

# 雨水ポンプ場ネットワーク設備 に関する研究

## 1. 研究の背景と目的

近年、市街化の進展や集中豪雨の増加等に伴い、下水道の雨水排除能力を超える雨水流出が頻繁に生じている。また、都市部への資産集中や地下空間利用の進展等都市機能の高度化が進むことにより、浸水に対する都市の被害ポテンシャルは増大している。これらの都市においては、整備水準の向上等を視野に入れた浸水に強い街づくりが求められている。

一方、昭和 30～40 年にかけて建設された大都市の市街地の雨水ポンプ場の多くは、建設後 40～50 年が経過し、更新時期を迎えている。これらのポンプ場では、敷地に余裕がないところが多いため、排水機能を維持しながら、老朽化対策や地震対策を含めた再構築をいかに行うかが課題となっている。

そこで、浸水対策や再構築対策としての新たな手法として、隣接する複数のポンプ場排水区間を連結するネットワークに着目し、ネットワーク化する場合の計画策定手法および必要となるポンプ場設備に関する技術的事項を示すことを目的に、2 つの研究に分けて実施した。

本研究では、雨水ポンプ場ネットワークの設備面からのあり方等について研究するもので、施設の再構築・改築の際に必要な雨水ポンプ場ネットワーク設備の計画・設計に関する技術的事項について示すことを目的とした。

## 2. 研究体制

本研究は、(株)クボタ、(株)東芝、前澤工業(株)、(株)荏原製作所、(株)電業社機械製作所、(株)西島製作所、メタウォーター(株)、(財)下水道新技術推進機構の計 8 者が共同で実施した。

## 3. 研究内容

### 3.1 研究の概要

本研究では、設備を機械設備と電気設備に分けて検討を行った。

雨水ポンプ場ネットワークの設備において、計画編で示されたような種ポンプ場を構築する場合、その多くが幹線の末端である最深部に設置されることが考えられ、地下の大深度になることが想定される。このため、機械設備の面では、大深度の雨水ポンプ場に関わる技術である高揚程ポンプ設備・除塵設備について検討を行った。

雨水ポンプ場ネットワークの特徴として、複数の施設が同一幹線に接続されるため、対象とする区域が 1 つの施設ではなく広範囲となる。このため監視制御用の設備は、大深度に適応し、かつ広範囲を対象とした運用を支援するシステムが必要となる。このことから電気設備では、降雨レーダを活用した複数の雨水ポンプ場の広域監視制御システムの検討を行った。

### 3.2 課題の抽出

まず、大深度雨水ポンプ場の設備構成および雨水ポンプ場ネットワーク全体の運用にかかわる課題を抽出した。

図-1に大深度雨水ポンプ場の課題を示す。

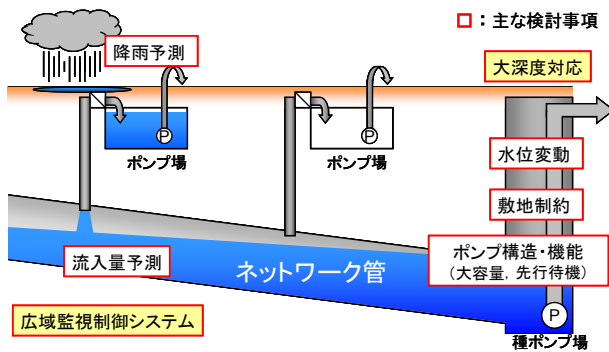


図-1 大深度雨水ポンプ場の課題

模式図で示したようにネットワーク幹線の排水を行う種ポンプ場を新設する場合、通常管渠の最下部となり、設置深度も大きくなる。また、降雨時のネットワーク幹線への雨水流入は複数箇所であつ時間差が発生し、水量も膨大なものとなると想定される。このため、排水するためのポンプ設備は大水量および急激な流入に対応する必要がある。加えて、設備は雨天時の運用となるため、通常は稼働しないことから、施設の運用は不定期で間欠的な運転となり、また自動運転や遠方監視運転が主体となる。

