

〈ノート〉

雨水ポンプ場ネットワークの広域運用監視制御システム

(グローバルシステム)に関する研究

岩下 真理¹⁾, 渡邊 晃¹⁾, 吉田 秀潔¹⁾, 目黒 享²⁾, 松島 修¹⁾

財団法人下水道新技術推進機構(〒162-0811 東京都新宿区水道町 3-1 水道町ビル 7F, E-mail: m-iwashita@jiwet.or.jp)¹⁾
 横浜市環境創造局西部水再生センター(〒245-0065 横浜市戸塚区東俣野町 231, E-mail: to00-meguro@city.yokohama.jp)²⁾

概要

近年, 市街化の進展や集中豪雨の増加に伴う雨水排水対策や, 既設の雨水ポンプ場における老朽化・地震などの対策の重要性が増大している。それらの対策の一つとして, 雨水ポンプ場のネットワーク化が挙げられる。雨水ポンプ場のネットワーク化では, その機能上複数のポンプ場が連携するため, 広域的な運用管理を行う必要があると想定される。そこで本研究では, 雨水ポンプ場の広域運用監視制御システムの一つであるグローバルシステムに関する技術的事項について検討を行い, その導入の有効性を示した。

キーワード: 雨水ポンプ場, ネットワーク, 広域運用監視制御システム, グローバルシステム

1. はじめに

近年, 市街化の進展による雨水流出量の増大や集中豪雨の増加に伴い, 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, 都市での地下空間利用の発展に伴い, 浸水に対する都市の被害ポテンシャルは増大しており, 全国の浸水被害額は, 平均 8,000 億円/年¹⁾にも及ぶ。これらの都市においては, 大雨に対応するため雨水ポンプ場の排水能力増強などによる浸水に強い街づくりとともに, 老朽化や耐震化を視野に入れた再構築を進める必要があるが, 敷地の制約により, 十分な設備や機能が確保できていないことが想定される。このような現状への対策手法の一つとして, 雨水ポンプ場のネットワーク化が, 排水能力を維持しつつ, 超過降雨への対応や雨水ポンプ場の効率的再構築手法として有効であると考えられる。

しかし雨水ポンプ場をネットワーク化することにより, 対象区域が広がるとともに, 下流域での雨水排水量が増大するなどのリスク移動が生じる可能性も考えられるため, 従来の単独ポンプ場に比較して, ネットワーク内の雨水排水ポンプ場の運用にあたっては, 迅速な運転管理が求められる。そのため, 施設を広域かつ総合的に監視するシステムが必要となってくる。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検討を行った。

2. 雨水ポンプ場ネットワーク

Fig.1 に雨水ポンプ場ネットワークのイメージ図を示す。雨水ポンプ場ネットワークは, 既存の複数ポンプ場および新設する能力増強または再構築中の代替ポンプ場(以下, 種ポンプ場²⁾と称す)をネットワーク管で連結することにより, 連結された排水区の排水機能を補完する手法である。整備水準の向上は, 必要となる排水量に対して排水施設能力の不足する量をネットワーク管内へ貯留, または種ポンプ場で排水する方法で対応する。また, 地震時におけるリスク分散, 超過降雨(局所・偏在

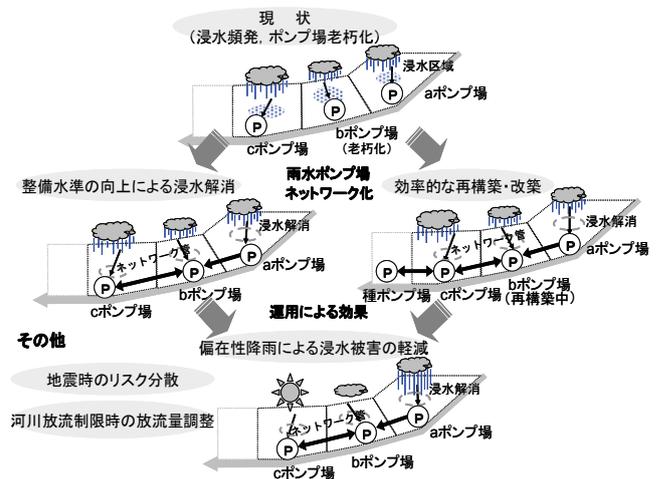


Fig.1: Image of storm water pumping station network

性)による浸水被害の軽減及び河川放流規制時の放流量調整などにおいても, ポンプ場間の相互補完などにより対応する。Table 1 に期待される効果および留意点を示す。

