

広域雨水排除システムにおける大形ポンプ設備と制御

Large Scale Pumping Station for Extensive Stormwater Drainage System

大阪市の下水道事業は、明治27年に近代的下水道の整備に着手し、現在人口普及率98.6%とほぼ全市域に普及するに至った。しかし、市街化の進展に伴う雨水流出量の増大や地盤沈下の影響などによって、下水道が整備された地域でも豪雨時に浸水する箇所が増えてきた。そこで大阪市では、建設時の計画諸元を見直し、既設排水施設を補足する増補幹線及びポンプ場の設備を増強するなどの浸水対策を最重点とする下水道整備計画を進めているところである。本稿に紹介する大阪市下水道局弁天抽水所(ポンプ場)はその一環として建設されたもので、上町台地東側の約1,200haの区域を対象とし総延長14km、最大口径6mの天王寺～弁天幹線で導かれた雨水を、地下約25mに設置された総排水量57.5m³/sの大容量ポンプによって大川へ放流する。この広域にまたがる大容量雨水排除システムは計画時から流入量予測を行ない、これらに基づいて設備計画を再確認し、更に、運転に当たってはポンプの始動、停止及び流入ゲートの開閉もこれに基づいて最適なタイミングで行ない、排水区域の浸水あるいはポンプ場設備の冠水事故のないように運転スケジュールが立てられている。抽水所ハードウェアは大容量ポンプが地下に設けられ、特に、信頼性の高い設備となるように考慮された。

小林孝之* Takayuki Kobayashi
 桑原勅光** Norimitsu Kuwabara
 塩谷 真*** Makoto Shioya
 嶋内繁行**** Shigeyuki Shimauchi

1 緒 言

大都市での雨水排除システムには、最近の都市構造の変化によって次のように多様な要求が生じている。

(1) 雨水流入量の増大

著しい市街化の進展によって雨水流出係数が上昇し、雨水流入量が増大しており、下水道整備区域内でも浸水被害が発生する箇所があり、排水施設増補の必要が生じている。

(2) 流入予測に基づく設備計画及び最適タイミング制御

ポンプ場の集水区域が広範囲にわたる場合は、その流域の降雨状況が多様であり、雨水の流入量及び流達状況変化も大きい。常にその変化に応じて流入量を高精度で予測し、最適のタイミングでポンプ設備の始動、制御を行ない、排水施設の総合能力を最大限に発揮させる必要がある。また、排水計画に当たっては設備能力を最大限に発揮させ、管内貯留効果も有効に活用して設備容量の余裕を最小限にとどめる限

界計画によって、コストエフェクティブネスの最大化を図ることを求められる。このため、流入量予測最適タイミング制御のアルゴリズムとソフトウェアを充実させ、管渠に流入する水の挙動を高精度で的確にとらえるシミュレーション技術が新たに必要となった。

(3) 高い信頼性

抽水所の雨水ポンプ設備は年間の運転回数が少ないため、ポンプ及び駆動用原動機は降雨時、特に豪雨時など緊急時には必ず全設備が迅速確実に運転する必要がある。この基本となる高いシステム信頼性を確保するために、保守管理及び点検運転が容易な設備とする必要がある。

(4) 深層化地下式構造抽水所

既成市街地に建設する下水管は、交通量の多い道路下で地下鉄、高架軌道あるいは河川を横断するなど、埋設物の関係

表1 設備の概要 大阪市下水道局弁天抽水所の設備概要を示す。

室	設 備	内 容						
		口 径 (mm)	形 式	電 動 機 (kW)	全 揚 程 (m)	排水能力	台 数	総排水量
雨水ポンプ室	雨水排水ポンプ	2,200	立 軸 渦 巻	3,750	23	12.5m ³ /s	3	57.5m ³ /s
		2,000	立 軸 渦 巻	3,000	23	10.0m ³ /s	2	
	貯留水送水ポンプ	700	立 軸 斜 流	480	35	1.0m ³ /s	2	2 m ³ /s
汚水ポンプ室	汚水送水ポンプ	350	水 中 ポ ン プ	55	15	14m ³ /min	3	42m ³ /min
中央監視制御室	監視制御装置	監視装置(監視室)、制御装置(遠方操作盤)、演算装置						

