

内水を考慮した氾濫解析モデルの構築と検証 —大垣市を対象として—

DEVELOPMENT OF INUNDATION FLOW ANALYSIS MODEL CONSIDERING
LANDSIDE WATER, -STUDY IN OGAKI CITY-

舘健一郎¹・武富一秀¹・川本一喜¹・金木誠¹・飯田進史²・平川了治²・谷岡康²
Kenichiro TACHI, Kazuhide TAKEDOMI, Kazuki KAWAMOTO, Makoto KANEKI,
Shinji IIDA, Ryouji HIRAKAWA and Yasushi TANIOKA

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所水害研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)

²正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社水工技術本部河川部 (〒163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1)

To identify and announce flood hazards appropriately, an accurate flood inundation simulation method is essential. Especially in urban areas, landside water inundation is a pressing problem and must be considered properly in analyses. This paper presents the development of an inundation flow analysis model considering the effects of landside water. The analysis is done using GIS, which is a quite effective tool to utilize the analyzed results in emergency management activities.

The model was studied for the historical flood in Ogaki city in 1976. It became clear that the drainage systems are quite influential to the movement of flood water in flat plains as Ogaki. A simple method to model drainage channels was introduced and the applicability was verified.

Key Words : landside water, inundation flow analysis, Ogaki city, drainage channels, GIS, laser scanner

1. はじめに

近年, 都市部では内水氾濫や中小河川からの氾濫による浸水被害が頻発している。平成11年6月の福岡豪雨災害では下水道の能力以上の降雨による内水氾濫に加え, 御笠川からの外水氾濫が発生し, 地下空間の浸水被害が多発した。平成12年9月の東海豪雨災害では各所での内水氾濫に中小河川からの外水氾濫が重なり, 大きな被害をもたらされた。近年の都市型水害の発生形態の特徴として, 内水氾濫を無視できないことがいえるであろう。

洪水時の避難計画を記載するハザードマップでは, 大河川からの外水氾濫を対象としている場合が殆どであるが, 浸水リスクを的確に評価し, 適切な危機管理対応を行うためには, 内水・外水双方の生起を考慮した氾濫解析を用いる必要がある。その理由として, 住民にとっては内水氾濫と外水氾濫の違いは関係ないこと(特に低平地では, 外水・内水氾濫による被害に差はほとんどないことも多い)から, 住民の感覚とずれたハザードマップとなってしまうことがあげられる。また, 都市部においては, 大河川の外水氾濫によって生じるような浸水ではなく, 局所的な排水不良のような内水氾濫でも, 地下空間への流入や交通, ライフライン施設被害等, 大きな被

害発生の可能性があり, 対策を考える上で無視できないからである。

一方, インターネットを始めとする情報技術による災害情報の提供が現実のものとなってきた。災害発生時に氾濫解析結果をリアルタイムに提供し, 水防, 避難を始めとする減災対策を支援するためには, 相対的に簡易な解析方法でしかも道路上の浸水深等の局所的な情報まで求める必要がある。また, 住民に分かりやすい形で整理する必要もある。すなわち, 氾濫解析結果に追加的な解析を加えることが望まれている。そのような解析を行うためには, GISは理想的なツールといえる。

そこで, 大垣市の揖斐川右岸を対象として, 内水氾濫も考慮された氾濫解析モデルを構築し, 既往の浸水実績を用いて検証を行った。解析データの扱いはGISをベースにしている。本論文では, 特に, 低平地での開渠の排水システムの取り扱いについて考察した。

