

平成 21 年 5 月 18 日現在

研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2007～2008  
 課題番号： 19560517  
 研究課題名（和文） 都市域における内水氾濫危険性評価と  
 地下空間からの避難誘導に関する研究  
 研究課題名（英文） Inundation risk in highly urbanized area and the strategy of  
 evacuation from an underground space.  
 研究代表者  
 関根 正人（SEKINE, Masato）  
 早稲田大学・理工学術院・教授  
 研究者番号： 60187854

研究成果の概要：2005年9月、石神井川ならびに妙正寺川流域では集中豪雨により深刻な氾濫被害が発生しました。本研究では、こうした氾濫過程を数値的に解き明かす計算手法を考案するとともに、これを用いた解析を通じてこの被害がどのように発生したのかを解明しました。また、荒川と隅田川で挟まれた区域にこの手法を適用し、将来、荒川からの氾濫が生じるとすればどのような氾濫被害となるかを推定しました。次に、地下鉄渋谷駅ならびに溜池山王駅周辺が集中豪雨に見舞われた場合に、氾濫水がどのようにこの地下空間内に流れ込み、氾濫被害が広がっていくかを明らかにしました。また、この空間から地上へと利用者を効率よく安全に避難させるための誘導戦略についても提案することができました。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：都市水害，内水・外水氾濫，地下空間，浸水被害，避難誘導，数値解析

## 1. 研究開始当初の背景

最近、東京などの高度に都市化された区域では、地球温暖化に加えてヒートアイランド現象が進行したため、想定をはるかに超える豪雨に見舞われることが少なくない。一例をあげれば、2005年9月に東京23区の西部区域に当たる杉並区・中野区をはじめとした広い範囲で集中豪雨が発生している。現有の雨水排除システムが、このような想定を超える豪雨に対してまで効果的に機能すると期待

するのは難しい。そのため、神田川流域、とりわけその支川である妙正寺川流域において深刻な内水氾濫被害が発生することになった。また、石神井川流域では、内水氾濫被害に加えて河川の一部区間から越水が生じたため、この被害がより深刻なものとなった。ただし、これにより人命が失われることはなかったのは幸いなことと言える。このような豪雨に見舞われた場合に、首都「東京」のどの地域にどの程度の水害危険性があるのか

について考えた時、最も懸念されるのは次の二つであるといえよう。第一は、地下空間の浸水被害である。近年、博多の地下街の浸水被害が二度にわたって起こるなど、その危険性は認識されるところとなってきた。とりわけ東京の場合には、地下空間の高度利用が進み、たとえば地下鉄の駅では複数の地下鉄路線が立体交差するような構造を有し、鉛直方向への広がりを見せている。もし、このような空間が浸水することになると、その被害は深刻なものとなる可能性があり、ハードウェアの整備とあわせて避難誘導を適切に行うことが望まれる。第二は、大河川からの越水が生じて、これが人口密集地域に氾濫する場合の被害である。このようなことが生じる確率は極めて低いと考えられてきたが、近年の気候変動や台風の大型化などの要因を考え合わせると、これを架空のこととして検討を見送る時期ではない。このうちおそらく最も懸念されるのは荒川からの越水であり、この水が荒川と隅田川とで挟まれた低平地に流れ込むようなことがあると、これまでにない氾濫被害になる。これに関する試算結果が一部公表されているが、この計算には疑問な点が多く、改めて精緻な検討が望まれるところである。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の二点を目的とする。

(1)「背景」の欄に説明した氾濫現象を数値予測する計算手法を開発することを第一の目的とする。近年、このような計算手法に関する研究が進んできているが、いずれも東京のような大都市と言うよりはむしろ地方の中小都市を対象としたものがほとんどである。とりわけ地下空間の利用も含めて東京都心部ほど高度に都市化された地域を対象としたものはあまりなく、その開発が望まれる。そこで、本研究では、このような東京都心部で発生が予想される氾濫現象をリアルタイムで予測する計算手法の開発と確立とを目指している。次に、この計算手法を次の地域に適用することで、そこで実際に起こった氾濫被害の再現計算と、これから起こると予想される被害の予測計算とを行い、その背後に潜むメカニズムの解明を目指す。具体的には、(a)2005年9月の妙正寺川ならびに石神井川流域において発生した氾濫被害、(b)2008年8月の雑司ヶ谷下水道における水難事故、ならびに(c)将来発生が懸念される荒川からの越水に伴う低平地における氾濫被害予測、などである。