* 大阪市下水道局建設部機械課 ** 日立製作所土浦工場 *** 日立製作所システム開発研究所 **** 日立製作所システム事業部

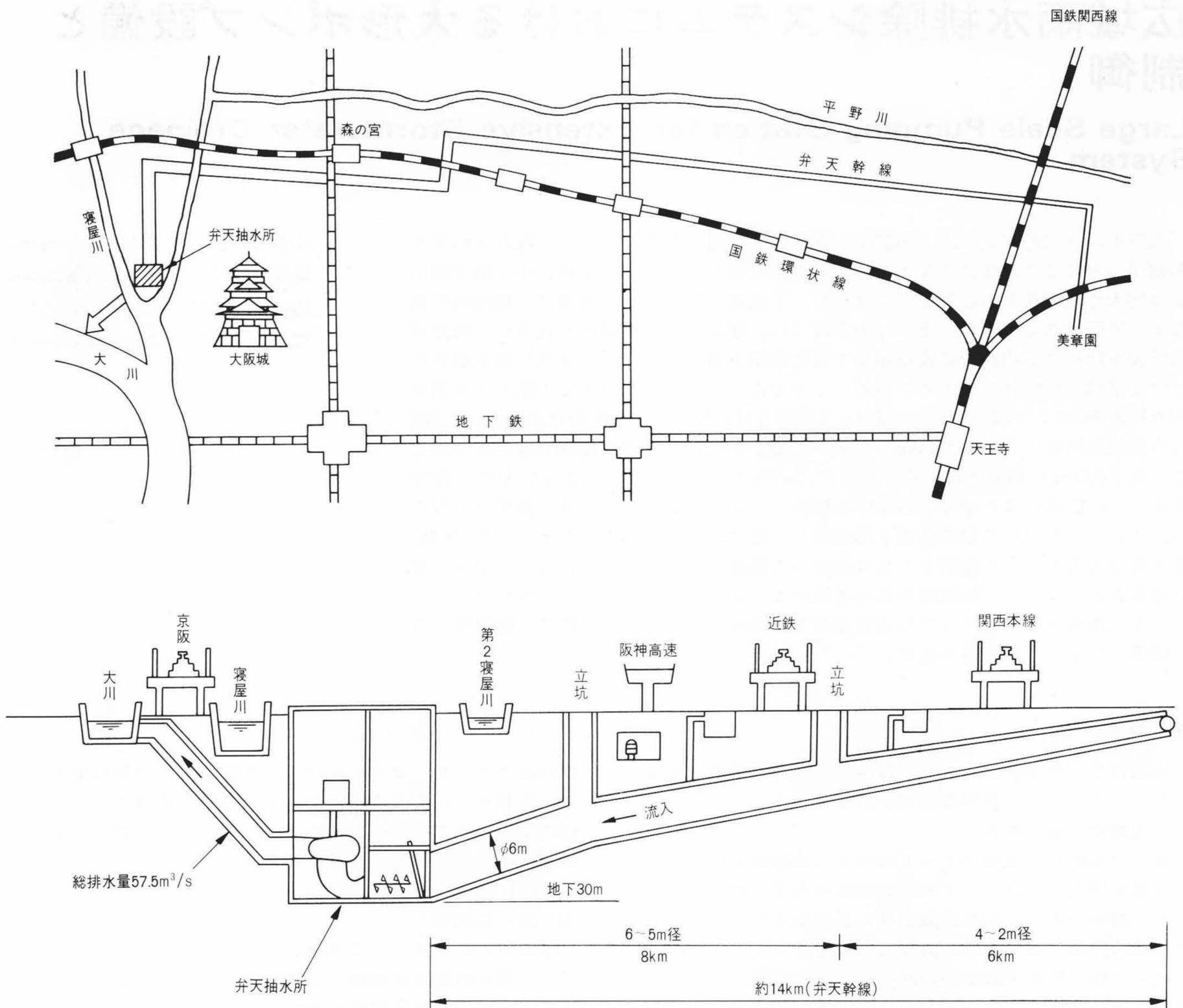


図1 大阪市下水道局弁天抽水所模式図 総延長約14km、最大口径6mの巨大な天王寺～弁天幹線は、地下30mの弁天抽水所に至る。

から地下を通るため地下深く埋設される。このため、下水管の末端に位置するポンプ場は地下深く設置されるようになる。

本稿で紹介する大阪市下水道局弁天抽水所(以下、弁天抽水所と略す。)は、流入下水管(天王寺～弁天幹線)が最深部で地下30mにもなっているため、抽水所の大部分が地下構造物となり、縦104.5m、横50m、深さ33mの大規模な地下ポンプ場である。弁天抽水所の設備概要を表1に、また、幹線と抽水所で構成される雨水排除システムの模式図を図1に示す。以下その技術の詳細について述べる。

2 流入量予測システム

広域の雨水排除システムの安全性を確保する基本は、精度の高い流入量予測システムである。このため天王寺～弁天幹線及び弁天抽水所での実施に先立ち、他の雨水排除システムのデータを用いて流入量予測を実施し、精度と有効性を確認した上で、非定常水理モデルによる流入量予測システムを開発した。

2.1 予備検討

天王寺～弁天幹線での流入量予測の精度を確保するために、

弁天抽水所と同一規模の大阪市下水道局平野市町抽水所及び弁天抽水所と同一処理区である猫間川抽水所を対象とし、3年間の雨天時の実績データを基に予備検討を行なった。その結果、

- (1) 強降雨時でも、40分先まで誤差10%以内で予測が可能である。
- (2) 幹線内に水位計を設置することによって、予測精度は約5%向上が図れる。

2.2 流入量予測に基づくポンプ運転ガイドシステム¹⁾

予備検討の結果、天王寺～弁天幹線及び弁天抽水所で、十分実用に耐える予測が行なえることを確認した。

弁天抽水所での流入量予測システムは、図2に概要を示すようにポンプ運転ガイドシステムと一貫したオンラインシステムである。雨量、管渠内水位及び流速、それにポンプの吸吐圧などを入力し、60分先までの流入量とポンプ運転ガイドを1分単位で行ない、流量、水位、運転台数の切替時刻をディスプレイ上に出力する。システムの中心部は図3に流れを示すように、測定水位から初期定常流を計算するとともに、他幹線からの溢流量を数地点で測定し、それを管渠計画容量で比例配分することによって全地点での流入量を計算する。