なお, 解析モデルの活用手法の検討として, GISによる住民の避難行動解析も行っている。これについては, 別途報告¹⁾しているので参照されたい。

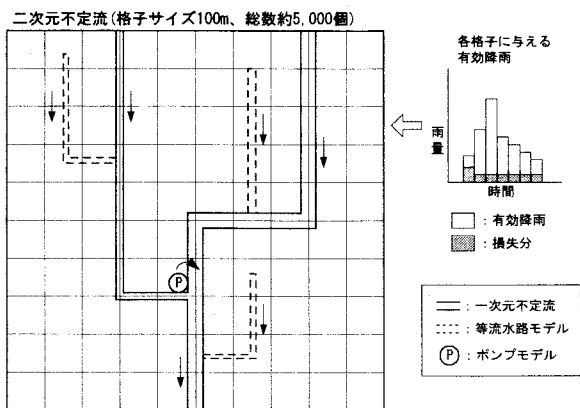


図-1 解析モデルの概要

2. 内水を考慮した氾濫解析モデル

(1) 内水氾濫を扱う既往の研究事例

平成13年7月に施行された改正水防法により、洪水予報河川における浸水想定区域図の作成・公表が義務づけられた。浸水想定区域図は自治体が洪水ハザードマップを作成する際のベースマップとして利用されるが、河川改修の計画規模の外水に対する浸水域、浸水深を示したものであり、外水氾濫を対象とした氾濫解析手法²⁾が用いられている。今後、内水氾濫も含めた解析を行うに際して、同様の手法がそのまま適用できる保証はない。洪水氾濫対策では、ある程度広い地域が解析対象となるため、複雑過ぎる解析手法を適用すると計算の負荷が大きくなる。したがって、簡易であることが内水氾濫解析の必要条件となる。しかし、内水氾濫を対象とした氾濫解析に関する研究事例は、下記の事例を除くと少ない。

内水氾濫では、下水道を含む排水網の影響が大きいいため、それらをいかに取り扱うかがポイントとなる。東京都が作成した神田川流域の浸水予想区域図³⁾では、下水道の排水能力相当の氾濫水を地上湛水から除くという方法で下水道を考慮しながら、外水氾濫解析と同様な方法で内水氾濫を行っている。また、下水道分野では、海外を始めとするパッケージモデル (MOUSE, HYDROWORKS, SWMM等) が現場でも使われているが、施設計画のための管路内流れの解析が主目的であり、地上の氾濫解析を主目的として用いられた例は少ない。相良ら⁴⁾は、下水道管渠の排水効果 (貯留容量を考慮した連続式による) を考慮したモデルで低平地の内水氾濫解析を行っており、下水道排水効果の簡易な取り扱い方法の検討例といえる。

(2) 構築モデルの概要

本研究では、外水及び内水の双方を取り扱うための氾濫解析モデルを作成した。外水については、一次元不定流モデルで解析する中小河川からの破堤・溢水氾濫水及び下水道等の排水施設能力を超える氾濫水の地表伝播を対象としており、内水については、氾濫原に与えられた有効降雨による氾濫水の伝播を対象としている。両者と

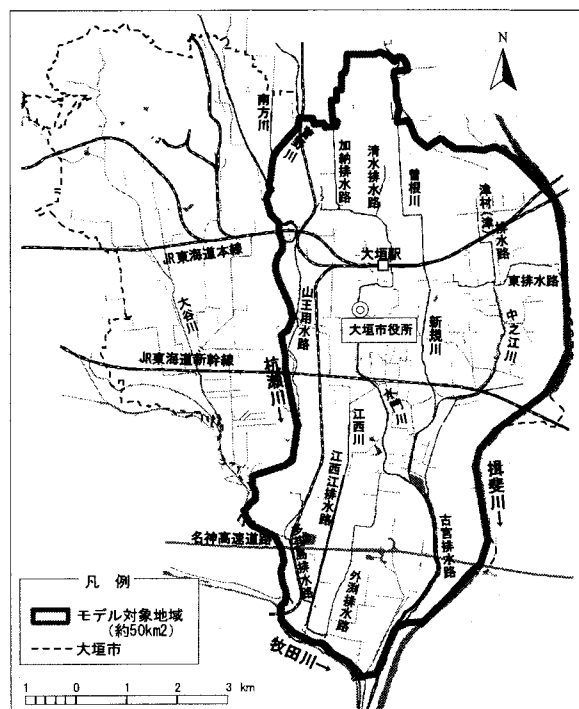


図-2 検討対象地域図

も、直交格子の二次元不定流モデル²⁾で伝播過程を解析している。また、排水路や排水ポンプによる排水も考慮している。図-1に解析モデルの概要を示す。

3. 大垣市におけるモデル構築

(1) 対象地域の特性

大垣市東部の約50km² (図-2) を対象として解析モデルを構築した。解析地域の東部には揖斐川、西部及び南部には揖斐川支川の杭瀬川、牧田川が流れており、それらの堤防で囲まれた低平地域である。よって、破堤氾濫した場合には、氾濫水は域内に拡散する。