#### 3.2.1 機械設備

機械設備では、大深度の雨水ポンプ場（種ポンプ場）について、設備構成および課題に対する対応を以下に示す。

- ・大水量・大深度（高揚程ポンプ、駆動方式等）
- ・急激な雨水流入（先行待機運転の適用）
- ・水位の変動（ウォータハンマ対策、ポンプのキャビテーション対策）
- ・狭小施設（省スペース機器）
- ・省メンテナンス（沈砂池のドライ化、配管揚砂・搬出）

#### 3.2.2 電気設備

急激な雨水流入に設備が対応できない場合や停電等によって施設が水没し機能不全に陥る場合のみならず、それに伴って上流側の降雨地域での浸水といった広範囲での問題が生じるおそれがある。

この課題を解決するため、施設の躯体構造や停電時の対応の他、雨水流入を早期に予測し、ネットワーク管で接続された設備の安全性を確保し、関連設備の効果的な監視・運転制御を行う必要が出てくる。

### 3.3 機械設備の設計

抽出した課題を基に、以下の手順で機械設備の設計を行う。

#### 3.3.1 設計の手順

排水量、水位条件、設置深度等の基本的な計画項目を設定した後、まず主要機器である雨水ポンプの仕様・台数およびその駆動機の方式を設計する。

次に、沈砂池設備の機器や搬出装置といった付帯設備の仕様を設定する。

設備設計の手順を図-2に示す。

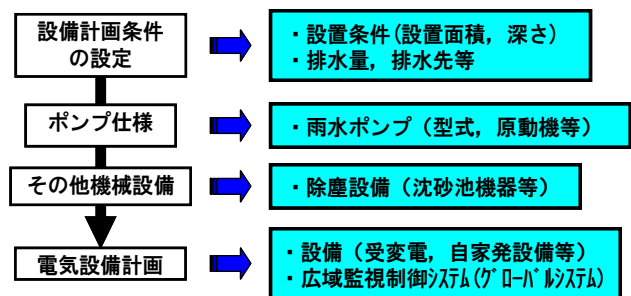


図-2 設備の計画・設計

#### 3.3.2 ポンプ設備の設計

- ・ポンプ台数は、敷地制約や製作限界を考慮して2~6台を標準とし予備機は原則設けない。
  - ・ポンプ型式は、大深度（高揚程）・水位変動に耐える機能を有する立軸斜流ポンプまたは立軸渦巻斜流ポンプを標準とする。
  - ・水位変動に対しては、先行待機形のポンプを選定する。
  - ・水撃（ウォータハンマ）の防止策については、管渠も含めた計画初期に水撃が発生しないように管路計画をすべきであるが、設備にて行う場合、サージングタンク・空気弁・圧力タンク等を設置する。
  - ・施設の面積的制約や既設躯体の条件により標準型ポンプの適用が困難な場合は、高流速型ポンプである「軽量・高速・大容量雨水排水ポンプ」の適用を検討する。
- この高流速型ポンプは、同じ吐出量に対してポンプ揚水管口径を従来のものより小型化できる点が特長であるが、ポンプ井の渦流、ポンプのキャビテーション発生等に留意し、適用の可否を判断する。
- ・ポンプの原動機は、施設規模、運転頻度、保守点検、経済性等を考慮し決定する。

原動機の方式は、図-3のように分類される。

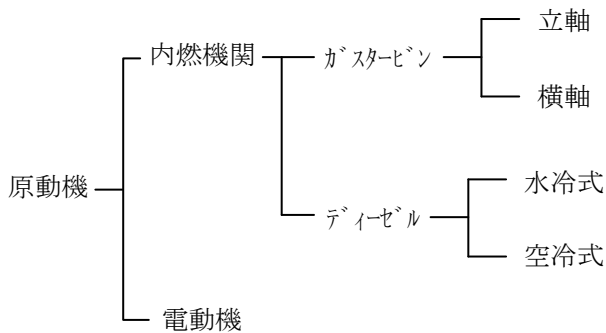


図-3 原動機の方式

雨水ポンプは、運転頻度・時間が少なく、また台風や雷雨時等の停電のことも考慮すると、原動機はガスタービンやディーゼル等の内燃機関方式とし、契約電力の低減化を図ることが望ましい。また運転頻度が多い場合は、商用電源による電動機でもよい。

