

# 下水道システムを考慮した氾濫解析の 治水対策への適用

## APPLICATION OF INUNDATION ANALYSIS CONSIDERING SEWER SYSTEM TO MEASURES FOR FLOOD DISASTER PREVENTION

武田 誠<sup>1</sup>・森田 豊<sup>2</sup>・松尾直規<sup>3</sup>  
Makoto TAKEDA, Yutaka MORITA, Naoki MATSUO

<sup>1</sup>正会員 博士(工) 中部大学助教授 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200)

<sup>2</sup>正会員 修士(工) システム環境計画コンサルタント株式会社 (〒540-0029 大阪市中央区本町橋2番46号)

<sup>3</sup>フェロー 工博 中部大学教授 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200)

Recently, the serious hazard due to heavy rain occurs frequently. Especially, lower region of urban area where many people live receives flood disaster. In urban area, the flow and distribution of inundation water are affected by various urban structures. Therefore, for the establishment of countermeasures for the flood disaster in urban area, the influence of urban facilities on inundation water behavior must be considered. In this study, the detailed inundation analysis including sewer system in urban area is developed and the validity of this analysis model is discussed by comparison between simulation results and observed data in Tokai heavy rainfall in 2000. Moreover, applications of the presented analysis model to measures for flood disaster are examined. This study treats four examinations, effect of sewer system, overflow weir of storm water and inflow situation into manhole on inundation situation, and also distribution of backflow sewage water from manhole. From this analysis, effective information for measures of flood disaster and the various applications of inundation analysis are shown.

**Key Words :** *Inundation analysis, Sewer system, Measures for flood disaster, Numerical analysis*

### 1. はじめに

近年、豪雨が多発しており、多くの都市で治水対策の見直しが急務の課題となっている。平成18年7月には、九州南部を中心とする豪雨災害や天竜川破堤を引き起こした豪雨災害が生じており、毎年わが国の何処かで水害が発生している現状である。長時間にわたる豪雨もさることながら、短時間の局地的な集中豪雨に関しても、治水上の注意が必要である。特に、下水道システムに雨水排除を受け持たせている都市域では、その機能の把握や浸水対策の見直しは早急に進めなければならない課題であろう。2000年の東海豪雨がきっかけで都市型水害の危険性が叫ばれ、特に外水および内水の同時生起に伴う氾濫災害の危険性およびその対策の重要性が指摘されてきた。その流れを受けて、「特定都市河川浸水被害対策法」が設置されるなど、治水対策も河川整備や外水氾濫対策に留まらない新たな方策が示されている。

このような治水対策の検討では、氾濫解析が有力な

ツールとなる。特に、都市域を対象とする場合には、建物、道路といった都市構造物や下水道システムの解析上の表現が不可欠であり、現在、それらを扱う氾濫解析に関する研究が盛んに行われている。秋山・重枝<sup>1)</sup>は道路など都市構造物に沿った氾濫水の挙動を表現し、建物に対する影響や詳細な氾濫水の水利特性を検討している。相良ら<sup>2)</sup>は下水道システムのモデル化を行い、氾濫水と下水道水との関連に着目した詳細な検討を行っている。さらに、川池ら<sup>3)</sup>、戸田ら<sup>4)</sup>は、それぞれ寝屋川市、京都市と大きな解析範囲を対象に、内水氾濫解析を実施している。著者らも、川池ら<sup>3)</sup>、戸田ら<sup>4)</sup>と同様に、複雑な下水道システムが配置されている広域な都市域を対象にモデルの開発を進めている。本報では、構築したモデルの概要を紹介し、東海豪雨を対象にした再現計算と浸水実績の比較からモデルの妥当性について議論する。さらに、氾濫解析の都市治水対策への適用という視点から、いくつかの検討を実施した。まず、下水道システム整備の浸水対策への効果を示すために、下水道システムの有無に