また、この地域の特徴として、輪中堤が発達していることが挙げられ、氾濫水の拡散に影響を与えるため、盛土としてのモデル化が必要である。当該地域の排水は、開渠の小河川及び排水路を通じて行われており、それらをうまくモデル化することが、浸水現象の再現のポイントとなる。

なお、大垣市では、GIS情報の共有実験⁵⁾が行われており、様々なGISデータ及び水文データの共有体制が整備されている。GISを用いた解析システムの構築には、これらの活用が可能である。

(2) 対象地域の特性を考慮したモデル構築

一辺100mの直交格子とした。格子サイズは内水氾濫に支配的な貯留現象を表現可能とするため極力小さいことが望ましいが、解析範囲との兼ね合いより100mとした。格子数は約5千個である。河道断面特性等のデータについては、河川管理者等から入手した数値、図面をもとに作成し、河川や水路の現況については現地調査で確認し

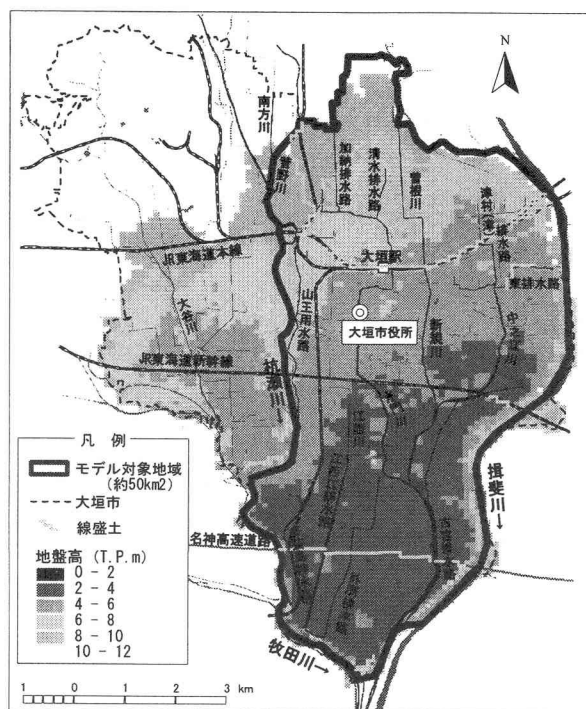


図-3 レーザースキャナーで計測された地盤高及び線盛土

表-1 土地利用区分と粗度係数

	水田・畑地	宅地	山林
粗度係数	0.025	0.040	0.060

た。以下に、モデルの詳細について説明する。

a) 格子データの作成

解析格子の地盤高データには、レーザースキャナー⁶⁾で計測された精緻な標高(鉛直方向精度は15cm程度)を用い、微地形に応じた浸水現象が再現できるようにしている。地盤高データは、平成13年春に航空機搭載レーザースキャナーで計測された標高データ(約2.5m間隔で計測、建物等を除去済みのもの)を100m格子で平均化して作成した。その妥当性は1/2,500都市計画図等で適宜検査した。

線盛土については、1/2,500都市計画図より比高50cm以上を基準として抽出し、標高及びボックスカルバートの開口幅等をデータ化した。対象地域特有の治水構造物である輪中堤及び名神高速道路の盛土が対象となる。線盛土は計算格子間に配置した。地盤高及び線盛土を図-3に示す。

また、氾濫水の伝播に影響する地表面粗度及び降雨の損失係数を算定するための土地利用データとして国土数値情報100mメッシュ(平成3年)を用いた。また、氾濫流への建物抵抗の考慮に必要な建物面積率を求めるため、延べ床面積としてJACICの延べ床面積100mメッシュデータを用いた。土地利用区分毎の粗度係数を表-1に示す。

