

リアルタイム流出解析を用いたポンプ運転支援による浸水被害軽減 及び省エネ効果の検討事例

株式会社N J S ○荻島晃、松村直人、中園翔太

近年、計画降雨を超過した豪雨による災害が増加しており、浸水被害軽減を目的としたソフト対策の一つとして、リアルタイム流出解析によるポンプ運転支援がある。本稿では、XRAIN 予測精度を確認するとともに、XRAIN 降雨による管内水位情報を活用した浸水被害軽減の対策効果を評価した。ただし、浸水対策のためにポンプの起動水位を下げた場合、ポンプの運転時間が長くなり、省エネ及び CO₂ 排出量の観点からは不利に働く。そのため、XRAIN 予測精度を踏まえつつ、降雨終了後のポンプの早期停止による省エネ効果及び、CO₂ 排出量削減効果についても検討を行った。

Key Words : 下水管路内水位、XRAIN、浸水予測、ポンプ運転支援、省エネ

1. はじめに

近年、計画降雨を大幅に超過した集中豪雨による災害が増加するなか、下水道事業の財政が厳しいために、都市浸水の被害軽減を目的とした管渠、ポンプ施設、貯留施設等による早急なハード対策は難しい現状にある。ソフト対策の一つとしては、リアルタイム流出解析（図-1）を用いたポンプ運転支援がある。

XRAIN は、高性能気象レーダを用いたリアルタイム雨量観測システムであり、実況雨量情報は 1 分毎に配信されている。予測雨量情報は、1 時間先までの情報（5 分間の平均雨量強度の情報が 12 個）が 5 分毎に一般財団法人日本気象協会から提供されている。このような XRAIN 実況・予測雨量情報及び、下水道管路内や雨水ポンプ井に設置した水位計の水位計測値を使用して、管内水位や浸水深等を解析（シミュレーション）する。

扱う情報は、雨量、下水管路内水位、浸水予測等に関する計測値、予測値、解析値である。こういった情報をリアルタイムで施設管理者等へ提供することができるシステムを構築し、ポンプ運転支援情報を提供し、既存雨水ポンプを現状よりも効率的効果的に運用して、浸水被害軽減及び省エネの効果を検討したものである。

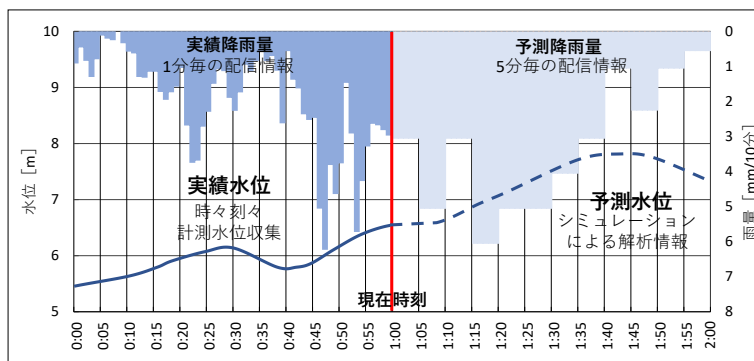


図-1 リアルタイム流出解析の概念図

2. 検討方法

2-1 検討対象地区

検討対象地区の面積は約 3,200ha で、約 8 割が合流区域である。近年は 60 分間雨量が 20～50mm の降雨で床上・床下浸水、道路冠水、半地下浸水などの浸水被害が発生している。

