期間中の保守業務、試運転(点検運転)を容易にし、充実させる必要がある。休止期間中は一般に水がない故、特にポンプ設備については予防保全や試運転方式に配慮を要する。

また、運転頻度が低いことからオペレータに対する日常の準備訓練が肝要で、運転指針と手順の明確化、教育の徹底、オペレータガイダンスの充実などが必要である。

(2) 流入量の変動

ポンプ場集水区域の広狭、雨水貯留設備の多少にもよるが、一般に降雨時（特に豪雨時）には急激な流入量変動があり、ポンプを中心とした設備の事前立上げ運転が行われる。また、その区域の多様な降雨状況、流達状況に対応した最適なタイミングでの阻水扉、ポンプ制御が必要となる。

降雨時の設備機能喪失は許されず、受変電設備、発電機などの共通設備には多重化、分散化などによる高信頼化が行われる。また、共通設備に限らず異常除去、設備復旧迅速化のため各所に RAS 機能の充実が図られる。

表 1 に運用の特質と設計要件をまとめて示す。

表 1 運用の特質と設計要件

	運用の特質	設 計 要 件
間欠運転	設備の休止期間が長い	保守運転の自動化 試運転による設備診断の充実
	運転回数が少ない	オペレータ教育の徹底 運転ガイダンスの充実
流入量の変動	急激な流入量変動	設備の待機運転 応答性の良い制御方式
	貯留量が少ない	機能喪失の防止 障害除去の迅速化

2.2 運転管理業務と監視制御機能

前述のとおり、雨水ポンプ場の運用には高い信頼性を要求される。これは単にポンプ場の運転操作にとどまらず、日常の保守保全業務や、降雨情報、運転データ、異常時データの収集・解析、更にはオペレータに対する指導・教育など、ポンプ場における業務全体を見渡し改善を加えることにより初めて実現できるものである。

業務の自動化、機械化と機械によるオペレータへの業務支援は、業務改善、高信頼化の一方法であり、ここに監視制御システムの意義がある。

以下、ポンプ場の運転管理業務を“設備運転”“維持管理”“データ管理”に大きく分け、監視制御機能の概要について述べる（図 1、表 2 参照）。

(1) 設備運転

阻水扉、沈砂地回り機械、雨水ポンプ、受変電、自家発電設備を対象にシーケンス制御、自動制御が行われる。より迅速で確実な運転を実現すべくシーケンサ、マイクロコントローラ(以下、マイクロコンと略す)、ミニコンピュータ(以下、ミニコンと略す)が要求機能に応じて使い分けられる。特に阻水扉、ポンプに対しては、各所でマイクロコンやミニコンなどの情報処理装置による演算制御が試み

*1 総合技術第二部 水処理技術部 *2 システム本部 第一システム部 *3 システム本部 システム開発部

図1 運転管理業務

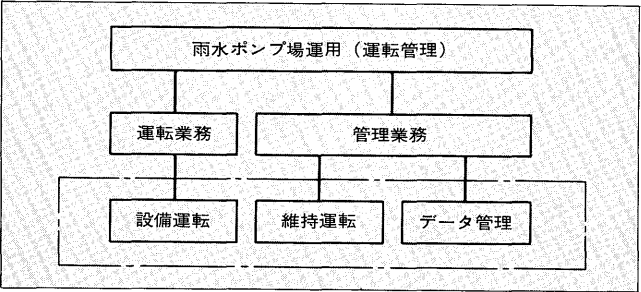


表2 自動化業務と適用装置

区分	対象設備	業務内容・自動化項目	適用装置			
			計器・センサー	マイクロコン	パソコン	ミニコン
設備運転	止水扉	緊急閉 開度制御(流入量制限)	→	→		
	沈砂池	除じん、揚砂設備連動運転 沈砂池流速一室制御	→	→		
	雨水ポンプ	ポンプ台数制御 ・水位による台数制御 ・水位変動(等価流量)による台数制御 ・水位変動(等価流量)による予測台数制御 ・降雨データ(流入量予測)による予測台数制御 (起動順選択, 故障飛び起し, 吐出弁との連動制御などを含む)	→	→	→	→
	発電機	事前立上げ運転 ・水位による立上げ運転 ・降雨データによる立上げ運転 自動力率制御	→	→	→	→
	共通	故障ガイダンス 雨水ポンプ運転ガイダンス ・水位変動による運転ガイダンス ・雨量データによる運転ガイダンス		→	→	→
維持管理	共通	設備機器保守 ・保守スケジュール管理 ・予備品、補用品、消耗品管理、工具管理 燃料、薬品などの管理 ・在庫管理、減存量管理 ・コスト管理 ・入出庫(発注、受取り)管理 予防保全 ・休止機器の回路動作チェック ・主要機器(ポンプ、発電機)の故障診断 ・センサ検定(データ論理チェック) オペレータ教育 ・運転シミュレータ ・問答集		→	→	→
	データ管理	日・月報作成 運転操作記録 警報リスト作成 ポンプ能力解析(劣化検知) 降雨データファイル ポンプ場運用解析 (降雨、流入量、水位、ポンプ運転相関)		→	→	→

