

春日井市の内水氾濫に関する数値解析的検討

EC18010 大橋 直人

1. はじめに

近年、全国各地で台風による大雨やゲリラ豪雨による豪雨災害が増加しており、甚大な被害に見舞われている。特に、平成30年7月の豪雨および令和元年の台風19号による豪雨では日本各地で記録的な大雨となった。また、愛知県春日井市では平成23年9月に発生した台風15号による大雨の影響により床上浸水214戸、床下浸水183戸、高蔵寺駅の地下空間への浸水、アンダーパスの冠水、避難者数618人と甚大な被害を受けた。このように内水氾濫は身近なものとなっているため、内水氾濫の対策を行うことは近い将来非常に重要である。その検討のためには、内水氾濫を表現する数値解析モデルが重要なツールとなる。本研究では、春日市を対象とした内水氾濫の解析を行い、その特徴を明らかにすることと、解析モデルの活用について考察する。

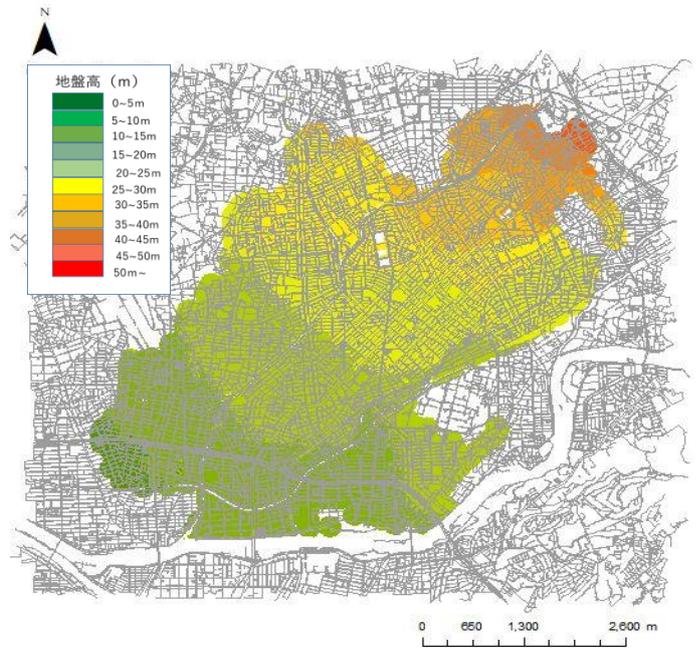


図1 計算領域 地盤高

2. 解析モデルおよび計算条件

本研究では、横倉氏¹⁾の内水氾濫解析モデルを活用する。今回は春日井市にあるマンホールの場所を調べてマンホールから半径150mのところまでの落込み流量の範囲の組み合わせで計算を行う。時間雨量20mmの雨が3時間降る条件、時間雨量50mmの雨が3時間降る条件、時間雨量100mmの雨が3時間降る条件を用いて計算した。その結果を用いて、地上の浸水の様子を考察する。また、時間雨量60mmの雨が2時間降るときの最大浸水深も調べる。

3. 計算結果とその活用

3.1 時間雨量の違いによる浸水の様子

図3、図4、図5にそれぞれの条件における浸水の様子を示す。



図2 マンホールの位置

図3の結果のように1時間で20mmの雨を3時間降らせた場合は地盤の低い地域が少し浸水した。浸水した場所を見てみたところ、住宅街であった。この場所は少ない雨の量にもかかわらず浸水してしまったので、排水機能が不十分である可能性がある。

しかし、今回は春日井市の南西部を計算領域とし、その境界部分は流ることが無いとしているので、境界地域では雨水が溜まっている可能性がある。したがって、本来であれば計算外の領域に雨水が流れると思われる。地蔵川や庄内川の近くの水域を対象に検討を進める。

次に時間雨量50mmの最大浸水深を示した図4の結果から、時間雨量が50mmに増えると浸水する地域が増えている様子が分かる。雨量50mmがどれくらいの雨かという一般的な非常に激しい雨と分類され傘が全く役に立たない状態のことを意味する。図4から、南の低い土地から順に浸水していくのが分かる。

最後に時間雨量100mmの最大浸水深を示した図5の結果から、雨量が100mmになると、50mmで浸水している箇所は0.5m以上浸水する地域もあり、そこが危険な地域であることが分かる。雨量100mmがどのくらいの雨かという息苦しくなるような圧迫感があり、人が恐怖を感じるくらいである。また視界が悪くなり水しぶきであたり一面が白くなり危険な状態である。

3.2 マンホール内の浸水と地上の浸水

つぎに、時間雨量60mmを2時間降らせたときの最大浸水深を調べる。

図6に時間雨量60mmが2時間継続した場合の地上の浸水の様子を示す。最大浸水深を示した図6の結果から、浸水がみられる地域を3つに区分した。予測可能地域は、満管率が高くなった後に浸水が発生している地域であり、またマンホール内の水位が地盤高を超えてから浸水が発生しているため、マンホール内の水位の情報から浸水を予測することが可能である。予測不可能地域Iでは、マンホールが満管になる前に地上の浸水が生じており、予測不可能地域IIでは、マンホール内の水位上昇が急であり、マンホール内が満管にな

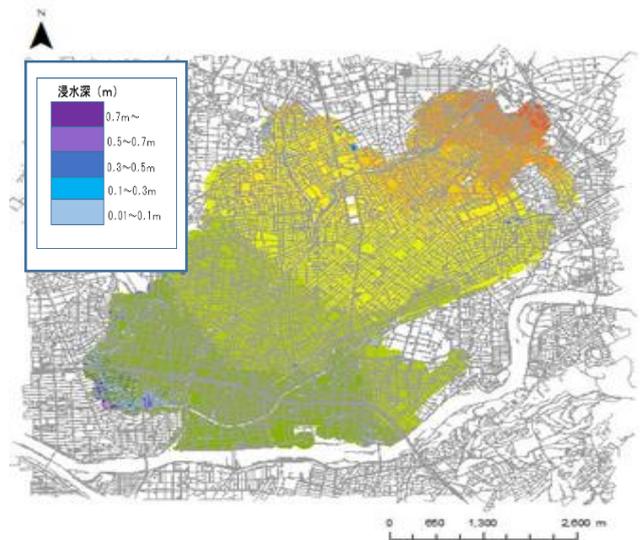


図3 最大浸水深 (20mm/hの場合)

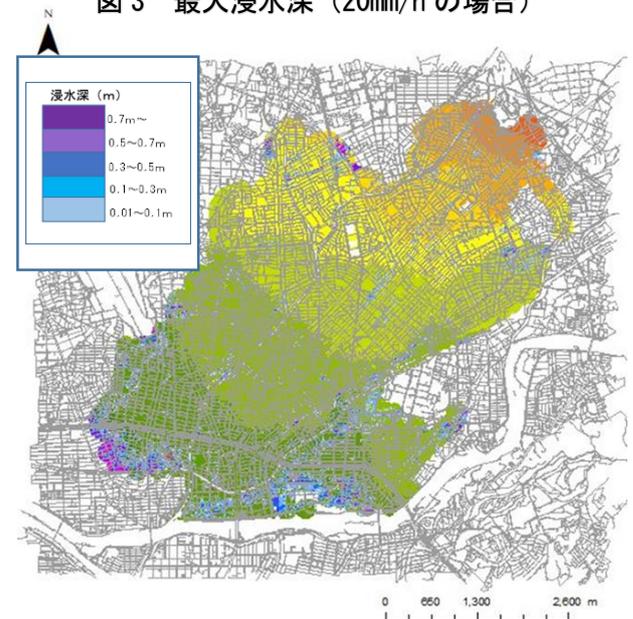


図4 最大浸水深 (50mm/hの場合)

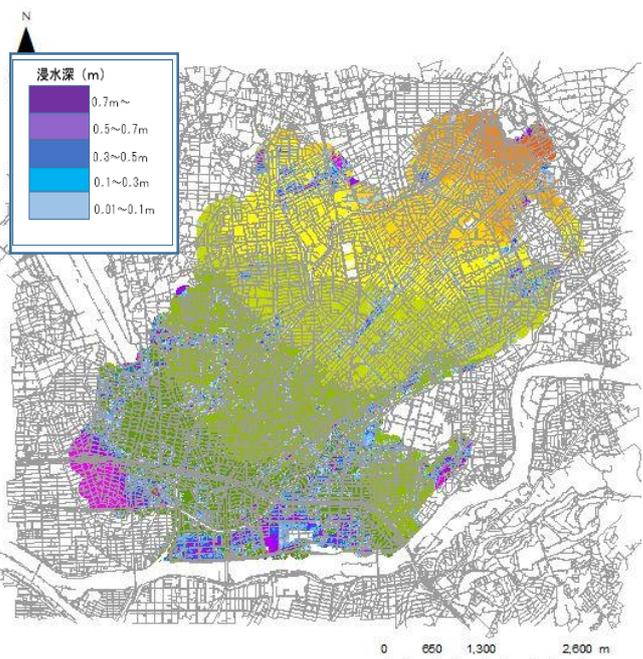


図5 最大浸水深 (100mm/hの場合)

ると同時に地上の浸水が生じているため、マンホールの水位情報から地上の浸水を予測することは難しい結果となった。

図7に浸水の様子を拡大して示す。また、図8にA地点とB地点のマンホール内水位と地盤の水位を示す。図8より地上の浸水が始まる前にマンホール内の水位が徐々に増加していることがわかる。マンホール内の水位変化をみると、A点では振動が発生している。水位振動の要因として、マンホールから地上への吹き出しや、地上からの流入、さらに、満管状況になりスロットモデルによる影響や、河川との接続箇所における影響などが考えられる。仮に下水道内（マンホール）に水位計を設置すれば、図8のような情報が得られる。ここで、マンホール内の8割の水位を基準と仮定すれば、道路規制（例えば水深30cm、車のマフラーに水が入り故障となる）までにはA地点で約2時間、B地点で約1時間のリードタイムが得られる。このことから、このようなシミュレーション結果の活用として、効果的な浸水対策のための水位計設置場所の把握が考えられる。

