

# 降雨レーダ情報を活用した雨水排除施設の 効率的な運転支援のための基礎的検討

## Optimum Operational Strategy On Storm Water Discharge Systems Using Rainfall Radar Information

鈴木 建\*、中沢 均\*、向畑 光章\*\*  
Ken Suzuki Hitoshi Nakazawa Mitsuki Mukouhata

\*日本下水道事業団技術開発部/埼玉県戸田市下笹目5141

Research & Technology Development Division, Japan Sewage Works Agency  
/Shimosasame 5141, Toda-Shi, Saitama

\*\*東京都下水道局流域下水道本部/東京都立川市錦町1-7-26

Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government/Nishiki-Cho 1-7-28, Tachikawa-Shi, Tokyo

### Abstract

Comparison of rain gauge data collected at three locations that are some 2-km apart from each other showed different rainfall characteristics; implying that rainfall radar information which is collected at 500-meter interval has an advantage over the more coarse rain gauge data.

In the study, actual flow rate of rain water concentrating into a pumping station (PS) was obtained by adding lift-up flow rate of pumps determined by the head-capacity curves and inflow rate calculated from changes in water level in the grit chambers.

A simplified sewer network model for the catchment area of 48 ha and conduit size of only 1000 mm or grater was used for reduced execution time of the SWMM (a USA product) and Hydro Works (a UK product) on personal computers in order to evaluate the validity of rainfall radar information.

As the results, both simulation packages were found to be well applicable to rainfall/runoff analysis on Japanese urban area except for small rainfall.

**Key Words :** Urban Drainage, Stormwater, Radar Rain Gauge System,  
Rainfall/Runoff Modeling Package

## 1. はじめに

下水道の整備が進んだ都市地域では、緑地・農地の減少や地表面の舗装などにより雨水の地下浸透量が減り、降雨時に大量の雨水が下水道施設に流入する。雷雨などの短時間の集中豪雨では、下水道管きよの排水能力を超えた雨水が地表面に溢れる場合があり、局所的な浸水が問題になっている。

日本下水道事業団では、雨水排除施設の効果的な配置

手法と適正な運転管理手法の開発を目的として、「降雨レーダーを活用した総合的な浸水対策システムに関する調査」を行なっている<sup>1)~3)</sup>。雨水流出・流下の解析・予測の概要をFig. 1に示す。図に示すとおり、降雨があると、地表に降った雨が地表面を流れ雨水ますに「(a) 流出」し、取り付け管から下水道管きよに「(b) 流入」する。流入した雨水は、下水道管きよ内を「(c) 流下」して管きよ内の特定地点またはポンプ場に「(d) 流達」する。本報では、これら一連の雨水の動きを解析