られ、導入されている。演算制御は流入量予測に基づく設備事前立上げ運転、止水扉開度制御、ポンプ台数・回転速度制御を中心として実施されている。制御論理の検討には大形コンピュータによる雨水浸水解析、雨水流入予測、及びポンプ制御などのシミュレーションが有効で効果をあげている。

情報処理装置は上記の直接的なプロセス制御のみならず、プロセス異常、機器故障時のオペレータガイダンス機能を

持たせ、低頻度運転施設オペレータの判断支援システムとして活用され、高信頼運用を実現する。

(2) 維持管理

パーソナルコンピュータ(以下、パソコンと略す)、ミニコンの導入により、設備保守状態のレベルアップを図る。

保守点検スケジューリング(日程表)、点検項目リストアップ(チェックシート)、補用品、消耗品の在庫管理などがパソコン業務の例としてあげられる。

ポンプ、発電機設備に対しては、より高度な予防保全、故障診断が要求される。これらについては一般的に、機械音、電流値、回転速度、温度、振動など休止期間中の試運転時プロセスデータを基に論理判断し、機器の劣化、異常箇所の検知が行われている。このテーマについては知識工学、ファジィ理論などの適用が模索されているが、実用化には今一步である。

ポンプ場運転の高信頼化にはオペレータに対する日常教育が重要で、ミニコン、マイクロコンなどによる運転シミュレータの導入も効果が期待される。

(3) データ管理

日月報、運転操作記録、警報リストなど報告書の自動作成が一般的に行われている。

情報処理装置には上記報告書自動作成にとどまらず、プロセス運用解析機能を持たせる。特に降雨データ、雨水流入量、ポンプ運転、ポンプ井水位の時系列データ収集と事後の解析は欠くことはできない。本解析結果は予測精度の向上、制御論理の修正、制御定数の適正化に反映し、より効率の良い設備運用を実現する。

③ 雨水ポンプの制御

雨水ポンプは従来、ポンプ井水位を所望の一定幅内に収めるよう、ポンプ井水位に基づく台数制御が行われていた。しかしながら、主にポンプ起動時間が要因で、急激な水量増には対応できず、水域の浸水やポンプ場冠水を起こすことがあった。

そこで、流入量変動に応じたポンプ制御方式や雨量データから流入量を予測し、予測データからポンプを自動制御する方式が考察され、マイクロコン、ミニコンなどデジタル制御装置の導入により、これらの方式が実用化されるに至った。

3.1 等価流入量制御方式

一般に流入管きよの構造、流入雨水中のきよう雑物の混入などの理由から、流入流量計の設置が困難な場合が多い。

この方式は流入流量をポンプ井の水位変動から求め、流入流量に見合った台数にポンプを制御するもので、流入量演算部と制御判断部から構成される。

流入量は、図2に示す単純モデルでは下式により簡単に求められる。

$$Q_{IN} = \Delta L \times A + Q_{OUT}$$

実際のポンプ場への適用に当たっては、管きよ部の管内

図2 ポンプ場のモデル化

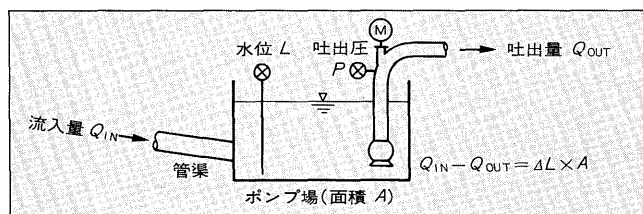
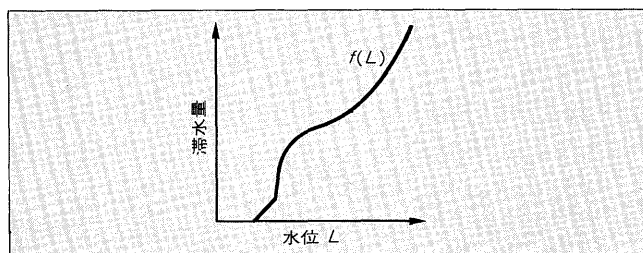