b) 河道及び水路等のモデル化

破堤・溢水による外水氾濫解析の対象並びに氾濫水の

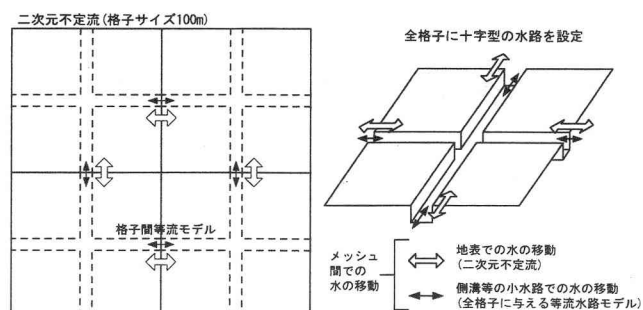


図-4 全格子に与える等流モデルの説明図

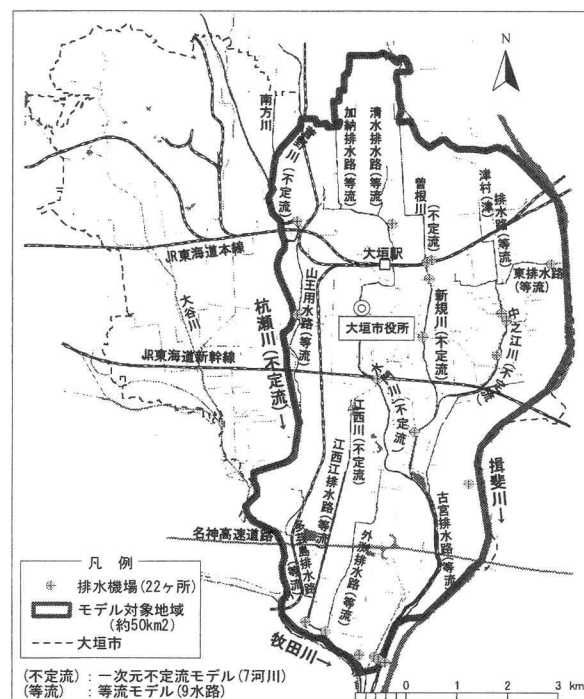


図-5 河川及び排水路

排水路となる河川、水路については、3通りのモデル化を行った。

まず、排水能力が大きい河川は断面特性を与えて一次元不定流モデルで解析した。河川の枝線となる水路(農業用水路や都市下水路等)については、解析格子間に断面形状を与えた水路を設置して表現した。メッシュ内の水の体積がこの水路満杯以下であれば、氾濫水は水路内を等流で移動する。ここでは、この方法を「等流水路モデル」と呼ぶこととする。さらに、側溝程度の大きさの水路について、その排水効果の大きさを仮定してモデルに組み込むこととした。モデル化方法は、格子内に多数存在する小水路を集約して、ある大きさの断面を持つ格子間の等流水路として設定するものである。図-4に示すように全格子に十字方向の溝を与えた等流水路モデルとした(小排水路・側溝の等流水路モデル)。