雨水ポンプ場ネットワークでは, 複数の雨水ポンプ場をネットワーク化するため, 監視範囲が広域になる。また雨天時のみの運用であり, 通常は稼動しないことから不定期な間欠運転となるため, 運転方法は自動運転や遠方監視が主体となる。そこで本研究では, 雨水ポンプ場ネットワークの運用に必要な広域運用監視制御システムについて検討した。

Table 1: Purpose and merit of network

目的	効果	留意点
雨水整備水準の向上	<ul style="list-style-type: none"> ● 浸水規模および浸水発生頻度の軽減が図られる。 ● ポンプの故障時などでも, 他のポンプ場で排水機能を補完できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 当該排水区の雨水を他の排水区のポンプ場で排水することになる。(河川協議の必要性あり)
効率的な再構築・改築	<ul style="list-style-type: none"> ● 当該ポンプ場を再構築している場合でも, 他のポンプ場で排水機能を補完できる。 ● ネットワーク施設は再構築時の代替施設よりも規模が小さくなる。^{3), 4)} 	<ul style="list-style-type: none"> ● 現状の整備水準を維持するような対応が必要である。
多様な施設運用	<ul style="list-style-type: none"> ● 降雨の局所性・偏在性を考慮し, 超過降雨時でも浸水被害を軽減できる可能性がある。 ● 地震時でも排水機能の相互補完により緊急的な対応が可能である。 ● 河川の放流規制が有る場合にネットワーク施設での貯留により放流量の調整が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 下流側での浸水リスクの増大に対する対応を考慮する必要がある。

3. 広域運用監視制御システム

3.1 広域運用監視制御システムの概要

広域運用監視制御システムの機能としては、複数ポンプ場流域の雨量観測、ネットワーク管渠内の複数地点水位観測、流入量予測、ポンプの適切な運用などがある。

本報告では、広域運用監視制御システムを、雨量観測方法により以下の2つの方法に分類している。

- ①地上雨量計、気象レーダを活用したシステム(通常システム)
- ②地上雨量計、降雨レーダを活用したシステム(グローバルシステム)

①では、地上雨量計の情報と管渠内水位計の情報および気象庁の気象情報(気象レーダを含む)によって、制御する。

一方②では、観測メッシュ、観測周期の細かい降雨レーダを気象レーダに替えて用い、それに適する制御を行う。これを「グローバルシステム」と称し、次項以降で説明する。

3.2 グローバルシステムの構成

グローバルシステムは、広域ポンプ場を運用管理する制御システムの一つとして、降雨レーダシステム、監視制御システムの中に含まれる降雨予測技術、流入量予測システム、ポンプ運用システムの3つのサブシステムと1つの技術より構成される。これらのシステム及び技術は、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・予測流入量を基に排水貯留能力を持つ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。

Fig.2 にグローバルシステムの構成(例)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。

Table 2 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

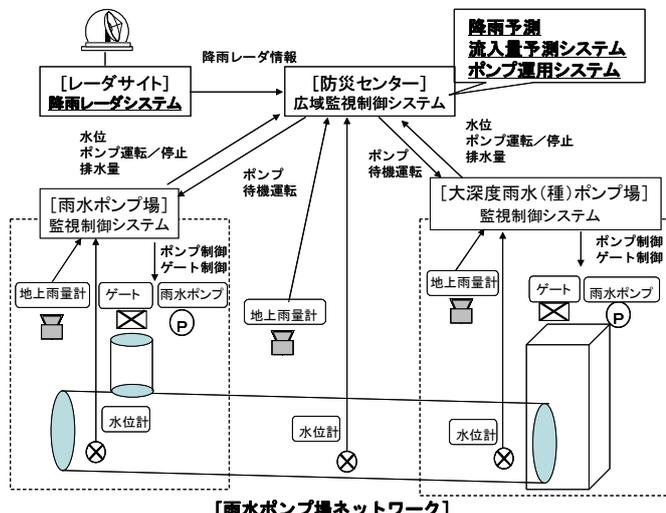


Fig.2: Component of wide operation, monitoring, and control system (example)

Table 2: Difference of rainfall observation between weather radar and precipitation radar (example)

	気象レーダ	降雨レーダ
運用	気象庁	各自治体の例
観測範囲	全国	定量観測範囲 50km半径 補助情報 50~80km半径
観測単位 (メッシュ)	1km	方位1.4度(256分割) 距離半径20km以内 250m 半径20~50km 500m
観測周期(分)	10	1
地上雨量計との キャリブレーション	なし	あり