図3 ポンプ井水位と滞水量の関係



貯留を考慮する。この場合、管きよ部では動水こう配の影響があるため、単純に水面の面積から流量は求められない。そこで、大形コンピュータによるシミュレーションで定常状態における水位/滞水量の関係 $[f(L)]$ をあらかじめ求めておき、単位時間ごとに流量を算出する（図3）。また、吐出流量が計測されない場合は吐出圧“ P ”を計測し、 $Q-H$ カーブにより吐出流量 $[f(P)]$ を求める。この場合、前記の式は下記に書き改められる。

$$Q_{IN} = f(\Delta L) + \Sigma f(P)$$

制御判断演算は水位が目標水位の上下両側に設けた演算制御水位内にある時定周期で行い、現在の吐出量と上記式で求めた流入量の差分が設備されたポンプ1台あたりの容量に到達した時、ポンプ台数を増減制御する。この時ポンプの運転履歴を勘案して対象ポンプが選択され、各ポンプの運転時間が平均化される。

本方式は算術的な手法による近将来予測機能を付加することにより、より応答性に優れたシステムとすることがができる。これは過去一定時間の流入量変化量の平均値を算出し、今後一定時間同様な流入量変動が継続するとしてポンプで運転計画を立て、あらかじめポンプ起動準備を開始する方式である。

以上の方式はマイクロコン導入システムで実施され、効果をあげている。

3.2 予測制御方式

集水区域内に雨量計が設置され、この雨量データを基に雨水流入量を予測してポンプ運転計画を作成し、オペレータへの運転ガイダンスの通知及びオンライン制御を指向する方式である。

(1) 雨水流入量の予測

プロセス用であることから比較的少ないデータ、簡単な手法で流入量を算出することが必要で、本システムでは流出モデルとして“貯留関数法”、流達モデルとして“むだ時間＋一次遅れ系”を採用した。

図4 区域の分割例

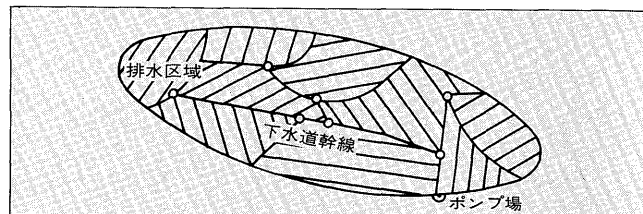
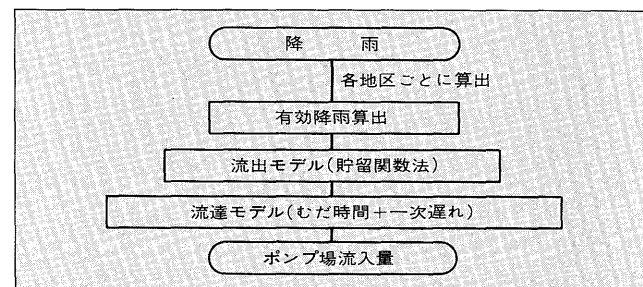


図5 流入量予測手順



予測は図4の分割例に示すように、地域特性、合流点などをもとに分割した地区ごとに図5に示す手順で行い、その総和として雨水流入量を算出する。

まず、降雨強度データと浸透能、凹地貯留を考慮した有効降雨モデルにより有効降雨量（管きよに流入する量）を各地区ごとに浸透域、不浸透域に分け求める。次に、それぞれの有効降雨量から貯留関数法により雨水流出量を算出する。

貯留関数法は降雨がいったん貯留され、その貯留量に応じて雨水が流出すると考えるモデルで、下式にて貯留量と流出量の関係が与えられる。

$$\frac{dS}{dt} = P - Q$$

$$S = KQ^N$$

S : 貯留量 Q : 流出量

P : 有効降雨量 K, N : 定数

演算時間短縮のため、繰返し演算部に一部近似解法を用いているが本稿では割愛する。

本システムでは各地区ごとに定周期で演算し、1分間隔で2時間先までの雨水流出量変動パターンを求めている。

一方、各地区から流出した雨水はすべてポンプ場に入流するものと考え、一定時間後（流達時間、むだ時間）にある時定数で緩和（一次遅れ）されるとした流達モデルにより、流入量変動パターンを求める。