(2)地下鉄駅などの地下空間において発生が懸念される浸水被害を対象として、その浸水が拡大する過程を数値予測する手法を開発

することを目指す。さらに、これを地下鉄渋谷駅ならびに溜池山王駅に適用し、浸水が懸念されるこれらの地下空間の危険度評価を行うとともに、万一これが発生した場合の被害拡大過程を明らかにする。さらに、このような場合には、地下空間から利用者を安全かつ整然と避難させることにより人的被害を軽減することが期待されることから、予め「避難誘導戦略」を練っておくことが望ましい。本研究では、これを可能とする避難誘導シミュレーション手法を開発・確立することも目的としており、具体的な誘導方法の提案も行っている。

## 3. 研究の方法

本研究では、東京都内の実際の区域ならびに施設において生じる現象を対象にしているため、実際に生じた災害状況に関するデータを入手して解析を行うとともに、数値計算に必要なデータを集め、これに関するデータ・ベースを作成した。ここでは、地形図を用いて道路ネットワーク図を、下水道台帳から下水道ネットワーク図をそれぞれ作成し入力したほか、河川の地形情報、降雨データ、河川水位ならびに流量データから河川に関わるデータを、また、地下鉄駅の構造図から地下空間の情報を読み取りそれぞれ入力し、コンピュータ上に都市空間を再現した。

次に、水の流れを支配する方程式である「連続式」と「運動方程式」を離散化して数値的に解くことにより、与えられた境界条件の下での氾濫水の挙動を解析した。解析モデルの詳細については既発表論文にて説明されているためここでは簡単に触れるに止める。本研究では、地上に降り注いだ雨水は原則として道路上の標高の低い地点を目指して流れ下るものとし、道路ネットワークを考慮に入れた流れの一次元解析を行った。また、東京都心部では、道路側方の路面直下に一定間隔おきに雨水ますと呼ばれるタンクが用意されており、これを介して道路上の氾濫水を取り込み、下水管内に流入させる仕組みになっている。そこで、このような雨水ますを介した水のやりとりを直接的に考慮する手法を開発し、これを解析に組み込むことにした。また、下水管に送られた雨水は、そのネットワーク内を運ばれることになるため、道路上の流れの解析と同様の手法によりその流れを解いた。ただし、管路内に生じる「開水路流れ」・「管水路流れ」の両方を同一の方法で解くことのできる「Slotモデル」と呼ばれる解析方法を導入した。河川の流れに関しては一次元の不定流解析を行った。さらに、地下空間内に氾濫水が流入した場合の流れに関しては、平面二次元解析を行うものとした。本研究では、以上のような数値予測手法を「目的」の欄に記した地域に適用すること

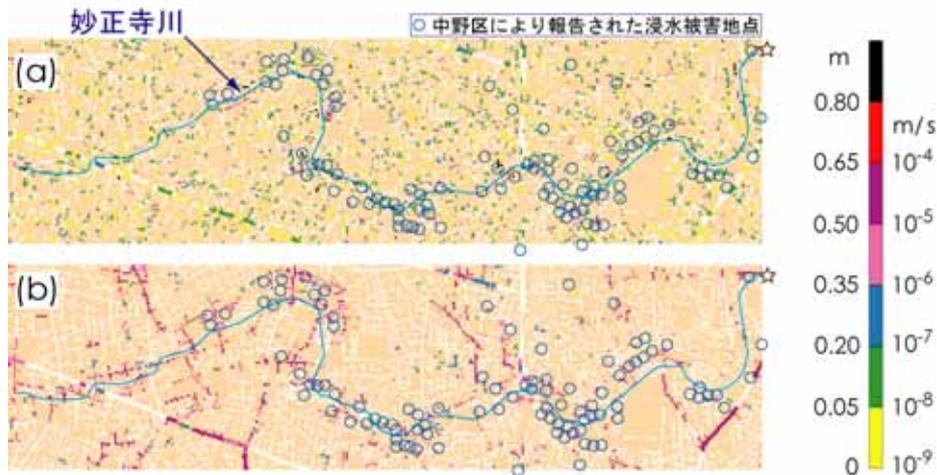


図-1 妙正寺川流域の内水氾濫状況の再現計算結果（降雨開始 4 時間後）：(a) 浸水深のコンター図，(b) 下水道から地上への逆流強度(地上単位面積当たりの逆流流量)．青色の印が中野区の調査による浸水被害地点，右上の印が支川である江古田川との合流点

で、それぞれの地域ならびに地下空間の氾濫過程を調べている。

さらに、利用者の地下鉄駅からの避難誘導シミュレーションを可能とするため、人間科学・人間工学・眼科医学的に知見を取り入れた解析モデルを構築した。また、これを用いた数値実験を繰り返し行うことにより、対象とする地下空間からの避難をいかに誘導すべきかについて検討した。