内燃機関の場合の主な注意点として、ガスタービンの場合、排気量および発生熱量が大きいので、消音器も含めた大型の換気設備が必要となる点に注意する。ディーゼルの場合は、荷重・振動が大きいので、土木構造の強度に注意する。また、NOx対策も必要となる。

敷地制約や省スペースの観点から、ディーゼル機関や横軸ガスタービンと比較して、立軸ガスタービンは原動機がポンプの上部に設置されるため、機場の水路方向の寸法に対して省スペース化が期待できる。(図-4)

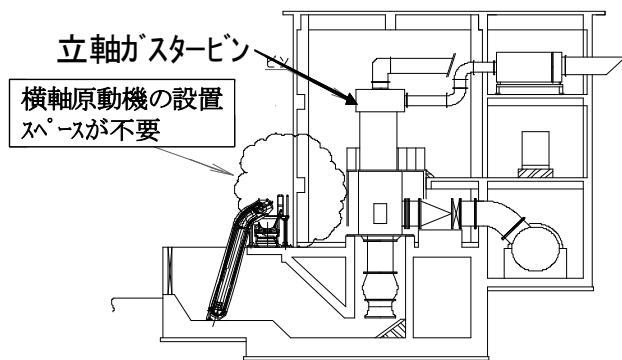


図-4 立軸ガスタービン採用例

### 3.3.3 除塵設備の設計

沈砂池は間欠的な稼働となることから、設備の維持管理性および臭気・害虫の発生を抑制するためドライ管理を標準とする。また、敷地の制約等の特別な事情がない限り維持管理を考慮して除塵・除砂装置が地上部に近い配置になる後沈砂池方式とする。

- ・流入ゲートは自動降下式が望ましいが、大深度の場合、電動機や開閉装置に製作限界があるので、設置条件に注意して方式を選定する。
- ・スクリーンについては、降雨時の比較的短時間に大量のきょう雑物の流入が予想されることから、掻き揚げ能力の高い連続式を標準とする。
- ・除砂設備は、ドライ管理に適した揚砂ポンプ方式(噴射式・揚砂ポンプ式)を標準とする。

ただし、降雨時やネットワーク貯留管洗浄時等に一時的に大量の沈砂が流入してくる恐れがあることから、揚砂ポンプ式の採用にあたっては、昇降式揚砂機等の砂没対策を考慮する。

また、水路が深くなる場合については、揚砂ポンプ閉塞時のポンプ吊り上げ作業がかなり煩雑であることから噴射式を標準とする。

## 3.4 電気設備の設計

### 3.4.1 設計フロー

電気設備では、大深度雨水ポンプ場の負荷設備を整理し、設備全体の容量をまとめた上で、受変電設備、動力設備、自家発電設備の設計を行う。

また、監視制御設備は雨水ポンプ場ネットワーク設備を全体的に制御する広域監視制御システムとして、グローバルシステムの設計を行う。

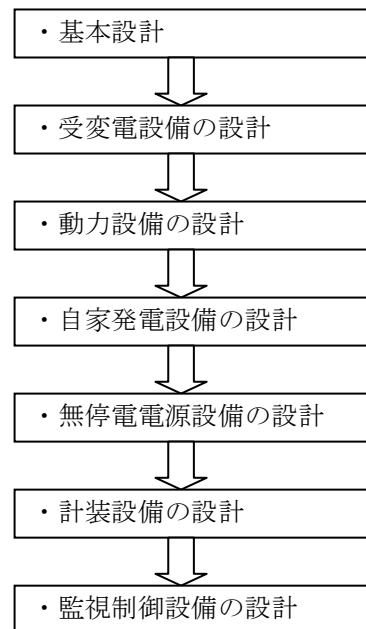


図-5 電気設備設計フロー

### 3.4.2 電気設備の設計

雨水ポンプ場は、周辺地域を水害の危険から守る目的があるため、機械の駆動源となる電源が喪失することがあってはならない。

したがって、現場機器（現場盤、センサー等）を含めた電気設備の設置場所については、浸水しない箇所とする。

#### ①需要電力

大深度雨水ポンプ場においては、除塵、除砂設備、排水ポンプ設備ならびに建築付帯設備の運転が排水運転時に集中するため、需要率は大きめの値とする（0.8～0.9）。また、台風や洪水時に運転する場合は、信頼性の向上した電力会社配電網とはいえ外部の電源であることから停電のリスクは免れない。よって、場内での非常用発電設備は不可欠と考えられることから、受電方式は回路構成が容易で経済的な1回線受電を標準とする。

