

◆ (災害) 危機管理特集 ◆

大垣市における内水を考慮した氾濫解析と避難行動解析

武富一秀* 館健一郎** 金木 誠***

1. はじめに

近年、都市部では突発的な集中豪雨の発生等による中小河川からの氾濫や内水氾濫が頻発しており、内水氾濫の発生は、住民の避難行動及び避難勧告・指示の発令等といった防災担当者の緊急対応に大きな影響を与えている。

このような問題に対処するには、内水氾濫も含めた精緻な浸水予測が有効である。事前あるいはリアルタイムでの詳細な浸水予測情報が提供されれば、防災計画の策定や緊急対応を支援できる。

国土技術政策総合研究所水害研究室では、これまでに、GISを用いて、岐阜県大垣市を対象とした洪水時避難行動解析システムを開発している¹⁾。本報では、①微地形を考慮し、内水氾濫も含めた詳細な氾濫解析モデルを開発し、さらに、②氾濫解析結果に基づき、道路上の浸水等の局所的な浸水状況も考慮した住民の避難行動解析を行えるようにした。ここでは、既往洪水を対象とした氾濫解析の検証結果、仮想的な条件下での避難行動解析結果を紹介し、システムの活用可能性について述べる。

2. 大垣市における内水を考慮した氾濫解析と避難行動解析の概要

2.1 検討対象地域

大垣市を対象に、内水を考慮した氾濫解析と避難行動解析モデルを構築した。図-1に検討対象範囲を示す。氾濫解析モデルは、揖斐川と杭瀬川に囲まれた大垣市東部約50km²を対象とし、避難行動解析は、氾濫解析対象地内の大垣市役所を中心とした約6km²を対象とした。

2.2 氾濫解析モデル及び避難行動解析の概要

今回の検討では、内水及び外水の双方を解析するための氾濫解析モデルを作成した。今回対象地とした大垣市は、氾濫水の湛水し易い低平地であり、また、内水氾濫という低水深での氾濫水の挙動には、堤内地の小河川、農業用水路、都市下水路などの排水路及び側溝等の小さな水路といった排水システムが大きく影響すると考えられる。そ

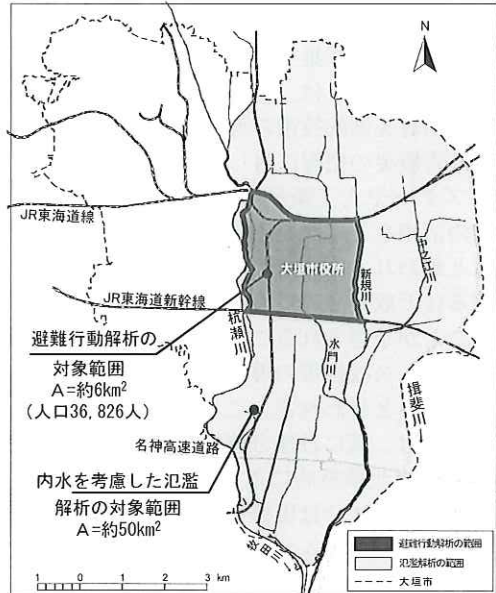


図-1 検討対象位置図

ここで、今回の検討では、排水システムを簡易的にモデル化する手法の検討を行うことで、精緻な浸水現象の表現が可能なモデル開発を行った。なお、大垣市では、GIS情報の共有実験が行われており、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ため、検討対象地域とした。

また、前述の排水システムを取り込んだ解析モデルによる精緻な氾濫解析結果を用いて、避難行動解析を行った。避難行動解析は、洪水の規模や昼夜の別といった様々な状況ごとに、住民が最適な避難所への避難行動を行った際の避難状況の相違を評価できるシステムとして構築している。具体的には、行政機関から発信された情報の伝達経路・媒体・過程と、情報を入手した住民の避難意思決定過程、道路を通った避難所への移動過程を追跡している。さらに、氾濫解析による浸水域予測と重ね合わせ、避難可能者数などを算出することで、避難勧告・指示のタイミングや避難経路、避難場所の妥当性と効果等を評価できる。