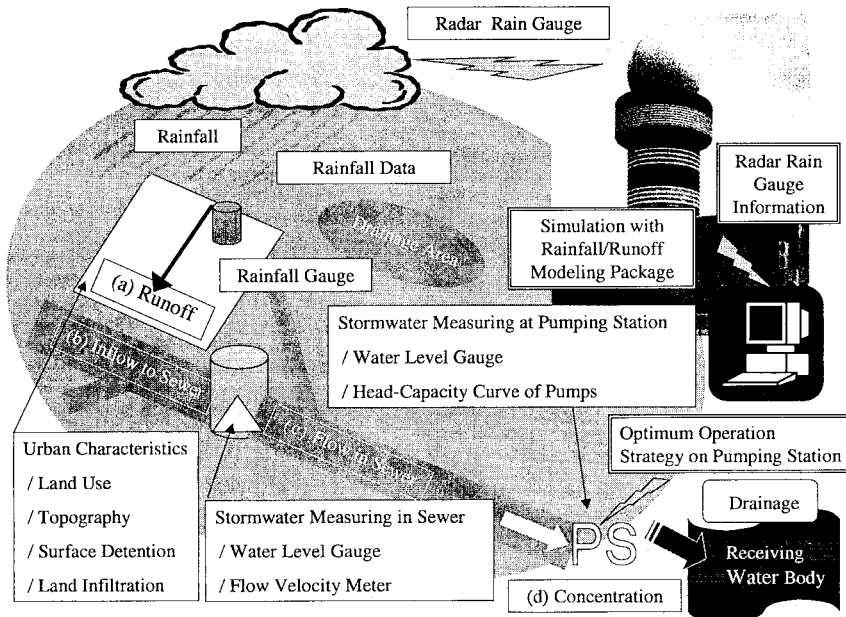


Fig. 1 Systematic Flowchart on Optimum Urban Stormwater Drainage Strategy

し流量を計算するモデルを『雨水流出・流下モデル』と呼ぶ。

下水道施設への雨水流入量と管きょ内の流下量を把握するために国内で採用されている代表的なモデルには、合理式合成法や修正 RRL 法などがある<sup>4), 5)</sup>。これらは、降雨時に地表面を流れ特定の一点に流集する雨水流出量を単純に計算し、これを管きょへの流入量と見なし、等流計算により管路内の流下状況を解析するもので、下水道施設内の懸案地点での流量やポンプ場の揚水量など浸水対策施設の容量計算に使用されている。

パーソナルコンピュータで雨水流出量と管きょ内の流下量を容易に計算できる代表的な雨水流出・流下モデルに、米国の SWMM、英国の Hydro Works 及びデンマークの Mouse がある<sup>6)</sup>。これらは、地表部での凹地貯留や蒸発による損失を考慮し、かつ、雨水流出から管路内の流れまでを同時に計算する手法で、降雨の時間変化ごとに管きょ内の任意地点での雨水流達量を計算でき、下水道施設への雨水流入状況をよく再現できる。

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開発のための基礎資料として、本研究では各政令指定都市の下水道部局における降雨情報の利用実態の把握と、首都圏の分流式下水道雨水ポンプ場流域を対象に、雨水流出・流下モデル (SWMM と Hydro Works)

を用いて、下水道施設内の実測雨水流下量と解析値の比較検証を行なった。

## 2. 降雨情報の利用実態

政令指定都市では、降雨時における雨水排除施設や下水処理場の運転管理に、気象庁等のレーダ情報や地上雨量計による降雨情報を活用している。そのうちの Table 1 に概要を示した 6 都市では、下水道用の降雨レーダを設置している。大阪市と神戸市は、降雨レーダによる観測結果を相互交換し観測区域を補完しているほか、それぞれ、大阪府及び兵庫県へデータの配信を行なっている。

各都市下水道部局の降雨情報利用実態調査から、次のことが明らかになった。

- 1) 地上雨量計や降雨レーダからの降雨情報は、気象の状況把握と人員配置の目安として利用されている。
- 2) 降雨時には、管きょ内やポンプ場のポンプ井の水位と水位の上昇速度を観測してポンプ起動・停止の運転判断の材料にしている。降雨レーダを導入した一部の都市は、降雨レーダ情報により雨水ポンプ起動の運転判断が改善されたことを指摘している。
- 3) 正確な降雨予測方法や経時的なポンプ場流入量予測

Table 1 Radar Rain Gauge Systems in 6 Cities for Pumping Stations

Name/Institution	Observation unit mesh (m)	Observation range (km)	Date updating time (min)	Transmitting frequency Band	Rainfall intensity calculation (mm/hr)
SNET /Sapporo General Information Center	1,000	100	5	X Band	—
Tokyo AMESH 500 (Tokyo Area Radar Rain Gauge System) /Sewerage Bureau, Tokyo	500	40	2.5	X Band	0~250
Rain-Net Kawasaki (Kawasaki Area Radar Rain Gauge System) /Construction Bureau, Kawasaki	500m/1,000	100	2.5	X Band	0~255
Rain-Eye Yokohama (Yokohama City Radar Rain Gauge System) /Sewerage Bureau, Yokohama	250/500/1,000	50	2.5	X Band	0~255
AS Eyes (Osaka Rainfall Data Information System) /Sewerage Bureau, Osaka	250/500/1,000	80	2.5	X Band	0~255
Rain-Map Kobe 250 (Kobe Rainfall Data Information System) /Construction Bureau, Kobe	250/500/1,000	80	2.5	X Band	0~255

Notes : X Band : Prepared for meteorological observation by the Japanese Radio Wave Act. The range of frequency spreads between 9.3 G Hz and 9.5 G Hz and its central wavelength is 3.2 cm.

Rainfall intensity is calculated every 1mm/hr unit.