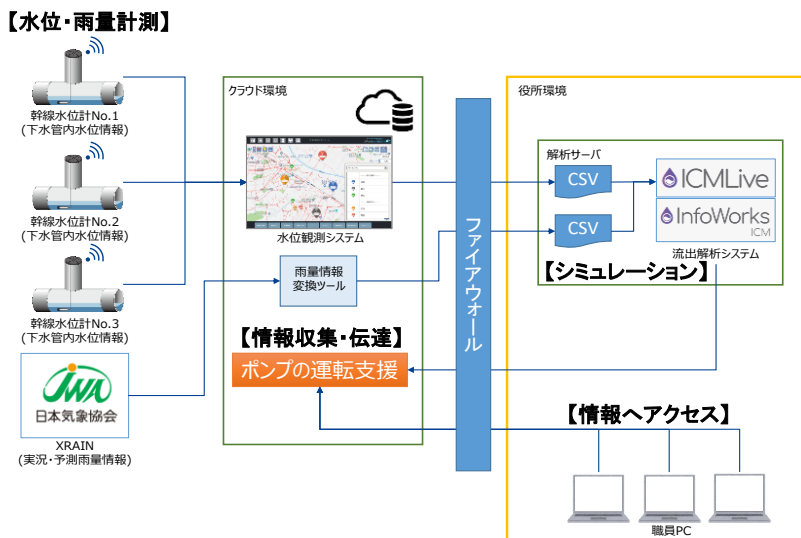


図-2 リアルタイム浸水予測システムの概要

2-1 リアルタイム浸水

予測システムの概要

本検討では、図-2 に示すように XRAIN 雨量情報（高頻度、高分解能でリアルタイムに配信される平面的な雨量情報/約 250m メッシュ）に基づいた高速浸水予測シミュレーションを行い、シミュレーション結果を受けてポンプを早期起動・停止する運転支援を想定したオフラインモデルを構築した。

2-2 検討対象のポンプ場の概要

検討対象の A ポンプ場には、雨水を排水するためのポンプが 4 台整備されている（Φ2600×4 台、1 台あたり吐出量 15.5m³/s、総吐出量 62.0m³/s）。各ポンプの起動・停止水位は図-3 のとおりであり、自動運転となっている。

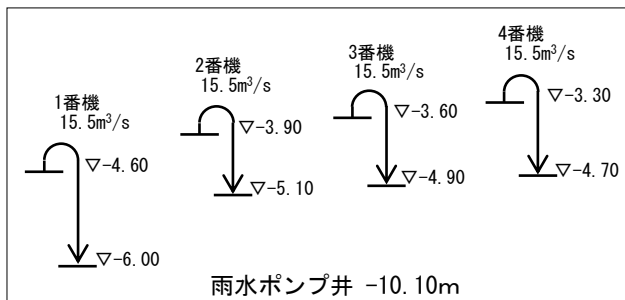


図-3 現状の雨水ポンプの起動・停止水位

表-1 構築モデルの概要

2-3 水位計測地点

水位計測地点は、A ポンプ場のポンプ井 1 箇所に加えて、幹線水位 2 箇所及び、浸水実績地区 1 箇所、計 4 箇所を選定した。

2-4 構築モデルの概要

構築した流出解析モデルの

概要を表-1 に示す。なお、キャリブレーションは XRAIN 実況降雨データを用い、3 降雨、3 箇所の水位、ポンプ吐出量で行った。解析時間は 2 時間の降雨で 1～3 分である。

項目	内容	備考
流出解析ソフト	InfoWorksICM	
面積	約3,200ha	合流区域約2,450ha、分流区域約600ha、区域外流入約150ha
ノード（人孔）	約24,300	
リンク（管渠）	約25,400	整備水準：約35mm/hr（10年確率） 整備率：約100%（一部能力不足あり）
地表面モデル	5～10mメッシュ相当	TIN。1メッシュ25～100m ² 、メッシュ数約372,000個
解析時間	1～3分	XRAIN実況1時間、予測1時間、計2時間

3. 結果と考察

3-1 XRAIN 予測精度の確認

XRAIN 予測精度の確認に当たり、XRAIN 実況・予測雨量と地上雨量計の比較を行った。具体的には、地上雨量計設置地点のメッシュの XRAIN 実況雨量と検討対象地区周辺の地上雨量計 4 地点の比較及び、流域平均の XRAIN 実況雨量と XRAIN 予測雨量の比較を行った。なお、図-4 に示すように XRAIN 実況と地上雨量の比較は累積雨量で、XRAIN 実況と XRAIN 予測の比較は 5 分間雨量で比較した。

項目	5分後	10分後	15分後	・・・
XRAIN実況雨量と地上雨量の比較 【メッシュと地上雨量計設置地点】	← 15分間の累積雨量で比較 →			
XRAIN実況雨量とXRAIN予測雨量の比較 【流域平均雨量】			← 5分間の雨量で比較 →	