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。

また、Fig.3 に観測周期を考慮した気象レーダと降雨レーダの降雨観測の違いの例を示す。

Fig.3 を見ると分かるように 15:10 時点では、雨域はどちらの方法で観測した場合でも、観測範囲内(東西 8km × 南北 7km)に入ってきていない。次の 15:13 の時点で降雨レーダでは雨域が観測範囲に入ったことが分かる。一方、気象レーダでは情報の更新周期が 10 分であるため、15:10~15:20 までの間降雨状況の変化を観測することができない。このため、雨域が観測範囲の中央にまで及んだ 15:20 になるまで降雨状況を観測することができない。このように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。

また、レーダの精度は、観測高度と密接な関係がある。観測高度が高くなると、ブライツバンドの影響やビーム充填率の関係から観測精度が落ちる。しかし、地表や建物などからの反射波があるため、極端に低くすることは不

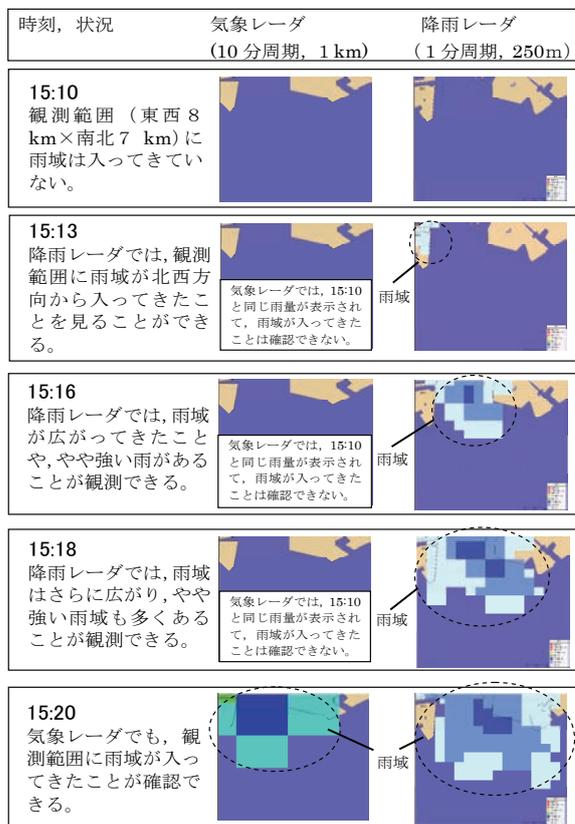


Fig.3: Difference of rainfall observation between weather radar and precipitation radar

可能である。そのため、比較的標高の低い都市部の観測を中心に行う降雨レーダのほうが、観測精度が高くなるといったメリットがある。

地上雨量計は設置場所の雨量観測しか出来ないが、この雨量計を広域に配置することにより、地上降雨の点在を捕らえて監視することが出来る。しかし、そのためには、かなり多くの地上雨量計を設置する必要があり、中央のデータセンターとの接続のためのケーブル網の整備や維持管理面での問題がある。

また、地上雨量計は降った後の雨を測定するため、現在の雨域の把握や移動方向の把握といった面的情報を得ることが難しい。雨域の把握のためには、気象レーダ(レーダ・降水ナウキャスト)情報の採用が考えられるが、観測メッシュが1kmメッシュと粗く、観測周期も10分と長いので、特に局所的集中豪雨などの検知を行い、運転制御を行うことは難しい。

一方、降雨レーダを活用した方法は、観測メッシュが250mメッシュと細かく、また観測周期も1分と短いため、時々刻々と変化する雨域や雨域の移動方向を情報として捉え、その雨量計測情報を用いて降雨予測および流入量予測ができ、そのデータを用いて雨水ポンプ場の運用を行うシステムである。Fig.4に降雨レーダを活用した広域監視制御システム(例)を示す。