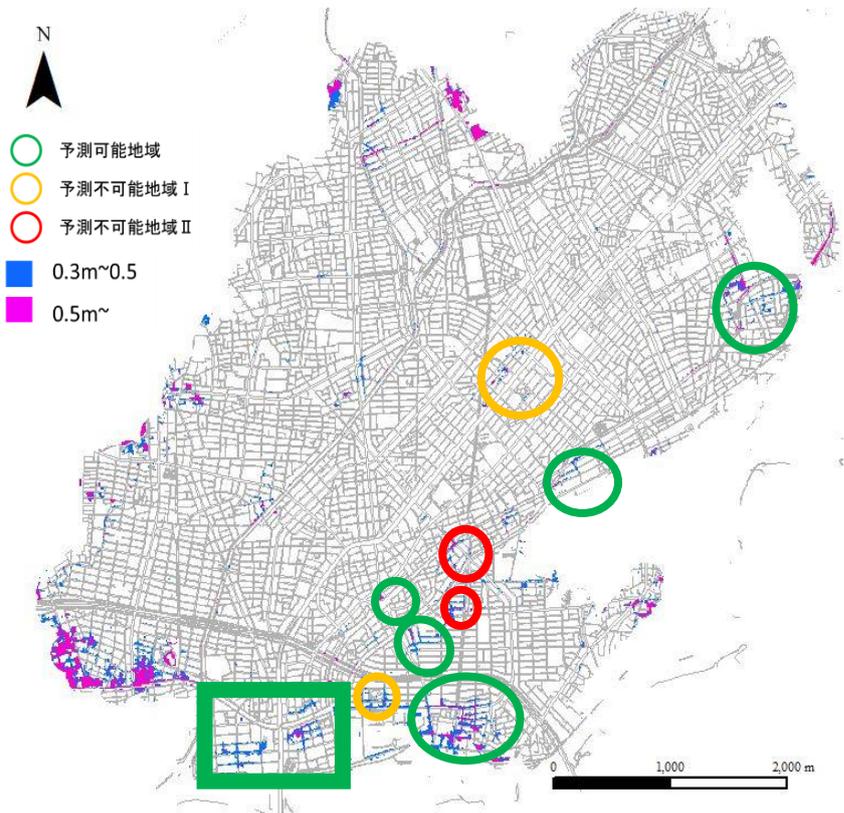


図6 最大浸水深の分布

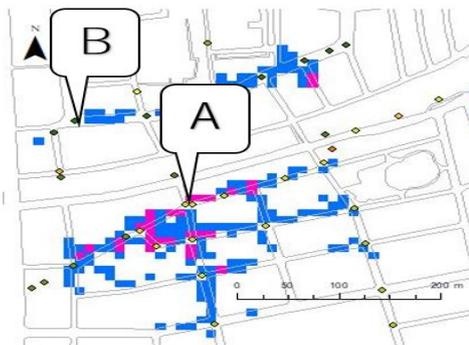


図7 最大浸水深の分布
(赤色 0.5m~、青色 0.3m~0.5m)

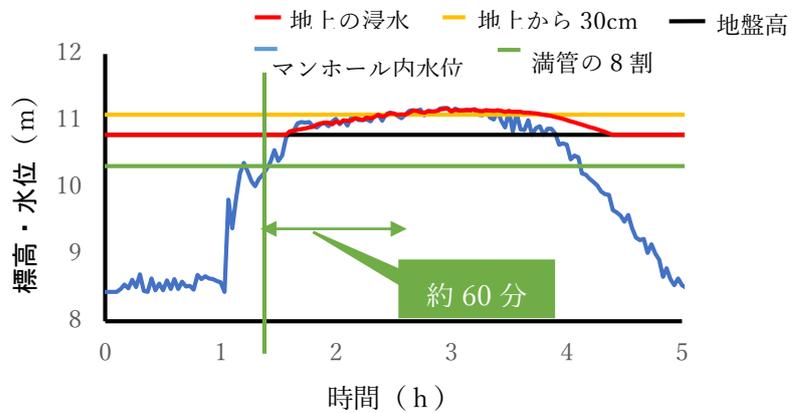
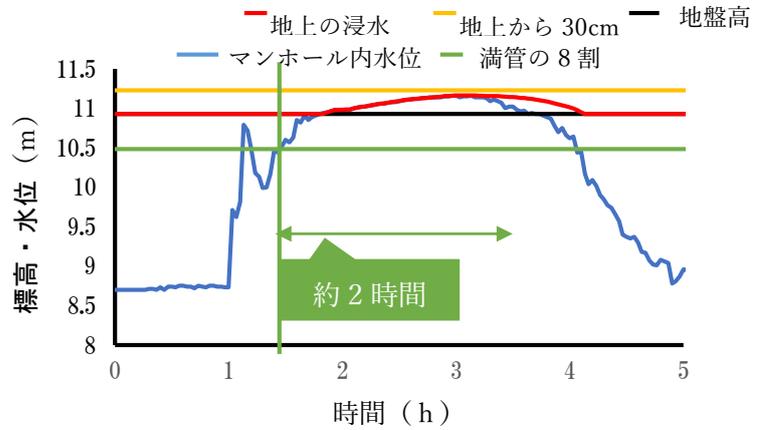


図8 マンホール内の水位と地上の浸水深

4. おわりに

本研究により、まず、どのくらいの強さの雨でどの地域が浸水してしまうかが理解できる。これによって浸水してしまう地域に住んでいる市民はどこが危険か分かり、どこに避難すれば助かる確率が上がるのかが分かる。また浸水対策として、どの地域の排水機能を向上させればいいかが理解できる。さらに、シミュレーションの活用として、効果的な浸水対策のための水位計設置場所の把握を行うことができる。

参考文献

- 1) 春日井市における内水氾濫解析モデルの改良とその活用の試み 横倉昌信・武田誠・村瀬将隆：土木学会論文集 B1(水工学) Vol.77,No.2,I_529-I_534 2021.
- 2) 村瀬将隆・武田誠・矢神卓也・高橋俊彦・大矢航平・山内琳太郎：下水道内水位計測と数値解析による春日井市の内水氾濫対策の検討、土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.75,No.2,I_1267-I_1272,2019.
- 3) 武田誠・高橋俊彦・長尾佳幸・平山康典・松尾直規：都市域の内水氾濫モデルの検討と浸水時対策への応用について、土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.68,No.4,I_1015-I_1020,2012.

春日井市の浸水被害を対象としたBCPに関する検討

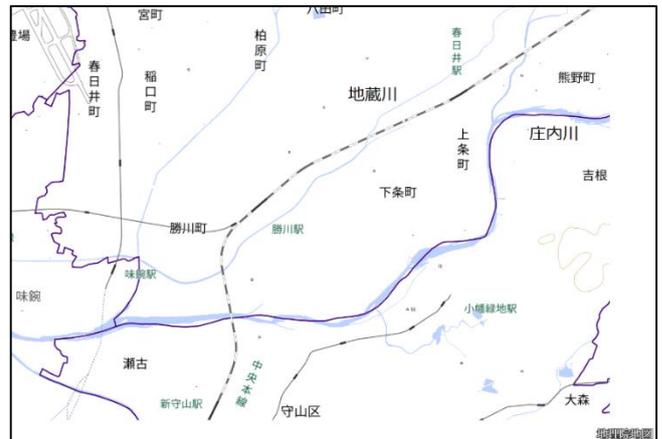
EC18025 北川 礼佳

1. はじめに

近年、2019年千曲川、2020年球磨川など大規模な浸水災害が多発しており、気候変動による洪水災害の激甚化を考慮すれば、超過洪水に関わる対策を十分に検討する必要がある。また、災害による被害をゼロにすることは困難なため、災害が生じた場合の事業への影響を許容レベル以下に抑えるべく、事業継続計画(BCP: Business Continuity Plan)の作成が推し進められている。これまでの経験により、災害の被害が大きい地域ではBCP作成が進んでいるが、中部地方に存在する愛知県春日井市では、災害による被害が比較的少なくBCP作成がそれほど進められていないのが現状である。そこで本研究では、春日井市勝川地区に存在する企業のBCP作成状況とBCP作成に関わる課題や重要方針を整理する。

2. 対象地区

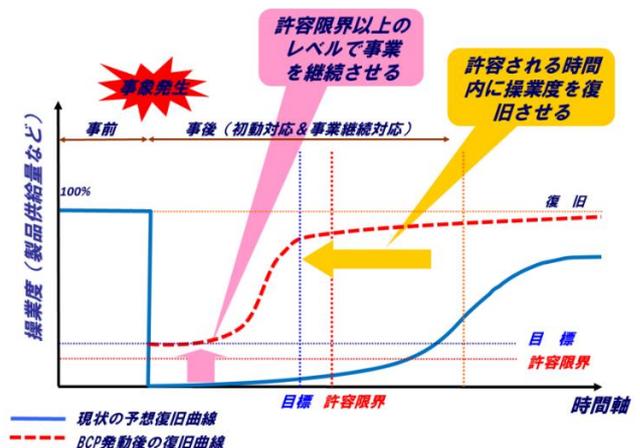
対象とする春日井市勝川・南部地区を図一1に示す。この地区は、鳥居松段丘、庄内川および地藏川、八田川、内津川に囲まれており、2000年の東海豪雨、2011年の台風19号に伴う豪雨時において浸水被害を受けている。一方、この地域には春日井市を代表する企業も多く集積している。仮に庄内川破堤や豪雨に伴う浸水被害が生じた場合、大きな経済被害が想定されることから、企業活動の復興に関わるBCPの充実が望まれる。令和3年10月に、春日井市、春日井商工会議所、中部大学、環境防災総合政策研究機構が主動し、経済産業省中部経済産業局、国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所、愛知県尾張建設事務所がオブザーバー参加となる「春日井勝川・南部地区タイムライン水防研究会」が設立された。当地区には母体となる立地企業等のグループが無いいため、主要企業へ水防災タイムラインの必要性を説明して参画を呼び掛けるとともにBCP策定状況などを調査した。本研究では、これまでの活動を通じて得られた成果を示すとともに、企業BCPとしての重要項目について、議論した成果や他研究からの情報等を整理する。



図一1 春日井市勝川・南部地区¹⁾

3. BCPとは

BCP(Business Continuity Plan)とは、事業継続計画のことで、災害が発生した場合にいかに事業への影響を最小限にするかを事前に計画したものである。経済産業省事業継続計画ガイドライン²⁾によるとBCPは、事故や災害が発生した際に、「如何に事業を継続させるか」若しくは「如何に事業を目標として設定した時間



図一2 BCP概念図³⁾

内に再開させるか」について様々な観点から対策を講じることであり、そのための計画自体を指すとされている。災害が発生しても事業を中断させることなく、復旧を迅速に行い事業継続させていくために必要なものである。

4. BCP の必要性

日本では、地震や火災、本研究対象である水害、近年では新型コロナウイルス感染症(COVID-19)などの感染症による影響があり、事業の停止や事業継続が困難になるケースがみられる。この場合、財物への直接の被害や、事業が停止している間の利益を失うばかりでなく、取引先や顧客を失う大きな原因となり、事業継続からの撤退を余儀なくされることになりかねない。そのため、企業は、個々の事業形態・特性などを考えたうえで、企業存続に必要不可欠な「事業存続」を死守するための行動計画である「事業継続計画(BCP: Business Continuity Plan)」を作成することが必要となる。

5. 研究方法

BCP に関して、文献調査による情報の収集・整理を行うとともに当地区の企業へヒアリング調査を実施した。文献調査は主に、BCP の基本情報と作成方法、他地域での作成事例、重要項目等の情報収集を行った。ヒアリング調査では、春日井市の中小企業に対して支援を行っている春日井商工会議所³⁾にお願いし、BCP 作成における重要項目や今後の方針等を調査した。これらの成果を基に、BCP 作成にかかわる課題や重要方針について検討を行い、それらの整理を行った。また、本研究は「春日井勝川・南部地区タイムライン水防災研究会」に情報共有を行うことで、各企業との BCP 作成の連携を取り、地域の防災力向上を図る。