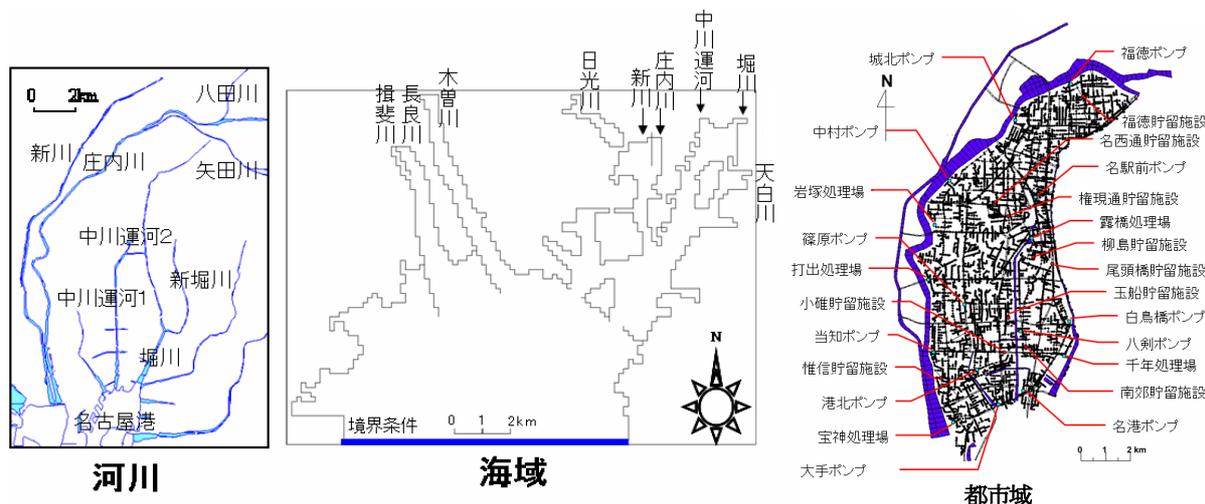


図-1 計算領域

よる浸水の違いを検討した。つぎに、本解析モデルが下水道解析を有しているという特徴を生かし、雨水吐の有無が浸水に与える影響、マンホールへの落ち込み流量の変化が浸水に与える影響、衛生的対策の観点から下水道システムから噴出した汚水の広がりについて検討した。

## 2. 氾濫解析モデル

本解析モデルは、海域、河川域、氾濫域、下水道システム（マンホールと下水管）を取り扱い、それぞれの水の現象に対して適切なモデル化を施し、お互いの水の輸送を考慮して全体を統合的に解くものである。モデルの詳細については、武田ら<sup>5)</sup>と同様であるので、ここでは、その特徴と変更点についてのみ示す。本研究では、以下のように各領域について適切な解析法を組み合わせている。

河川域：一次元解析法

海域：デカルト座標を用いた平面二次元解析法

都市域：非構造格子を用いた平面二次元解析法

下水管：スロットモデルを用いた一次元解析法

なお、河川と都市域との水の受け渡しは、堤防における越流公式で表現し、氾濫水の下水道への流入出はマンホール部で取り扱っている。また、下水道へ流入した水はポンプ場で河川へ排水され、雨水吐では、河川と下水道の水位に対応した水輸送が考慮されている。さらに、本解析モデルでは、海域を考慮していることにも特徴がある。洪水のみを対象とする場合には海域を考慮する必要はないが、その場合、河川下流の境界条件の設定が難しい。本研究のように境界条件を海域とし、河口部で海域と河川域との水理量の受け渡しを行うことで、河川網の下流端条件を適切に表現でき、さらに、海洋性の水災にも対応できる。なお、以前は、計算領域内の下水道データが完全には整備されていなかったが、本報におい