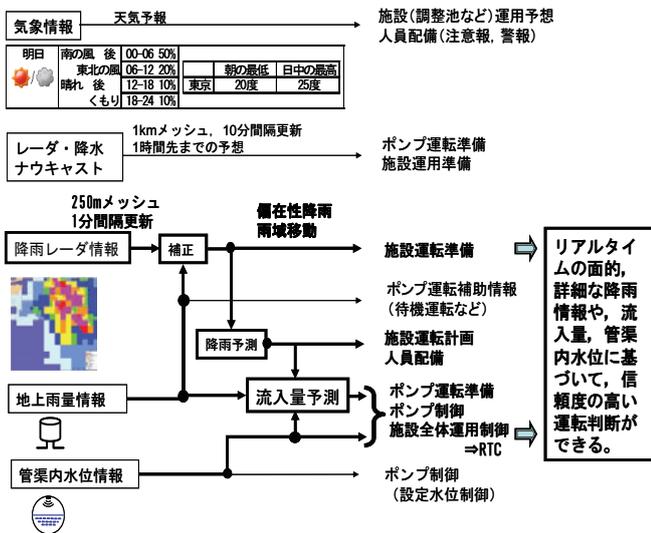


Fig.4: Wide monitoring and operation system using precipitation radar (example)

(2) 降雨予測技術

降雨予測技術は、監視制御システムの中の一つの機能として含み、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技術である。雨水排水を目的としたリアルタイムの予測が必要な運転制御システムに適している手法の例をTable 3に示す。降雨の変化は雨域の移動だけでなく、雨域の大きさや降雨の強さも変化しているため、これらの要素や目標

Table 3: Rainfall prediction

予測モデル	解像度・メッシュと範囲	予測・解析期間	実施回数
相互相関法	250mメッシュ 半径50km	5~30分先まで 5分刻み	5分周期
相互相関法	2.5kmメッシュ 500km四方	10分先~1時間先まで 10分刻み	10分周期
相互相関法	120km四方	5~180分先	15分周期
移流モデル	2.5kmメッシュ	30分先~1時間先まで 10分間隔	10分周期

とする予測時間を考慮した上で、予測手法を適用していく。

(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。

予測モデルには、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。雨水ポンプ場ネットワークの模式図をFig.5に示す。また、監視項目、計測項目の例をTable 4に示す。

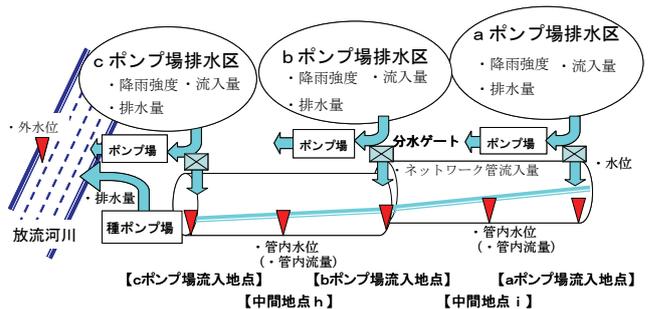


Fig.5: Pattern diagram of storm water pumping network

Table 4: Example of measurement and monitoring items

	監視項目・計測項目	情報源	備考
ポンプ場排水区	ポンプ運転/停止	各ポンプ場の状態監視	地上雨量計による補正
	降雨強度	降雨レーダ	
	流入量	降雨レーダ, 流入量予測	
	排水量	ポンプ運転	
	幹線水位	流入量予測値	
ネットワーク管	ネットワーク管流入量	流入量予測値による演算	管内水位計による補正
	管内水位	流入量予測値による演算	
種ポンプ場	管内流量	流入予測値による演算	
	排水量	ポンプ運転	
	外水位	河川水位計による計測	

グローバルシステムでは、複数のポンプ場を運用するために、必要な監視項目・計測項目のほとんどについて流入量予測値を使用して制御を行うことができるため、事前準備の時間が確保でき、ポンプの先行待機運転や、運転員の配置などを行うことが可能である。また、運転フローの例をFig.6に示す。

1) 各排水区における流入量は、計測された降雨強度や降雨予測を入力として流入量予測システムを用いて予測する。また幹線水位は、下水道幹線やポンプ場設備の構造物データを用いて構築したポンプ場周辺設備のモデル、およびポンプ場のポンプ運転方案から流入量を入力として予測する。

2) 分水(堰)ゲートは、雨水ポンプ場ネットワーク管が満管となり、さらに溢水の可能性が大きくなったときなどの緊急時に閉じる必要がある。このため、ここでは緊急時に定められたゲートを閉じる条件と、閉動作制御を考慮する。

3) ネットワーク管流入量をこの幹線水位の予測値とゲートの設定水位から予測する。また、降雨量と貯留量の関係から集中型モデル(例 修正 RRL モデル)を用いて予測することも可能である。