6. 調査結果の概要

文献調査とヒアリング調査結果を以下に記す。

[1] 文献調査

災害ごとの BCP の違いとして、国土交通省が内閣府「企業の事業継続の取組に関する実態調査」(平成 24 年 3 月)⁴⁾を基に作成した、浸水被害防止に向けた取組事例集⁵⁾によると、地震を想定した BCP と比較して、水害を想定した BCP の策定は進んでいないのが現状であるようだ。図-3 はそれを図式化したものである。大企業が個々の業務やシステムへの影響が大きいと考える災害リスクは、1 位は地震(61.0%)で、6 位は水害(27.7%)であり、地震と比較して水害への関心は低くなっている。

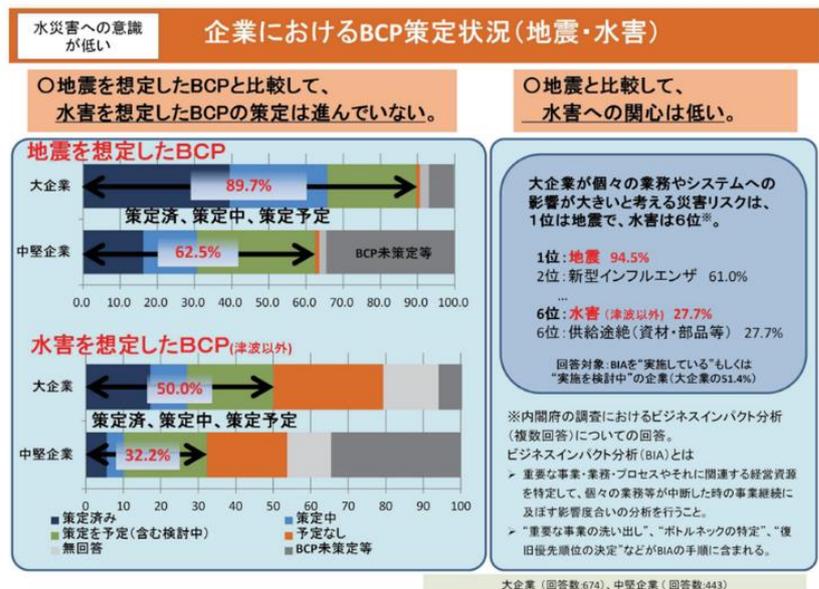


図-3 企業における BCP 策定状況(地震・水害)

当地区の商店街での作成事例として、あいち BCP モデル BCP 取り組み事例集⁵⁾に本研究に該当する地区の駅前商店街での BCP 作成事例が記載されている。勝川駅前通商店街では、商店街と各店舗の BCP 作成の際に集団研修を行い、「商店街 BCP 掲示板」を作成した。「商店街 BCP 掲示板」は、BCP に関する情報が掲載されているもので、商店街の目立ちやすい場所に設置することで、いつでも防災や BCP に関する情報を見

ることが可能なものである。ハザードマップなどの災害想定を掲示しておくことで、防災情報を周知させるとともに、防災意識を高めることも可能であるため、商店街だけでなく企業や街の防災にも活かせるのではないかと考える。この集団研修の狙いは、各店舗の取り組みが、結果として商店街全体の防災力の底上げになることである。やり方としては、商店街全体でまとめてできる部分と、各店舗それぞれがやらなければならない部分とを分けて考え、効率的に各店舗のBCPを作成するという方法である。各店舗はBCPの中心となる「重要業務」と「復旧目標」を決定し、商店街全体では被災後まず初めに対応が必要となる「救援活動」や「二次災害の防止」などを決定する。個々の店舗がそれぞれで防災に取り組むのではなく、商店街が一体となり個々の店舗でも取り組むことで、商店街全体の防災力を結果的に底上げすることが望める。



写真—1 ヒアリング調査の様子

[2] ヒアリング調査

関東や関西、九州地方は近年大きな災害もあったことから、災害に対する意識が強くBCPが浸透し始めているが、本研究対象である春日井市勝川地区が存在する中部地方は、比較的大きな災害に見舞われたことがなく、他の地域に比べるとBCPに対してあまり意識は高くないようである。

表—1 は春日井商工会議所の事業者向けBCP策定支援実績を示している。BCP策定済の企業は少ないため、今後も継続的な策定支援が必要と考えられる。

春日井市は、BCPに関して「防災関連事業助成金」として助成金の制度を取り扱っている。助成金は、事業継

表—1 春日井商工会議所のBCP策定支援

日付		内容
平成23年度	8月22日	第1回BCP作成研修① (基本的知識)
	9月29日	第2回BCP作成研修② (課題対応等)
	11月25日	第3回BCP作成研修③ (課題対応等)
平成24年度	6月14日	BCP事例発表会 災害時お役立カードを配布
平成25年度		BCPチェックシートを配布
令和2年度	10月21日	BCPセミナー
令和3年度	7月28日	BCPワークショップ
		BCP計画査定事後フォロー

表—2 防災関連事業助成金の詳細

助成要件	助成額	限度額
①事業継続計画(BCP)又は事業継続強化計画の策定又は改訂を行う場合 (1事業者につき1回までの助成) 事業を完了した日から90日以内に交付申請すること	対象経費の50%以内	100万円/年
②防災関連設備等の整備を行う場合 1 事業継続計画(BCP)又は事業継続強化計画に基づいて、非常時において使用するもの(設置が義務付けられているものを除く。)であること 2 投資額(リース契約の場合は、リース期間における支払予定額の総額)が100万円以上のものであること 着手30日前までに交付申請を行うこと 事業完了後、令和4年3月31日までに実績報告すること	対象経費(リース料においては、令和3年4月1日から令和4年3月31日までに支払う総額)の50%以内	300万円/年
③事業の用に供する建物(不動産賃貸業における賃貸物件を除く。)に行う耐震診断を実施する場合(当該建物につき、初回のもの) 着手30日前までに認定申請を行うこと 事業を完了した日から90日以内に交付申請をすること	対象経費の20%以内	300万円/年

続計画(BCP)又は経済産業大臣が認定する事業継続強化計画に基づく防災や緊急時の対応に関連する機器・設備類の整備や、耐震診断の実施など、企業が継続するための取組に対して支援を行うものである。表—2は、春日井市 令和3年度版 企業支援ガイド⁶⁾に掲載されている「防災関連事業助成金」についてである。助成金の制度はあるが、実際に活用された例があるのは大手企業のみであることがヒアリング調査から明らかになった。助成金の認識を広めることで、BCP作成に前向きな検討が行えると考える。現状では、BCP作成を推し進めながら、最低限行える行動を確立し、その情報を拡散していく必要があると考えられる。

大原ら⁷⁾は平成30年7月豪雨災害を対象に、被害事業所の直接被害・間接被害の実態分析のためにアンケート調査を行っている。その結果から、営業の継続や再開の妨げになった要因として、「物流の途絶」の他に、「断水」、「道路の復旧が進まなかった」、「従業員が出勤できなかった」など間接的被害による復旧、事業再開の遅れの想定も重要となる。この情報の支援には国や県などの公的機関からの情報発信も重要と考える。さらに、営業の継続や再開に役立った要因として、「公的な補助金」「保険金」「取引先・関連先からの物的支援」の他に、同業者からの物的支援も挙がっていた。この点は、地域でBCPを議論することのメリットともいえる。

8. おわりに

本研究では、春日井市勝川地区の企業BCPについて、文献調査とヒアリング調査の結果から得られたことを基に、今後のBCP作成方針について検討を行った。現在の状況ではBCPがあまり浸透していないため、BCPを周知させる必要がある。また、本研究の対象地区である春日井市勝川地区は、現在まで比較的大きな災害に見舞われておらず、災害対策の意識が薄いと考えられる。今後、災害による被害にあう可能性は十分に考えられるため、事業を継続させるためにもBCPの必要性を伝えていくべきである。災害が発生してからではなく、事前の対策として計画を立てておくことで、よりその効果を発揮することが可能と考えられる。さらに、個々の企業が事業継続を目指してだけでなく、他企業や地域と連携したBCPを推し進め、地域全体でも支えあっていくことで、さらなる効果が望めると考える。BCP作成を推し進め、企業間の連携を強めることで、地域全体の防災力向上を行っていくことが必要である。

参考文献

- 1)国土地理院 地理院地図 Vector : <https://maps.gsi.go.jp/vector/> (最終アクセス 2021-12-16)
- 2)経済産業省：事業継続計画策定ガイドライン(企業における情報セキュリティガバナンスの在り方に関する研究会 報告書),
https://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/docs/secgov/2005_JigyoKeizokuKeikakuSakuteiGuideline.pdf
(最終アクセス 2022-01-27)
- 3)春日井商工会議所 HP : <https://www.kcci.or.jp/> (最終アクセス 2021-12-14)
- 4)内閣府：企業の事業継続の取組に関する実態調査，平成24年3月，
https://www.bousai.go.jp/kyoiku/kigyuu/topics/pdf/kentoukai12_10.pdf (最終アクセス 2022-01-26)
- 5) 愛知県：あいちBCPモデル BCP取組み事例集, pp.3-5, 平成20年3月，
<https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/352507.pdf> (最終アクセス 2022-01-27)
- 6)春日井市：企業支援ガイド, p.5, 令和3年度版
- 7)大原美保, 南雲直子, 藤兼雅和：平成30年7月豪雨災害による被災事業所の直接被害・間接被害の実態分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.77, No.2, I_1387-1392, 2021.

水理実験による流れの可視化

EC18031 後藤 和輝

1. はじめに

河川における深掘れや護岸の剥離、側岸侵食など、流れによる災害は多く見られる。そのような課題の対策を検討するためには、流れの様子を把握する必要がある。この種の課題解決に対しては、現地観測、数値解析、水理実験といった方法が適用される。近年では、高性能なコンピュータが身近なものとなり、デジタル計測技術が注目され、これらを用いた流れ場における計測技術が実用化されている。デジタル画像処理の最も代表的な例が粒子画像流速測定法(Particle Image Velocimetry: PIV)である。この測定法は、可視化された2次元画像に記録されている画像情報を解析することで流速を計測するものであり、高解像度の流速分布情報や、時間方向にも多くの情報を得ることができる。

中部大学では、開水路流れの水理実験装置があるが、これまで活用できる状況ではなかった。2020年度から、水を流すための電力の確保、下流ゲートの作成、計測装置(PIVシステム)の整備を行い、水理実験ができるまでに準備を進めてきた。本研究では、開水路に、河床、植生を変化させた場を作成し、様々な流れ場を計測することで、その様子を明らかにし、考察すると共に、水理実験の活用について、その概要を整理し、今後の活用のための基礎をつくりたいと考える。