3. 氾濫解析モデルの構築

3.1 対象地域の特性を考慮したモデル構築

氾濫解析モデルは、地表面の氾濫流(内水及び

Development of Inundation and Evacuation Model Considering Landside Water in Gakken City

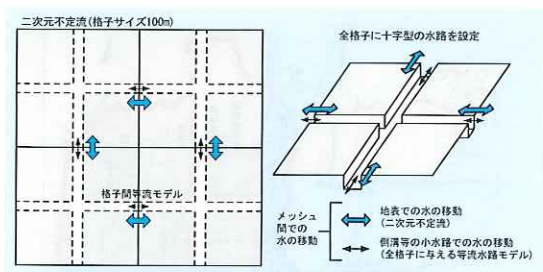


図-2 全格子に与える等流モデルの説明図

外水)の伝播を直交格子の二次元不定流モデル²⁾で解析している。格子サイズは一辺100mの直交格子とし、格子数は約5千個である。以下にモデルの詳細について説明する。

3.1.1 格子データの作成

地盤高データには、レーザースキャナー³⁾(航空機等を用いて、上空から、地面に向けてレーザー光を放射し、地面からの反射光を取得することで詳細な地盤高を計測する航空機測量の一種)で計測された標高データを用いた。この標高データは、計測間隔が約2.5mで、建物等の地物を除去した後、100m格子内で平均化してメッシュデータを作成した。

線盛土については、1/2,500都市計画図より高さ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。線盛土は解析格子間に配置した。

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評価に必要な建物面積率を求めるため、延べ床面積として(財)日本建設情報総合センターの延べ床面積100mメッシュデータを用いるとともに、粗度係数は、土地利用区分ごとに設定した。

3.1.2 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及び氾濫水の排水路となる河川、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。河川の支線となる水路(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。格子内の水の体積が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。そのモデル化の方法は、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-2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・側溝の等流モデル)。

河川、水路及び排水機場を図-3に示す。モデルの検証に用いた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た。排水機場についても、位置、稼働・停止水位等をデータ化した。

3.1.3 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、各格子と重ね合わせ、時間ごとの降雨量を設定した。また、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。

3.2 モデルの検証

3.2.1 検討対象洪水(昭和51年9月洪水)の概況

モデルの検証は、昭和51年9月の浸水(浸水実績を図-4に示す)を対象として行った。検証に用いたのは、浸水域、浸水深の最大値である。災害当時の雨量記録、河道断面及び排水施設諸元と排水機場の操作実績等のデータを収集し、モデルに与えた。

3.2.2 検証結果

(1) 検討方法

河川を一次元不定流モデルで解析を行い、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)及び、case1の条件に加えて、70×70cmの断面とした小排水路・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(case2)の2ケースによる結果を紹介する(表-1)。

図-4の浸水実績では揖斐川と牧田川の合流点の北側、外濶排水路の東側に1m以上浸水している地区があるが、今回の解析(case1:図-5とcase2:図-6の双方)では、1m以上の深い浸水は生じなかった。その理由として、この地区は昭和51年以降に盛土して開発され、当時と地盤高が変わった。

表-1 氾濫解析の検証ケース

	河川+排水路 (一次元不定流+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)
Case1	○	—
Case2	○	○ 断面70×70cm

○:あり、-:なし

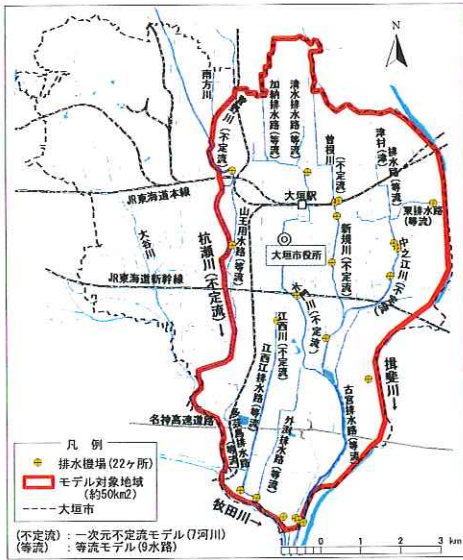


図-3 河川及び排水路

ているためと推定される。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。この原因として、この地区の北部で発生した杭瀬川からの溢水を考慮しなかったためであると考えられる。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。