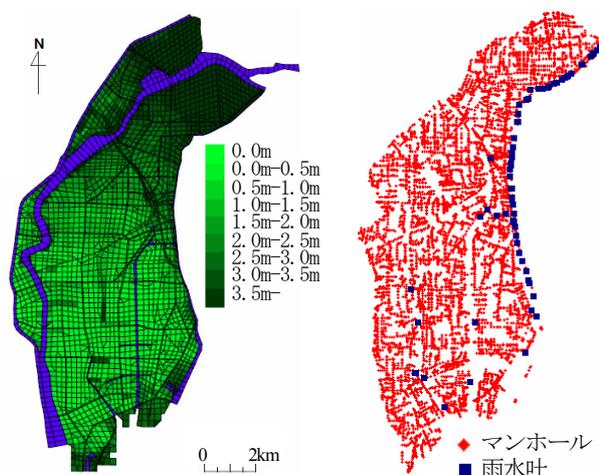


図-2 都市域の地盤高

図-3 雨水吐の位置

てデータ収集および整理を進めている。

対象とする名古屋市域では、合流式下水道が整備されており、通常の汚水流量の3倍以上の下水管流量がある場合には雨水吐から河川へ自然排水される。これを降雨に換算すると、2mm/h以上の雨が降れば、雨水吐から流出が始まると言われている。本解析モデルでは、雨水吐からの流入出を考慮し、その流量を(1)式で求めた。なお、解析では下水処理施設への下水流量は降雨による流量からすれば小さいため、考慮していない。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -Ag \frac{\partial H}{\partial r} - \frac{gn^2 Q |U|}{R^{1/3}} \quad (1)$$

ここに、 $Q$ ：流量、 $A$ ：断面積、 $g$ ：重力加速度、

$\frac{\partial H}{\partial r}$ ：雨水吐近く(概ね15mの距離)の下水道内水位と河川水位との勾配、 $n$ ：マンニングの粗度係数、 $u$ ：流速、

$R$ ：径深である。

また、ポンプによる排水のモデル化は4.3に述べているが、ポンプの排水流量は設定される最大排水流量を上限にマンホール内に存在する水量を考慮して定められる。

### 3. 解析モデルの妥当性評価

#### 3.1 計算条件

東海豪雨による浸水の再現計算を行い、モデルの妥当性を評価する。図-1と図-2に計算領域を示す。新川と庄内川、堀川で囲まれた地域(80.8km<sup>2</sup>)を氾濫計算の領域とし、庄内川、矢田川、八田川、新川、中川運河、堀川、新堀川を河川域の対象とする。海域は四日市と常滑から北の伊勢湾北部を取り扱っている。計算期間は海域の計算を安定させるため東海豪雨の1日前の2000年9月10日0:00から9月14日1:00までの144時間とする。

庄内川、矢田川にはそれぞれ水位観測所で得られた流量を与え、八田川、新川にはそれぞれの水位観測所で得られた水位を与えている。また、中川運河と新堀川の上流端流量は0.0m<sup>3</sup>/sec、堀川の上流端流量は0.3m<sup>3</sup>/secと設定している。海域には四日市と常滑の潮位を平均して平面2次元解析の海側開境界条件として与えている。河川の下流端では該当する海域の水位を河口に与え、海域では河川流量を考慮した上で同時に計算を行っている。なお、中川運河に存在する二つの水門と、その場所での名古屋港と堀川へのポンプ排水を考慮している。粗度係数は、河川全域に0.02を与えたが、庄内川の河口から15.8kmまでの区間のみ0.015を与えた。また、都市域の粗度係数については、道路に0.043、住宅域に0.067を与えた。

新川16km地点において堤防が破堤したため枇杷島町では甚大な被害が生じた。今回の解析では2000年9月12日3:00に新川の河口より16km地点の堤防を破堤させ実際の浸水の状況を再現する。下水道管渠およびポンプ場、貯留施設の位置を図-1に示す。下水管渠は径600mm以上の幹線を扱い、表-1と表-2の貯留量、ポンプ排水量を考慮した。また、本解析で考慮した雨水吐の位置を図-3に示す。さらに、各格子に与えた降雨量は、市内14箇所の観測雨量を用い算出した。

