

## 降雨レーダ情報を活用した雨水排水施設の効率的な運転操作に関する基礎調査

中沢 均\*、向畑光章\*\*、○鈴木 建\*

\*日本下水道事業団技術開発部

埼玉県戸田市下笹目5141、

\*\*東京都下水道局流域下水道本部技術部

立川市錦町1-7-26

### 概要

東京都内の分流式雨水ポンプ場流域(約 300ha)を対象として、雨水ポンプ場沈砂池の水位変化率とポンプ揚水量に基づく雨天時のポンプ場流量調査を行った。また、対象流域内の小(15ha)、中(48ha)流域での下水管きょ内水位・流速測定結果及び地上雨量計のデータに基づいて、外国の雨水流出・流下モデル(XP-SWMM と Hydro Works)の検証を行い、下流の水位の影響を受けない管きょ内流下量について、小降雨(6mm/h 以下)以外は、両モデルとも、日本の市街地の降雨・流出パターンを良く捉えたモデルであることが判明した。今後は、ポンプ場流域(約 300ha)を対象として、雨水ポンプ場への流入量予測のため、レーダを活用した降雨予測の可能性を調査する予定である。

### キーワード

降雨レーダ、雨水流出・流下モデル

## 1. 調査の目的

近年、下水道整備が進んだ都市地域では、降雨による局地的な浸水や合流式下水道の雨水吐きからの越流水による公共用水域の汚濁などが問題になっている。このような問題の解決策を検討する手法の一つとして、雨天時における雨水排水施設の効率的な運転操作方法を提案することを目的に、日本下水道事業団では、降雨データ情報の適正な評価と活用方法を調査している。降雨レーダを用いた雨水排除施設の総合的な運転支援システムの基礎資料として、実際の降雨による流出量計測結果から既存の流出解析モデルの検証を行ったので、ここに報告する。

## 2. 降雨情報利用の実状

### 2. 1 政令指定都市

政令指定都市の下水道部局の降雨情報機器に関する実状を平成 7 年度に調査した。各都市とも地上雨量計を整備しており、6 都市では、降雨レーダを所有している(表-1)。また、各都市とも河川流域総合情報システム等、他の機関からの降雨情報を導入している。

各都市の降雨情報の利用状況を以下に示す。

- 1) 降雨情報は、気象の現状把握と雨天時の人員配置の目安に利用している。降雨レーダ情報から降雨の移動を予測している都市はないが、札幌市では、降雪レーダ情報を使って降雪量予報を出している。
- 2) 降雨時には、ポンプ場のポンプ井水位や管きょ内水位を測定してポンプ運転の判断を行っている。地上雨量計を含め降雨情報により、ポンプ場への流入量を予測している都市はない。
- 3) 多くの都市では、正確な降雨予測方法やポンプ場流入量予測方法の導入を希望している。

表-1 各都市のレーダ主要諸元

システム/機関名	単位メッシュ	観測半径	周期	周波数帯域	降雨強度算出
SNET ／札幌総合情報センター	1,000m	100km	5分	Xバンド	
東京アメッシュ500 (東京域レーダ雨量計システム) ／東京都下水道局	500m	40km	2.5分	Xバンド	0~250mm/時 (1mm/時単位)
レインネットかわさき (川崎広域レーダ雨量計システム) ／川崎市下水道局	500m/1,000m	100km	2.5分	Xバンド	0~255mm/時 (1mm/時単位)
レインアイ横浜 (横浜市レーダ雨量計システム) ／横浜市下水道局	250/500/1,000m	50km	2.5分	Xバンド	0~255mm/時 (1mm/時単位)
ASアイズ (大阪市降雨情報システム) ／大阪市下水道局	250/500/1,000m	80km	2.5分	Xバンド	0~255mm/時 (2mm/時単位)
レインマップこうべ250 (神戸市降雨情報システム) ／神戸市下水道局	250/500/1,000m	80km	2.5分	Xバンド	