写真-1 水理実験装置



写真-2 PIV装置

2. 研究方法

2.1 実験水路

実験水路は全長 13m、幅 0.3m、矩形断面の開水路であり、河床勾配は 1.7/1000 である。

2.2 PIVの測定原理

PIVは、流れ場における多点の瞬間速度を非接触で得ることができる流体計測法である。PIVを用いた水理実験では、流体に

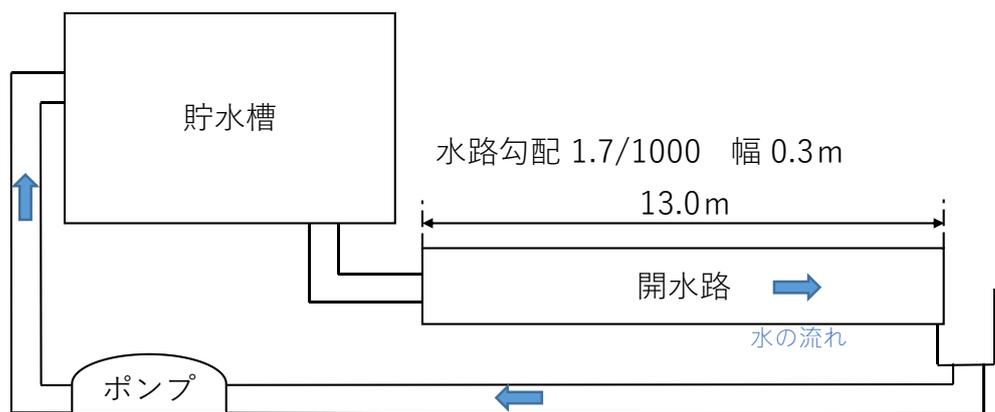


図-1 水理実験装置の簡略図

トレーサー粒子を混入させ、レーザシートを照射し、これをカメラで撮影しフレーム間の微小時間における粒子の変異ベクトルを画像処理により求め、流体の速度ベクトルを算出する。PIV解析の動画撮影にはUSB高速度カメラK5(カトウ光研製)を使用し、撮影時の設定は300fps、解像度640×480pixelで行う。横からの撮影をcase1、上からの撮影をcase2とした。レーザシートにはPIV Laser(カトウ光研

製)、PIV 解析には Flow Expert2D2C (カトウ光研製) を使用する。解析で得られた生データについて、誤ベクトルと判断できるものは除去し、近傍ベクトルの平均を用いてデータを補間したベクトルを使用する。本研究のトレーサー粒子としては粒径 $90\ \mu\text{m}$ 、比重 1.01 のダイヤイオン HP20SS (三菱ケミカル製) を使用し、撮影時に水と混合した状態で水路上流付近から投入する。撮影場所は、水路下流ゲートから 2~3m 上流側の場所とした。トレーサー粒子の光を撮影できるように、水路壁面片側を黒くした。

2.3 河床

河床として使用する材料は、図-2 (a) の長さ 300 mm、幅 290 mm、厚さ 6 mm と 9 mm の鉄板である。植生として使用するものは、図-2 (b) の長さ 300 mm、幅 300 mm、厚さ 15 mm のジョイント人工芝 (ダイソー製) である。石がある河床として使用したものは、図-2 (c) のツボ押しが大きくなる (La-VIE 製) を厚さ 6 mm の鉄板に、ネジで止めたものである。石の粒径はおおよそ 1.5 cm と 4 cm である。

2.4 レーザー照射位置

レーザーの照射位置は、case1 では流れ場の幅 30 cm のうち、流れ方向の左壁面から 5 cm (左 2)、10 cm (左 1)、15 cm (真中) とする。case2 では、水深 8 cm のうち、水面から 2 cm (上)、4 cm (中)、6 cm (下) とする。

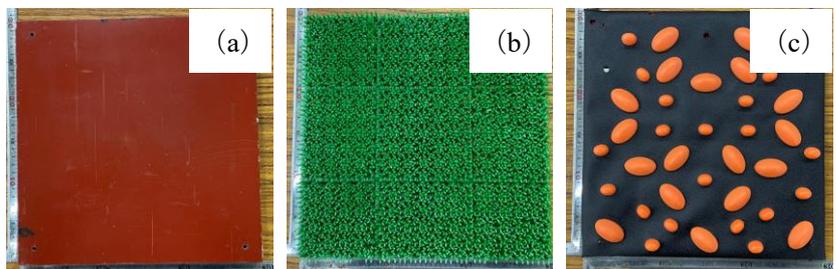


図-2 河床 : (a) 河床 A、(b) 河床 B、(c) 河床 C

2.5 課題の設定

本研究では、開水路流れの実験装置を用い、PIV を活用した実験システムを構築する。PIV 解析によって得られた流速の妥当性を確認する。さらに河床、植生を変化させた場を作成し、様々な流れ場を計測する。

3. 実験結果と考察

3.1 PIV の妥当性の判断

本研究を行っていく中で、PIV によって得られたデータの妥当性を明らかにすることは極めて重要な問題である。妥当性の判断には、単位時間あたりに面を通過する質量を計測し、流速を算出する質量流量と比較を行う。

質量流量によって得られた流速は $18.78\ \text{cm/s}$ であった。PIV によって得られた流速は、case1 では $19.03\ \text{cm/s}$ 、case2 では $18.61\ \text{cm/s}$ となった。質量流量と PIV の流速を比較すると、case1 では $0.25\ \text{cm/s}$ の差、case2 では $0.17\ \text{cm/s}$ の差であり、それぞれ質量流量の約 2% 以内であるので、この差は許容誤差であると考えられる。したがって、PIV によって得られた流速の妥当性が示された。しかし、PIV の流速

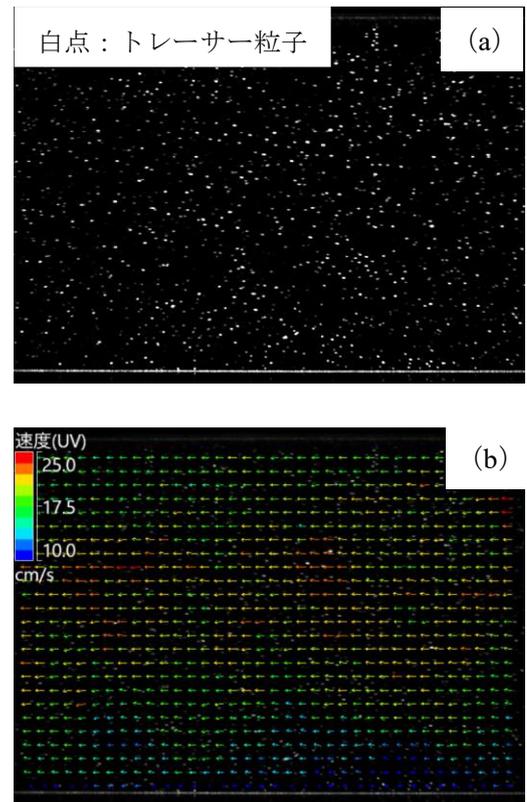


図-2 PIV 解析による流速ベクトル(case1 河床 A 左 2) : (a) 解析前 (b) 解析後

はレーザーの照射位置が等間隔でなかった場合や、校正画像の設定によって平均流速は、質量流量の流速と大きな差が生じる。そのため流速の比較を行う際には、カメラやレーザーのセッティングが極めて重要である。

3.2 河床・壁面による流れの変化

従来から開水路の流れについて「流れの構造は水深で変化する」、「壁面からの距離によって流速が変化する」といわれている。その現象をPIVによって裏付けるため、横もしくは上から、河床 A の流れ場の撮影を行い、河床や壁面と平均流速の関係に注目した。

図-3 (a) は水深-流速の関係を示している。水深の変化によって流速が変化している。また壁面に近づくにつれて、流速が遅くなっているとともに、最速位置が変化していることが確認できる。この結果から、流速の最速位置は壁面からの距離によって、変動していることが明らかになった。

図-3 (b) は、流れ場の横断方向距離（壁面からの距離）-流速の関係を示しているものである。壁面からの距離によって流速が変化している。また河床に近づくにつれて流速が遅くなっている。しかし、下（水面から6 cm）では、壁面から離れていても流速があまり早くなっていないことが確認できる。これは、河床の粗度によって流速が遅くなっていると考えられる。この結果から河床および壁面は、流れに大きく影響していることが明らかになった。

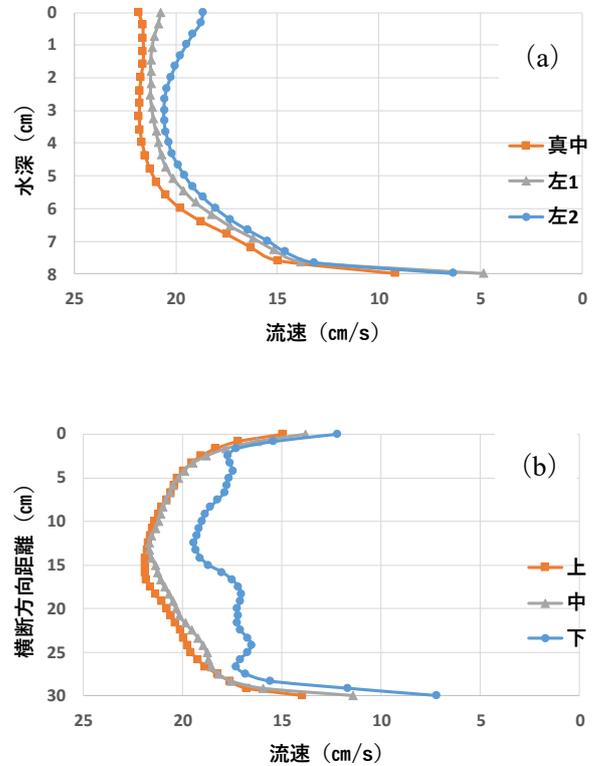


図-3 流速分布 河床 A :
(a) 水深-流速 (b) 横断方向距離-流速

3.3 河床材料による流れの変化

河床材料（粗度）を変化させることで流れ場にどのような影響を与えているのかを明らかにする。本研究で使用している開水路実験装置の河床や壁面は平らにできており、実際の河川の環境と異なっている。このことから河床を実際の河川に近づくように、植生に見立てた河床（図-2 (b)）、石が多くある河床（図-2 (c)）を作成した。これらの河床を用いて流れ場にどのような影響があるのかを比較した。

図-4 は、河床を変化した時の水深と流速の関係を示した図である。河床 A に比べて、河床 B、河床 C は、河床付近の流速が遅くなり、それに伴い河床付近以外の流速が速くなることが確認できた。この結果から、河床の粗度が大きくなるほど、河床と水面の流速差は大きくなることが明らかになった。また、壁面に近づくにつれて粗度が大きいと流速分布の変化が強くなることが明らかになった。

図-5 は、河床を変化した時の流れ場の横断方向距離と流速の関係を示した図である。粗度が変化しても、壁面から離れると流速が速くなることが確認できる。この結果から、河床を変化させても流速は壁面から離れるにつれて速くなることが明らかになった。図-5 (a) の上、図-5 (b) の中では、河床の粗度が変化しても流速分布の形はあまり変化がないが、図-5 (c) の下では流速分布の形が大きく変化している。このことから、河床の粗度の変化によって、河床付近では流れに乱れが生じていると考えられる。