方法の導入を多くの都市が希望している。

- 4) 札幌市は、降雪レーダ情報による降雪量予報技術を降雨予測へ適用する可能性を調査している。北九州市は、地上雨量計と気象庁レーダ情報を用いた流入量予測手法を検討している。大阪府は、降雨情報を用いて流域下水道のポンプ場への流入量予測を行ない、ポンプ運転を管理している。

また、降雨レーダ情報を活用した下水道施設への雨水流出・流下量の解析・予測結果を雨水排除施設の運転管理支援に活用する上で、以下の課題がある。

1) 降雨レーダ観測

下水道用の降雨レーダシステムは、電波により地上500m程度の雨雲中の水滴密度を観測し、これを地上雨量に補正して画面表示している。レーダ設置箇所の上空に豪雨があると電波が遮られ遠方の観測が困難になる電波の減衰という弱点の改善が必要となっている。この対策として、気象庁レーダ等を活用した複数レーダによる観測が有効である。

2) 降雨レーダ観測結果の地上雨量への補正

年々、補正の精度は向上しているが、都市の浸水対策で特に重要となっている雷雨など局所的な豪雨に対する補正の精度向上が必要となっている。また、減衰効果に伴い実際の降雨より観測値が小さ目になる現象の改善が必要となっている。

3) 降雨レーダによる降雨予測

ポンプ運転支援への実用性から、ポンプの起動準

備時間と雨水の流達時間を合わせた30分から1時間程度先の正確な降雨量予測手法の開発が必要となっている。

4) 雨水流出・流下モデルの検証

雨水流出・流下モデルでは、計算に使う対象排水区の特性係数を設定し、下水道施設を含む流域に適用できるかどうかを検証しておく必要がある。

5) データ形式の互換性

パーソナルコンピュータで計算する雨水流出・流下モデルに対して、レーダシステムで扱っている電子情報の形式をパーソナルコンピュータに適應する互換性の確保が必要となっている。

3. 降雨パターンの把握と雨水流下・流達量の計測

計画排水面積が317ha、計画雨水量が1,498<sup>3</sup>/分である首都圏の分流式のA雨水ポンプ場流域を調査対象流域に選択した。調査対象流域及び使用計測機器の概要をTable 2に、調査流域図をFig. 2に示す。

降雨強度の時間変化と総雨量からなる降雨パターンの場所による差を、図のAポンプ場、B処理場及びC処理場の地上雨量計データを用いて比較した。また、図に示す面積約48haの流域Aの流末管きよ（内径2000mm）に計測地点Aを設け雨天時の管きよ内流下量の時間変化を計測するとともに、Aポンプ場の沈砂池・ポンプ井における雨天時流達量の時間変化を計測した。

Table 2 (1) Investigating Drainage Area and Pumping Station

Investigating Drainage Area (ha)	317	Drainage Area-A (ha)	47.6
Design Flow (m <sup>3</sup> /min.)	1,498	Pipe Diameters (mm)	250~2,000
Pump Unit (units)	6	Total Sewer Length (m)	13,330
Pump Diameter (mm)	1,500	Computed Sewer Length(m) 1,000mm and more	900

Table 2 (2) Specification of Water Level Gauges and Flow Velocity Meter

Pumping Station			Sewer		
Gauge	Type	Accuracy	Gauges	Type	Accuracy
	Radar Water Level Gauge	1.0mm		Semiconductor Water Level Gauge	
			Supersonic Flow Velocity Meter		±2.5%