Xバンド；電波法で気象観測用に割り当てられた周波数帯域の名称で、周波数が9.3~9.5GHz、中心の波長が3.2cmの電波。

## 2. 2 降雨レーダ情報による雨水流出量解析の課題

降雨レーダ情報から降雨量を把握し、下水道施設への雨水流出量を予測して、雨水排水施設の運転管理を支援するためには、以下が課題となる。

### 1) 降雨レーダによる降雨予測

降雨レーダによる降雨予測は、雨域の移動方向と速度から判断するものが多い。レーダ雨量を地上雨量に変換する補正技術は、局地的な豪雨への精度向上が望まれる。

### 2) レーダによる降雨強度の対象排水区への適用

降雨レーダの観測メッシュは、雨水流出の解析対象となる排水区とは位置や面積が一般に合致しない。レーダ情報を流出解析に適用するため、排水区にあわせたデータの調整が必要となる。

### 3) 流出解析モデルの検証

各流出解析モデルごとに対象排水区の特係数（パラメータ）を設定または選択し、下水道施設を含む流域への適応性を検証する必要がある。

### 4) 流出解析の即応性

降雨時の雨水排水施設運転支援に際し、流出解析に関する一連の作業は、即応性が必須である。降雨レーダのデータは、演算機器を活用した解析の自動化にあたり、処理可能な形式とする必要がある。

## 2. 3 雨水流出・流下解析モデル

国内で採用されている修正 RRL 法や合理式合成法などを用いて、表面流出と管路の流れを一連の処理として解析するモデルはない。一方、米国の SWMM、英国の Hydro Works 及びデンマークの Mouse は、凹地貯留や蒸発等の損失を考慮する方法を採用し、表面流出から管路内の流れまでを一連の処理として解析できる。これらは、下水道管きよ内の任意地点での雨水流量を解析できるため、下水道施設への雨水流入状況の再現性に優れている。各雨水流出モデルの特徴を表-2に比較する。

表-2 各モデルの流出解析手法の比較

項目	SWMM	Hydro Works	Mouse
表面流出解析手法	非線形貯留池	二重線形貯留池	時間・面積法 非線形貯留池
水理解析理論式	完全サンブナン方程式	完全サンブナン方程式	完全サンブナン方程式
水理構造物	オリフィス、堰、ポンプ フラップ弁	オリフィス、堰、ポンプ フラップ弁、制水扉	堰、ポンプ
管きょ形式	16種類の形式を事前定義可能。 任意の断面を入力可能。	8種類の形式を事前定義可能。 任意の高さ、幅を入力可能。	8種類の形式を事前定義可能。 任意の相対高、表面高または水平、 垂直座標を入力可能。

### 3. 流出解析モデルの検証

東京都内の雨水ポンプ場流域において、降雨特性の把握、管きょ内及びポンプ場の降雨時流量の計測並びに計測値と流出モデル解析値との比較検証を行った。調査対象流域及び使用計測機器の概要を表-3に示す。

表-3 調査対象排水区の概要と使用計測機器

		Kポンプ所	小流域	中流域
計画排水面積 (ha)		317	15.3	47.6
計画排水量 (m <sup>3</sup> /分)		1,498		
最長路線距離 (m)		3,080		
ポンプ能力		1,800		
口径 (mm)		1,500		
台数 (台)		6		
マンホール数 (個)			135 (22)	(11)
管きょ本数 (本)			134, 21	64 (10)
管径 (mm)			250~1,500	250~2,000
解析用管きょ総延長 (m)			(4,494)	13,330
	600mm以上		<510>714	<1,180>3,041
	1,000mm以上		227	<900>(1,120)
計測機器	種類	電波水位計	半導体圧力式水位計+超音波流速計	
	水位観測範囲	0~9.5 m	水位±0.1%	
	観測精度	1.0mm	流量±2.5%	

注) 小流域、中流域で ( ) 内は解析に使用した数値で、小流域は管径 600mm 以上、中流域は管径 1,000mm 以上を示す。  
また、<>内は最長路線距離である。