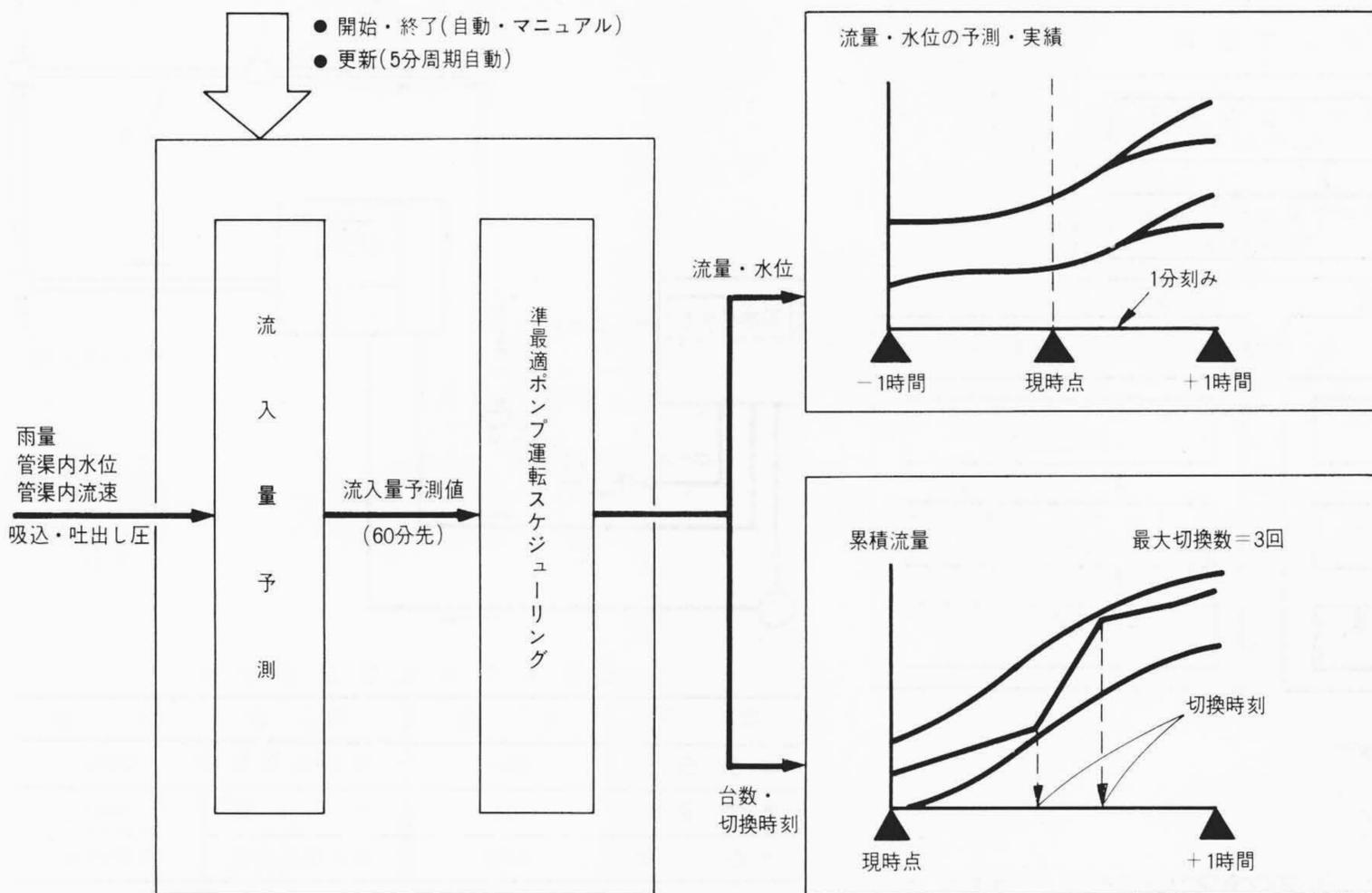


図2 流入量予測に基づくポンプ運転ガイド概要 雨量や水位・流速、吸込・吐出し圧などを入力し、60分先までの流入量予測とポンプ運転ガイドを1分単位で行ない、流量・水位、台数・切替時刻を出力する。また、これらは5分周期で更新される。