以上により、現時点から2時間先までの流入量変化を一分刻みの予測値として求めることができる。

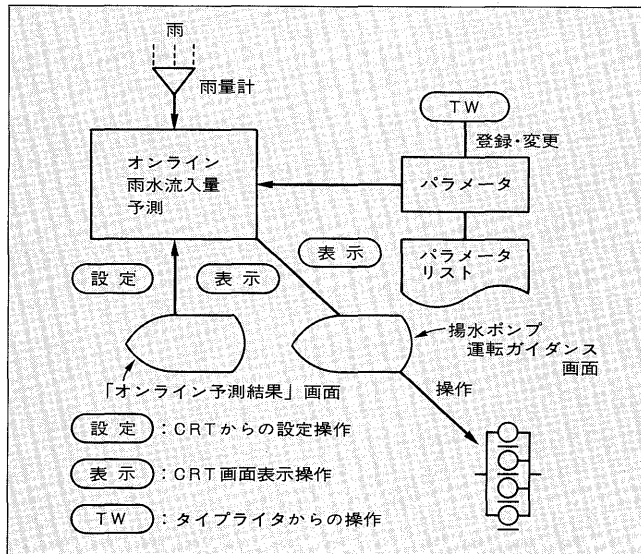
(2) ポンプ運転計画の作成

動的計画（DP：Dynamic Programming）法を用い2時間先までのポンプ運転計画を作成する。

DP法は計画時間のある単位時間ステップに分割し、各ステップの計画値を算出する方法であるが、本システムでは流入量予測値が1分刻みであることから単位時間を1分とした。演算条件は下記のとおりである。

2時間後のポンプ井水位を目標値とする。

図6 雨水流入予測システム機能構成例



- ・ポンプ消費電力を最少とする。
- ・ポンプ起動停止頻度を最少とする。
- ・ポンプ台数の変更は1台/回とする。

流入予測値及びポンプ運転計画は、ポンプ井水位変化予測値とともにCRTディスプレイ装置などを用い、運転ガイダンス画面としてオペレータに通知される。機能構成例を図6に示す。

本方式はミニコンクラスの監視制御システムでの採用が可能で、実績値との差異を補正する機能を付加してオンライン制御へ移行することが可能である。

④ 予防保全

予防保全システムの充実は、設備運用高信頼化の基本である。昨今の設備機器、制御装置は自己診断機能がRAS機能の一部として充実され、保守保全に便が図られている。しかしながら、これらは機器、装置単体を対象とするもので、応用回路や設備単位の保守保全は対象プロセスごとにその特性を吟味して立案検討されねばならない。

雨水ポンプ場における予防保全の例を以下に紹介する。

4.1 制御機能試験

(1) シーケンスチェック機能

休止期間中の雨水ポンプは一般に吸水位が低く、試運転は不可能である。よってポンプ主機を除く機器及びシーケンス制御回路を対象として機能チェックを可能とするよう

“試験モード”をシーケンス回路に用意した。

(2) プラントシミュレータ

ポンプ台数制御機能を対象にマイクロコン又はミニコンにプラントシミュレータ機能を設け、模擬プロセスデータによる制御論理演算の内容をCRTディスプレイで確認することができる。本機能はオペレータ教育にも使用することができる。

4.2 発電設備の予防保全

発電設備には起動の確実性が求められる。発電設備はエンジンを中心に数多くの機器から構成され、特にガスタービン発電設備は起動にかかわる機器や制御回路は頻雑である。

発電設備は1～2回/月程度試運転が行われるが、試運転時の起動特性データから設備診断をすることが可能である。

基本的には起動時のエンジン回転速度、排気温度の推移を規定値と突き合わせて照合・解析することにより、異常箇所を特定するものである。また、連続稼働時の燃料、オイル、空気量などの減少度合から、設備機器の劣化を中心とした設備診断が可能である。

⑤ あとがき

雨水ポンプ場の集約化、大規模化はその機能の大きさ、障害時波及の広域性から、より高信頼な設備運用を求める。

おのずと電気計装システムには高信頼設計が求められ、制御技術の向上と予防保全技術の充実が望まれる。

本テーマの頂上は高く、一朝一夕に完成するものではなく、永遠のテーマとなろう。

下水道電気計装設備における富士電機の実績と優れた技術は必ずや時代の要請に追従するものと信ずる。

今後共、御指導・御鞭撻を下さるようお願いする次第である。

参考文献

- (1) 加藤忠ほか：上下水道におけるシミュレーション技術，富士時報，56，4，pp.293～300（1983）
- (2) 菅野道夫ほか：汎用ファジィコントロールシステム，富士時報，58，4，pp.307～314（1985）
- (3) 町田吉己ほか：雨水流入量予測のオンライン化について，第22回下水道研究発表会講演集，pp.466～468（1985）
- (4) 柄沢隆：DP法によるポンプ最適運転の実施，第35回全国下水道研究発表会講演集，pp.400～402（1984）



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。