#### 3. 1 降雨特性の把握

平成9年度に、Kポンプ所及びこれに隣接するK並びにN処理場の計3個所の地上雨量計データから、降雨強度、累積降水量及び降雨波形による降雨特性を比較した。雨量計は0.5mm単位の転倒式で、各雨量計設置地点間の距離は2km程度である。4時間無降雨後の降雨を新たな降雨として計数し、調査期間中の観測59降雨のうち、0.5mm/回以上かつ3個所同時に観測があった計16降雨を比較し、以下を確認した。

- ①降雨強度に関わらず、降雨出現時間や総降雨量にばらつきがあった。
- ②夏季の集中豪雨では、降雨波形も総降雨量も全く異なっている。

このため、一定以上の流域面積に対して行う流出解析は、単一の降雨データでは不十分で、複数の降雨データを調整して解析を行うことが望ましい。

### 3、2 流入量・流下量の計測

#### 1) ポンプ場流入量の計測

一般に、ポンプ場への流入量はポンプ稼働時間とポンプ揚水能力を積算して算出してきた。しかし、ポンプ性能は運転水位により変動することなど、正確な流入量測定とはいえない。

正確で、かつ、詳細な実流入水量の変動を把握するため、沈砂池の水位変動に対応する流量とポンプ揚水量とを加算してポンプ場流入量とした。沈砂池には電波水位計を設置し、水位変動と水面積を積算して流入量を算定した。水面積は、流入部、沈砂池、ポンプ井等、ポンプ場の水路部の計とした。また、ポンプ性能を示す H-Q 曲線とポンプ稼働時の揚程から、雨水ポンプの揚水量を求めた。

Kポンプ所では、接続管の管内貯留量やポンプ1台あたりの揚水量が大きく、ポンプ場への流入ハイドロは、降雨に比例した形ではなく、図-1に示した例のように、雨水ポンプの運転状況に応じて流入量が急激に増加する。

図-1は、流出解析を行なった59降雨のうち、大降雨の例として、No.32の降雨に伴う流入量を示す。上段の降雨量と流入水量の図は、下段左の「水位計による水深変動」のグラフから流入量を算出し、下段右の「雨水ポンプ揚水量」のグラフと重ねあわせた結果である。

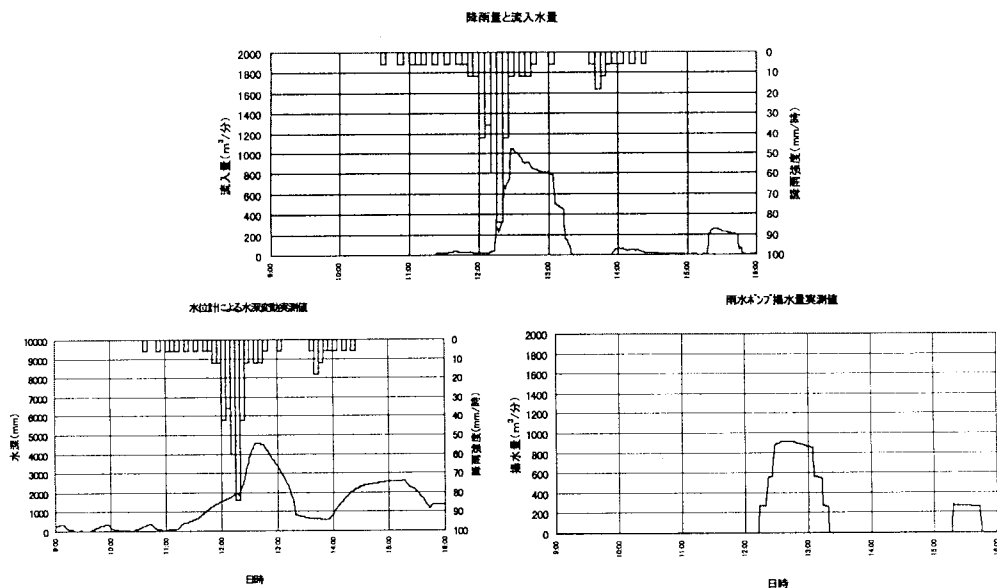


図-1 ポンプ場の流入状況

#### 2) 管きよ内流下量の計測

図-2に示す中流域での管径2,000mmの地点での例のように、流速と水位の計測結果を円形管の水理特性曲線上にプロットして、流速計の計測精度を検証した。水深及び流速は実測地を、また、流量は水深と流速から算定した値をプロットしてある。図の曲線は水理特性曲線の理論値を示す。なお、機械の設置高である水深比5%程度以下は、観測値がない。