#### 3.2 計算結果と考察

図-4に名古屋市域のみの浸水実績図を、図-5に解析で得られた最大浸水深の分布を、図-6に新川破堤近傍の浸水実績図を示す。図-4と図-5の比較から、名古屋駅周辺や中村区、千年地区周辺の浸水の様子が再現されており、実際と同様の解析結果が得られている。また、北区において図-5では浸水があまり表示されていないが、解析結果には0.2m以下の浸水は生じている。さらに、図-5と図-6の比較から、庄内川右岸にみられる越水による浸水や新川破堤に伴う浸水の様子が解析結果と観測値が比較的一致している。また、3箇所の水位観測所における解析値と観測値の河川水位の比較も行っており、比較的水位変動もよく表現できている。ここでは、一例として図-7に枇杷島における水位の時間変化を示す。以上のことから、本解析モデルの妥当性が検証された。

表-1 貯留量<sup>6)</sup>

貯留施設	貯留量
福德	7500
権現通	3600
柳島	3300
尾頭橋	2500
玉船	5000
小碓	14000
南郊	25000
惟信	12000
名西通	3500

(単位:m<sup>3</sup>)

表-2 ポンプ排水量<sup>6)</sup>

ポンプ名	排水量	ポンプ名	排水量
岩塚	22.3	名駅前	0.8
平田	12.3	千年	15.2
福德	18.8	白鳥橋	20.3
中村	35.0	八剣	12.0
城北	12.0	宝津	42.0
打出	58.4	当知	12.7
篠原	13.8	港北	16.7
露橋	5.4	大手	10.0

(単位:m<sup>3</sup>/sec)

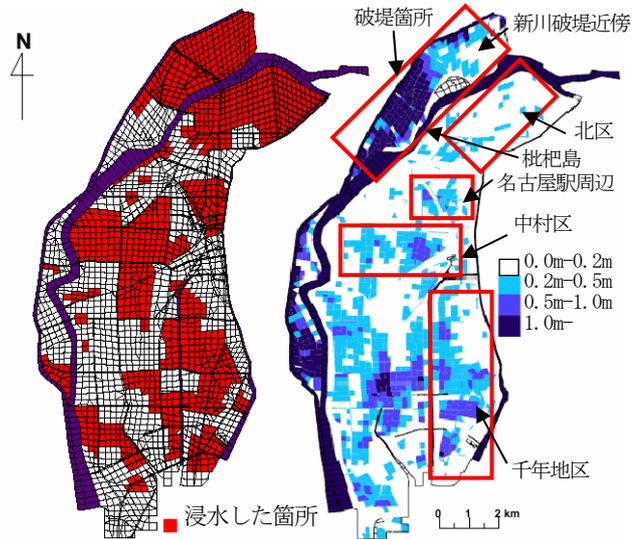


図-4 浸水実績図<sup>7)</sup>

図-5 最大浸水深の分布

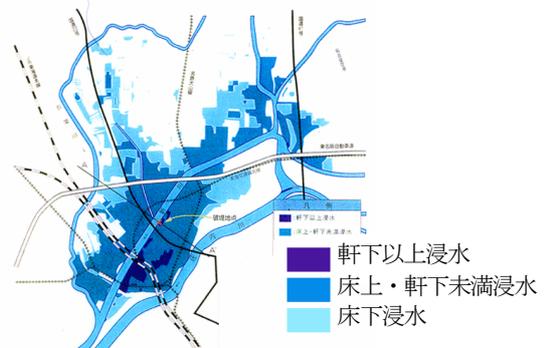


図-6 新川破堤近傍の浸水状況

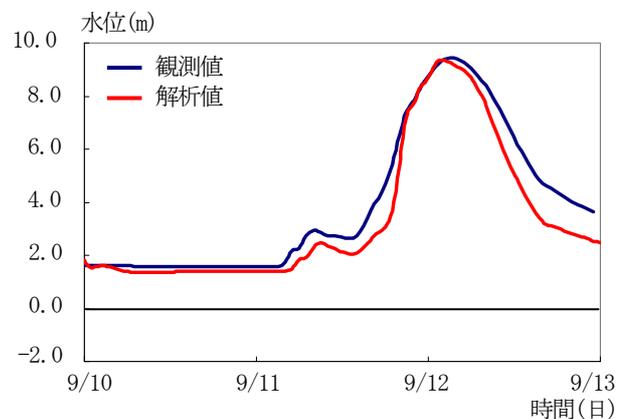


図-7 枇杷島水位観測所の水位

## 4. 氾濫解析の治水対策への適用

### 4.1 下水道システムの効果

雨水排除の機能を有する下水道整備を精力的に進めるためには、その効果を住民に説明する必要がある。そこで、下水道システムの有無による浸水の違いを検討した。計算条件は、3.1と同様であり、下水道システムの有無のみが異なる条件となっている。