#### ②自家発電設備

自家発電設備は、原則として12時間～24時間の連続運転が可能な燃料設備を見込む。

また雨水ポンプを電動機駆動とした場合には、運転に必要な容量を見込むことに留意して設計する。

### 3.4.3 グローバルシステムの設計

雨水ポンプ場をネットワーク化することにより処理対象区域が広がるため、浸水対策としては従来のポンプ場単独での運用だけでは迅速な対応は困難となる。このため雨水ポンプ場ネットワークでは、降雨予測、流入状況を早期に把握し、かつ幹線・雨水ポンプ場・種ポンプ場等の施設全体を効果的に運用する監視制御システムが必要となる。

本研究では、広域施設を運用管理する監視制御システムの手法の一つであるグローバルシステムについて取りまとめた。

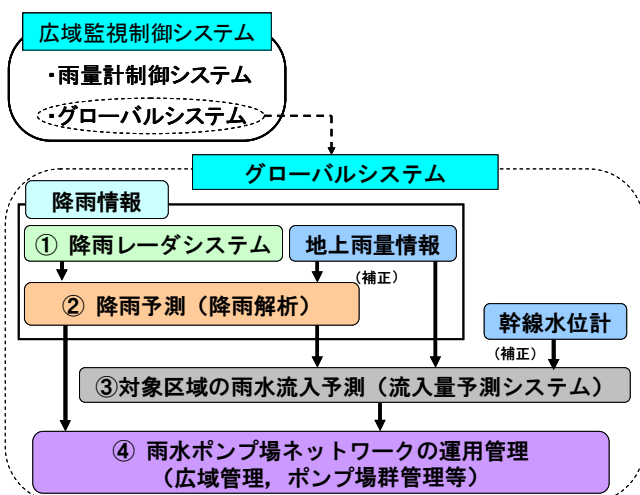


図-6 グローバルシステムの構成

グローバルシステムは、降雨レーダシステム・降雨予測・流入量予測システム・ポンプ運用システムの4つのサブシステムより構成され、降雨の確実な観測および将来の降雨予測・排水施設へ流入量予測・予測流入量を基にポンプ場のリアルタイム運用という広域な雨水ポンプ場ネットワーク施設の総合的、迅速かつ効果的な運用管理を可能とする。

図-6にグローバルシステムの構成を示す。

#### ①降雨レーダシステム

降雨レーダシステムは、降雨状況（降雨の有無、強弱、雨域の移動）をリアルタイムに把握するシステムである。局所的な集中豪雨を観測するには、観測単位が細かく、観測周期が短い方が望ましく、降雨レーダは従来の気象レーダ等と比較して優れた性能を示している。

図-7に示すように、従来の気象レーダとグローバルシステムで使用する降雨レーダでは、降雨観測の精度に違いが生じてくる。降雨レーダでは細かく観測できるために偏在性降雨（局所降雨）を的確に観測し、雨域の移動を捉えることが可能となる。

#### ②降雨予測

降雨予測は、降雨レーダシステムのデータに基づき、将来の降雨の変化、雨域の大きさや移動等の変化をリアルタイムに予測し、流入量予測のデータとするシステムである。

#### ③流入量予測システム

流入量予測システムは、降雨レーダシステムの観測および降雨予測で予測したデータに基づき、各ポンプ場施設への流入を予測するシステムである。

予測モデルは、集中型モデルと分布型モデルの2つに大別される。

#### ④ポンプ運用システム

ポンプ運用システムは、流入量予測システムにより得られた情報により、各ポンプ場の制御を行うシステムである。

システムの運用においては、以下の点に留意する。種ポンプ場より遠方にて偏在性を持った集中豪雨が発生した場合に、降雨区域から種ポンプ場までの流達時間が長い場合、排水すべき流入水がポンプ場に届く前に降雨区域で浸水が発生してしまい、予測効果が薄れてしまうため、種ポンプ場への流達時間に留意する。