(2) 水路のモデル化方法の違いの影響

case1の最大浸水深分布を図-5に示す。図-4の浸水実績と比較すると、case1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。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

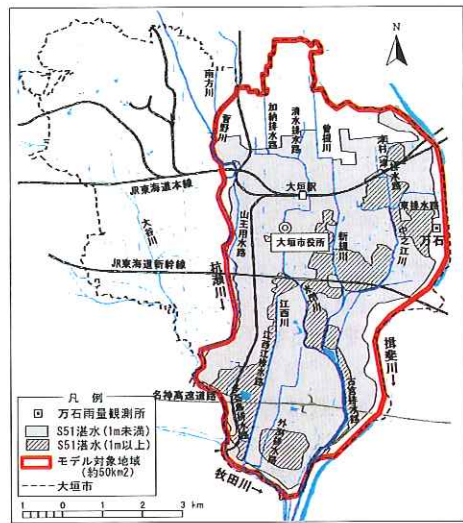


図-4 昭和51年9月洪水の浸水実績図

氾濫水の移動が小さいことが考えられる。

さらに、case2の最大浸水深分布図を図-6に示す。小排水路・側溝を等流水路として見込むことで、1m以上の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くなっ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、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。

大垣市のような低平地では、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、より詳細な解析が可能であることが、今回の検討から明らかにされた。

4. 避難解析モデルの構築

避難行動解析の解析手順を図-7に示すが、ここに示す解析方法は、著者らが開発してきた手法¹⁾を基本としている。ここでは、今回の検討で新たに追加・改良した点について述べる。

4.1 避難行動解析の改良点
4.1.1 既往システム¹⁾の課題

既往のシステムでは、内水氾濫を考慮しておらず、1kmメッシュによる粗い外水氾濫解析より得られた最大浸水深を用いて避難行動の評価を行っていた。また、

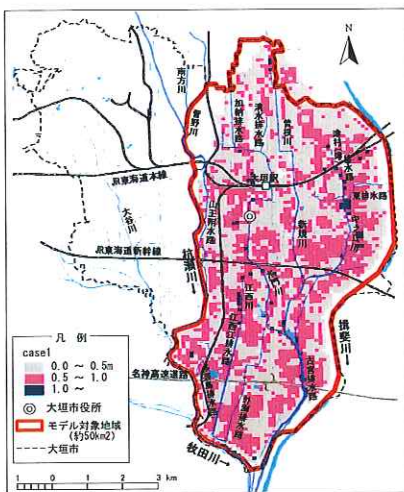


図-5 case1の最大浸水深分布

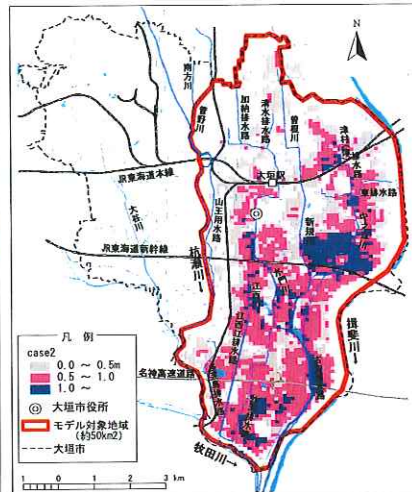


図-6 case2の最大浸水深分布

避難者の最小ユニットを町丁目単位としており各戸のマイクロレベルの避難状況を追跡できるモデルではなかった。以上の2点を水害時の危機管理対策に適用するうえでの課題と認識し、必要な改良を行っている。