図-8に下水道を考慮しない場合（下水道無）と考慮した場合（下水道有）の浸水深分布図を示す。同図から考慮しない場合に比べ、考慮した場合では浸水面積、浸水深が低減しており、下水道システムの排水に与える効果が改めて示された。また、図-9に最大浸水深を対象とした浸水深毎の氾濫面積を示す。下水道を考慮した場合は考慮しない場合に比べて浸水深の小さな領域が増加しており、下水道自体が浸水深を低下させ、床上浸水といった水災を低減させる効果があることが確認された。

### 4.2 雨水吐の効果

名古屋市では、合流式下水道が整備されており、雨水時には下水処理場で処理できない水が雨水吐から未処理のまま直接河川へ流出する。そこで、雨水吐からの雨水排水の影響をみるため、その有無による浸水の違いを検討した。ここでも、計算条件は3.1と同様であり、雨水吐の有無のみが異なる条件である。

図-10に最大浸水深の分布を示す。雨水吐を考慮した場合（雨水吐有）は、考慮しなかった場合（雨水吐無）よりも特に名古屋駅周辺以北で浸水深が低下している。ただし、全体の浸水の様子に大きな違いは無く、雨水吐からの排水の浸水に与える効果は大きくないことが分かる。ポンプの総排出流量と雨水吐からの総排出流量を図-11に示す。本図から、ポンプ排水流量の方が雨水吐からの排水流量よりもはるかに大きいことが分かり、対象領域では東海豪雨時の排水過程において、ポンプが支配的に機能していたことが分かる。また、9月13日以降で変動が見られるが、これは潮位変動の影響で河川水位が高くなり雨水吐から流入した水がポンプにより排水されていることを示している。なお、下水道解析は降雨開始から行っており、9月11日以前にはそうした変動が見られない。

### 4.3 氾濫域から下水道への落ち込み流量の変化

側溝にゴミや泥などが溜まった場合や清掃活動などにより側溝の機能が維持されている場合を想定し、下水道への落ち込み流量の変化が浸水に与える影響を検討する。本解析における氾濫域と下水道との水の輸送はマンホールで考慮されている。以下にマンホールの連続式を示す。