一次元不定流解析の対象となる河道・水路は、杭瀬川、水門川、新規川、中之江川他である。断面特性等のデータは、河川管理者等(国土交通省木曽川上流工事事務所、

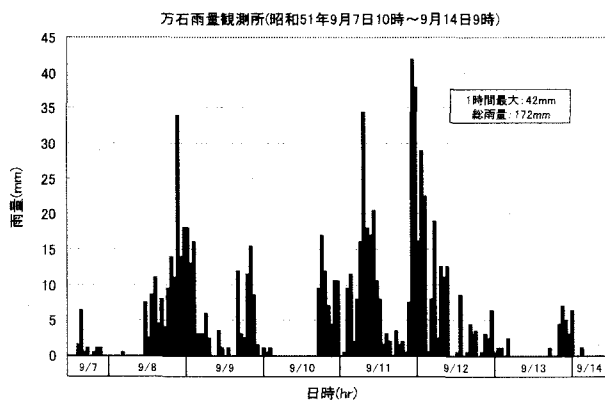


図-6 万石地点の降雨量時間変化

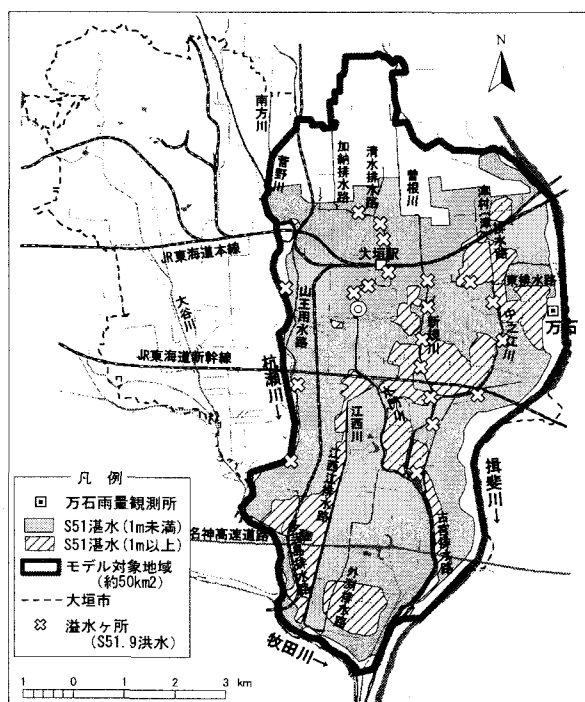


図-7 昭和51年9月洪水の浸水実績図

岐阜県、大垣市）から入手した図面より作成した。なお、現段階では河川から溢水、破堤による堤内地への外水流入は解析に含まれていない。

排水機場については、位置、排水能力、稼働水位、停止水位等をデータ化した。

河川、水路及び排水機場を図-5に示す。

c) 雨量データ

解析地域内の雨量観測所（7箇所）の雨量データより、GISを用いて1時間雨量の等雨量コンターを作成し、各格子に空間結合して雨量ハイトを設定した。降雨から浸透や窪地貯留による損失を差し引いて有効降雨とした。

4. モデルの検証

(1) 検討対象洪水 —昭和51年9月洪水の概況

昭和51年9月、台風17号及び前線の停滞によって

表-2 解析ケース一覧

	河川 (一次元不定流)	排水路 (等流水路モデル)	側溝等の小水路 (全格子に与える 等流水路モデル)
Case0	○	—	—
Case1	○	○	—
Case1-30	○	○	○ 断面30×30cm
Case1-50	○	○	○ 断面50×50cm
Case1-70	○	○	○ 断面70×70cm

○:あり —:なし

長良川、揖斐川流域に大雨が降り、長良川安八町での破堤を始めとする大きな被害が発生した。大垣市でも、市内各所で内水氾濫が発生した。杭瀬川等の中小河川からは溢水氾濫が発生し、浸水被害を大きくした。ただし、現段階では杭瀬川からの溢水氾濫は解析に含まれていないため、その影響を受ける浸水域の再現性は低くなっている。万石地点の降雨量時間変化を図-6に、浸水実績を図-7に示す。

今回の検証は、昭和51年9月の浸水を対象として行った。検証に用いたのは、最大の浸水域及び浸水深である。検証を行うため、災害当時の雨量記録、河道断面及び排水施設諸元と操作実績等のデータを収集した。

(2) 検証結果

a) 検討の着目点

ここで、以降の検証の視点について整理しておく。

外水氾濫を対象とした従来の二次元不定流モデルでは、土地利用に応じて設定される地表面粗度の抵抗に抗し、水位勾配で氾濫水の移動が生じる。今回解析した大垣市のような低平地で、しかも内水氾濫という低水深での氾濫水の流れでは、氾濫水の移動への排水システムの影響が大きいものと考えられる。堤内地に降った雨水及び氾濫水の排水は堤内地の中小河川及び水路（農業用水路や都市下水路等）、さらにはより小さな水路（側溝程度の規模）によって行われる。しかし、それらの効果のモデル化手法について確立された手法はない。

そこで、ここでは、昭和51年9月洪水を対象として、氾濫原の排水システムのモデル化方法について検討する。解析ケースの一覧を表-2に示す。排水システムとして一次元不定流で解析する河川のみをモデル化した場合（case0）、それに加えて河川の枝線となる水路を等流水路でモデル化した場合（case1）、さらに、小排水路・側溝を全格子に与える等流水路としてモデル化した場合（case1-30, case1-50, case1-70）である。Case1-30, case1-50, case1-70は、格子間に設定する水路の断面の大きさを30×30cmから70×70cmまで変化させている。