図-4 雨量比較のイメージ

比較の結果、XRAIN 実況と地上雨量の累積雨量との相関係数 R は、図-5 に示すように降雨状況に関係なく、いずれのタイミングにおいても 0.9 を上回っており、高い相関関係があることが確認された。また、XRAIN 実況雨量は、地上雨量の 1 割程度大きい雨量であった。

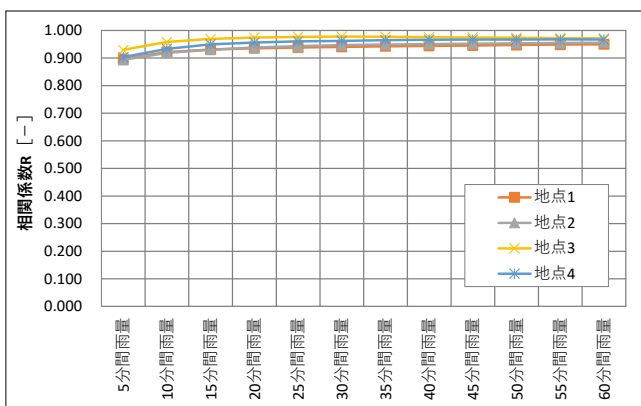


図-5 XRAIN 実況雨量と地上雨量の相関関係

XRAIN 実況と XRAIN 予測の 5 分間雨量との相関係数 R は、図-6 に示すように遠い時間帯ほど下がるが、15 分先までは、一般的に相関が高いとされる 0.8 以上あることが確認された。また、XRAIN 予測雨量は、15 分以上先になると地上雨量を下回る結果となった。

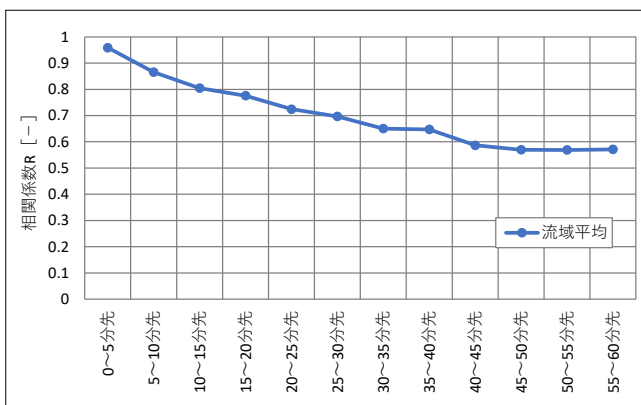


図-6 XRAIN 実況雨量と XRAIN 予測雨量の相関関係

以上より、15 分以上先の予測水位は地上雨量を用いた計算水位よりも低め（危険側）になる可能性があるとともに、予測精度が落ちる。このため、本検討においては、15 分前の予測を用いてポンプの早期起動・停止を行うことを想定した。

3-2 浸水被害軽減効果

(1) 早期運転のポンプ起動条件

前項で示したように 15 分前の予測で一定程度の精度が確認されたため、ポンプの起動判

断を通常起動時の 15 分前に行うことを想定した。このため、ポンプの揚水開始時刻は図-7 に示すように起動判断から約 5 分間の待機時間を考慮して現状起動時の 10 分前とした。このように 1 番機から 4 番機まですべての雨水ポンプを早期起動することを想定して浸水被害の軽減効果を確認した。

ポンプの起動に関わる水位情報は水位計測地点 (4 箇所) で設定した。現状のポンプ起動条件はポンプ井 1 箇所の水位によるものだが、管内水位もポンプ起動条件となる。これにより、ポンプ場から遠い地域の集中豪雨にも対応したポンプ運転を行うことができる。

