

雨水滞水池を備えた中継ポンプ場の自動制御システム

横浜市下水道局 ○加藤 隆夫

1. はじめに

横浜市の下水道事業は浸水対策を重点に整備を図ったため、ほとんど合流式で整備された。合流式下水道は近年における人口の都市集中に伴う汚水量の増加等によって、雨天時初期排水の公共用水域に与える影響が懸念されるようになった。そこで、横浜市は合流式下水道の改善対策として、市の中心市街地である神奈川処理区の保土ヶ谷ポンプ場に、本市で最初の雨水滞水池を設けた。

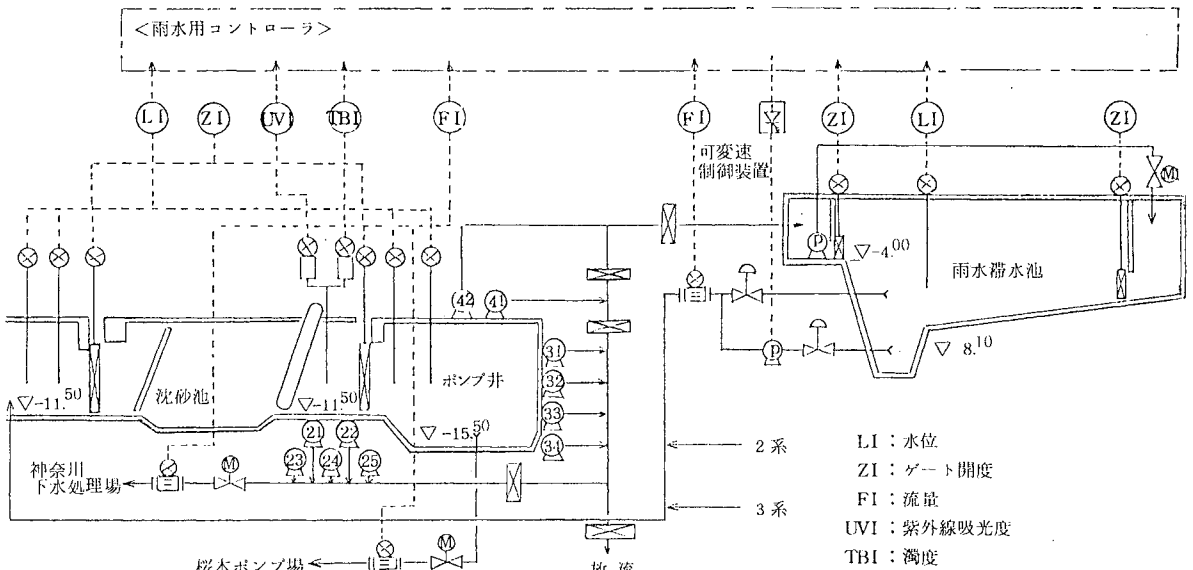
ここで紹介する、滞水池を備えた本ポンプ場の運転管理は省力化を図って、場内設備のすべてを自動化し、3 Km 隔れた神奈川下水処理場から遠隔監視制御している。

2. 制御対象施設の概要

図-1 は制御対象の概略を示す計装フローシートである。ポンプ場及び雨水滞水池の規模を次に示す。

- | | | |
|-----------|--------------------------|--|
| (1) 敷地面積 | 15,294.35 m ² | (雨水滞水池 7,188.77 m ²) |
| (2) 排水面積 | 2,164.12 ha | (合流地区 371.36 ha) |
| (3) ポンプ設備 | 汚水ポンプ | 5台 4.6 m ³ /秒 |
| | 滞水池用ポンプ | 2台 8.6 m ³ /秒 |
| | 雨水ポンプ | 4台 21.2 m ³ /秒 |
| (4) 雨水滞水池 | 容量 | 7,000 m ³ /池×3池, 各種ゲート 29門 |
| | 汚水引抜弁 | 27台, 汚水引抜ポンプ 3台 0.63 m ³ /秒 |

ポンプ場での自動制御システムはこれらのポンプ及びゲート等の制御の他に60 K V受電の無人変電所、6000 K Wの無人発電所及び配電系統の制御がある。



(図-1 計装フローシート)

3. 遠隔監視制御システム

本市の各ポンプ場の制御システムは建設年次の制御技術レベルに符合して、個別制御から集中制御へ、そして集中制御から分散制御へと変遷した。

3.1 監視制御の変遷

昭和40年以前に稼動したポンプ場は、水位計の警報や雨脚の音を聞きながら操作員が判断して直接ポンプの運転、停止操作を行ってきた。従って、ポンプ場の管理要員は1直2人の交代勤務で9人以上の職員を必要とした。その後の都市への急激な人口流入は都市環境の整備から多くのポンプ場を建設する必要が生じた。そこで、管理経費の削減を図るため自動化、遠隔監視制御化を積極的に試み省力化を行った。