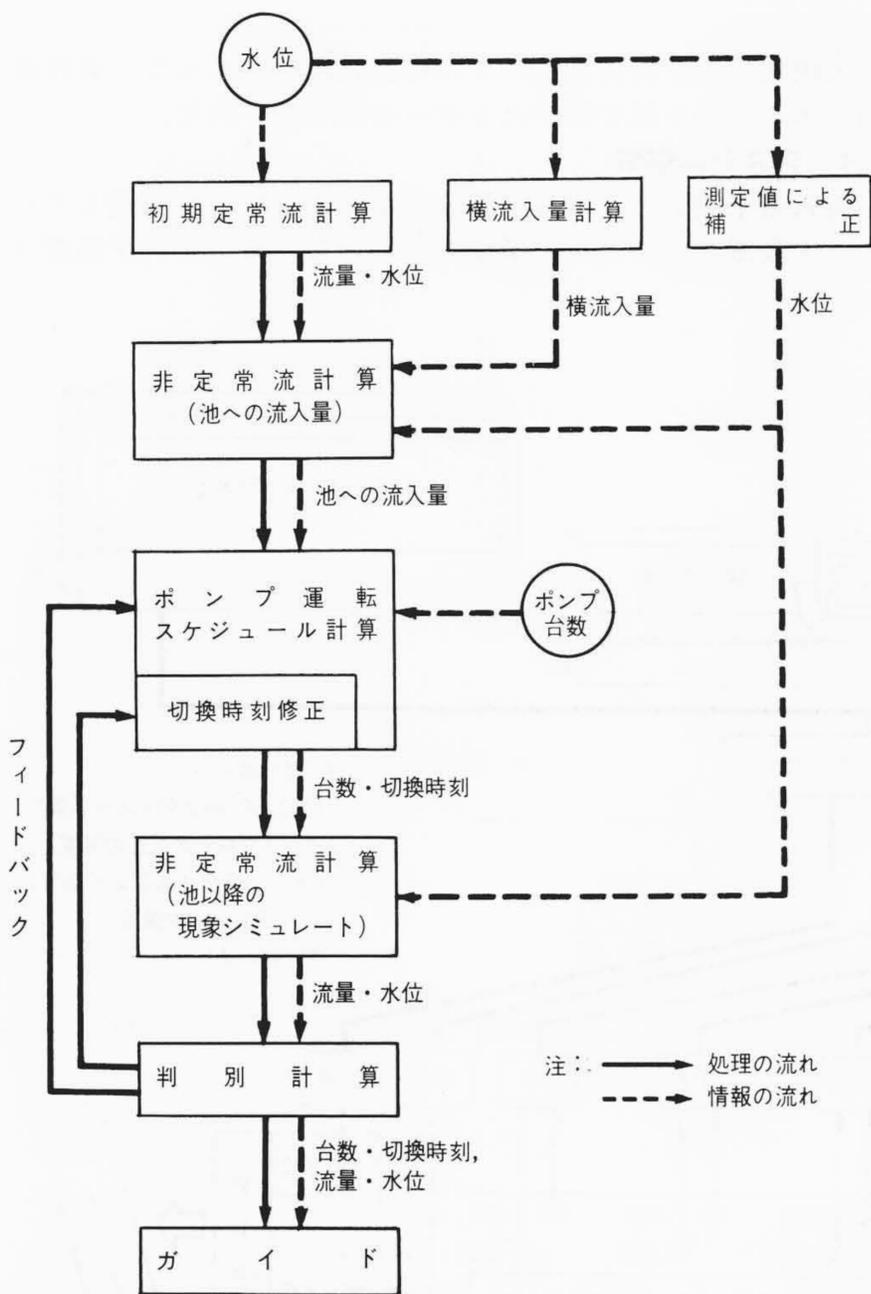


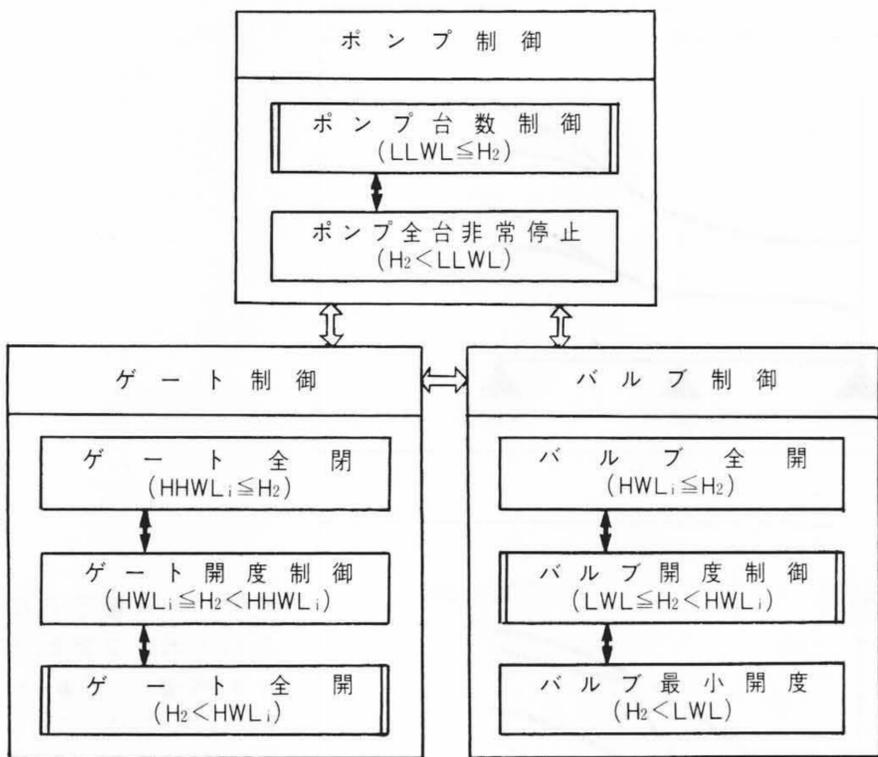
図3 流入量予測に基づくポンプ運転ガイド流れ図 閉開水路の非定常流計算により流入量を予測し、最適なポンプ運転スケジュールを計算する。その結果を再度非定常流計算による現象シミュレートで確認し、必要に応じてポンプ運転スケジュールを修正した後、運転ガイドを行なう。

次に、運動方程式と連続式を用い管水路、流入渠、ゲート及びポンプから成る開水路又は閉水路での水の挙動を非定常流計算し、沈砂池及びポンプ井への流入量を予測する。このとき、その時点でのポンプの運転台数が60分先までは変わらないとして計算する。流入量が予測されると、ポンプの最適な運転スケジュールを流入側の貯留容量を考慮して計算し、始動・停止すべき台数とその切替時刻とを出力する。計算されたポンプ運転スケジュールを実行した場合、水位や流量が制約条件内に収まるか否かを確認するため、再度非定常流計算によって水理現象をシミュレートする。その結果を判別し、必要に応じてまず運転スケジュールのうち切替時刻を修正し、その修正で対処しきれない場合には運転スケジュール全体を決め直す二重のフィードバックをかける。こうして決められたポンプ台数やその切替時刻、及び流量や水位は運転ガイドとしてディスプレイに出力される。これらの諸計算は制御用計算機HIDIC 80-Eによって5分以下で行なっている。

2.3 ゲート・ポンプ・バルブの協調運転制御の検討²⁾

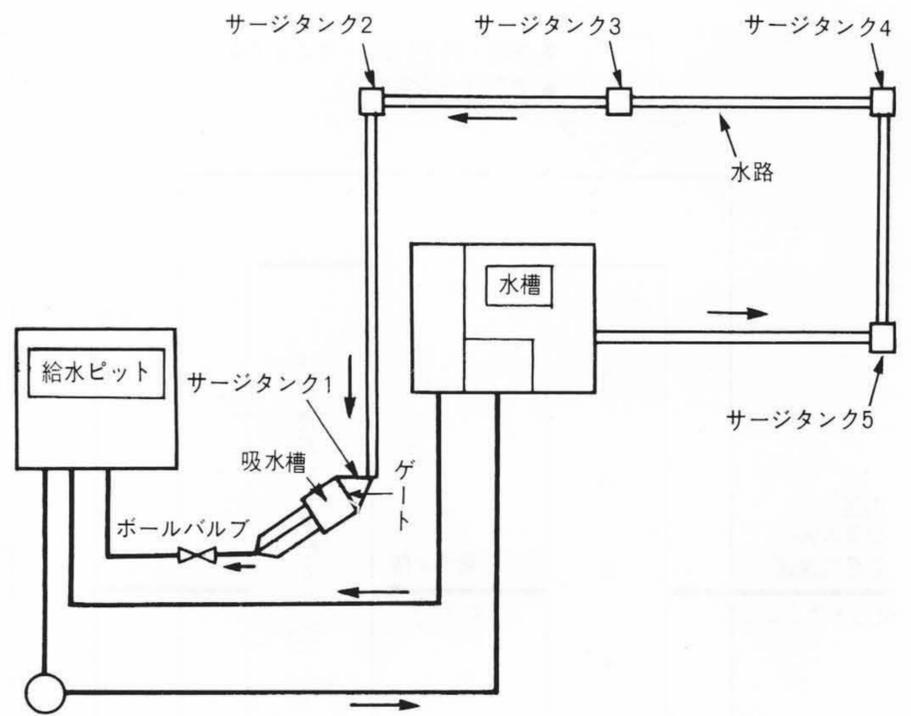
地下式の弁天抽水所では、計画流入量以上の雨水が一時に流入した場合、あるいは運転中の複数台のポンプ又はその駆動源の電動機が故障した場合にも抽水所自体の冠水を防ぎ、かつ残存する全排水能力をもって運転を継続し排水区域の浸水を防止するように、流入ゲートの開度及び開閉速度、ポンプの運転台数、吐出しバルブの開度を相互に関連づけて制御する、いわゆる協調制御について検討を行なった。