図-7の浸水実績では、局所的に1m以上の浸水が発生している。このような深い浸水域の境界は、河川や水路沿いに対応している場合が多く、河川や水路の堤防（一部は輪中堤）が氾濫水の拡散を制限していることが分かる。

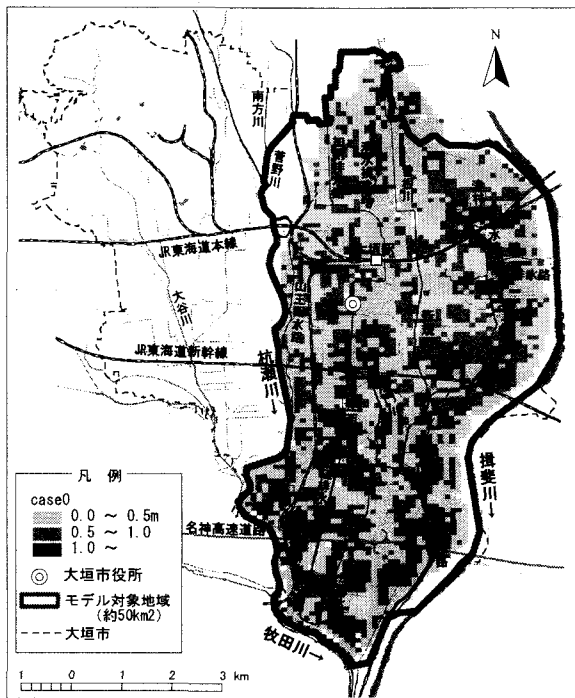


図-8 case0の最大浸水深分布

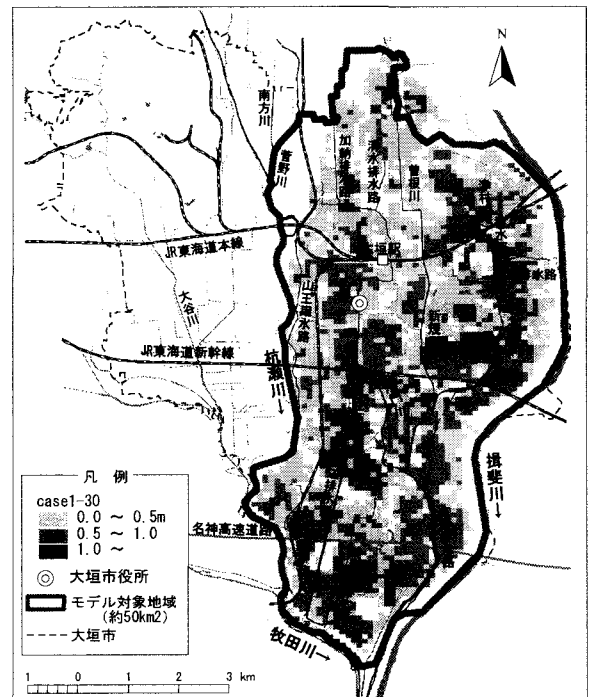


図-10 case1-30の最大浸水深分布

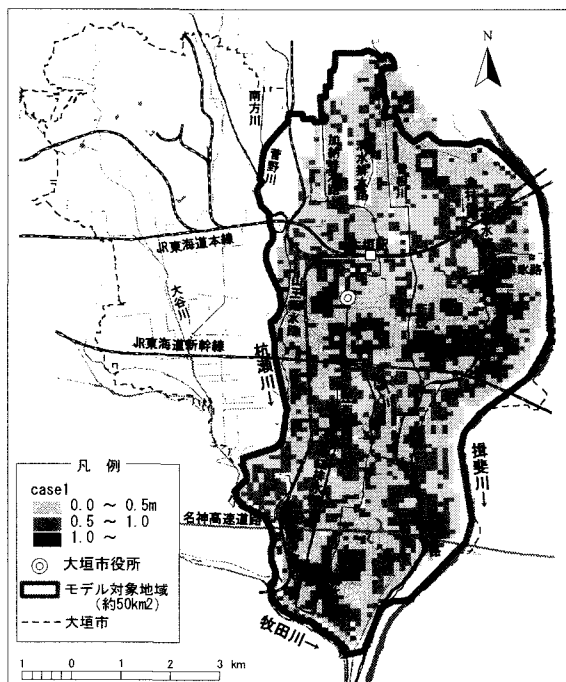


図-9 case1の最大浸水深分布

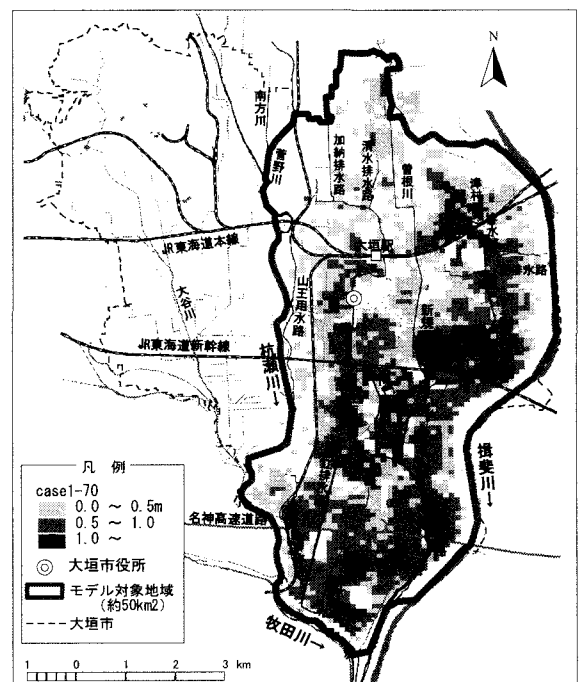


図-11 case1-70の最大浸水深分布

なお、浸水実績では揖斐川と牧田川の合流点の北側、外浜排水路の東側に1m以上浸水している地区があるが、今回の解析では深い浸水は生じなかった。その理由は、この地区は昭和51年以降に盛土して開発され、当時より地盤高が高くなっているからだと考えられる。また、江西江排水路の西部でも、実績では1m以上の深い浸水が生じているが、今回の解析では再現できていない。この原因は、この地区の北部で発生した杭瀬川からの溢水を考