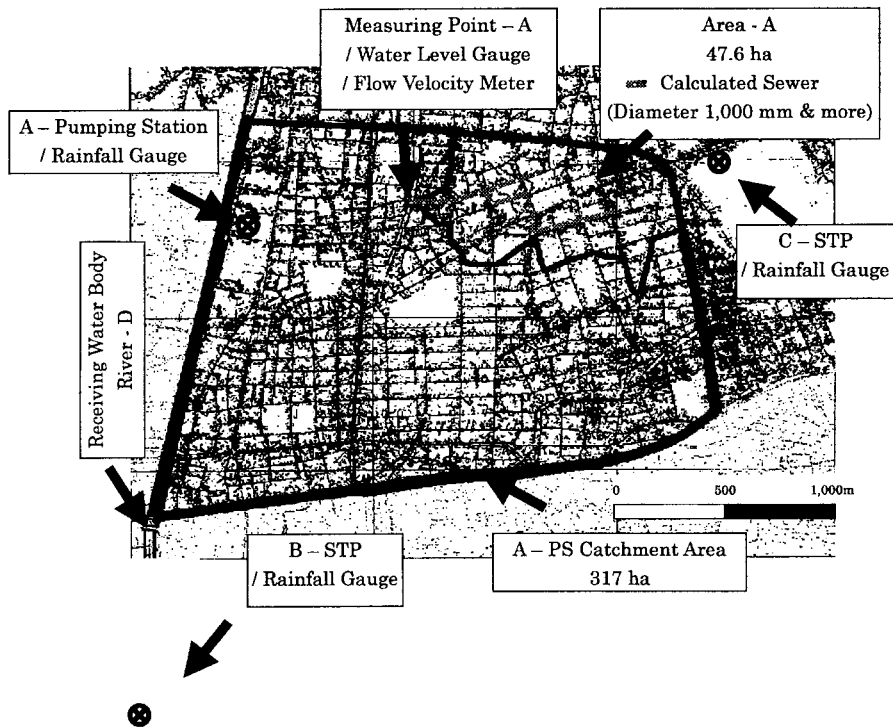


Fig. 2 Investigating Drainage Area (IDA)

PS : Pumping Station, STP : Sewage Treatment Plant

Measuring point-A is the location of manhole where the flow velocity meter and the water level gauge were tentatively installed.

### 3.1 降雨パターンの把握

Aポンプ場及びこれに隣接するB並びにC処理場の計3箇所の地上雨量計データから求めた降雨強度、累積降水量及び降雨波形を用いて、同一降雨における降雨特性の場所的な差を検証した。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。降雨データは、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(1997年3月~12月)の観測58降雨のうち、0.5mm/回以上かつ3箇所同時に観測があった16降雨について降雨パターンを比較し、以下の特性を把握した。大降雨(50mm/時程度)、中降雨(30mm/時程度)及び小降雨(10mm/時程度以下)の比較の例をFig. 3に示す。

16降雨すべての比較から以下を確認した。

- 1) 調査期間中において近接する地上雨量計3箇所で同時に降雨を観測した回数は、全58降雨の1/3弱であった。
- 2) 小降雨では、総雨量に違いはないが、降雨の出現時刻を示す地上雨量計の計測時刻が3箇所それぞれ異なっている。中降雨以上の降雨強度では、さらに総雨量にも違いが認められる。
- 3) 雨水排除施設での浸水対策が必要な夏季の集中豪雨では、降雨波形も総降雨量も大きく異なる傾向にある。

以上の検証から、レーダ情報を活用し対象流域内の複数メッシュの降雨データを解析モデルへ適用することが望ましい。

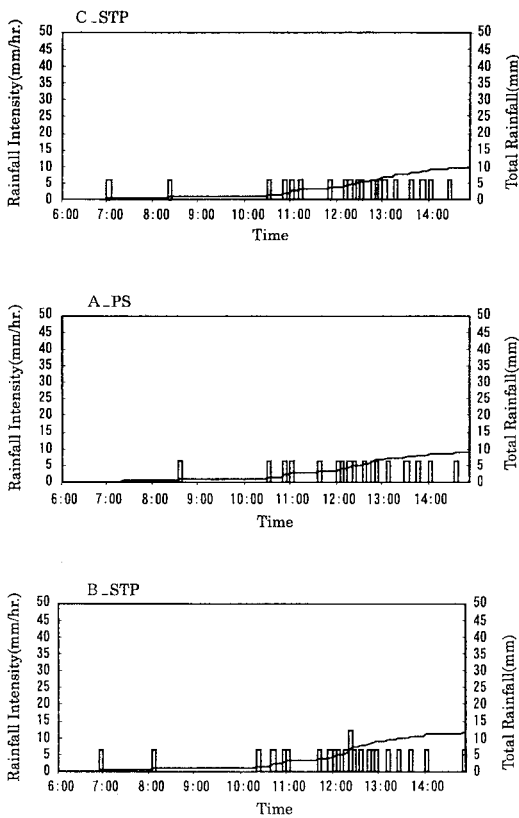


Fig.3 (1) Comparison on Rainfall Gauge Data at three locations  
Small intensity (approximately 10 mm/hr., rainfall No.19, July 12, 1997)  
— : Total Rainfall  
□ : Rainfall Intensity