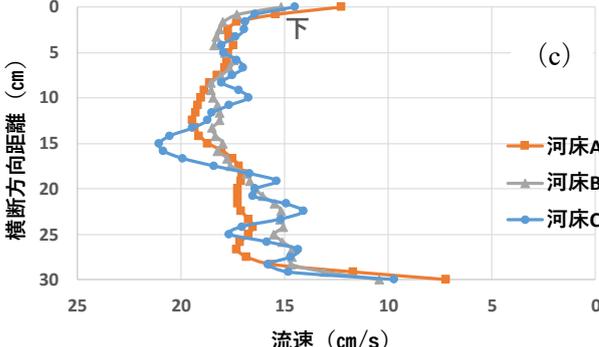
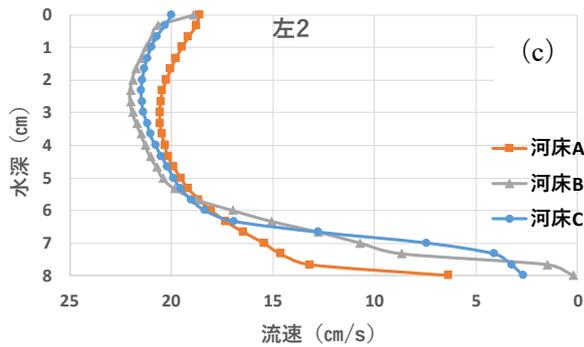
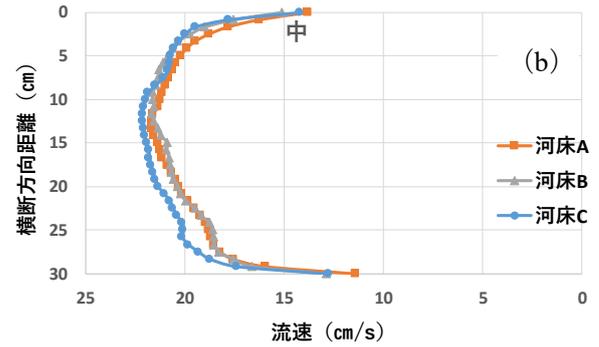
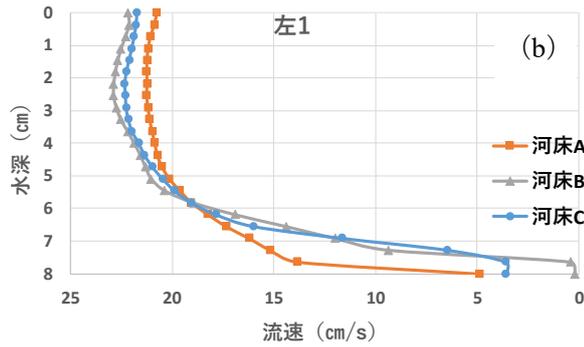
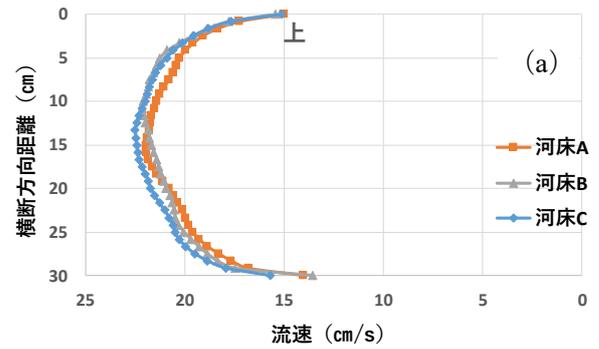
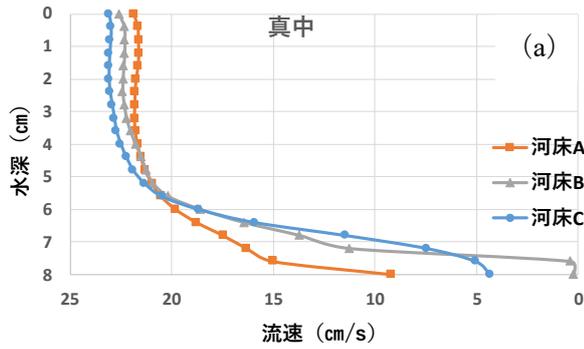


図-4 水深—流速：
(a) 真中 (b) 左1 (c) 左2

図-5 横断方向距離—流速：
(a) 上 (b) 中 (c) 下

4. おわりに

本研究では、PIV システムの基礎構築を行った。また PIV 解析によって得られたデータの妥当性を質量流量によって確認した。さらに河床と流速の関係、壁面と流速の関係を流速分布に示し、比較を行った。河床を変化させることで、流れ場による流速の違いを明らかにした。

本研究により、河床の粗度変化によって河床付近の流れに乱れが生じていることを示した。しかし、どのような乱れが生じているのかを解明するまでには至らなかったため、河床付近の乱れ構造の解明が今後の課題として残った。

参考文献

- 1) 関根正人, 中間遼太, 鷹津明季: PIV 解析を用いた河床付近で生じる乱れの構造と流砂現象に関する実験的検討, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol. 77, No. 2, I_696, 2021.
- 2) 西谷隆亘, 牧野立平, 小野正文: P I Vによる開水路流れの流速分布に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 2 部, 60 巻, pp. 529-530, 2005.

庄内川における大規模浸水に対する対策の検討

1. はじめに

近年、2019年千曲川、2020年球磨川など大規模な浸水災害が多発しており、気候変動による洪水被害の甚大化も懸念される。都市域において氾濫災害が発生すれば甚大な人的かつ経済的被害となることから、計画規模以上の超過洪水に対しても十分な検討が必要と考える。洪水災害を防ぐ対策として地下放水路（例えば、首都圏外郭放水路や大阪寝屋川北部地下河川など）の整備が進められている。本研究では、庄内川における超過洪水による浸水の様子を考察するとともに、仮に地下河川を設置した場合の効果について明らかにすることを研究目的とする。

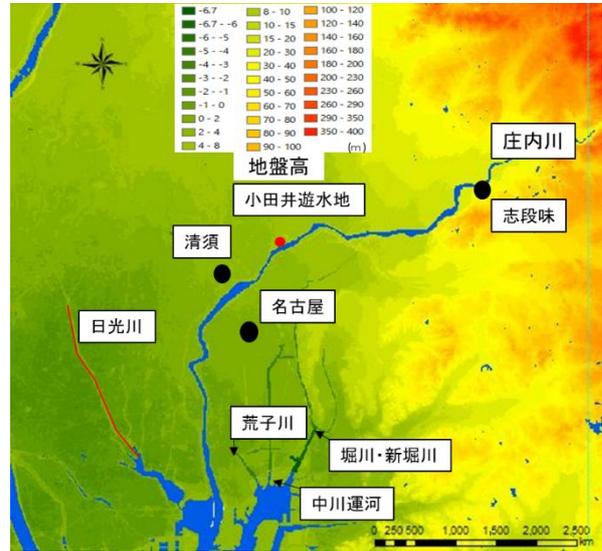


図1 計算領域

2. 計算方法と計算条件

本研究では、武田ら¹⁾の解析モデルを活用した。洪水流を1次元不定流モデル、地表面の氾濫流をデカルト座標の平面2次元不定流モデルで解析し、互いを越流公式で接続する。河川格子と氾濫格子の対応関係を作成し、河川からの越流が生じれば自動で氾濫が計算され、氾濫域から河川への戻りも計算される。さらに、地下空間の浸水モデルを組み込み、地下街と地下鉄駅を一つのボックスとし、水の連続式を用いてその水理を表現し、駅や地下街の入口における氾濫水の流入流出は越流公式を用いて表現した。地下鉄線路を伝う流れはスロットモデルを用いた1次元不定流モデルで解析した。計算領域は図1のようであり、庄内川上流に流量を与えた。ここでは、立川ら²⁾が得たピーク流量8000 m³/sの洪水流量を基に、上流域の氾濫を考慮した解析による境界条件を求めた³⁾。計算では、ピーク流量を変更した場合（例えば、計画流量4400 m³/s）の検討と、放水路を小田井遊水地や志段味に設置した場合の検討を行った。

3. 超過洪水の洪水流下および氾濫特性

図2に河川断面における最大流量を、図3に最大浸水深の分布を示す。本図から流量の増減が示されており、32km付近(志段味)では氾濫した水の戻りが見られるが、17km付近(小田井遊水地)では氾濫した流量の戻りが無く、河川外に広がっている。なお、庄内川の計画流量は4400 m³/sであるが、本研究で用いた

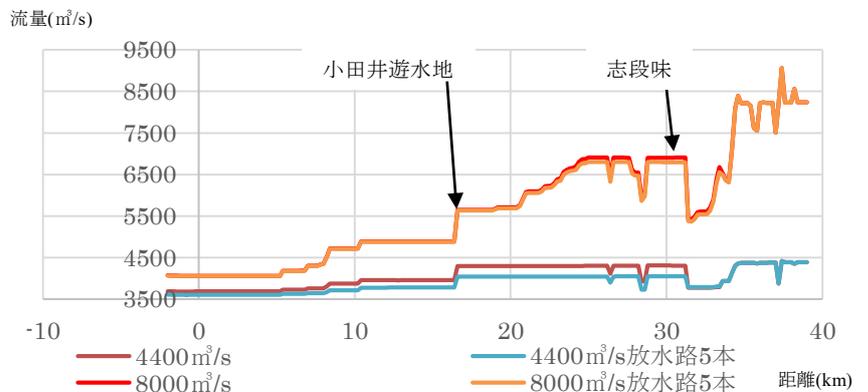


図2 河床断面における最大流量

河川データは計画断面ではなく、実際にはダム操作などによる流量調整もあることから、計算では計画規模の洪水でも氾濫が生じている。本計算では、小田井遊水地への流入があり、そこからの氾濫が広がっている。ピーク流量が8000 m³/sの場合、ピーク流量が4400 m³/s時に比べあふれた水が流下し、下流の河川流量が

減少している。

図3をみれば、32km付近(志段味)から広域に広がっていることが分かる。紙面の都合上示すことができないが、図3と図4の治水分類図を比較すると、旧河川区域(氾濫原)で浸水している様子が分かる。17km(小田井遊水地)より下流は氾濫原が広く分布していることから、超過洪水による溢れた氾濫水も広く流下している。この様子から、17kmより下流に副堤などを作って、超過洪水をできる限り川(または適切な流下箇所)に沿った流れとさせるよう工夫することも重要な治水対策であると言える。

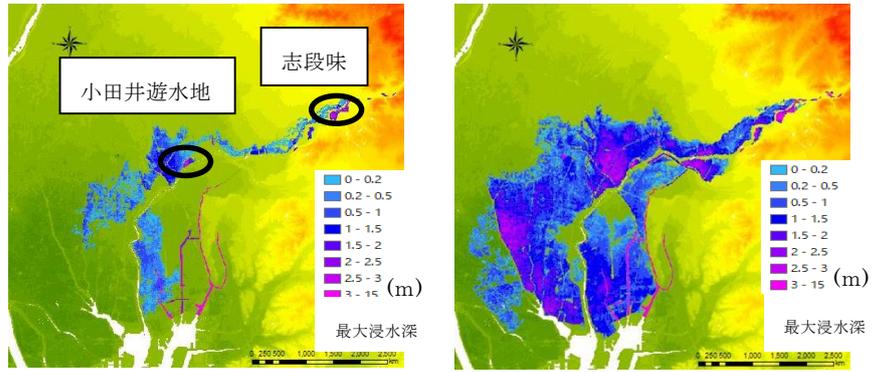


図3 最大浸水深の分布 (ピーク流量: 左: 4400 m³/s, 右: 8000 m³/s)