(1) 内水を考慮した氾濫解析結果の取り込み

本システムでは、これまで行われていたようなメッシュの浸水深による歩行阻害を考慮した避難解析検討⁴⁾ではなく、避難経路となる道路冠水の浸水深で歩行阻害を評価する。そのため、道路ネットワークの時系列の浸水深の設定を行った。そこで、レーザースキャナーで計測された道路上の標高と道路ネットワークを重ねることで、道路に標高値を与え、これに氾濫解析結果の時系列の浸水深を重ねて、道路上の浸水深とした。道路に加える浸水深データは、解析時間の問題と検証フィールドが低平地で浸水変化が緩やかなことから30分ピッチの氾濫解析結果を与えることとし、その間の計算は内挿値を用いるものとした。

(2) 道路冠水による歩行速度割引率の導入

上項で設定した時系列の浸水深による歩行速度割引率として、伊勢湾台風時に成人男性が水深約70cm以下でやっと脱出できたという事例をもとに、浸水深70cm以上で歩行不可能とし $W = 1 - h_t/70$ (W :歩行速度割引率、 h_t :ある時間 t から $t + \Delta t$ における最大浸水深 (cm)) と設定した⁵⁾。今後、この種のデータが蓄積された場合を考え、浸水深と歩行速度割引率の関係は、パソコン上で任意に設定できるようにしている。

4.2 データセット

避難解析システムでは、表-2に示すデータセットを用いたが、本システム構築上特筆すべきデータセットについて説明する。

表-2 避難行動解析に用いたデータセット

項目	属性	基礎データ
避難ユニット	位置	大垣市都市計画 GIS データ (平成 10 年度)
	人口 (昼夜間)	平成 12 年度版大垣市統計
	年齢属性	平成 7 年国勢調査地域メッシュ統計
道路ネットワーク	位置	数値地図 2500 空間データ基盤
	標高	レーザースキャナー計測データ
	幅員	大垣市住宅地図
避難場所	位置	平成 12 年度水防計画書 (大垣輪中水防事務組合)
	階数、床面積	大垣市都市計画 GIS データ (平成 10 年度)

4.2.1 避難ユニット

避難行動を行う最小単位である避難ユニットは、個々の建物としており、大垣市都市計画 GIS データの建物ポリゴンに対して、平成 7 年国勢調査地域メッシュ統計の人口属性データ (属性を持った人) を、建物の面積に応じて割り振った。ここでは、このデータを使用して避難ユニット及び要避難者数を設定している。また、年齢属性を3種別 (A:老人がいる世帯、B:老人がいなくて子供がいる世帯、C:老人も子供もない世帯) に分類することで、年齢による初期歩行速度の違いを考慮できるようにし¹⁾、さらに、大垣市の統計と建物用途等により昼夜間での避難者の分布を考慮できるものとしている。

4.2.2 道路ネットワークデータ

本システムでは、道路ネットワークに標高値を与える必要があるため、道路ネットワークとレーザースキャナーの標高データを重ね合わせることで、道路に標高値を持たせ、道路上の精緻な浸水深を表現できるデータセットとしている。道路ネットワークを図-8に示す。

4.3 避難解析の方法と諸条件

4.3.1 避難勧告・指示情報の伝達解析

洪水時の避難情報伝達過程は、市役所からの情報が直接伝わるもの (一次伝達) と、その情報を入手した住民から口コミ及び電話によって伝わるもの (二次伝達) をモデル化している¹⁾。一次伝達では、避難勧告の情報は、すべて住民及び滞在者に伝わるものとしてい