4) ネットワーク管流入量の予測値から、ネットワーク管内

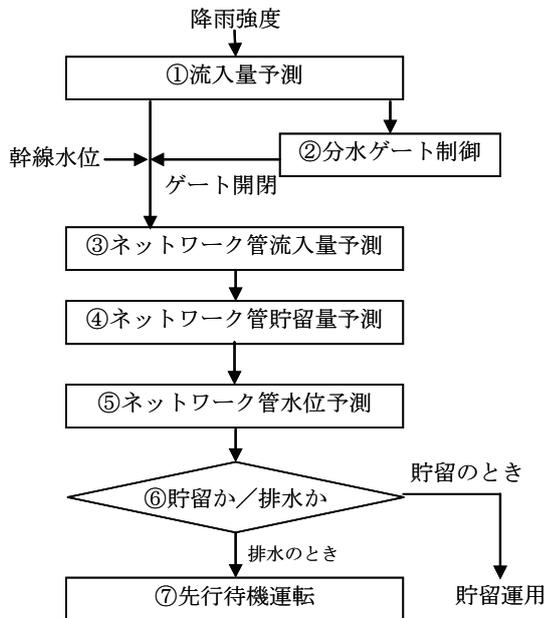


Fig.6: Operation flow of "global system" (example)

の貯留量を計算する。

5) ネットワーク管水位は貯留量より算出する。また、管内水位計により、予測値の補正を行う。ネットワーク管流入量及び流達時間を用いて、種ポンプ場の水位を時系列的に予測する。

6) 貯留量の予測にしがたい、ネットワーク管貯留とするか、排水ポンプ運転かを判断する。

7) 排水ポンプ運転の場合は、先行待機運転を実施する。

貯留された雨水は、通常種ポンプの設定水位制御によって排水される。しかし、急な超過降雨によって貯留量(管内水位)が急激に上昇したり、上流に降った偏在性の降雨により流入雨水が急激にネットワーク管内に流下してきた場合などでは、水位上昇に雨水排水が追いつかずにネットワーク管からの溢水が発生することも考えられる。これに対してグローバルシステムを活用した場合、降雨レーダシステムによる偏在性の把握、降雨予測や流入量予測、水位の予測に基づいてあらかじめ運転水位を下げた待機運転をするといった予測運転が可能となる。この予測運転により急激な流入量の増加に適応した排水が可能となり、水位上昇を抑える、すなわち溢水の危険性を低減する施設運用ができる。

降雨は、Fig.3に示した例のように10分間で大きく変化する場合がある。このような変化を的確に捉えて、状況の変化を予測するためには入力となる情報を1分周期程度で把握する必要がある。また、予測結果を運転員が確認して運転操作を行うこと、および運転指令の伝達と機器の運転開始時間を考慮すると、最低予測時間として10分程度先の予測を行うことが求められる。

3.3 グローバルシステムの導入計画

グローバルシステム導入に当たっての検討フローをFig.7に示す。

グローバルシステムの導入にあたっては、降雨情報、降雨予測、流入量予測といった要素が必要となる。

以下に、その課題と手順を示す。

(1) 対象流域の特性調査

降雨予測、流入量予測を行うため、地域的な降雨の

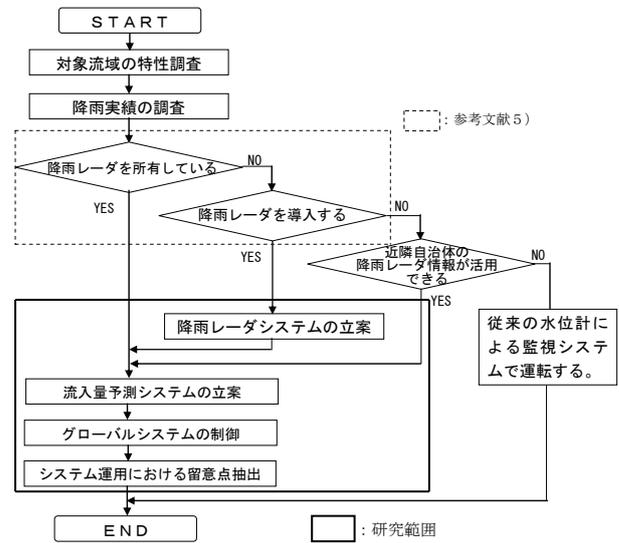


Fig.7: Course of bringing in "global system"

分布や窪地での貯留、流域での浸透、排水施設能力など流域内の雨水施設データ、地表面データ、キャリブレーション用データ、地形データを調査する。

(2) 降雨実績の調査

流出解析に必要な基礎データとして、過去の降雨実績や浸水被害の状況を調査する。それらのデータは、管渠や各種設備の計画、更新データと合わせて流出解析システムを運用していくためのキャリブレーションデータとして利用できる。