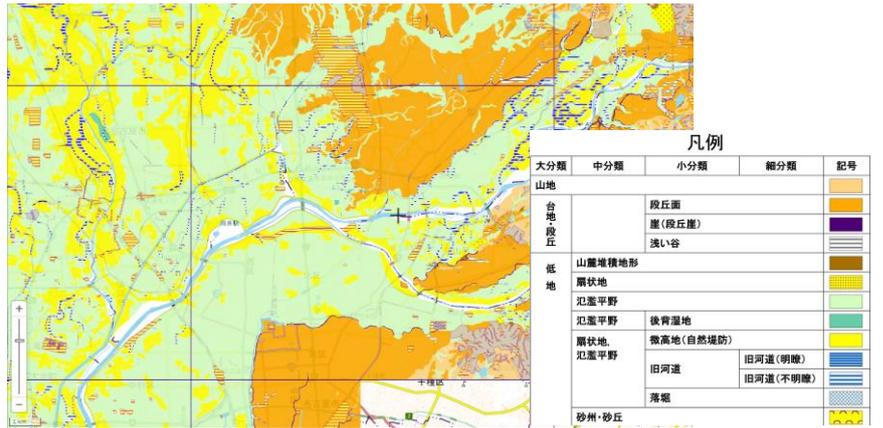


図4 治水分類図

4. 地下河川建設に伴う洪水および氾濫への効果

CASE Aとして、小田井遊水地から下流へ流れる地下放水路が有る場合の検討を行った。CASE(ローマ字)_ (数字)の数字の箇所は、放水路の本数を表している。直径10mの管を想定し、本数を1, 2, 5本と変えて検討した。下流は中川運河の河口に繋げており、海に直接つなげている。その

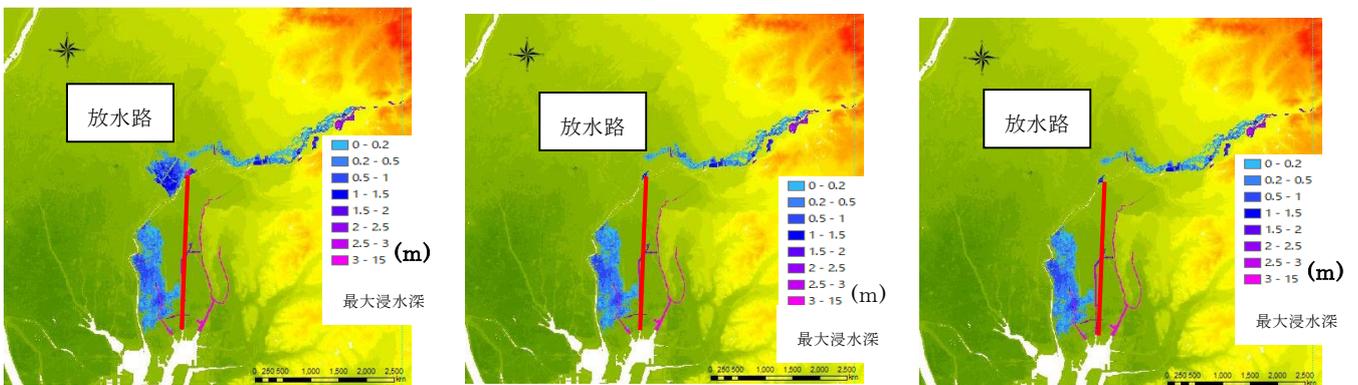


図5 CASEAの最大浸水深の分布 (放水路 左: 1本, 中: 2本, 右: 5本)

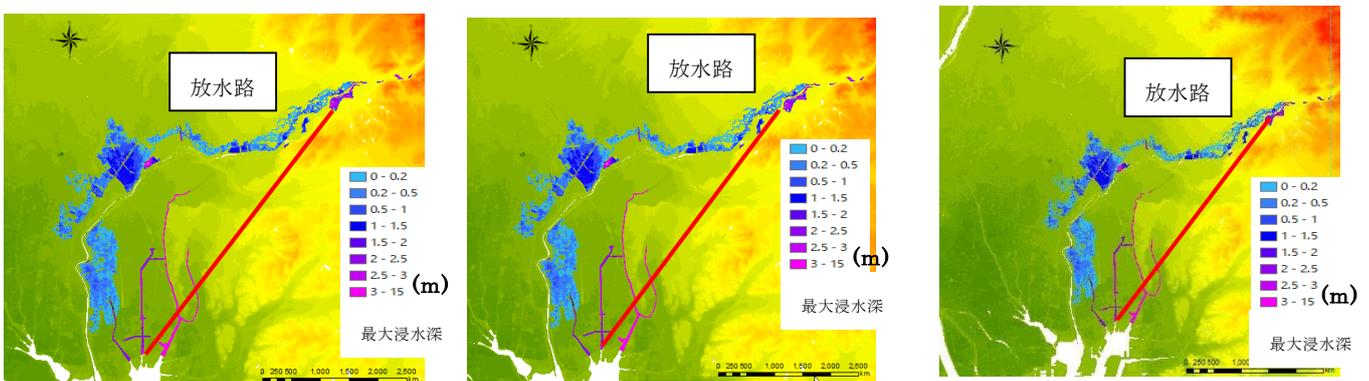


図6 CASEBの最大浸水深の分布 (放水路 左: 1本, 中: 3本, 右: 5本)

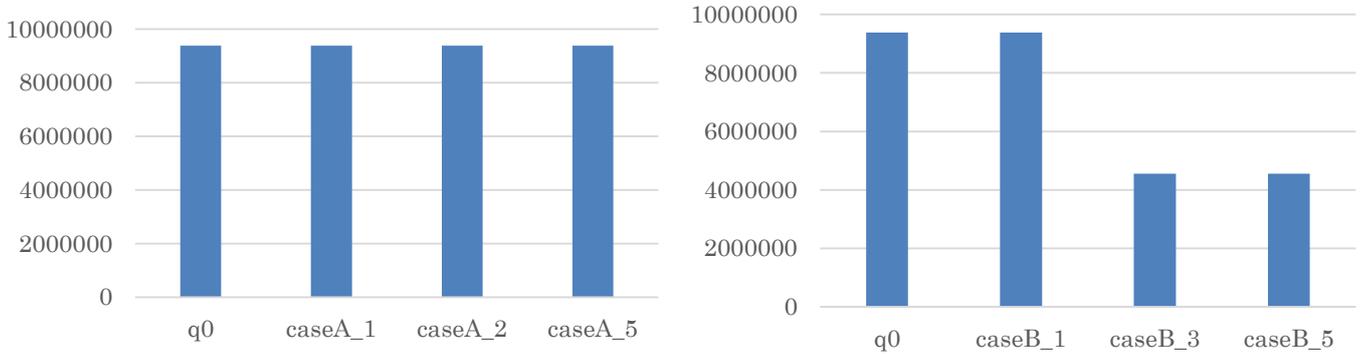


図7 志段味放水路より下流の氾濫水量 (左:CASEA, 右:CASEB)

結果, 河川洪水流には大きな影響を与えなかったが, 図4に示した4400 m³/sの場合, 放水路2,5本では小田井遊水地からの氾濫が抑制されていた. これは, 図3図7より, 小田井遊水地の氾濫水のみ放水し, 小田井遊水地より発生した氾濫水に戻りがないため, 氾濫水量も変動が無かったと考える. また, 庄内川は志段

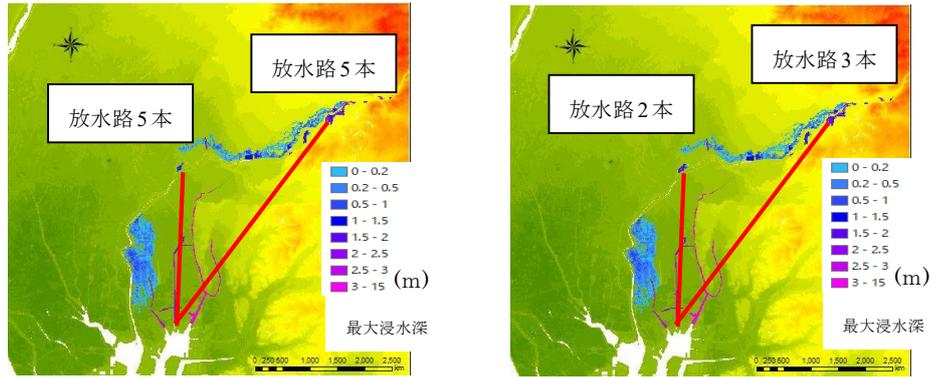


図8 CASECの最大浸水深の分布 (放水路 左:2本3本, 右:5本5本)

味箇所越水が生じるので, CASE Bとして, 志段味から下流へ流れる地下放水路が有る場合の検討を行い, 図6に示した. 31.2kmの断面における13.5h~59hの通過水量から0kmの通過水量を引いたものがその河川で生じた氾濫水量である. その値を図7に示す. 管の条件はCASE Aと違い, 1,3,5本になっている. 放水路の設置により, 庄内川の流量が低下し, その低下流量は3,5本設置の場合259 m³/sの値となった. 流量4400 m³/sの場合, 図3, 図6のように下流側の流量の低下と, 図7右図に示したように氾濫水量の低下が示された. CASE Bでは清須, 大治といったCASE Aで抑制させることので

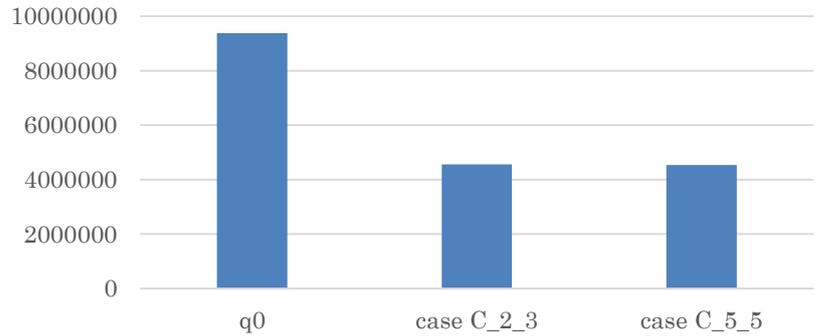


図9 河床断面における最大流量 (ピーク流量4400 m³/s, 8000 m³/s)

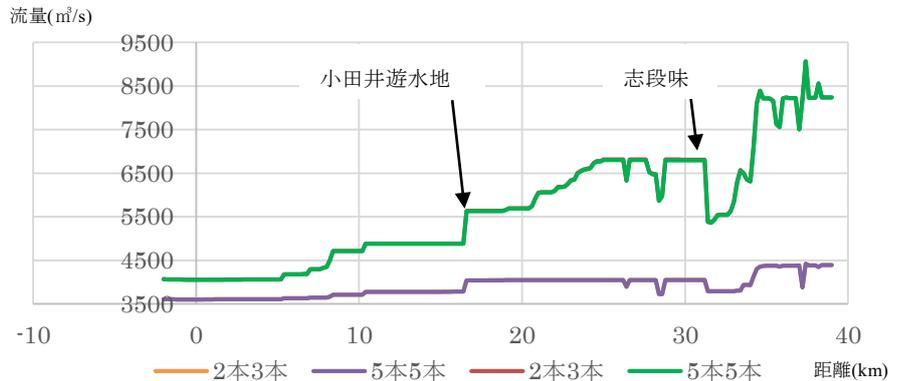


図10 河床断面における最大流量 (ピーク流量, 下:4400 m³/s, 上8000 m³/s)