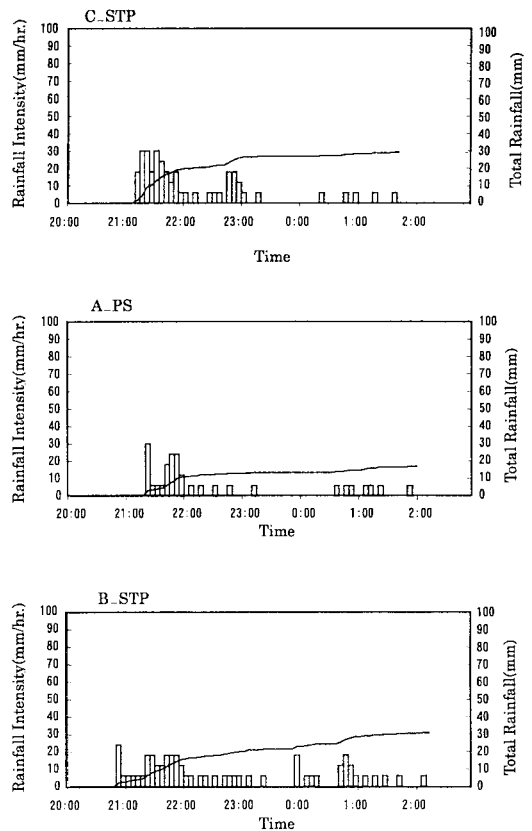


Fig.3 (2) Comparison on Rainfall Gauge Data at three locations  
Medium intensity (approximately 30 mm/hr., rainfall No.34, September 9, 1997)  
— : Total Rainfall  
□ : Rainfall Intensity

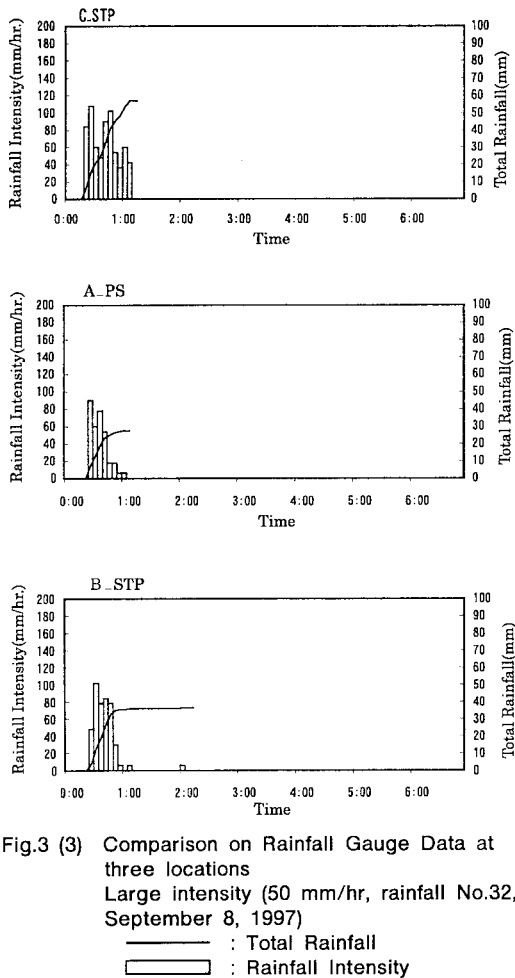


Fig.3 (3) Comparison on Rainfall Gauge Data at three locations  
Large intensity (50 mm/hr, rainfall No.32, September 8, 1997)

— : Total Rainfall  
□ : Rainfall Intensity

### 3.2 管きよとポンプ場への雨水流入量の計測

#### 1) 管きよ内流入量の計測

超音波式流速計と半導体圧力式水位計を計測地点Aの内径2,000mmの管きよ内に設置し、雨天時の流速と水位の時間変化を測定した<sup>2),3)</sup>。雨水流入に伴い水深が上昇し流速が増すにつれ、水流で巻き上げられた管きよ内堆積物や雨水とともに流入した地表面堆積物により、下水の濁度や混入浮遊物が増加し、これらが障害となり正確な流速測定ができなかった。計測地点A上下流の管きよ構造から、下流管からの背水による水位計測への影響はないものと判断されたため、雨水流出・流下モデルの検証には水位計による水位を用いた。

#### 2) ポンプ場流達量の計測

ポンプ場への流達量は、一般に、ポンプ稼働時間

とポンプ揚水能力を積算して算出されているが、運転水位によりポンプの実揚水量が変動するため、正確な流達量測定とはいえない。また、ポンプ揚水時にも雨水流入は継続するため、ポンプ実揚水量のみでは実際の流達量を把握していない。そこで、以下に述べるように、ポンプ実揚水量に沈砂池の水位変動に対応する流入量を加算し、正確なポンプ場実流達量とした。