基本思想は、緊急時に流入ゲート開度の制御によってその時点でのポンプの排水能力に見合う流入量を得るものである。必要な情報はゲート一次側水位 H_1 と二次側水位 H_2 だけであり簡単で信頼度を高くでき、また、既存のポンプ制御系に付加して利用できる。協調制御の概要は、図4に示すようにポンプ、ゲート、それにバルブの各制御から成り、通常はそれぞれ、ポンプ台数制御、ゲート全開でのバルブ開度制御のモードにある。二次側水位がある設定範囲を越えるとポンプ全台



注：略語説明
 HWL_i(ポンプ_i台の運用上限水位)
 H₂(ゲート二次側水位)
 LWL(運用下限水位)
 LLWL(ポンプ非常停止水位)
 HHWL_i(ゲート全閉水位)

図4 ゲート・ポンプ・バルブの協調制御の概要 通常は、ポンプ台数制御、ゲート全開、バルブ開度制御のモードにあり、二次側水位が特定値を越えると、その他のモードに移行する。



水理モデル実験装置仕様

項目	仕様	項目	仕様
水路全長	60m	吸水槽面積	0.38m ²
水路直径	120mm	ゲート幅	56mm
水路こう配	0.8%	最大流入水量	0.17m ³ /min

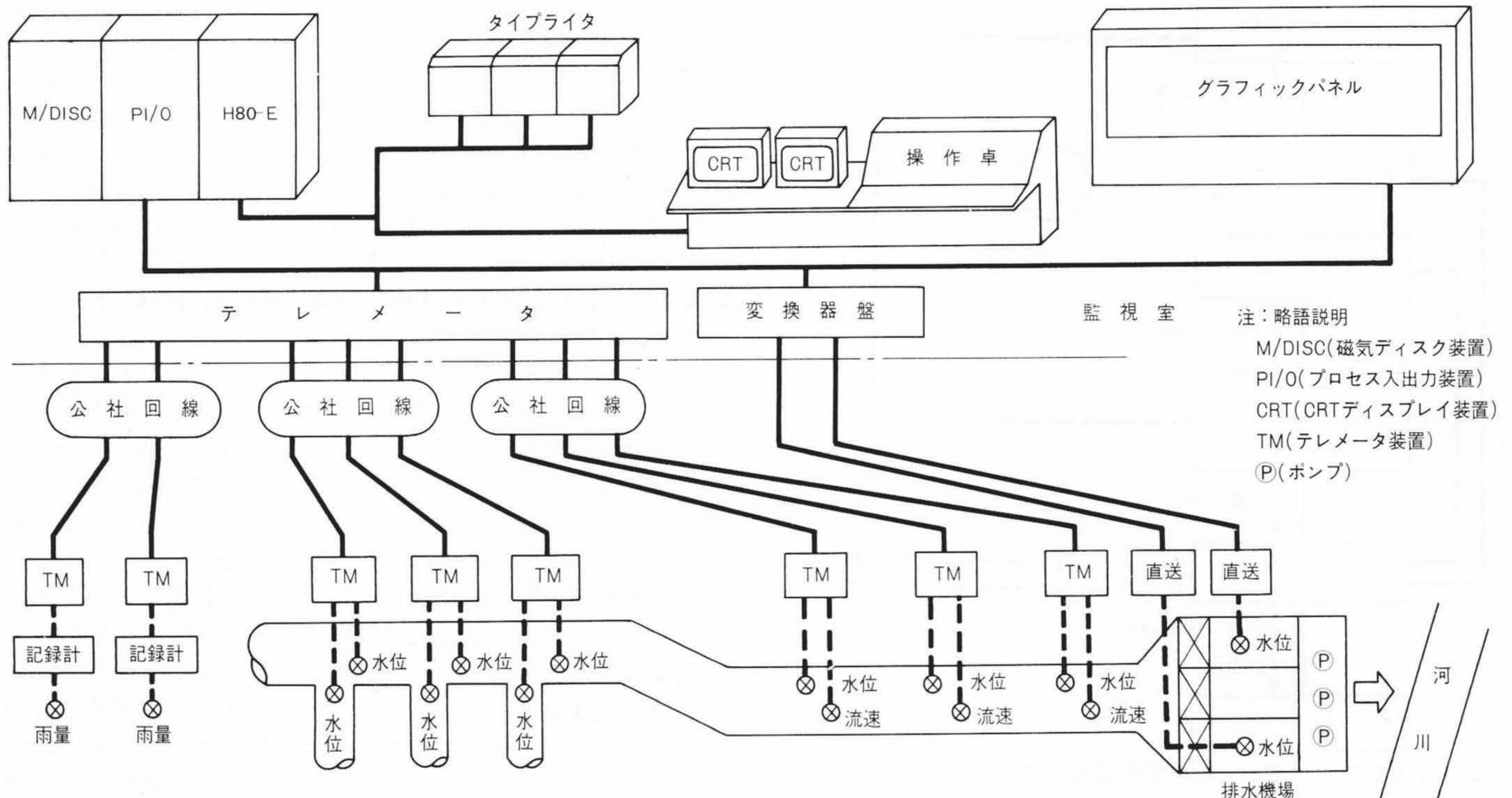
図5 水理モデル実験装置平面図 テストループは給水ピットを介するオープンループとし、各サージタンク内での水位の過渡変化を計測した。

非常停止、ゲート開度制御、ゲート全開、バルブ全開、バルブ最小開度などのモードに移行する。これを同容量のポンプ5台で構成される弃天排水設備系に適用して検討を行なった。なお、この協調制御の検討に当たっては、計算機シミュレーションのほか、図5に示すように全長60m、直径120mmの実験