できていた地域の氾濫が確認できた. したがって, CASE

Cとして, 小田井遊水地と志段味に放水路を設置した場合の検討を行った. 図6に, 放水路の上流が小田井遊水地2本, 志段味3本(左図)の場合と小田井遊水地5本, 志段味5本(右図)の場合を示した. この結果, CASE Aのように小田井遊水地からの氾濫を抑制し, CASE Bのように下流側の流量の低下と氾濫水の低下が示された. しかし, 図8の右図, 図10(4400 m³/s 5本5本)では, 放水路の本数を増やしたが,

氾濫域と庄内川に流れる流量にさらなる変化は見られなかった。これより、流量 4400 m³/s の場合には、小田井遊水地 2 本、志段味 3 本より本数を増やしても庄内川の流量が低下することは無いと考える。

上記より、CASE A と CASE B の影響を受けている CASE C を使用し、ピーク流量 8000 m³/s の場合の検討を行う。8000 m³/s は庄内川の計画流量 4400 m³/s と違い流量が非常に多い。そのため、図 11 のように氾濫域が大きく、図 4 のように放水路を設置したことによる影響を強く受けることが出来ていない。

また、図 3 より志段味で放水路を設置した際の庄内川の流量の減少は大きくなく、志段味に設置した放水路上流より下流域への影響は少ない。そのため、庄内川の流量が関係している庄内川左岸側の氾濫域に減少が見られない。しかし、図 11 左図に比べ図 11 右図は、流量が 8000 m³/s の場合だが氾濫域の減少がある。これは、図 12 のように流量が 8000 m³/s の場合、小田井遊水地に放水路が 2 本設置されているのみ

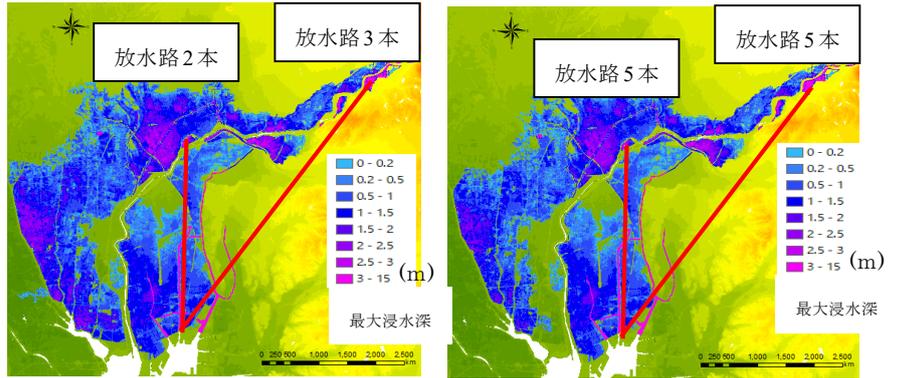


図 11 CASEC の最大浸水深の分布 (放水路 左: 2 本 3 本, 右: 5 本 5 本)

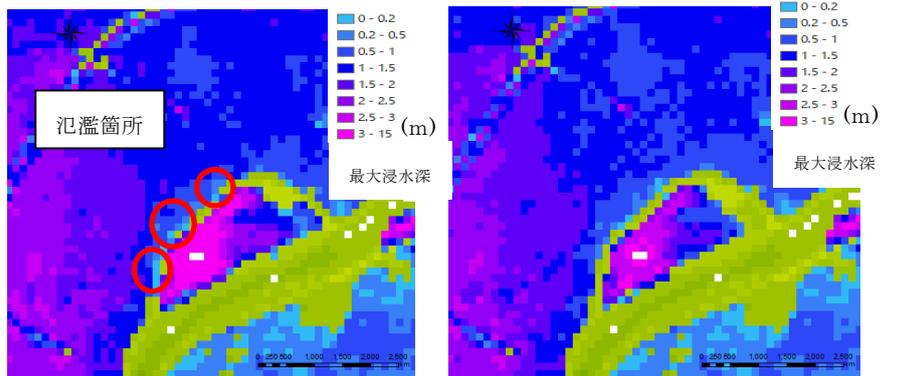


図 12 小田井遊水地の氾濫状況 (左: 2 本, 右: 5 本)

だと排水が間に合わないが、放水路を 5 本に増やしたため排水が間に合い、小田井遊水地からの氾濫を抑制できたと考える。したがって、放水路を増やせば氾濫域や流量に与える影響が大きくなるのではなく、設置個所によって排水できる上限があるため、本数を増やすのではなく、放水路を設置する適切な位置と本数を決め、検討していく必要がある。また、流量 8000 m³/s の洪水の場合、放水路の流量が相対的に小さいので大きな改善効果はみられなかった。このことから、放水路などを建設する場合、どれくらいの超過洪水を対象にするかを定め、費用対効果を十分に検討する必要があると考える。

5. おわりに

本研究では、超過洪水を対象に、庄内川の洪水流下特性および氾濫特性を明らかにした。さらに、仮に放水路を建設した場合の効果について考察を進めた。超過洪水の場合の氾濫・戻りを示す地区が存在することから、そのような場所を活用した放水路建設は適切と考える。一方、対象とする流量規模を明確にしないと、放水路の効果も小さくなる可能性があると考え。

参考文献

- 1) 武田誠, 村瀬将隆, 中島勇介, 川池健司, 松尾直規: 地下鉄を考慮した都市の浸水解析, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 21 巻, pp. 153-160, 2016.
- 2) 立川康人, 宮脇航平, 田中智大, 加藤雅也, 萬和明, 市川温: 超多数アンサンブル気候予測実験データを用いた極値河川流量の将来変化の分析. 土木学会論文集 B1(水工学), 73(3), 77-90. ,2017.
- 3) 武田誠, 大溝諒介, 川池健司, 田中智弘, 立川康人: 将来予測における大規模洪水を対象とした想定浸水の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 77, No. 2, I_7-I_12, 2021.
- 4) 国土地理院: 治水分類図, 中部地域, <https://maps.gsi.go.jp/#13/35.216384/136.943378/&base=std&ls=std%7C1cmfc2&blend=0&disp=11&lcd=1cmfc2&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m> (2022 年 2/1 最終アクセス)

河川における流れの現地観測

EC18052 中野 功基

1. はじめに

河川の流速が速いと浸食作用が生じる。川にはたくさんの土砂があり、その土砂が川底などにぶつかり、川の底や岸を削る。また、河川の流速が遅いと滞留が生じる。長時間水が滞留すると流入した汚濁負荷は蓄積され、植物プランクトンなどによる内部生産の増加によって水質が悪化し滞留生じる。そのような課題の対策を検討するためには、流れの様子を把握する必要がある。この種の課題解決に対し、現地観測、数値解析、水理実験といった方法が適用される。なかでも現地観測は、実際の流れ場の様子を測るものであり、最も重要な検討手法である。



写真1 滞留の様子

中部大学には、電磁流速計や電波流速計などの流速計がある。それぞれの流速計には特徴があり、これらの流速計の特徴を明らかにすることは、実際の流れを計測するときの重要な前提情報となる。

2. 研究目的

本研究では、電磁流速計、電波流速計、それぞれの流速計によって流速値がどのように表現されているかを考察する。さらに流速計の比較によってそれぞれの能力や精度を理解することで、今後現地観測を行ううえで役立つ検討資料を得ることを研究目的とする。

3. 流速計の計測原理

3.1 電磁流速計

電磁流速計は、液体の粘度・温度・圧力・密度に影響を受けず、ファラデーの法則を利用して流速を測定する。本研究で用いる電磁流速計は海洋だけに限らず河川、水路、湖沼でも測定可能な電磁誘導方式のポータブル型流向流速計である。深度センサー、水温センサーが標準装備されており、測定水深が確認できるほか、水温の鉛直プロファイル測定としても利用可能である。また、表示部には2Mバイトのフラッシュメモリーカレンダー機能を装備していて、測定データを自動記録しながら、正確な測定が続けられる。



写真2 電磁流速計

3.2.1 電波流速計

電波流速計は、ドップラー効果を利用した計測法であり、観測点から照射された電波が、移動する水面の位相にぶつかり、反射した電波の周波数がドップラー効果により変化したのを捉え、水面位相の移動速度を求める。

- ①川面の波にマイクロ波を照射する。
- ②波に当たったマイクロ波が返ってくる。
- ③その時に返ってくるマイクロ波は、波のスピードに応じて周波数が変化する。



写真3 電波流速計

④その周波数の変化分を調べれば、川の流速が分かる。

3.2.2 ドップラー効果

ドップラー効果とは、1842年にドップラーにより発見された移動する波源の振動数変化である。波源と観測者が相対運動をしているとき、波源から送られて来た波の振動数は、両者が近づきつつあるときは、波源の振動数より大きく観測され、両者が遠ざかりつつあるときは、小さく観測される現象を言う。

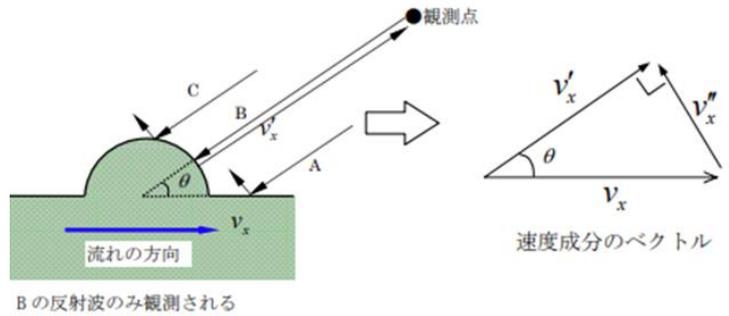


図1 ドップラー効果の原理

4. 浮子による流速測定

信頼できる流速を観測するために、浮子を採用した。浮子による流速測定は、浮子を投下してある区間を流下する時間を計測し、その区間の表面流速を計測する。今回は、測定中に重さが変わらないように写真の浸透性のない容器を使用した。また、容器の中を空としたもの、水を半分入れたもの、水を限界まで入れたもの3種類で行った。容器の中が空の状態は空気抵抗により、値が変動が大きかった。したがって、2回目を降水を半分入れたものを用いて計測を行う。

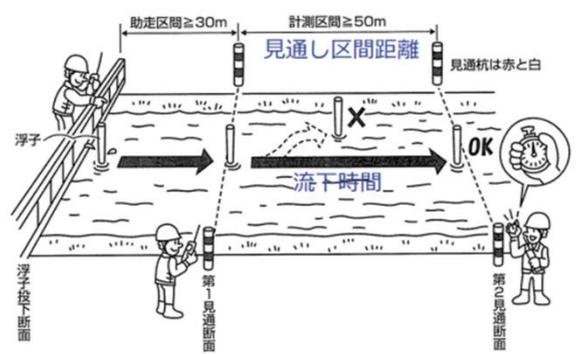


図2 浮子の様子

5. 現地観測

5.1 流速計の設置方法

電波流速計は観測点から照射された電波が移動する水面の位相にぶつかり、反射した電波の周波数がドップラー効果により変化したのを捉え、水面位相の移動速度を求める。河川の流速は下に行くにつれ、遅くなる。電波流速計は川面を測定するため、電磁流速計の流速センサーは川面に近くなるようにする。