(3) 降雨レーダシステムの立案

降雨レーダの立案にあたっては、システムを運用していくために必要とされるレーダ観測主要諸元、機能仕様、システム構成、ネットワーク構成、各種設備機器の仕様を決める。また、電波の使用許可申請も必要である。

(4) 流入量予測システムの立案

流入量予測システムについては、予測モデルの選定、データ収集、モデルの作成、キャリブレーション、動作検証を行い、オンライン型の流入量予測システムを構築する。

(5) グローバルシステムの制御

グローバルシステムの制御では、雨水ポンプ場群の運転条件を把握し、種ポンプ場の起動タイミング条件の設定を行う。また、放流先河川などの規制条件の設定も行う。

(6) グローバルシステムの導入に当たっての注意

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ケースで、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可能性があるため、ネットワーク管の流下能力には留意する。

3.4 グローバルシステムの運用にあたっての注意

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。

4. ケーススタディ

既存施設では、まだ雨水ポンプ場間のネットワーク化を行った施設はない。そこで、ケーススタディでは流出解析モデルを用いて、既存ポンプ場間をネットワーク管でつないだ場合の、通常システム制御(①)とグローバルシステム制御(②)の溢水量について比較検討した。

4.1 設定条件

(1)対象排水区

対象排水区の平面図を Fig.8 に、断面図を Fig.9 に示す。また、それぞれの排水面積を Table 5 に示す。対象排水区では、A, B ポンプ場各々にすでに貯留管が設置されていた。そこで今回その貯留管同士を接続してネットワーク化した。また、B~E ポンプ場間に新たに管を接続し、3 箇所のポンプ場のネットワーク管(流下貯留管 $\phi 3,000\sim 4,000\text{mm}$)を形成した。最下流部には、種ポンプ場を設置し、その放流先はEポンプ場の放流先とは異なるため、河川の放流規制は無いものとした。また、末端の毛細管網の細さが原因で溢水する事が無いように、十分な太さの管網が整備されているとした。また、ケーススタディでは、対象排水区のうち最も面積が大きいBポンプ場の再構築時における超過降雨対応について示す。

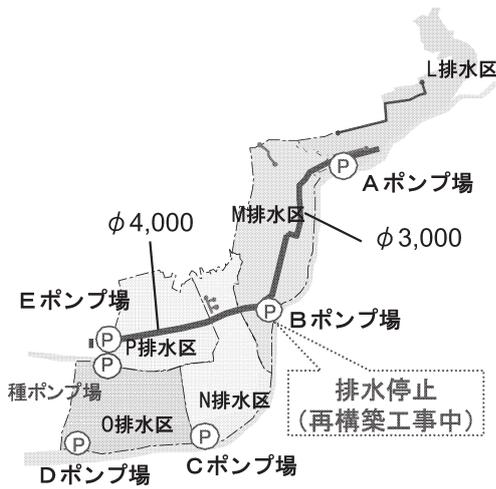


Fig. 8: Target drainage district map

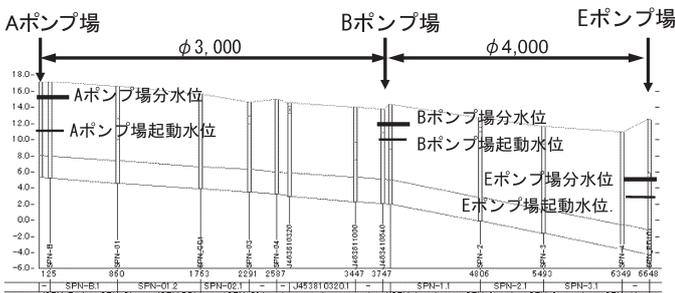


Fig.9: Cross section of target drainage district

Table 5: Parameter of simulation

排水面積 (ha)	L	M	N	O	P	計	
	240	374	276	278	238	1,406	
排水量 (m ³ /s)	A	B	C	D	E	種P	計
	22.8	32.8	26.3	25.9	28.0	25.9	161.7
計画降雨	107 mm/hr						
計画流出係数	0.7						
ネットワーク管	A~B			B~E			
	$\phi 3,000$			$\phi 4,000$			

(2)流出解析モデル

モデルとしては、Infoworks CSを用いて計算を行った。

(3)対象降雨

対象降雨は、実績の超過降雨である107mmがBポンプ場に降ったものとして計算を行った。対象降雨 Fig.10 に示す。Fig.8には示していないが、他の地点(11箇所)での降雨データも、Fig.10に対応した実績データを用いた(合計12箇所)。