用可視化模型で検証した。この可視化模型によって、実管渠内の水の挙動を目で確かめながら検証がなされた。

2.4 システム構成

流入量予測システムは、図6に示すように、計算機とテレメータ装置を中核として構成されている。テレメータ装置は



注：略語説明
 M/DISC(磁気ディスク装置)
 PI/O(プロセス入出力装置)
 CRT(CRTディスプレイ装置)
 TM(テレメータ装置)
 P(ポンプ)

図6 流入量予測システム概略構成図 テレメータ装置によって収集した情報を基に、流入量予測及びポンプ運転スケジュールを計算し、結果をCRTディスプレイに表示する。

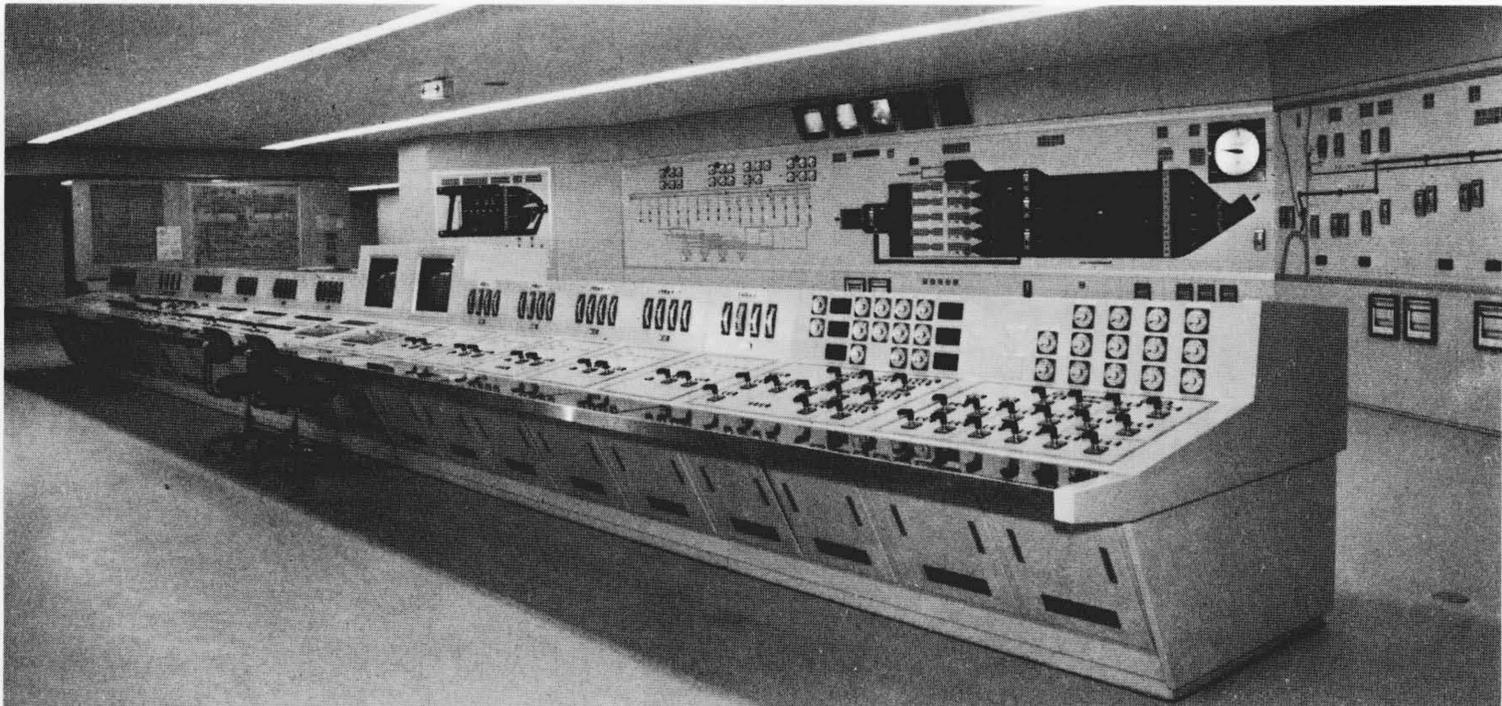


図7 中央監視盤外観
流入量予測に基づくマンマシンシステムを導入した中央監視室を示す。

雨量局5局，水位局3局，水位・流速局3局から成り，収集されたデータは，弁天抽水所のデータとともに制御用計算機に取り込まれ，流入量予測及びポンプ運転ガイドに使用される。本システムの主な機能は次のとおりである。