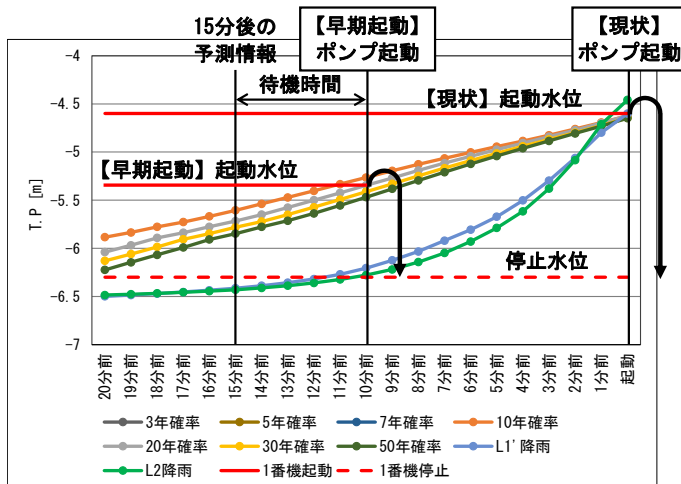


図-7 ポンプの早期起動のイメージ図

(2) 浸水被害軽減効果

中央集中型降雨における運転支援導入前後の浸水面積の比較を図-8 に示す。これによると、浸水面積の削減効果が最も期待できる降雨規模は 20 年確率降雨で、降雨規模が大きくなるにつれて削減効果が減少している。これは降雨規模が大きくなるにつれて、浸水要因の大部分がポンプの能力不足から管路施設の能力不足に変わっていくためである。一方、10 年確率降雨で浸水面積の削減効果が小さいのは、浸水要因のほとんどが枝線管渠の能力不足によるものであり、ポンプの早期起動によるポンプ井の水位低下が浸水要因の改善にはつながらなかったためである。なお、L2 (想定最大) 降雨についても検討したが、浸水面積削減効果が 0%であったため、ここでは割愛する。

これらの検討結果から、リアルタイム流出解析による運転支援システムを導入することで L1' (既往最大) 降雨を含む 10~50 年確率降雨において、1~10%の浸水被害 (面積) の削減効果が期待できる。

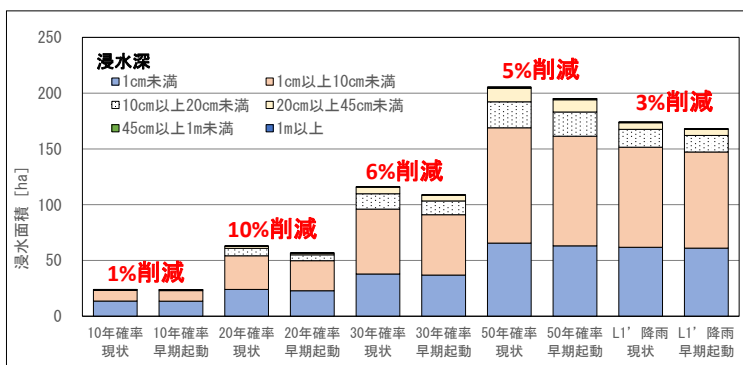


図-8 対策前後の浸水面積の比較 (中央集中型降雨)

(3) 費用便益分析

システム導入の概算費用は、初期費用として約 100 百万円、ランニングコストとしては約 12 百万円となった。降雨条件によって異なるが、浸水被害軽減効果とシステムの費用か

ら費用便益比 B/C を算出すると 1.9~2.6 程度となり、費用対効果が得られる。

3-3 省エネ効果

(1) ポンプの早期停止条件

A ポンプ場では、現状、ポンプ井の水位がポンプ停止水位を下回っても、その後の水位上昇及びポンプ稼働に備え、15 分間の後方待機運転を行っている。この時間帯を短くすることができれば、エンジンの燃料消費量を減らすことができる。そこで、図-9 に示すとおり、ポンプ早期起動と同様、管内予測水位情報によりポンプの停止判断を現状の 15 分前に行うことができる状況を想定した。

つまり、ポンプ井の水位が停止水位を下回ると同時に後方待機運転をせずにポンプを停止する状況を想定する(早期停止①)。予測情報を受け取るタイミングや予測水位によっては、後方待機運転を行う時間帯が生じる(早期停止②、③)。