また、ネットワーク管から雨水を排水する場合には、河川水位（外水位）規定や制限流量を守るといった放流規制を順守する必要がある。

このためグローバルシステムを用いた運転でも、外水位や排水量を監視しながら運転を行う。

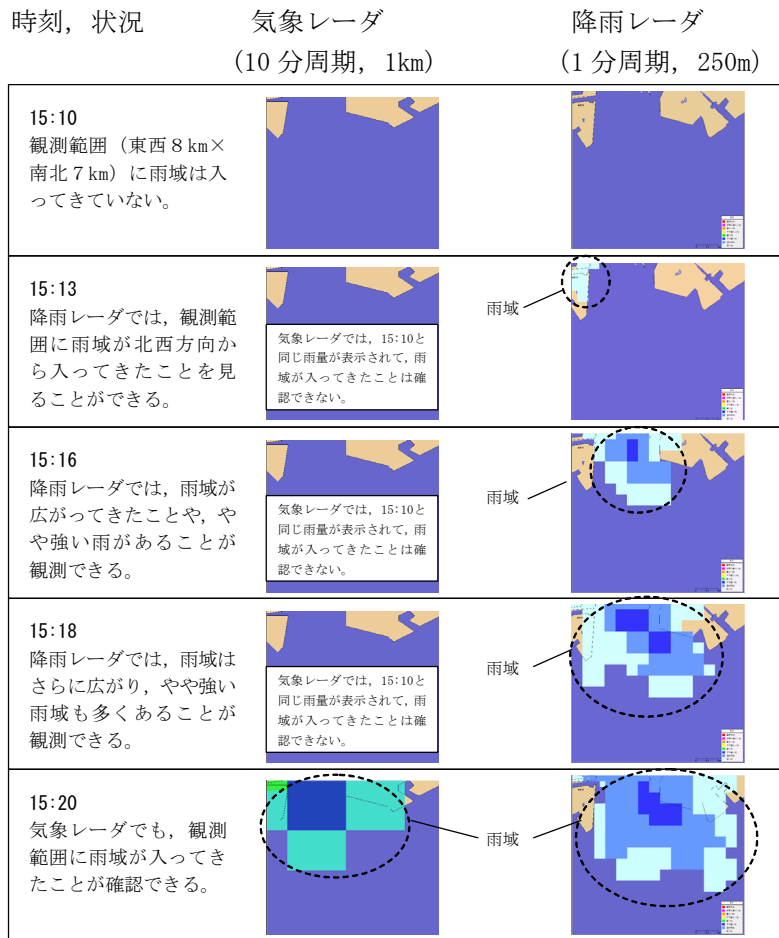


図-7 気象庁レーダと降雨レーダの降雨観測の違い(例)

### 3.4.4 グローバルシステムの導入計画

システム導入にあたっては、図-8 の手順にしたがって行う。

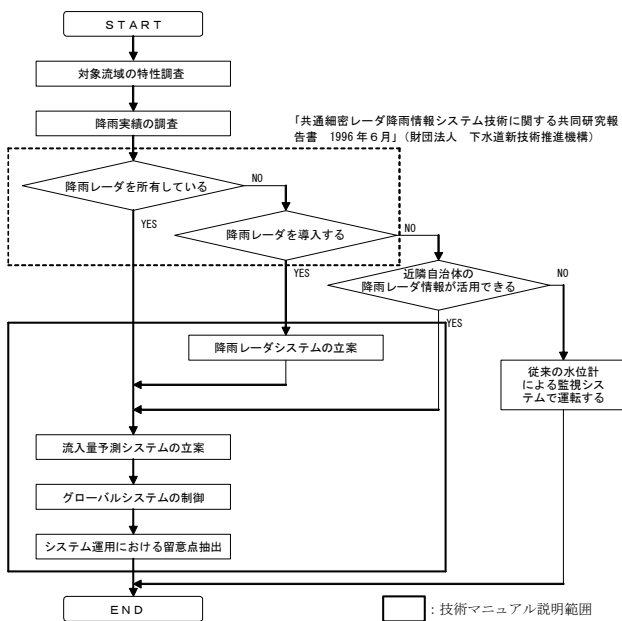


図-8 グローバルシステムの導入手順

### 3.5 ケーススタディ

グローバルシステムによる溢水量の低減効果をケーススタディで確認した。

#### ①設定条件

降雨条件：Bポンプ場(改築中により停止)付近に偏在性降雨(超過降雨107mm)