沈砂池に電波水位計を設置し<sup>2),3)</sup>、水深の時間変化と水面積を積算して流達量を算定した。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800m<sup>2</sup>とした。また、Aポンプ場では、ポンプ運転時のポンプ井及び吐きよ水位の記録からポンプ運転時の実揚程の時間変化が判読できるので、ポンプ性能を示す水位・流量曲線とポンプ稼働時の実揚程から、雨水ポンプの実揚水量の時間変化を求めた。

雨水流出・流下量の解析を行なった58降雨のうち、大降雨の例として、No.32の降雨(1997年9月8日)に伴う流達量をFig.4に示す。上段の降雨量と流達量の図は、中段の「水位計による水深変動」の図から流入量を算出し、下段の「雨水ポンプ揚水量」の図と重ね合わせた結果である。なお、従来のポンプ稼働時間とポンプ揚水量を単純に積算した流達量をFig.4の上段及び下段に点線で示す。

Aポンプ場では、流入管きよの管内貯留量やポンプ1台当たりの揚水量が大きいため、ポンプ場への流達量の経時変化を示すハイドログラフは、降雨に比例した形ではなく、雨水ポンプの運転に応じて流達量が急激に増減する。Fig.4上段の流達量中央のピークは、ポンプ3台運転時を示し、ポンプ起動にともない3段の水位変動が確認できる。

### 4. 雨水流出・流下モデルの検証

流域Aの流末管きよ内流量の実測値をモデル解析値と比較検証した。解析対象とした主要管路網の諸元をTable 2に示す。モデル解析は、本来、雨水ますや取付管を含むすべての管きよを対象とすべきであるが、入力項目、計算手順とも大規模となることにより計算時間が長くなり、降雨と同時に雨水流出・流下量を把握しポンプ場の運転情報とするには実用的でないため、Table 2に示すように管径1,000mm以上の管路網を解析対象とした。これら管路網の起点部分は、点流入源として扱った。流域AはC処理場に近接するため、降雨データはC

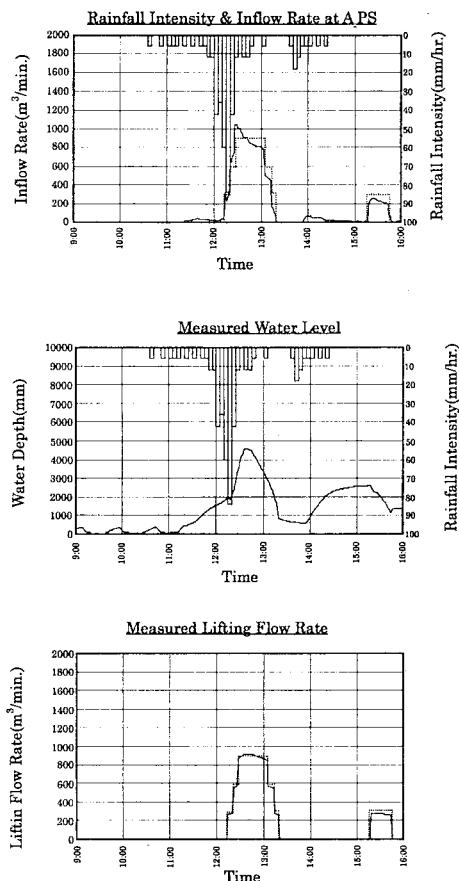


Fig. 4 Rainfall Intensity & Inflow Rate at A-PS  
 (1) Top : Rainfall Intensity & Inflow at A-PS  
 (2) Middle : Measured Water Level at Grit Chambers  
 (3) Bottom : Stormwater Lifting-Up Flow Rate  
 ————— : Inflow Rate  
 ..... : Nominal Lifting Capacity  
 [Shaded Area] : Rainfall Intensity

処理場の地上雨量計データを用いた。なお、解析値と実測値は、管きよ内水位により比較検証した。解析時間は、1降雨当たり数分であった。

#### 4.1 係数の設定

SWMMとHydro Worksの2つのモデルを検証した。解析対象とした流域Aの流末管きよで、複数降雨に対する雨水流下量計算結果と実測値を比較し、設定した最適な係数値をTable 3に示す<sup>2), 3)</sup>。