$$A \frac{\partial H}{\partial t} = \sum Q - Q_{out} + Q_{in} \quad (2)$$

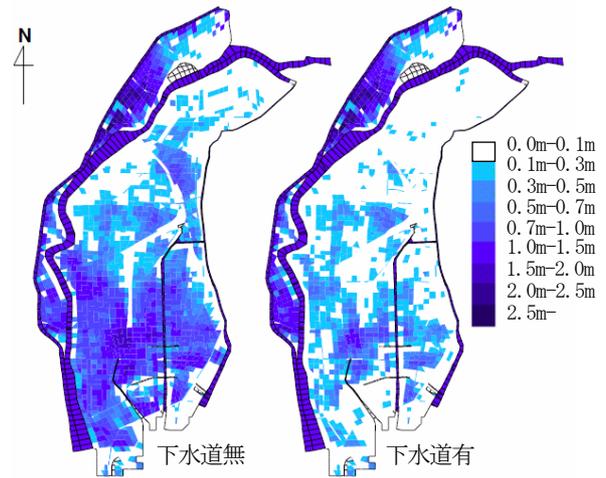


図-8 9月12日7:00の浸水深分布

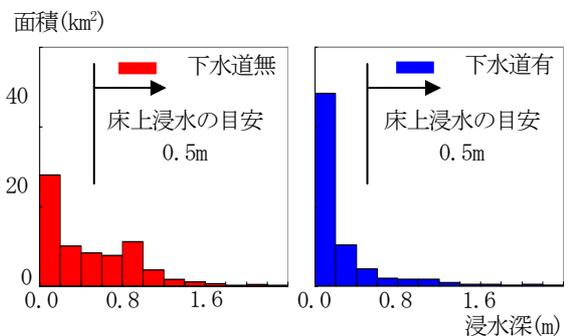


図-9 浸水深毎の総氾濫面積

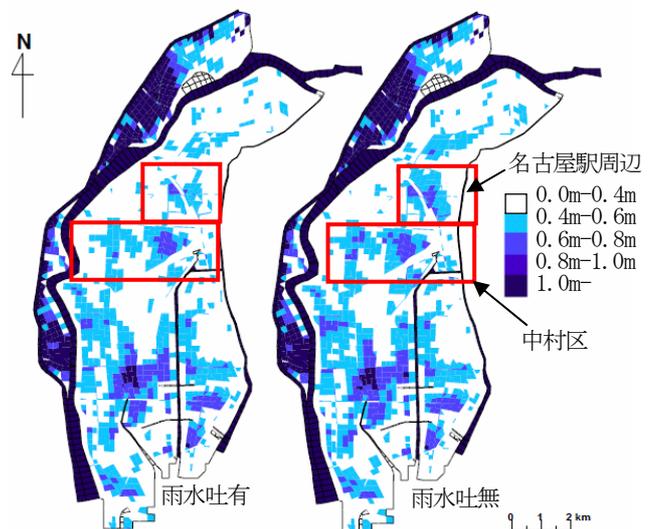


図-10 最大浸水深図の比較

ここで、 $A$  : マンホールの断面積、 $H$  : 水位、 $\Sigma Q$  : 下水道による流入流量、 $Q_{in}$  : 氾濫域からの落ち込み流量、 $Q_{out}$  : ポンプの排水流量（ポンプが無い場合はゼロ）である。落ち込み流量 $Q_{in}$ は $KLh\sqrt{gh}$ （ $K$ は流量係数、 $L$ はマンホールの周長、 $h$ は浸水深、 $g$  : 重力加速