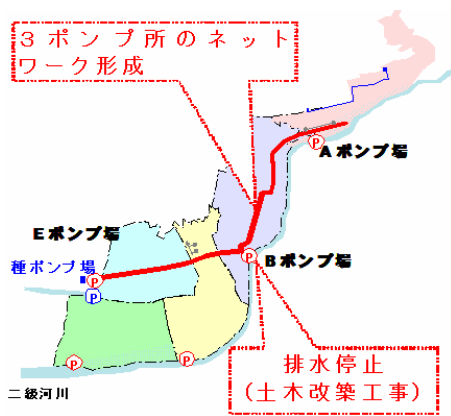
設備：3カ所のポンプ場をネットワーク管で連結(流下貯留管φ3,000~4,000mm)、幹線の排水用に最下流部に種ポンプ場を新設。

運転方案：水位をネットワーク管底まで下げる。

効果：システム導入前後の区域の溢水状況の違いを確認する。

ケーススタディの検討結果を図-9に示す。

シミュレーション計算により、グローバルシステムを導入したケースでは、導入前より溢水量を26.2%低減できる結果となった。



	従来の制御 (水位制御)	グローバル システム
溢水量	10,300m <sup>3</sup>	7,600m <sup>3</sup>
低減効果	—	26.2%

図-9 ケーススタディの検討結果

## 4. 技術マニュアルの構成

技術マニュアルは、本編と資料編から構成される。各編の内容は以下のとおりである。

- 第1章 総 則
  - 第1節 目的
  - 第2節 適用範囲
  - 第3節 用語の定義
- 第2章 設備計画
  - 第1節 雨水ポンプ場ネットワーク設備の特徴
  - 第2節 設備計画
- 第3章 機械設備設計
  - 第1節 機械設備設計の考え方
  - 第2節 ポンプ
  - 第3節 主配管
  - 第4節 ポンプ駆動設備

- 第5節 ポンプ系統機器設備
- 第6節 除塵設備
- 第7節 付帯設備

### 第4章 電気設備設計

- 第1節 電気設備設計の考え方
- 第2節 電気設備設計

### 第5章 グローバルシステム

- 第1節 広域監視制御システム
- 第2節 グローバルシステムの概要
- 第3節 グローバルシステムの構成
- 第4節 グローバルシステムの導入計画

### 資料編

1. ケーススタディ
2. 大深度雨水ポンプ場の事例
3. RTCをもちいた広域監視制御システムの導入事例
4. 土木構造物
5. 降雨レーダの観測データ補完について
6. 関連法規
7. 問い合わせ先

## 5. まとめ

本研究では、雨水ポンプ場ネットワーク設備において、大深度雨水ポンプ場に特徴的な機械・電気設備および雨水ポンプ場ネットワークの広域監視制御システムについて、以下の事項を整理・検討した。

- ①設備の構成と適用範囲
- ②機械・電気設備の計画・設計手順
- ③グローバルシステム（広域監視制御）
- ④機械・電気設備のケーススタディ
- ⑤留意事項等

本研究における研究成果は、「雨水ポンプ場ネットワーク設備技術マニュアル」として取りまとめている。今後、本技術マニュアルが雨水ポンプ場ネットワークの計画を行っていく上での一助となれば幸いである。

### ●この研究を行ったのは

研究第二部長	松島 修
研究第二部副部長	目黒 亨
研究第二部主任研究員	吉田 秀潔
研究第二部研究員	渡邊 晃
研究第二部研究員	岩下 真理

### ●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長	松島 修
研究第二部副部長	高瀬 行廣
研究第二部研究員	渡邊 晃
問い合わせ先	電話 03-5228-6598