#### 4.2 雨水流出・流下モデルの検証

流域Aにおける大降雨(No.32)及び中降雨(No.34)での水位時間変化の計測結果と、SWMM及びHydro Worksによる解析結果の比較をFig. 5及びFig. 6に示す。雨水流出・流下モデルの検証結果から、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管きよ内流下量については、小降雨の場合以外、SWMM及びHydro Worksを用いて日本の市街地の雨水流出・流下パターンを良く把握できる。
- 2) 浸水対策上重要な大降雨では、水位のピーク出現時刻や水位の増加・減少速度に関して両モデルの解析値とも実測値と良く一致している。

### 5. 考察

首都圏の分流式雨水ポンプ場流域を対象とした降雨データ、ポンプ場の流達量及びモデルの単純化について以下のことが明らかになった。

#### 1) 降雨データ

雨水流出・流下量計算を行な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地点での地上雨量の比較結果では、最大降雨強度の出現時刻や総降雨量など、降雨パターンに差がでている。Fig. 3(3)の例では、調査流域に掛かるC-STPとA-PSの雨量計の時刻1:00の降雨強度はそれぞれ40mm/時と5mm/時である。このため、大流域の解析では、複数の降雨データで解析し、流域内の降雨量の差に伴う解析結果のばらつきを小さくする必要がある。

複数の降雨データを収集するために地上雨量計の設置数を増やすと、日常の維持管理業務が煩雑になるとともに、解析対象の既成市街地では、設置場所の確保が困難である。調査対象流域では、降雨レーダの観測メッシュが20箇所掛かっており、同数の地上雨量計を設置したことに相当する。このため、複数メッシュの降雨を一箇所で見測できる降雨レーダの導入が有効となる。48haの流域を一つの降雨データで解析した結果は、実測と計算結果にかなり相関性が認められ、レーダの500メッシュ(25ha)による観測データで十分と思われる。

#### 2) ポンプ場流達量

降雨情報と雨水流出・流下モデルを活用した雨水

Table 3 Selected Parameters for SWMM &amp; Hydro Works

SWMM		Hydro Works	
Items	Area A	Items	Area A
Drainage Area	47.6ha	Percentage Runoff; RP (%)	$0.829PIMP + 25.0SOIL + 0.078UCWI - 20.7$
Sewer	1000mm and more	Percentage Impermeability; PIMP (%)	PIMP is equal to Land Use Index times Surface indexes
Impermeable Ratio	63%	Land Use Index	1.0
Catch Basin Width	Mean Value	Surface1	10; Paved Surface
Catch Basin Slope	0.005	Surface2	20; Sloped Roof
Impermeable Area Reservoir Depth	2.0mm	Surface3	21; Pervious Area
Impermeable Area Manning's Coefficient	0.014	Soil Class	3; Normal Level Permeability in Pervious Area
Direct Runoff Ratio	50%	Soil Index; SOIL	0.40
Permeable Area Reservoir Depth	6.0mm	Urban Catchment Wetness Index; UCWI (%)	144 (=125+8API5-SMD)
Permeable Area Manning's Coefficient	0.030	5-Days Antecedent Precipitation Index; API5 (mm)	These indexes are determined to be "UCWI=144".
Initial Permeability	20.0mm	Soil Moisture Deficit; SMD	
Final Permeability	10.0mm	Manning's Roughness Coefficient; n	0.013
Descending Coefficient	0.0001		

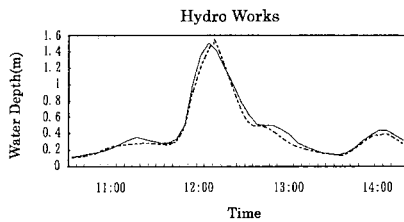
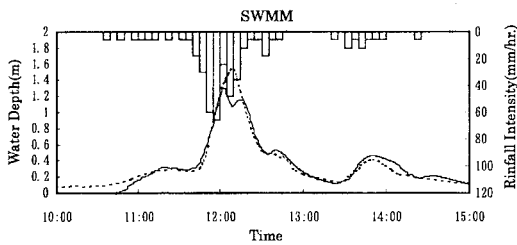


Fig. 5 Simulation Results for Large Intensity (Rainfall No. 32) Using Rainfall/Runoff Modeling Packages. Bar is expressed rainfall intensity. Solid and broken lines are calculated by two models and measured respectively.