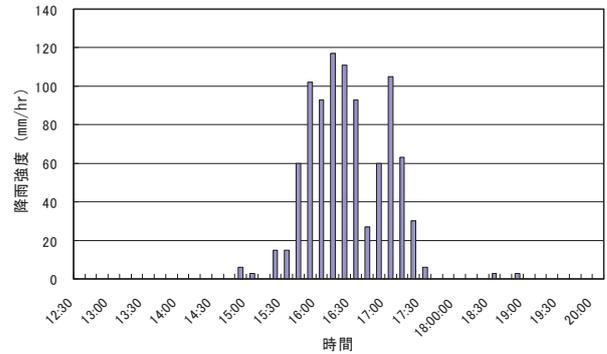


Fig.10: Target rainfall (time trend)

(4)運転方案

各ポンプ場の排水量は、Table 5 に示した。種ポンプ場の起動水位は、従来の制御方法のときは水位運転とし、起動水位-2.2m から50cm 単位で6 台起動するものとした。

グローバルシステムによる制御の場合は、あらかじめ流入量が予測できることから、水位運転ではなく、流入量予測制御による自動運転を想定した。

4.2 シミュレーション結果

Fig.11 に管渠内水位の経時変化の予測結果を、通常およびグローバルシステム制御の両者について示す。

15:00 の時点で通常制御では、E ポンプ場にはまだ水の流入は計測できなかった。一方、グローバルシステムで制御した場合は、現在の降雨状況の把握、および10 分後の降雨の予測が出来る。その結果から、15:10 のネットワーク管内水位の予測およびその後の流入量の傾向をつかむことが出来る。その結果から、今後水位が上昇することが予測できたため、ポンプの先行待機運転を開始した。

その結果、15:30 では、通常の制御ではE ポンプ場ではすでに導水勾配が管頂を超えているが、グローバルシステムでは先行待機運転ができたことから、溢流を生じない状態に治めることができる。その結果、16:00 の時点では管渠内水位を通常運転の場合と比べて1.3m も下げることができた。溢水量の比較を Table 6 に示す。

Table 6: Effect of amount of exposure to water cut

排水区	運転設定		
	通常運転	グローバルシステム運転	削減量
L	0m ³	0m ³	—
M	7,400m ³	5,300m ³	2,100m ³ (28%)
N	2,800m ³	2,200m ³	600m ³ (21%)
O	0m ³	0m ³	—
P	100m ³	100m ³	0m ³
合計	10,300m ³	7,600m ³	2,700m ³ (26%)