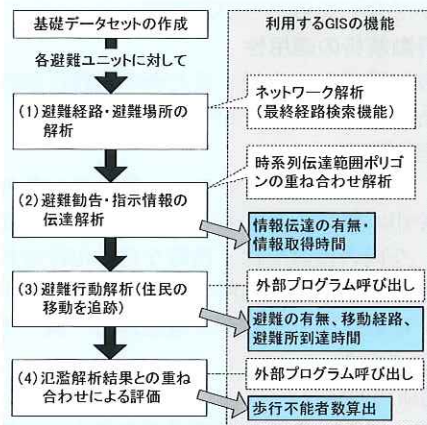


図-7 case1 の最大浸水深分布



図-8 case2 の最大浸水深分布

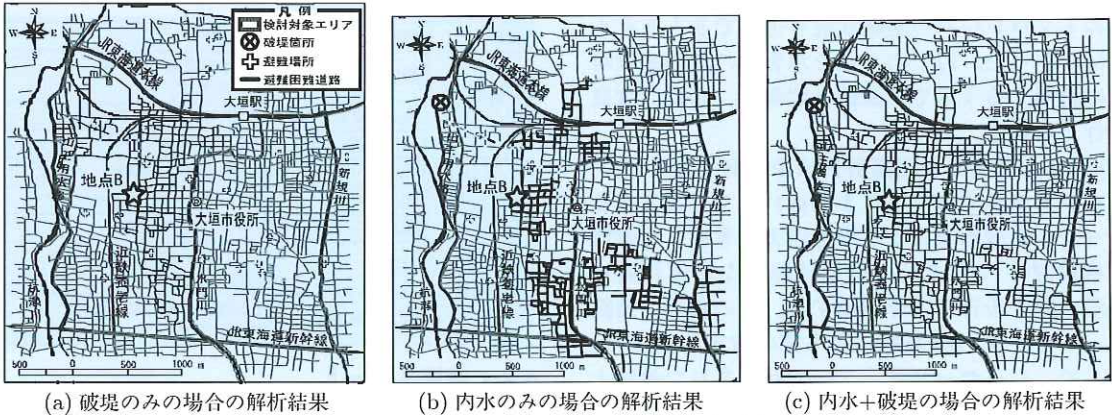


図-9 氾濫条件別の道路冠水による避難困難道路 (浸水深 70cm 以上)

る。二次伝達では、検討エリア内の避難ユニットを対象としているが、最も近い避難場所がエリア内とは限らないため、エリア周辺の避難場所も取り込んでいる。

4.3.2 避難意思決定

避難解析は、危機管理支援を目的としており、情報伝達後の住民の避難行動や避難時の危険性を検討するため、今回は、避難情報を取得した住民及び滞在者は全員避難することとした。

4.3.3 避難行動解析

与えられた出発準備時間、避難ユニットの年齢属性に基づく初期歩行速度、疲労度や群集速度、浸水深による歩行速度変化等を考慮した解析を行い、住民の移動過程を追跡している。

4.4 計算結果

降雨外力としては、総雨量が生起確率 1/100 の降雨と同等になるように、昭和 51 年 9 月洪水の実績降雨波形を引き伸ばしたものをを用いて、(a) 杭瀬川の破堤氾濫のみ、(b) 内水氾濫のみ、(c) 内水+破堤氾濫の解析を行っている。杭瀬川の氾濫解析は、破堤箇所の河川の水位の時間変化を求め、破堤時刻をピーク水位として解析を行った。また、破堤幅はマニュアル⁶⁾に従い 130m とした。

(a)~(c) の解析結果に道路上の浸水深を重ね合わせることで、避難困難道路 (道路上の湛水深が 70cm 以上の道路) の検討を行った。その検討をもとに、(a)~(c) の各ケースでの避難勧告の発令時間ごとの避難困難者数の変化を検討した。

図-9 に、(a)~(c) の各ケースに対応する避難困難道路の解析結果を示す。図-9(a) に示す外水(破堤氾濫)のみを想定した場合と図-9(c) の内水が加わった場合では、避難困難となる道路の分布が異なる。避難道路の選定にあたっては、内水・外

水氾濫の複合パターンを考慮して最適な経路を検討する必要があることがわかる。図-9(b) の結果により、内水のみの場合でも避難困難となる道路が発生することがわかる。

図-10 には、図-9 中に示す地点 B での各ケースの浸水深変化を示す。(a) 破堤氾濫のみを想定すると、図中 24 時間位からの浸水となるが、(c) 内水+破堤氾濫の解析結果によると、その 20 時間前から湛水深 40~50cm の内水の発生が見られ、避難が困難になる区間も発生すると考えられる。このことから、内水も含めた避難勧告・指示のタイミングと避難経路の設定、避難所の選択等が重要なことがわかる。

図-11 は、図-9 の結果をもとに、避難勧告の発令時間ごとの避難困難者数の変化を示したものである。図-11 では、避難勧告の発令時間が遅いほど、避難困難者(水深が 70cm 以上となり歩行が困難になった者)は多くなることがわかる。また、内水の影響を考慮した場合は、より早期の避難勧告の発令が必要となることがわかる。