低水深においては流速、流量とも理論値に近似したが、水深40cmを超えると、理論値よりも小さな値になった。これは、降雨流出にともない増加した管きよ内の濁度や混入物が、ドップラー式流速計の計測の支障となり、正確な流速測定を妨げるものと判断した。

調査地点の管きよ構造から、下流管からの背水による流速への影響はないと判断される。

このため、圧力計の水位を用いて理論流速値及び理論流量を算定し、モデルの検証作業に採用した。

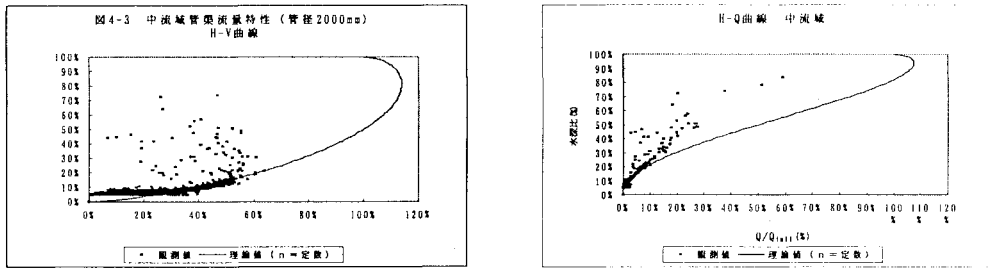


図-2 中流域管きよ流量特性 (管径 2,000mm)

### 3、3 流出シミュレーション

#### 1) 係数設定

XP-SWMM と Hydro Works の2つの流出・流下モデルの検証を行うにあたり、解析対象とした小・中流域の流末管きよ内の雨天時実測流出量と係数を変化させて求めた流出量解析結果とを比較して、表4に示す値を、小・中流域に対する最適な計数を設定採用した。

表-4 XP-SWMM 及び Hydro Works の解析に採用した係数

XP-SWMM			Hydro Works	
項目	小流域	中流域	小流域	中流域
面積	15.3ha	47.6ha	0.829PIPm+25.0SOIL+0.078UCWI-20.7	
解析対象管きよ	600mm以上	1000mm以上	不浸透性面積率; PIPM (%) 地図情報にSurfaceごとの係数を乗ず	
不浸透域率	63%	63%	Land Use Index 1.0	
流域幅	流域平均値	同左	Surface1 10; 舗装面	
流域勾配	0.02	0.005	Surface2 20; 勾配のある屋根	
不浸透域窪地貯留深	2.0mm	同左	Surface3 21; 浸透域	
不浸透域マンシング係数	0.014	同左	Soil Class 3; 浸透域の雨水の浸透程度が普通	
直接流出域率	50%	同左	土壌の水分含有可能度; SOIL 0.40	
浸透域窪地貯留深	6.0mm	同左	都市域の湿潤度; UCWI (%) 144 (=125+8AP15-SMD)	
浸透域マンシング係数	0.030	同左	先行5日間降雨量; AP15 (mm) UCWIを144とした。	
初期浸透能	20.0mm	同左	土壌の水分欠損指数; SMD	
最終浸透能	10.0mm	同左	マンシングの粗度係数; n 0.013	
減衰係数	0.0001	同左		

#### 2) 流出解析モデルの検証

流出解析を行った59降雨のうち、大降雨の例としてNo.32の降雨に対する計測結果と、XP-SWMM と Hydro Works による解析結果とを重ねあわせ、図3に示す。流出解析モデルの検証の結果、以下のことが明らかになった、