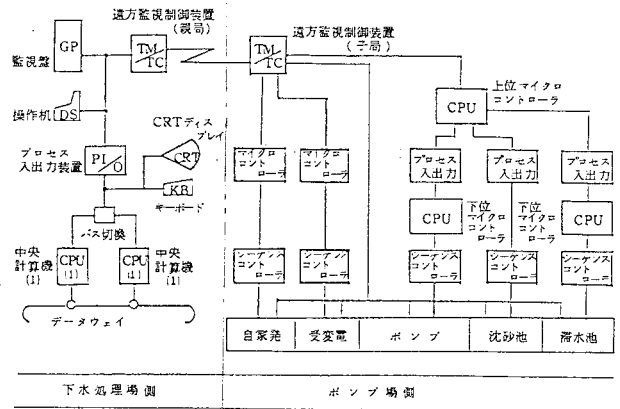
ポンプ場の運転監視は処理区別に統括して、下水処理場から行っている。しかし、下水処理場の監視制御システムと一体の制御システムに組み込まれたのは昭和53年に稼動した保土ヶ谷ポンプ場からである。そして、管理職員は保全業務要員の2人となった。

3.2 遠隔監視制御システム構成

ポンプ場の遠隔監視制御システム構成は図-2に示す。ポンプ場側は水位予測、総排水量目標値及び排水量分配等の演算を主体とするマイクロコントローラを中心に、各種制御プログラムのリンケージ及びインターロック等の機能を受け持ちポンプ等を直接制御するシケンスコントローラから組み立てられている。

下水処理場とポンプ場間は電話回線を使ったテレメータで接続している。この回線に異常が生じた場合は同系統に静止画像ITVの回線があり、これを自動的に切換えて対処している。

下水処理場側ではテレメータ信号を中央計算機システムへ直接取り込み、ポンプ場側での状態を常時監視



(図-2 システム構成)

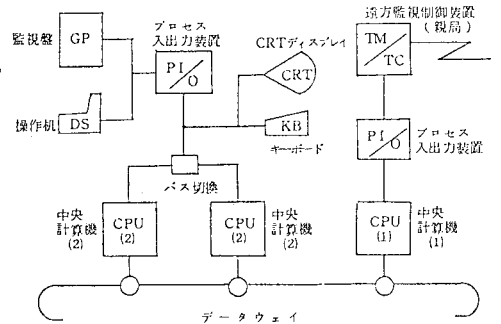
している。ポンプ場の監視、制御定数の設定及び制御モードの切換等は処理場のCRTを介して行っている。従って、CRTの応答速度はシステムの信頼性から非常に重要であり、本市では従来の経験から3秒以内として来た。しかし、設備の増設等に伴い中央計算機の負担が増大し、通常の操作においてもCRTの応答速度は5～6秒と長くなった。停電等には一度に多くの警報等の情報が伝送されて来るため、計算機の処理能力を上回り、制御機能を満足しなくなった。

3.3 中央計算機システムの改善

従来のシステム構成はテレメータとのインターフェース機能を中央計算機に持たせていた。これがベース負荷として大きかった。そこで、図-3に示すようにポンプ場の制御システムは他のサブステーションと同様な制御ブロックとして位置付けた。従来の中央計算機はポンプ場のインターフェース専用に使われ、変化した情報のみを中央計算機に伝送するシステムとした。また、中央計算機の演算速度及び主記憶容量等は従来より増強した。

4. ポンプ排水制御

ポンプ場に流入する下水は分流地区の汚水と合流地区の汚水と雨水がある。従来の合流地区における雨天時下水の処理は日最大汚水量（日平均汚水量×1.82=Qs）の4倍までを下水処理場に送水して、Qsまでを高級処理して、残りの3Qsについては簡易処理を行ってきた。また、4Qsを越える量については河川に直接放流して来た。しかし、降雨初期の合流下水の水質汚濁が著しく十分な除去が得られない簡易処理水が放流水域に流出する懸念があった。そこで、種々の降雨実態から流出汚濁負荷量のしゃ集割合を多くのケースについて、シミュレーション分析した結果や敷地面積から平均しゃ集率50



(図-3 改善後のシステム構成)

80%以上が期待できる容量の雨水滞水池をポンプ場に併設した。雨水滞水池へ送水するポンプ容量は、従来の雨天時における汚濁負荷量の流出実態から、晴天時時間最大汚水量の3～5倍に達すると高濃度汚濁負荷は終了することから、簡易処理対象量である4Qs相当分とした。なお、集中豪雨等に対処するため予備ポンプを1台持っている。いずれも、回転数制御できるポンプである。降雨時のポンプ