#### 4. 研究成果

本研究により得られた主な成果を以下に列挙する。

##### (1) 2005 年 9 月に発生した妙正寺川流域の内水氾濫被害の再現計算

本研究で開発された数値解析技術を適用し、妙正寺川流域で実際に発生した氾濫被害の再現計算を行った。その結果の一例が図-1 である。この図には、解析対象区域のうち、江古田川という支川と合流する地点よりも上流側の流域における結果のみ示してある。解析結果によれば、地上の氾濫状況は降雨開始 4 時間後に最も深刻な状態になることから、図-1(a)にはその時点での浸水深のコンター(等値線)図を示してある。図中の青色の印は中野区が行った調査により明らかになった浸水被害地点を表す。図を見ると、計算により 0.35m 以上の浸水となると予測された地点と、上記の被害地点とがよく一致していることがわかる。また、図-1(b)には下水道から地上への逆流が生じた地点における逆流強度(地上単位面積当たりの逆流流量)のコンター図を示してある。この図より、下水道からの相対的に大きな流量の逆流が生じると予測された地点で大きな被害となっていることが見て取れる。このことから、ここで対象

とした被害が、下水道からの逆流により深刻になった可能性が高いことがわかる。このような逆流は「実在する雨水排除システム」の負の効果といえることができる。

##### (2) 荒川からの越水に伴い予想される外水氾濫被害

荒川と隅田川で挟まれた低平地を対象として、この地域が荒川の越水を受けると想定して数値解析を行った。ここでは、越水流量を  $200\text{m}^3/\text{s}$  としてこれが 12 時間にわたって続くものとした。この想定の下で最も被害が大きくなるのは越水から 12 時間後であるため、図-2 にはこの時刻における解析結果をまとめてある。ここには浸水深のコンター図が示されている。この区域には、複数の幹線下水道が敷設されているほか、この下水道を運ばれてきた水を荒川ならびに隅田川へと排出するポンプ上や排水機場が用意されている。そのため、流入した氾濫水が比較的効率よく排除されるが、それでもその効果には限界がある。すなわち、図に着色された区域の南側に東西に延びる北十間川・旧中川に沿って存在する護岸壁によって、氾濫水の南下が妨げられるため、氾濫水が滞留して 2m を超える深刻な浸水被害となる地点が現れる恐れがあることがわかった。このような解析を行うことにより、越水が生じた場合にどの道路が氾濫水の移動経路となり、どのように被害が拡大していくかを予め知ることができ

##### (3) 地下鉄渋谷駅で想定される地下空間の浸水被害と避難誘導

地下空間が浸水を受けたときに、その水がどのように広がり、被害が拡大するかを予測

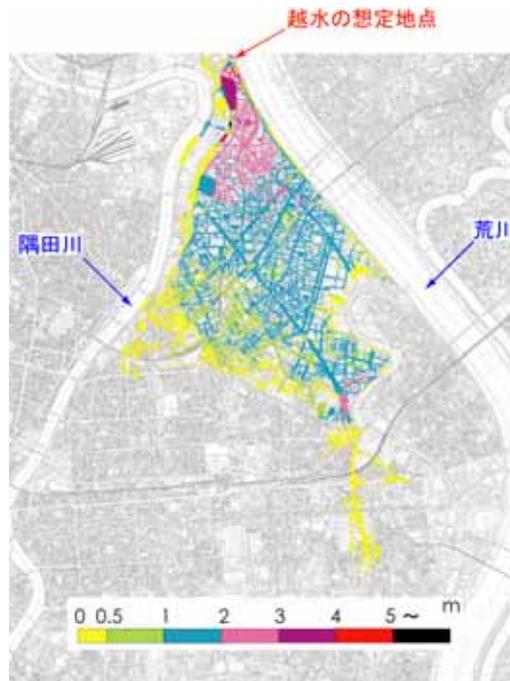


図-2 荒川からの越水を想定した外水氾濫被害の解析結果：想定地点から  $200\text{m}^3/\text{s}$  の流量の水が 12 時間にわたって越水するとした場合に予想される浸水深コンター図（浸水開始後 12 時間後）