(1) 基本処理

幹線，管渠及び抽水所データの収集，グラフィックディス

プレイ(CRT：Cathode Ray Tube)への状態表示，報告書作成，異常警報出力などを行なう。

(2) 流入量予測計算

雨量，水位，流速データを用い1時間先までの流入量予測を行なう。予測計算は降雨開始によって起動し，5分ごとに計算を行ない結果をCRTに表示する。

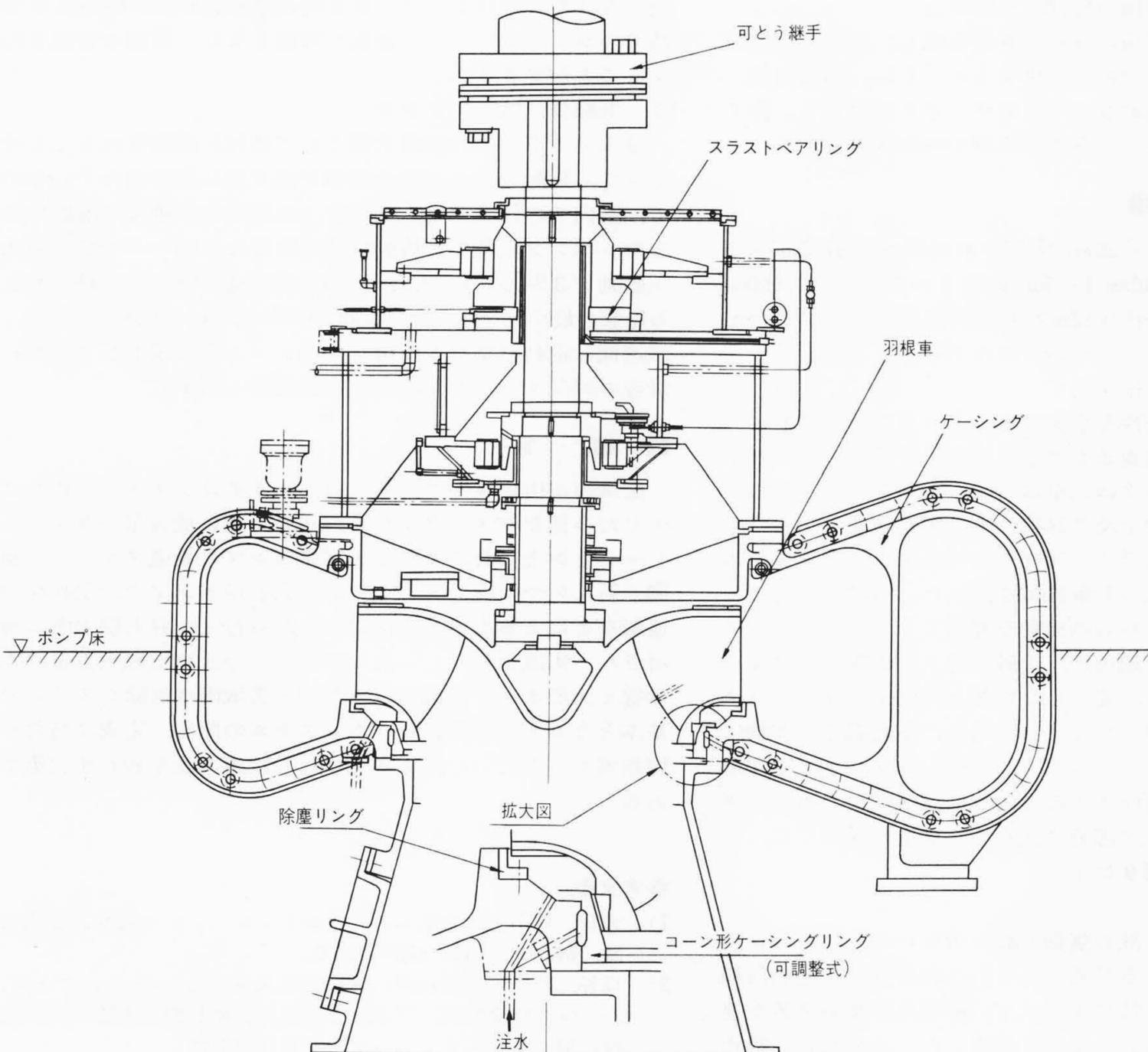


図8 排水ポンプ断面
二重ポリウレタンケーシングの上部にスラスト軸受を設けた。異物の閉塞防止を図る目的から除塵リング，コーン形ケーシングリングを採用し，また空転運転ができる構造となっている。