慮していないことによると考えられる。これらの地区の浸水状況については今回の検証作業から除外している。

b) 水路のモデル化方法の違いの影響

河川のみ一次元不定流でモデル化した場合（case0）の解析で得られた最大浸水深分布を図-8に示す。図-7の浸水実績と比較すると、case0の解析では1m以上の浸水がほとんど発生していない。また、北部では浸水域全体が実績より広がっている。全体として、浸水域が薄く

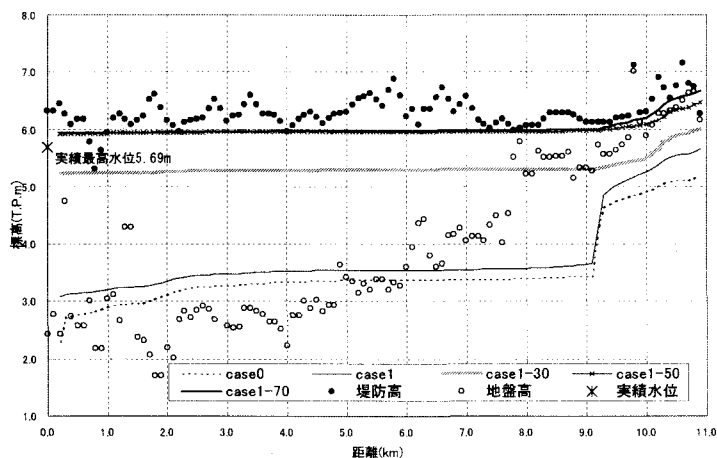


図-12 水門川ピーク水位の縦断面図

広くなる傾向がある。この原因として、河川以外の水路がモデル化されていないため、氾濫水の排水効果、即ちメッシュ間の氾濫水の移動が小さくなっていることが考えられる。

次に、case0に加えて河川の枝線となる水路を等流水路としてモデル化した場合（case1）の最大浸水深分布を図-9に示す。case0との浸水深分布の違いは小さく、排水システムによる氾濫水の移動が十分に表現されていないものと考えられる。