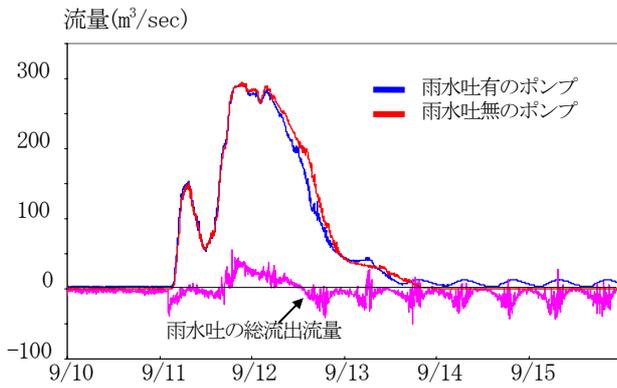


図-11 ポンプ総排水流量と雨水吐排水流量

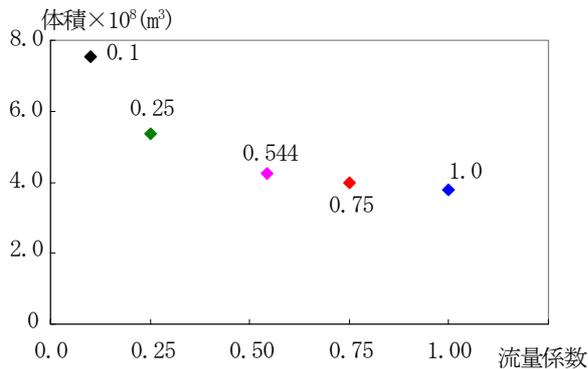


図-12 流量係数と氾濫水の総体積の関係

度)で求めている。ここでは、流量係数を0.1, 0.25, 0.544, 0.75, 1.0と変化させ計算を行った。なお、これまでの解析で用いた流量係数は0.544<sup>8)</sup>であり、計算条件は3.1と同様である。図-12に流量係数毎の氾濫水の総水量を示す。同図から流量係数が小さい場合は、下水道管渠に氾濫水が落ち込まず氾濫水の総水量が大きくなっており、特に流量係数が0.544, 0.25, 0.1と変化すると総水量に大きな差が生じていることが分かる。このことは、ゴミなどによる落ち込み流量の低下は、浸水を悪化させることを示唆している。しかし、流量係数を0.544~1.0まで変化させた場合、総水量に大きな差が生じない。これは、流量係数を大きくし、下水道管渠に氾濫水を流入させる水量を大きくしたとしても、下水道管渠自体の貯留できる水量が対応しておらず、下水道管渠が満管状態になり氾濫水量が低下しないと考えられる。このことから、落ち込み流量の増加と同時に下水道管渠の貯留できる容積および排水流量の検討が非常に重要であることが分かる。

#### 4.4 マンホールからの噴出しによる汚水の分布

本解析モデルは、下水道解析を含んだ総合的な氾濫解析モデルとなっており、下水道内の水の挙動が表現されている。そこで、合流式下水道流域におけるマンホールからの未処理の汚水の噴出しとその汚水の移動を検討す

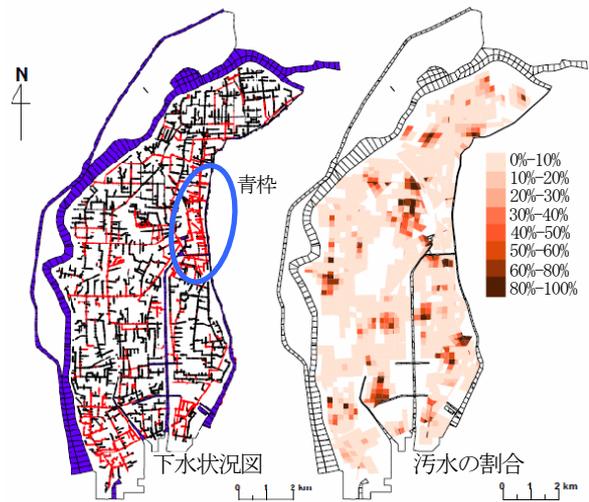


図-13 9月11日7:00の下水道状況と汚水の割合

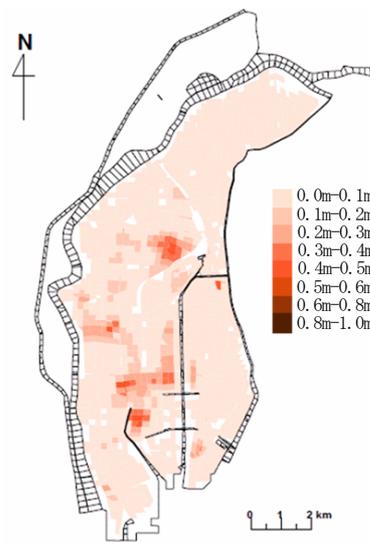


図-14 9月12日7:00の汚水量

ることで、重点的に衛生管理を必要とする地域の検討を行った。解析に用いた基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial CM}{\partial x} + \frac{\partial CN}{\partial y} = C \cdot q \quad (3)$$

ここで、 $x, y$  : 平面の空間座標,  $t$  : 時間,  $h$  : 水深,  $C$  : 汚水の割合(解析では0~1である),  $M, N$  : それぞれ,  $x, y$  方向の流量フラックス( $M = uh, N = vh$ ),  $C_s$  : マンホールから流入する汚水の割合(マンホールから流出する(噴き出す)場合は1, マンホールへ流入する場合はマンホールが位置する格子内の汚水の割合),  $q$  : 単位面積あたりのマンホールでの噴き出す(正値)あるいは流入する(負値)流量である。本来ならば、下水道を流れる汚水濃度は、時間と共に変化し、降雨時の初期では汚水濃度が高く、その後の降雨の流入に伴い汚水濃度は徐々に薄まるものと考えられる。しかし、そのような現象を解析する場合、汚物や汚水に対する初期条件、境界条件の設定が必要であり、その情報入