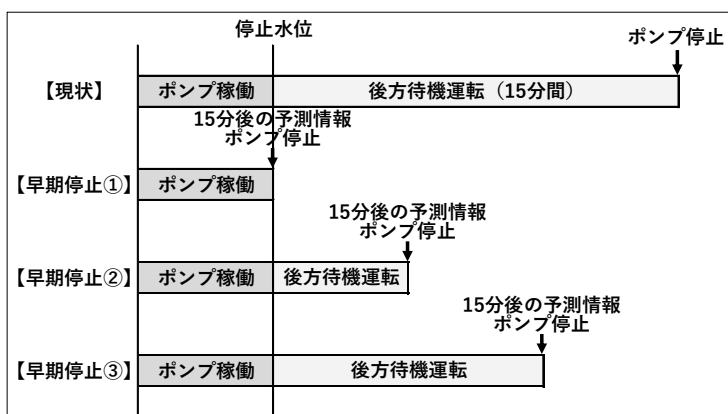


図-9 ポンプ早期停止のイメージ図

(2) 省エネ効果

省エネ効果は、年間のポンプ起動回数を用いて試算した。2021 年度におけるポンプ起動回数は年間シミュレーションの結果合計 41 回となり、これより表-2 に示すように最大で合計 615 分の運転時間の削減が期待できる。これを A 重油の燃料消費量に換算すると年間 7,175L の削減となる。これより、

リアルタイム流出解析による運転支援システムを導入することで年間約 866 千円の維持管理費を削減することができる。また、19.44 t-CO₂ の CO₂ 排出量削減効果(杉の木 71 本が 1 年で吸収する CO₂ 量が 1 t-CO₂) が期待できる。

表-2 省エネ効果の試算結果

項目	値	備考
ポンプ起動回数	41 回	1番機~4番機合計
削減運転時間	615 分	15分/回×41回
定格出力	3,370 PS	
燃料消費率	180 g/PS・hr	
	699 L/hr	
1回あたり後方待機	175 L/15分	
A重油省エネ効果	7,175 L/年	
維持管理費削減効果	866 千円/年	R4.3のA重油平均価格120.75円を適用
CO ₂ 排出係数	2.71 t-CO ₂ /kL	A重油
CO ₂ 排出量削減効果	19.44 t-CO ₂ /年	

4. 結論

結論①15分先までは、水位予測情報の精度が一定程度確保される。

結論②リアルタイム流出解析によるポンプ運転支援システムの導入により、浸水被害軽減効果として最大 10%程度の浸水面積の削減が期待できる。システムの費用便益比

B/C=1.9～2.6 である。

結論③システムの導入により、省エネ効果として維持管理費が 866 千円/年、CO₂排出量は 19.44 t-CO₂/年の削減が期待できる。

5. おわりに

本検討では、システム導入による定量的な効果を示したが、他にも様々な定性的効果も考えられる。以下に定性的な効果を整理する。

【システム導入の定性的効果】

- ①レーダ雨量、管内水位、浸水予測、浸水の危険を知らせるアラートなど様々な情報が現場作業員の補助となり、リスクの少ない施設運転が可能となる。
- ②様々な情報をポンプ場、処理場、庁舎の職員の間で共有することで、迅速で的確なリスク対応が可能となる。
- ③現場の熟練運転員の経験に基づいた運転技術を、見える形で経験の浅い技術者に継承し技術を向上することができ、長期的に安定的な施設運転ができるようになる。
- ④住民に対して、浸水予測などの防災情報を配信することにより、避難行動や被害を軽減する活動、住民同士の呼びかけ等の自助・共助の活動を促進する。
- ⑤将来的にポンプ運転支援から自動運転まで発展させることができれば、職員減少による技術力の低下、技術継承等の課題に対する解決方策の一つとして期待できる。

今後、生産年齢人口の減少、災害の激甚化など様々な社会的・経済的課題が見込まれる中で、ICTを活用した課題解決が必須であると考ええる。

【参考文献】

- 1)国土交通省 国土技術政策総合研究所 (2016) : 国土技術政策総合研究所資料 第 940 号
- 2)国土交通省 国土技術政策総合研究所 (2018) : 国土技術政策総合研究所資料 第 998 号

【論文投稿連名者】 穎原宇一郎