運転は図-4に示すように晴天時時間最大汚水量までは下水処理場へ送水し、それを越える量についてはポンプ能力の範囲で雨水滞水池の1池から貯留を始め、滞杯になり次第、2池、3池と切替えて、順次貯留する。全系列が満水になると、残りは直接に河川へ放流する。

4.1 水位計の2重化

ポンプの自動運転はどのような制御モードを選択しても、ポンプ場の流入水位が必要であり、水位計の信頼度を増やすことが重要である。過去において、水位計の誤差等からポンプ運転にトラブルを起こしたことがある。近年まで、「ポンプ場の運転には沈砂池の水位を見て行うのが一番確実だ。」と言われて来た。従って図-1に示すように、流入渠及びポンプ井には各2台の水位計を設けている。各水位計の信号は多数決回路を使って、3台の水位計信号を相互に比較し、値の近い水位計の信号を正常なものとして、制御用に自動選択している。

4.2 水位予測演算

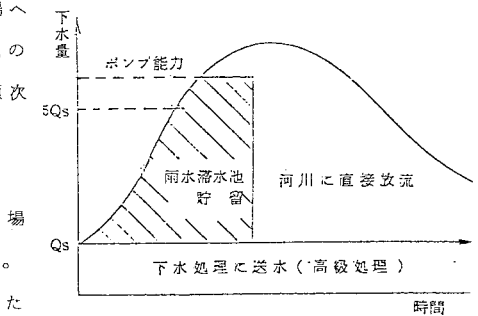
ポンプが運転しているポンプ井の水面は常に変動し、また、ポンプの吸込み渦及び水流等で波立っている。従って、水位計の指示値は動的な瞬時値であって、制御に当ってはこれを次式のように平滑演算処理を行い用いている。

$$H_t = \omega h_t + (1 - \omega) H_{t-\Delta t} \dots\dots\dots(1)$$

H_t : t時点の指数平滑処理水位

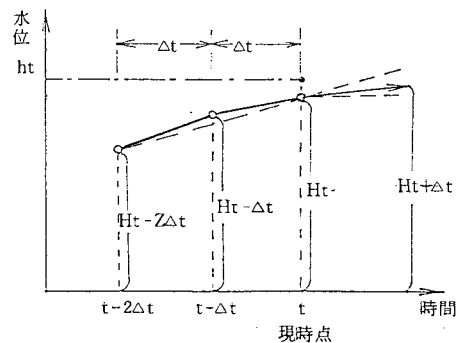
h_t : t時点の水位計の指示値

ω : 指数平滑処理重み係数(0.5)



(図-4 ポンプ運転パターン)

Δt時間後の予測水位は次式及び図-5の予測水位概念図に示すように、t時点の平滑処理水位とΔt時間前の水位及び2Δt時間前の水位変化量から予測演算している。ωはポンプ井の構造等から、また、K、KLは降雨状態及び流入形態から決められる。しかし、いずれもその数値は経験的に求めて行く。



(図-5 水位予測概念図)

$$H_{t+\Delta t} = H_t + K \left\{ KL \frac{H_t - H_{t-\Delta t}}{\Delta t} + (1 - KL) \frac{H_t - H_{t-2\Delta t}}{2\Delta t} \right\}$$

K, KL : 変化率重み係数(0～1.00)

Δt : 演算周期 (30秒固定)

H_{t+Δt} : t時点の予測補正水位

4.3 総排水量目標値演算

ポンプの運転制御の目的は流入下水量に応じて下水処理場への送水、雨水滞水池への送水及び河川への直接放流を適切に行い、浸水対策と放流水域の水質汚濁防止に施設を最大限に、効果的に活用することにある。

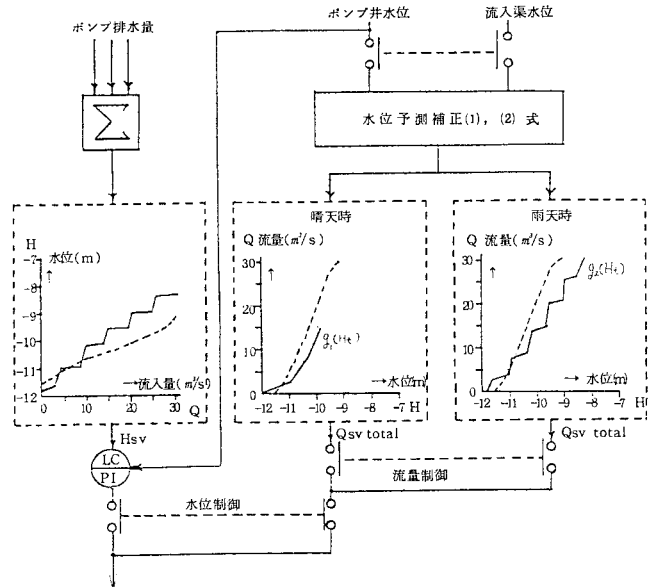
ポンプの制御モードは、上位のマイクロコントローラによる晴天時流量制御、雨天時流量制御及び水位制御がある。バックアップとして、下位のマイクロコントローラによる流量制御及び上位の制御システムすべてが故障した場合の水位警報器によるアラーム制御の5方式がある。