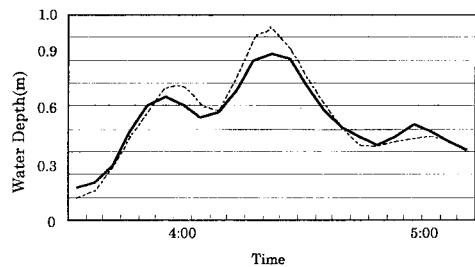
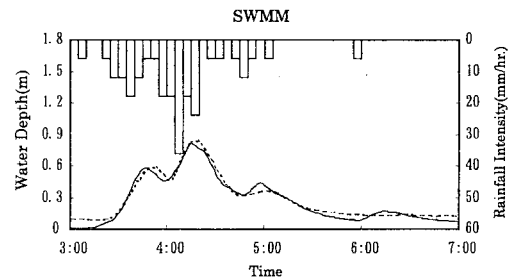


Fig. 6 Simulation Results for Medium Intensity (Rainfall No. 34) Using Rainfall/Runoff Modeling Packages. Bar is expressed rainfall intensity. Solid and broken lines are calculated by two models and measured respectively.



排除施設の適正な運転管理を行なうためには、Fig. 4に示すように、従来のようなポンプ稼働時間とポンプ揚水能力を単純に積算する流達量の把握でなく、ポンプ実揚水量に沈砂池等の水位変動に伴う流入水量の変化を加算しなければならない。

### 3) モデルの単純化

雨水流出・流下計算の使用モデルの種類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。Aポンプ場の流域面積は約300haであり、小口径管を含む管路網全体を対象とした複雑な解析条件を設定すると計算時間が長くなり、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ため、ポンプ場を含む全流域の単純化と解析精度の検証が必要となる。

## 6. 今後の課題

本研究では、降雨情報の運用・活用状況の調査、実際の降雨状況の把握と下水道施設への流入水量実測並びに実測値と雨水流出・流下モデルの解析結果の比較検討を行なった。今後の課題として、以下の2点がある。

### 1) 降雨レーダ情報の活用

地上雨量計データを比較した結果、2km程度に近接した地点でも最大降雨強度や出現時間などの降雨特性が異なっている。河川に比べ狭い範囲で詳細な雨水排除を行なう下水道施設への流入量を解析するための降雨情報としては、2km程度の距離の観測データでは不十分と認められた。木目細かい雨量観測のために、地上雨量計の設置数を増加させることは維持管理性や設置箇所の確保が困難と想定されるので、500mメッシュで観測する降雨レーダ情報の活用には有効性がある。今後、降雨情報の運用状況と課題を踏まえて、降雨レーダ情報の加工・取り

込み手法を改善する必要がある。

### 2) 流出解析モデルの適用性

降雨情報に基づいて雨水流出・流下モデルを活用し、雨水ポンプ場の運転管理を支援するためには、計算時間を短縮する必要がある。本研究では、流域面積48haの雨水排水区を対象に、解析に用いる雨水管路網を一定の管径以上の管路のみを扱うモデルとすることで、SWMMとHydro Worksによるパーソナルコンピュータ上での計算時間を数十分から数分に短縮させた。解析値と流域の流末管きよへの流量実測値を比較し、モデル化の妥当性を確認した。今後は、300haの流域のモデル化、ポンプ場運転を含めた総合的なモデル化の妥当性を検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 木下 勲、秋本孝夫、向畑光章：降水レーダを活用した総合的な浸水対策システムに関する調査，日本下水道事業団技術開発部報，1996
- 2) 木下 勲、向畑光章：降雨レーダを活用した総合的な浸水対策システムに関する調査，日本下水道事業団技術開発部報，1997
- 3) 中沢 均、向畑光章：降雨レーダを活用した総合的な浸水対策システムに関する調査，日本下水道事業団技術開発部報，1998
- 4) 建設省都市局下水道部監修：下水道施設計画・設計指針と解説 前編 -1994年版-、(社)日本下水道協会、P.59-P.67、東京、平成6年10月発行
- 5) 建設省都市局下水道部監修：合流式下水道越流水対策と暫定指針 -1982年版-、(社)日本下水道協会、P.22-P.44、東京、昭和57年10月発行
- 6) 建設省土木研究所下水道研究室・(財)下水道新技術推進機構：雨天時汚濁負荷量流出モデル比較検討調査報告書、平成7年2月

(受付 1999. 2. 8)

(受理 1999. 3. 8)