- ①下流の水位の影響を受けない小・中流域のような管きよ内流入量については、小降雨の場合以外はSWMMもHydro Worksも日本の市街地の降雨パターンを良く捕らえたモデルである。
- ②小降雨では、凹地貯留量、浸透量、蒸発量が大きく流出量に影響してくるので、波形を完全に合わせることは難しい。
- ③大降雨では、水位のピーク出現時刻や水位の増加・減少速度は両モデルとも解析値が実測値と良く一致している。また、一降雨後の降雨による流出・流下パターンについても増加・減少の時刻、速度、ピークとも良く一致している。XP-SWMMでは、ハイエトグラフに敏感に反応し、降雨強度ピークに従い、2山のピークが現れている。

- ④中・大降雨では、前述のように場所による降雨量の差が大きい。中・小流域ごとの降雨で解析し、最終的に全体を重ね合わせるなどで誤差を小さくする必要がある。

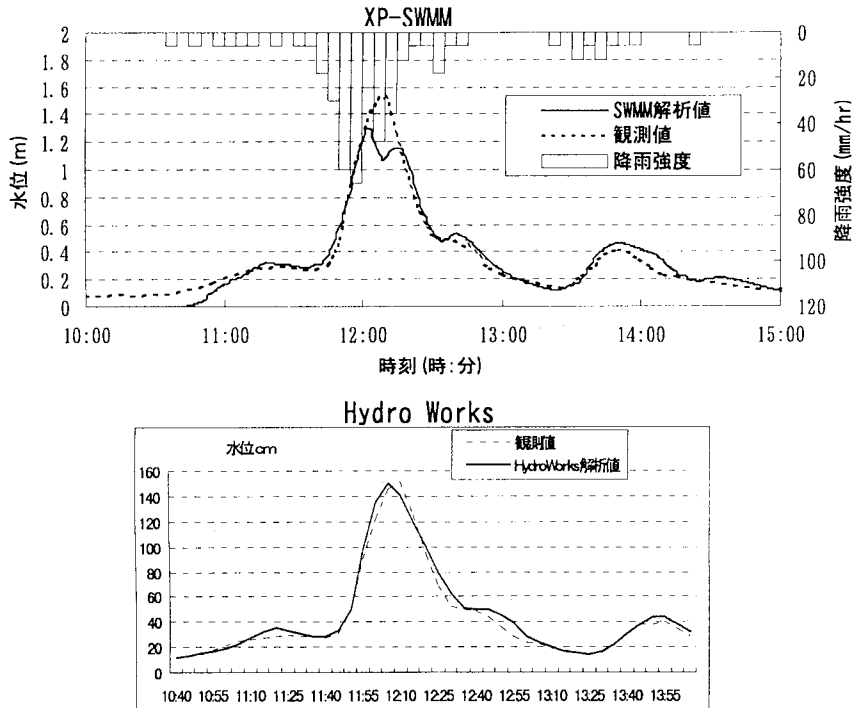


図-3 管きよ内流出量の実測値と解析値との比較 (大降雨; 60mm/h以上) \*

\*図-1のポンプ所流入量観測結果と同一の降雨による。

#### 4. 今後の課題

雨水流出解析を行う上で重要なことは、その地域での降雨強度の分布状況を把握することである。2 km程度に隣接している3地点での降雨データを比較した結果、最大降雨強度の出現時刻や総降雨量など、降雨特性にかなり差がでている。採用データによる結果の誤差を省くためには、なるべく多くの降雨データを収集して流出解析することが望まれる。

一方、地上雨量計の設置数が増加すると、日常の維持管理が煩雑になるので、複数メッシュの降雨を観測するレーダ雨量計の導入は有効である。事実、中流域の48haを一降雨として解析した結果は、かなり相関性が認められ、レーダの500メッシュ(25ha)で十分と思われる。

また、流出解析を行うにあたり、使用モデルや管きよを含む流域のモデル化の程度により、解析時間は大幅に異なる。本調査のKポンプ所全流域は約300haの面積があり、複雑な解析モデルを設定すると、雨水排水施設への運転支援に即応した流出解析ができない恐れがある。今後、全流域に対し単純なモデルを設定し解析時間を短縮する一方、単純化したモデルの解析結果の信頼性についての検証を進める予定である。

#### 参考文献

- (1) 日本下水道事業団技術開発部部報 1995版、1996版、1997版