流入下水量に対する総排水量目標値を図-6の演算ブロックに示す。流量制御の場合は、流入渠又はポンプ井の水位から流量に換算し、水位制御では各ポンプの総排水量から水位に換算した値をそれぞれPI演算して制御

目標値を求めている。

流量制御は下水処理場の処理能力に合わせて、各水系の流量を分配して送水できるので晴天時に優れた制御モードである。水位制御は目標水位を維持することから雨天時用の制御モードとして優れている。

なお、図-6の関数 $g_1(Ht)$ は晴天時であり、 $g_2(Ht)$ は雨天時である。点線はいずれも水理公式に基づく管渠の $Q-H$ 関係を示す。なお、使用している関数 $g_1(Ht)$ と $g_2(Ht)$ は現場職員の経験から修正を重ねて作成されたものである。総排水量目標値は設定値に基づき、優先順位に従って下水処理場への送水、雨水滞水池への送水とそれぞれ分配される。残りはすべて、雨水ポンプ



(図-6 総排水量目標値演算ブロック)

で直接放流されるが、なおも、目標値と総排水量に偏差がある場合はゲート操作によって、待機中の污水ポンプ及び雨水滞水池ポンプが追加起動できる制御システムである。

5. 雨水滞水池の貯留污水引抜制御

降雨後の流入下水量は、1～2日後まで降雨の影響を受けている。しかし、貯留した污水は速やかに引き抜き次の降雨に備える必要がある。

5.1 貯留污水引抜量目標値の設定

雨水滞水池からの污水引抜量目標値は下水処理場の処理能力の範囲内で均一に送水するため、流入下水量との差分を引抜くもので、その制御モードは次の4つがある。

- (1) 污水送水流量制御, (3) 雨水滞水池個別引抜制御
 - (2) ポンプ井水位制御, (4) 雨水滞水池総引抜制御
- (3)及び(4)項は雨水滞水池のテスト及び臨時の雨水滞水池の清掃作業等に用いられる制御モードである。

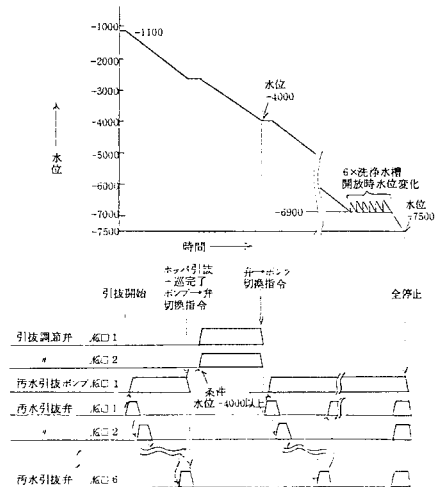
5.2 引抜洗浄プログラム

雨水滞水池の污水引抜き及び洗浄工程は図-7に示す。引抜き方法には引抜調節弁を使った水位差方式と、引抜きポンプによるポンプ引抜き方式がある。自動引抜きの開始は、始めに沈殿汚泥をポンプで引抜いた後、引抜調節弁で污水を引抜く。調節弁での引抜き流量が低下すると再びポンプ引抜きに切り換わり、最後に洗浄水によって低部の滞積汚泥を洗い流して終る。

6. おわりに

ポンプ場施設や下水処理場の増設に伴い、既設の中央計算機能力が不足することは他にもその例を見る処である。このような場合に今回の措置は先行的整備を避けるための有効な手段となる。

雨水滞水池の建設は合流式下水道の改善対策として、他にも多く計画している。従って、今回実施した自動制御システムをさらに改善し、今後の施設に適用したい。限られた雨水滞水池の容積を有効に活用するためには流入水質を加味した制御システムの導入が最も有効である。公共用水域に与える影響を考えると、さらに信頼性の高い水質計器の開発が必要である。



(図-7 污水引抜き洗浄工程タイムチャート)