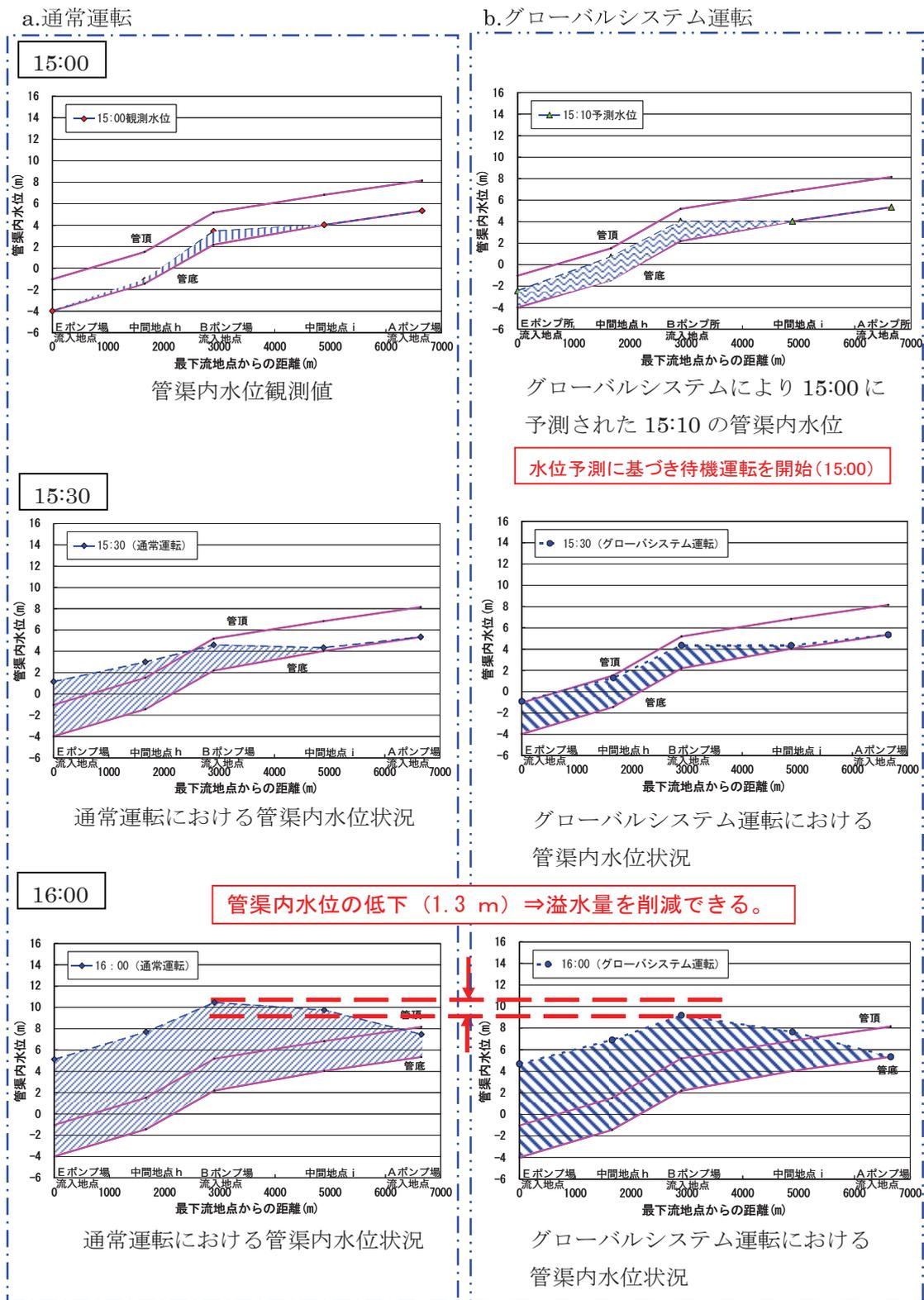


Fig.11: Comparison of water level in pipe between case of normal control and case of global system control

グローバルシステムを導入したケースでは、溢水量を26%低減できる結果となった。

5 まとめ

雨水ポンプ場のネットワーク化では、貯留能力などを利用することにより、偏在性降雨などの際の溢水量を減らすことが出来るといった効果がある一方、他のポンプ

場との運転連携が必須となる。今回の研究でシミュレーションを用いて検証を行った結果、雨水ポンプ場ネットワークの運転において、従来の気象レーダより細密な降雨レーダを用いることで降雨量予測が出来る、その結果を用いて管内への流入量の予測が出来るため、最適なタイミングでポンプの先行待機運転が出来るなど、効率的なポンプ場の運転が可能であり、さらに区域の溢水量を減らすことができる見込みが確認できた。

[参考文献]

- 1) 国土交通省河川局: 水害統計, (2004)
- 2) 東京都下水道局: 再構築マニュアル-施設編-, pp.1-10 (1997)
- 3) 小林 修: 下水処理施設ネットワークの計画策定手法に関する研究, 第43回下水道研究発表会講演集, pp.197-199 (2006)
- 4) 田村邦夫: 下水処理施設ネットワークの維持管理に関する研究, 第43回下水道研究発表会講演集, pp.203-205 (2006)
- 5) 財団法人 下水道新技術推進機構: 共通細密レーダ降雨情報システム技術に関する共同研究報告書, (1996)

The Study of Wide Area Operation and Maintenance Control Systems (named “Global System”) of Storm Water Pumping Stations Network

Mari Iwashita¹⁾, Akira Watanabe¹⁾, Hideyuki Yoshida¹⁾,
Toru Meguro²⁾ and Osamu Matsushima¹⁾

¹⁾ Japan Institute of Wastewater Engineering Technology

²⁾ Yokohama city, environmental creation bureau, the west wastewater reclamation center

Abstract

In recent years, it has been necessary to develop measures to counter storm water drainage, reconstruction, and earthquakes. The storm water pumping station network is one such countermeasure. It is believed that a wide area of operation and maintenance control systems are necessary for the storm water pumping station network, as these work together. This study describes the technical considerations and practical application of the “Global system”, which has a wide area of operation and maintenance control systems for multiple storm water pumping stations. It is concluded that “Global system” is effective for storm water pumping stations network.

Key words:

Storm water pumping station, Network, Global system, Wide area operation and maintenance control systems