さらに、小排水路・側溝を断面30×30cmの等流水路としてモデル化した場合（case1-30）及び断面70×70cmの等流水路としてモデル化した場合（case1-70）の最大浸水深分布図を図-10、図-11に示す。小排水路・側溝を等流水路として見込むことで、1m以上深い浸水深が発生している地区や浸水発生域の分布が実績に近づいていることが分かる。新規川と中之江川の合流点付近では、case0及びcase1では1m以上の浸水の発生がみられないが、小水路・側溝をモデル化することで実績に近い浸水がみられるようになる。今回の解析ケースでは、等流水路の断面を大きくして断面50×50cm（case1-50）及び70×70cm（case1-70）とした場合の適合性が高くなっている。

c) 排水路システムのモデル化による効果

図-12は、市の中心部を流れる水門川のピーク水位の縦断面図である。排水路の効果を大きく見込むに従い、水門川の水位は高くなっている。即ち、格子内の氾濫水が河川や水路に導かれる効果が大きく評価されている。

大垣市のような低平地では、規模の大きな河川や水路のモデル化だけでは氾濫水の排除効果を的確に表現できないものと考えられる。河川や水路に繋がっている小水路や側溝の効果も見込むことで、河川や水路へと氾濫水が移動して排水効果があらわれることが、今回の検討から明らかにされた。

なお、今回の検討範囲では、小水路や側溝の排水能力と全格子に与えた等流水路の形状との関係は定量的に示されていない。等流水路の効果と降雨規模の関係、地表面粗度設定の影響等について、より深い検討が必要である。また、今回適用した排水システムのモデル化方法の

他地域への適用性は、今後の検討課題といえる。

5. おわりに

大垣市を対象として、内水氾濫を考慮した氾濫解析モデルを構築した。氾濫原標高にはレーザースキャナーで計測された精緻なデータを用いた。

昭和51年9月洪水を対象とした検証計算の結果、低平地の氾濫原では、小さな排水路や側溝等が氾濫水の伝播に大きく影響を与えているものと考えられる。また、それらを等流水路としてモデル化することで、ある程度精度良く排水効果を表現できることが示された。

昭和51年当時の浸水区域の調査結果のみからは、詳細な浸水過程を知ることが困難である。ハザードマップには、地域を良く知る住民の感覚に照らして妥当かどうかが重要である。現地でのヒアリング等を通じ、検証をさらに進める必要があろう。今回構築したシステムはGISをベースとしており、時系列の浸水分布を示せる等の長所を生かせば、住民への浸水情報の提供方法について検討を進めていくことが容易となる。

また、比較的簡易な解析方法を適用しており、リアルタイムに近い形で浸水解析、情報提供システムへの応用が可能である。大垣市ではGIS情報の共有実験が行われており、水文データの即時的な入手が可能な体制が整っている。今後は、それらを用いた「浸水情報の即時提供システム」の構築を目指した作業を進めていく。

謝辞：国土交通省木曽川上流工事事務所、岐阜県大垣建設事務所、大垣市役所にはデータ提供やヒアリングでお世話になりました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 飯田進史，館健一郎，武富一秀，川本一喜，金木誠，平川了治，谷岡康：水害時の避難解析システムの構築と危機管理対応支援への適用性検証，河川技術論文集，第8巻，2002。
- 2) 栗城稔，末次忠司，海野仁，田中義人，小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル(案) —シミュレーションの手引き及び新モデルの検証—，土木研究所資料，第3400号，1996。
- 3) 東京都都市型水害対策検討会：東京都の都市型水害対策～水害に強い安全な都市づくりをめざして～，平成13年11月
- 4) 相良良輔，川池健司，井上和也，戸田圭一，坂井広正：低平地河川流域における内水氾濫解析，土木学会第56回年次学術講演会，2001。
- 5) 奥谷正，青山憲明，金藤康昭，光橋尚司：GISを用いた国・地方自治体間の情報連携活用実験，土木技術資料，43-8，pp. 26-31，2001。
- 6) 政春尋志：航空機レーザースキャナー，全測連2001新年号，pp. 21-26，2001。

(2002. 4. 15 受付)