4.5 避難行動解析の適用性

危機管理対策検討を支援するための避難行動解析の活用方法として、以下が考えられる。

(1) 避難経路検討

平成 12 年の東海豪雨水害では、避難者が蓋無しの側溝や用水路に転落するといった被災事例が見られた。今回の検討では、精緻な内水氾濫解析により、浸水による危険箇所を把握することが可能である。それにより、安全な避難経路の検討を行うことができる。

(2) 避難場所の設定

精緻な浸水予測により、避難場所の浸水危険性や避難住民の移動距離を考慮した避難場所の設定

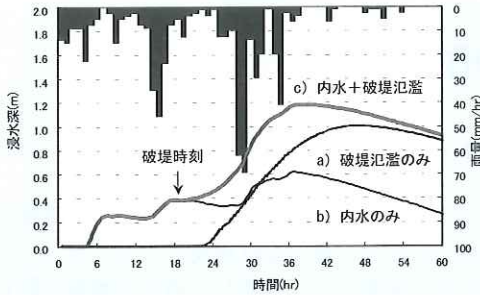


図-10 浸水深の時間変化 (図-8 中地点 B)

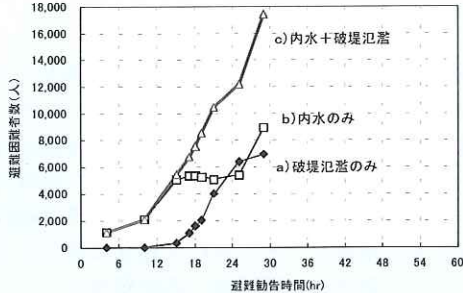


図-11 避難勧告時間と避難困難者

とその妥当性を検証できる。

(3) 避難情報等の発令支援

どの段階で、避難勧告を出せばよいか等の発令時期について、住民の避難行動解析を行うことで、判断することができる。

(4) 防災訓練・防災教育など

時事刻々と変化する氾濫現象、避難行動を表現でき、複数の水災シナリオを設定することで、防災教育、防災訓練などに応用可能である。

5. まとめ

本検討では、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作成した。さらに、その結果をもとに、道路上の浸水等の局所的な浸水状況も考慮した住民の避難行動解析を行った。

これらのことから、第一に、氾濫解析については、小さな排水路や側溝等を等流水路としてモデル化することで、精度良く排水効果を表現できることが示された。次に、避難行動解析では、浸水の経時変化に応じた精緻な氾濫解析結果を考慮することで、内水氾濫を考慮した危機管理対応の重要性が示された。

今後の課題としては、以下の要項を挙げる事ができる。まず、今回の氾濫解析による検討では、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については定量的に示していない。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、今後より深い検討が必要である。次に、避難解析については、今後、現地への適用を目指してより実態に近いパラメータ設定を行い、実現象による検証が必要である。

謝辞

国土交通省中部地方整備局木曾川上流工事事務所、岐阜県大垣建設事務所及び大垣市役所には、データ提供、ヒアリング等でお世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 館健一郎、武富一秀、吉谷純一、金木誠：GISを用いた洪水時の避難行動解析システムの開発，土木技術資料，43-8，pp.44-49，2001.8.
- 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)ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証ー，土木研究所資料，第3400号，1996.
- 3) 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.
- 4) 高橋保、中川一、東山甚：洪水氾濫水の動態を考慮した避難システムの評価に関する研究，京都大学防災研究所年報，第32号B-2，pp.757-780，1989.4.
- 5) 財団法人消防科学総合センター：地域防災データ総覧地域5)避難編，1987.3
- 6) 建設省河川局，治水経済調査マニュアル(案)，2000.5.

武富一秀*



国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室
研究員
Kazuhide TAKEDOMI

館健一郎**



同 危機管理技術研究センター
水害研究室研究官
Kenichiro TACHI

金木 誠***



同 危機管理技術研究センター
水害研究室長
Makoto KANEKI