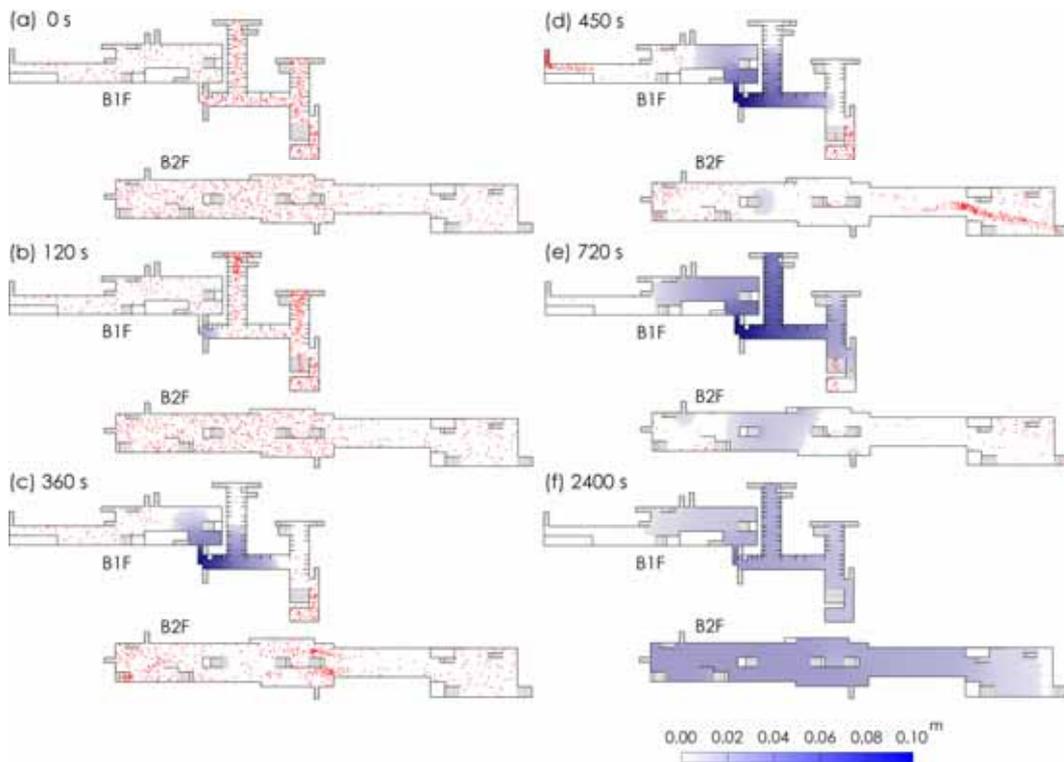


図-3 地下鉄渋谷駅構内で予想される浸水深コンター図の時間変化と利用者の避難状況：図中の赤い点のひとつひとつが利用者の位置を表す。図の左上の数字は地上からの浸水が開始してからの時刻を表す。初期状態としてこの空間には 1000 人の利用者が存在するとした。

する解析手法を開発した。また、このような状況下で利用者をどのように避難誘導する

べきかを検討するための解析モデルも構築した。これを地下鉄渋谷駅に適用した結果の

一例が図-3 に示されている。図中に青色の濃淡で描き分けられているのが浸水深のコンター図であり、赤の点がこの空間に居合わせた利用者の位置を表す。ここには、浸水開始から時間が経過するに伴って浸水被害がどのように拡大するかが示されているほか、本研究で提案した避難誘導戦略に基づき、かなり整然と効率よく避難が完了する様が見てとれる。浸水が拡大する過程が理解されれば、水の通りみちとなる階段を避けるとともに、階段上に人が密集する状態が現れないような避難経路を見出すことは可能であり、このためには本研究で開発したようなシミュレーションが有効であると言える。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

関根正人・風間大彰・青野雅士, 2005 年集中豪雨により発生した妙正寺川流域の氾濫被害に関わる数値解析, 土木学会水工学論文集, 第 53 巻, 811-816, 2009, 査読有。

Masato Sekine, Nobuhisa Kawakami and Kazuhiro Motoyama: Inundation process of underground space in highly urbanized area, *Advances in Hydroscience and Hydraulic Engineering*, Vol. VIII, 2200 - 2208, 2008, 査読有。

関根正人・本山量啓, 地下空間浸水時の避難誘導に関する数値解析, 土木学会水工学論文集, 第 52 巻, 847-852, 2008, 査読有。

関根正人・秋本健輔, 大河川からの越水を想定した東京東部低平地の外水氾濫解析, 土木学会水工学論文集, 第 52 巻, 859-864, 2008, 査読有。

関根正人・中村 淳, 中村康朋: 河川からの越水を伴う都市域の内水・外水氾濫過程に関する数値解析, 土木学会水工学論文集, 第 52 巻, 865-870, 2008, 査読有。

〔学会発表〕(計 2 件)

関根正人・青野雅士・風間大彰, 2008 年 8 月に発生した雑司ヶ谷下水道幹線の水難事故に関わる数値解析, 土木学会年次学術講演会, 2009 年 9 月。

関根正人・河上展久・本山量啓, 都市地下空間の浸水過程と避難誘導, 研究集会「都市水害の複雑さに挑む」, 京都大学防災研究所, 2008 年 10 月。

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

関根 正人 (SEKINE MASATO)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号: 60187854