手は非常に難しいものとする。したがって、ここでは、下水道内に存在する水をすべて汚水として取り扱い、氾濫域における汚水の割合を求めることとした。マンホールから噴き出す水に、汚水の割合1を与え、降雨や越水などの水の流入があれば、汚水の割合は低下し、(3)式で氾濫域を移動(変化)するものとして汚水の割合を計算している。

図-13に下水道状況図(赤:管路流れ、黒:開水路流れ)と汚水の割合(100%表示)の分布を示す。本図から汚水の割合が濃くなっている箇所は下水道も満管になっており、マンホールからの噴出しによって汚水の割合が高くなっていると考えられる。図-13の青枠の堀川右岸域で下水管路が満管になっているにもかかわらず高い汚水の割合がみられないのは、雨水吐から氾濫水が河川へ排水されることによって水が集まり満管となっているが、都市域に噴出していないことが考えられる。また、図-14に9月12日7:00の汚水量の分布を示す。汚水量とは単位面積あたりの汚水量と定義しており、汚水割合×浸水深で求めている。また、対応する同時刻の浸水深の分布は、図-8の下水道有りの図に示されている。これらの図から汚水の割合が高い地域では浸水深も大きいことが分かる。また、汚水量が多く存在している場所は災害後において衛生面の対策を重点的に実施が必要であると推察される。

## 5. おわりに

本研究では、下水道システムを考慮した都市氾濫解析モデルを構築し、その妥当性および下水道システムに着目した治水対策への適用を試みた。得られた知見をまとめれば以下のとおりである。

- 1) 構築した解析モデルの概要を示し、東海豪雨を用いた再現計算結果と浸水実績、観測水位との比較からモデルの妥当性を示した。
- 2) 下水道の有無による解析結果から、下水道システムの浸水に与える低減効果を改めて示した。これらの結果は、浸水対策における下水道システムの重要性を示すものである。
- 3) 雨水吐の有無による解析結果から、雨水吐の存在により浸水深は一部の地域で低下しているが、計算領域全

体では、ポンプ排水の方が支配的であることが分かった。

- 4) 落ち込み流量の違いによる氾濫解析の結果から、ごみが詰まるなどの落ち込み流量の低下が浸水深の増加を招くことが示された。また、浸水対策として、落ち込み流量の増加のみではなく、下水貯留やポンプ排水量の増加も重要であることが示された。
- 5) 浸水後の衛生的対策のために、汚水量の分布を示す一手法を示した。実際には、汚水の汚れ具合は時間と共に低くなると考えられるが、本計算では、マンホールからあふれたものが汚水であるとして解析を進めており、過大となる結果であろうが、このような解析により衛生的対策の一資料が得られるものとする。

最後に本研究は平成17年度科学研究費補助金(基盤研究(C))「都市における複合型氾濫解析モデルの高度化とその水災対策への応用に関する研究」の補助を受けたものであることを記しておく。

## 参考文献

- 1) 秋山壽一郎, 重枝未玲: 河道德性と市街地構造を考慮した越水・破堤氾濫シミュレーション, 水工学論文集, 第50巻, pp691-696, 2006.
- 2) 相良亮輔, 錦織俊之, 井上和也, 戸田圭一: 枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析, 水工学論文集, 第48巻, pp589-594, 2004.
- 3) 川池健司, 井上和也, 戸田圭一, 野口正人: 寝屋川流域を対象とした氾濫解析モデルの高度化, 水工学論文集, 第47巻, pp919-924, 2003.
- 4) 戸田圭一, 井上和也, 村瀬賢, 市川温, 横尾英男: 豪雨による京都市域の氾濫解析, 水工学論文集, 第44巻, pp479-484, 2000.
- 5) 武田誠, 松尾直規, 山中威士, 森田豊: 総合的な氾濫解析システムの構築に関する研究, 水工学論文集 第49巻, pp. 613-618, 2005.
- 6) 名古屋市上下水道局: なごやの下水道, 2003.
- 7) Web資料 名古屋市: <http://www.city.nagoya.jp>, 2006年1月
- 8) 井上和也: 開水路非定常流の数値解析法とその水工学への応用に関する研究, 京都大学学位論文, pp172-177, 1986.

(2006. 9. 30受付)