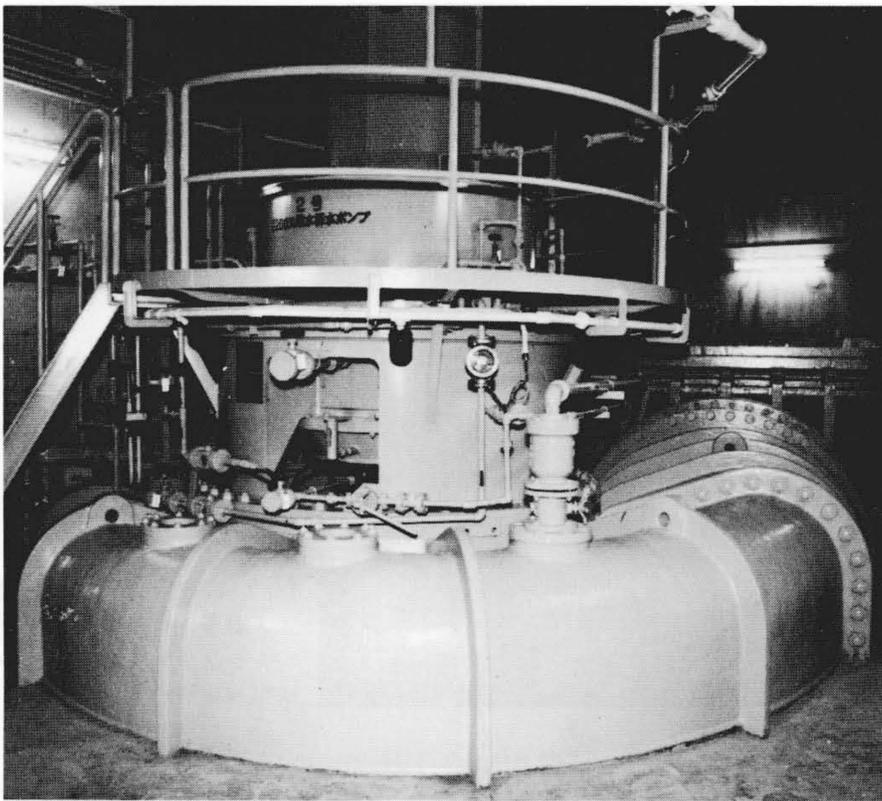


図9 排水ポンプの外観 ポンプケーシングの下半分をコンクリートに埋設して、支持の安定及び振動防止を図った。

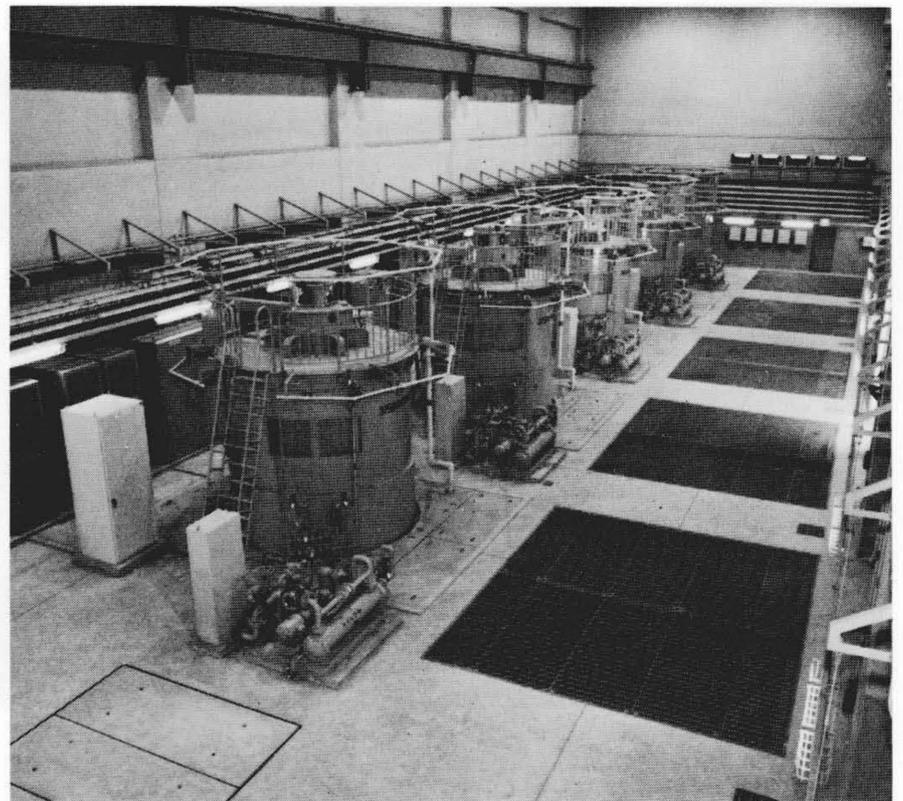


図10 立軸電動機の外観 整然と並ぶ低騒音形電動機を示す。減速機は床下の架台内に収納されている。

(3) ポンプ運転ガイド

流入量予測結果に基づき、最適ポンプ運転スケジュール及びその場合の沈砂池水位変化をCRTに表示し、操作員が的確な判断を行なえるようにする。

(4) ポンプ及び付帯設備の監視、予防保全

ポンプなどの排水設備の運転状態を監視し、異常の早期発見、対策のための判断材料を提供するとともに、事後解析、保守点検、部品交換時期などの参考データを提供する。図7はこのシステムを実現した弁天抽水所中央監視室を示す。

3 主排水ポンプ設備

ポンプ設備は、地下約25mに設置され総排水量 $57.5\text{m}^3/\text{s}$ の能力をもつ。口径 $2,200\text{mm}$ ($12.5\text{m}^3/\text{s}$)が3台と、口径 $2,000\text{mm}$ ($10.0\text{m}^3/\text{s}$)が2台の全揚程23mの大形雨水排水ポンプ5台が設けられた。以下これらについて詳述する。

(1) 主ポンプの形式と構造

主ポンプは、使用条件及び大形機でもあり保守を容易にできる観点に立ち立軸渦巻ポンプを採用した。図8にポンプの断面を示す。ケーシングは二重ポリュートとラジアルスラストの軽減、強度の向上及び異物による閉塞防止を図った。ケーシング上部にはスラスト軸受を設け、スラスト荷重をポンプで支持し電動機床の荷重軽減を図った。主軸には可とう軸継手を入れ、ポンプからの振動を遮断するように考慮している。羽根車は異物の通過性、土砂に対する耐摩耗性に優れた構造と材質を基本に、安定した性能と高効率を発揮するクローズ形羽根車が採用された。この場合、摺動部での異物による閉塞を防止するため、コーン形ケーシングリングを採用しギャップの調整を可能とすると同時に、保守のため空転運転ができるようにリング部分に注水する構造を採用した。主排水ポンプの外観を図9に示す。

(2) 保守運転

排水ポンプ設備は年間の運転回数が少ないが、降雨時には必ず迅速確実に始動する必要がある。この非常時の運転信頼性を確保するために、特に主ポンプ、補機及び制御装置が連係して保守運転を行なえるように考慮した。そのため、吸水

位の有無にかかわらず保守運転ができるようポンプは前述のように空転運転可能な構造とするとともに、吸水位が十分ある場合は、場内にバイパス循環水路を設け水路切換えによる実負荷バイパス運転が可能なるように計画された。この保守運転方式の採用によって、非常時の運転信頼性の確保と平常時でのシミュレーション運転が可能となり、有効な管理を行なうことができる。

(3) 低騒音、低脈動ポンプ

抽水所上部周辺は緑地公園として市民に開放されることやポンプ、駆動設備などの全設備が地下室に設置されているので、室内での作業環境上低騒音、低振動化が重要な課題であった。ポンプ設備では振動騒音の重要な原因の一つである水圧脈動を3%以内に抑え、土木建築構造や吐出し水路へ与える影響の最小化を図った。電動機は 85dB(A) の低騒音形とし、減速機は電動機架台と併用したフレーム内に収納して振動、騒音の軽減を図った。図10に電動機室を示す。

4 結 言

広域の市街化区域での下水道の雨水排除システムに新たに生じた多様な要求を満すための技術、特に流入量予測シミュレーションとこれに基づく大容量ポンプの最適タイミング制御、新しいマンマシンシステム、大容量ポンプでの空転保守運転などによる高い運転信頼性と低騒音化が弁天抽水所に適用され、実証された。これらの技術は今後の広域大容量雨水幹線と大形ポンプ設備で構成される広域雨水排除システムの基本となるものと言える。本システムの開発、完成に当たり御指導をいただいた関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 大音, 外: 上下水道におけるシミュレーション技術, 日立評論, 64, 9, 645~650(昭57-9)
- 2) 塩谷, 外: 雨水排水系における流入量予測とゲート, ポンプ, バルブの協調制御, 下水廃水処理の自動制御と水質の計測監視に関するワークショップ論文集(昭55-10)