5.2 観測場所



図3 第2回観測場所



写真4 実際の河川の様子

5.3 結果

電磁流速計

表 1 ①観測場所

	Vel(cm/s)	DeF(m)	Dir(°)	Tmp(°C)
①-1	0.8	0.2	223.7	20.36
①-2	0.5	0.2	154.1	20.36
①-3	0.7	0.2	219.1	20.37
①平均	0.67	0.20	199.0	20.36

表 2 ②観測場所

	Vel(cm/s)	DeF(m)	Dir(°)	Tmp(°C)
②-1	1	0.21	162.1	20.38
②-2	1.1	0.2	187.2	20.39
②-3	0.9	0.21	156.6	20.39
②平均	1.0	0.21	168.6	20.39

表 3 ③観測場所

	Vel(cm/s)	DeF(m)	Dir(°)	Tmp(°C)
③-1	0.5	0.21	159.7	20.47
③-2	0.6	0.21	194.2	20.48
③-3	0.5	0.21	143.4	20.49
③平均	0.53	0.21	165.8	20.48



写真 5 電波流速計観測の様子

電波流速計

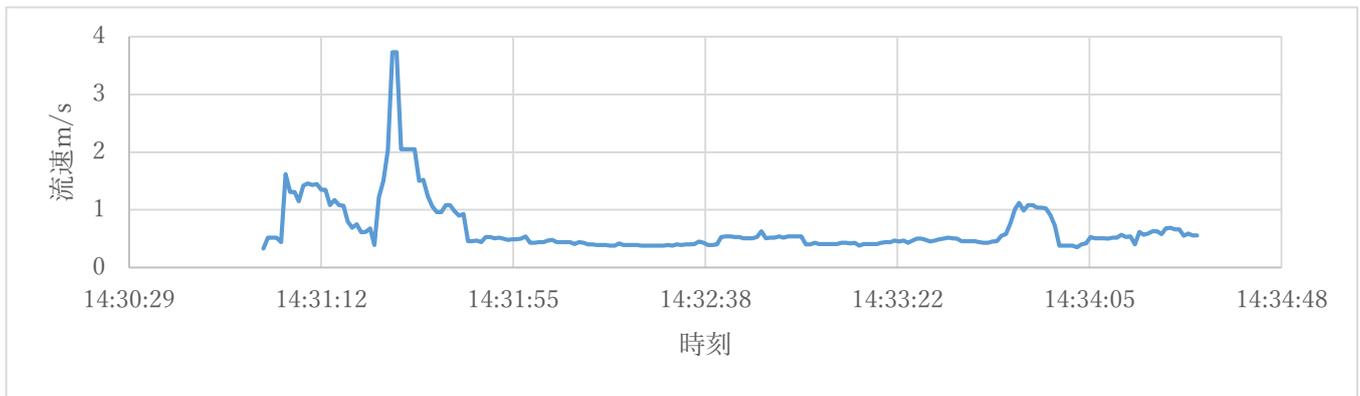


図 4 得られたデータ(すべて)

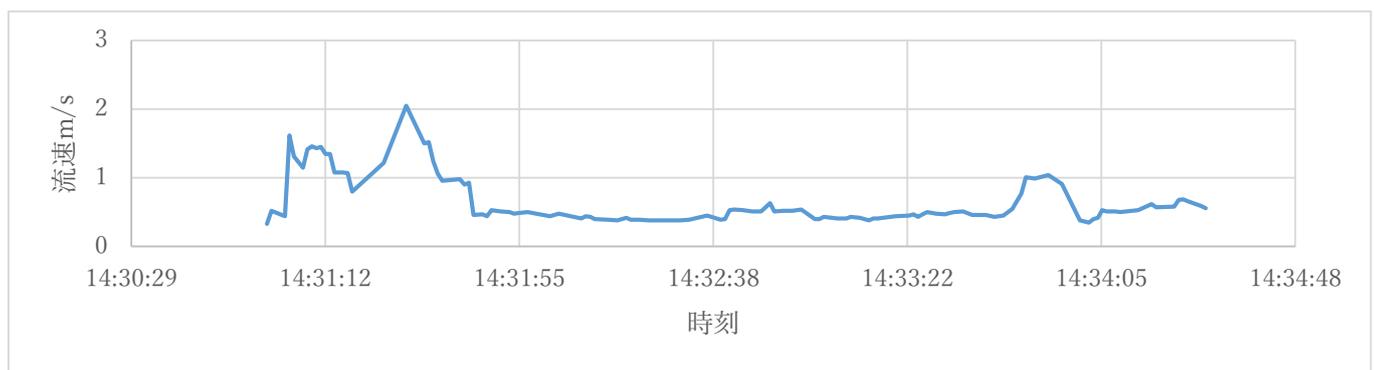


図 5 得られたデータ(OKのみ)

浮子

表4 ①観測点

半	s	流速
1回	24.06	0.29
2回	22.98	0.30
3回	22.38	0.31
4回	20.32	0.34
5回	20.85	0.34
	平均	0.32

表5 ②観測点

半	s	流速
1回	27.64	0.25
2回	23.45	0.30
3回	20.36	0.34
	平均	0.30

表6 観測点

半	S	流速
1回	23.89	0.29
2回	20.62	0.34
3回	24.35	0.29
	平均	0.31

5.4 考察

比較において、電磁流速計は、深度センサー、水温センサーが標準装備されている。深度センサーは河川の形状を把握することができる。水温センサーは、水温変化の実態を把握することができる。また、水理実験室で行った精度の確認では、行った実験との誤差は1mmと誤差が少なく精度が良い。しかし、観測を行う際に人数が必要になる。また、接触式の為、危険性もある。電波流速計は省人化を実現し、1人での観測が可能である。また、非接触式のため安全に観測を行うことができる。複雑な作業や設定がなく、即座に観測を行うことができる。自動計測機能も搭載されているため、立ちあがりから立ち下がりまで観測を行うことができ、ピークをとらえることができる。

今回観測した内津川は流速0.5m/s以上が安定して観測できる場所がないため、計測が安定的に行うことができなかった。また、水面までの距離に制限があり、最大20mまでの観測しか行えないことも分かった。

5. おわりに

本研究では、現地観測により得られた電磁流速計、電波流速計のデータの比較によってそれぞれの利点、欠点について確認できた。また、実際の河川で観測を行うことで流速の不定や危険性など、現地観測の実施により流速観測の理解を深めることができた。今後は荒天時の観測や流量の多くなる雨の降った翌日に観測を行う必要がある。

6. 参考文献

- 1) 株式会社ハイドロ総合技術研究所：www.hydrosoken.co.jp/ (2021/12/22 確認)
- 2) 電磁流向流速計 AEM213-DA：<https://www.eg.aktio.co.jp/>(2022/01/28 確認)
- 3) Appendix C 電波流速計：www.pwri.go.jp/team/hydro_eng/manual/manual_C.pdf(2022/01/28 確認)
- 4) 直読式流速計シリーズ JFE アドバンテック株式会社：<https://www.jfe-advantech.co.jp/products/ocean-ryusoku.html>(2022/01/28 確認)
- 5) 河川情報取扱技術研修(電波式流速計について)：http://www.river.or.jp/kougi2021_7-2.pdf(2022/01/28 確認)
- 6) 川の作用(浸食・運搬・堆積)と地形(V字谷・扇状地・三角州・三日月湖) | 中学受験理科：
<https://www.irohbook.com/river-landform>(2021/12/22 確認)
- 7) 生活で変わること。川のこと：<http://natunaldokawaru.blog97.fc2.com/blog-entry-481.html>(2021/12/22 確認)

大阪における地下空間を考慮した浸水解析

EC18059 原 健悟

1. はじめに

近年世界各地で、地下空間の利用が盛んに行われている。その一方で、洪水による地下浸水の被害もみられる。2021年7月22日に中国では、豪雨により地下鉄で約12人が亡くなった¹⁾。日本でも同じく、水害によって地下空間に大規模な浸水被害を受ける可能性がある。そのため、水害による被害を予測し、対策を立てることが重要な課題である。

西脇ら²⁾は、大阪を対象に、地下鉄線路の有無による浸水特性を明らかにし、時間変化の観点から地上の浸水特性を考察した。本研究では、大阪の地下空間を考慮した都市浸水解析を実施し、破堤箇所による浸水特性、地下鉄線路の危険性を考察する。

2. 解析モデル

洪水流を1次元不定流モデル、地表面の氾濫流をデカルト座標の平面2次元不定流モデルで解析し、互いを越流公式で接続している。また、氾濫水は複数ある地上の入口から地下街・地下鉄駅へ流入・流出し、地下街・地下鉄駅では地上からの流入・流出流量と鉄道路線への流入・流出流量を考慮して連続式により水の収支が計算される。さらに地下鉄線路を伝う流れはスロットモデルを用いた1次元不定流モデルで表現した。

3. 計算条件

図-1に計算領域を示す。ここでは、淀川の想定破堤氾濫を対象とする。地上域を50m格子で、地下鉄線路も概ね50m格子で表現し、淀川沿いの小河川を考慮した。図-2の淀川の計画洪水流量(12000 m³/s)をピーク流量とする洪水を想定し、ピーク時(19時)に淀川左岸が100mの幅で破堤する(堤防天端高が地盤高に置き換わる)とした。ここでは、破堤箇所を淀川河口から9km上流地点、15km上流地点の2種類とし、時間の観点から浸水特性を考察する。

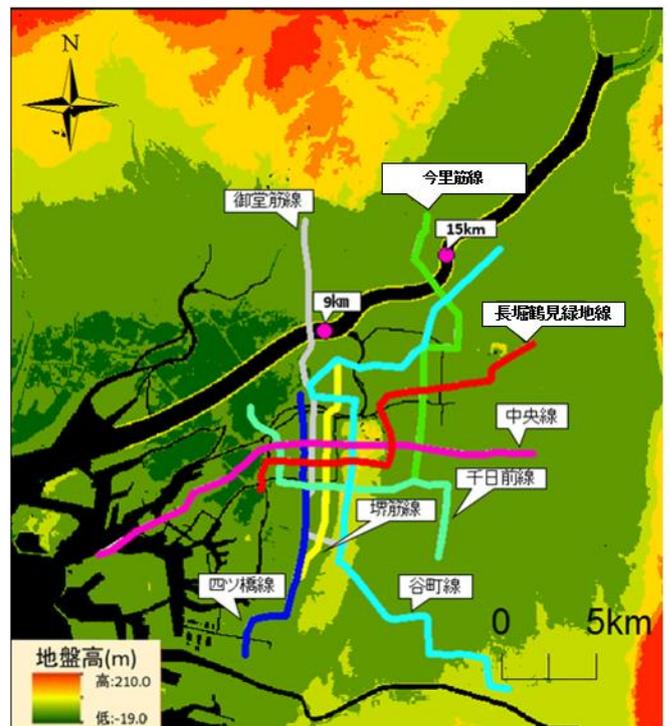


図-1 計算領域図

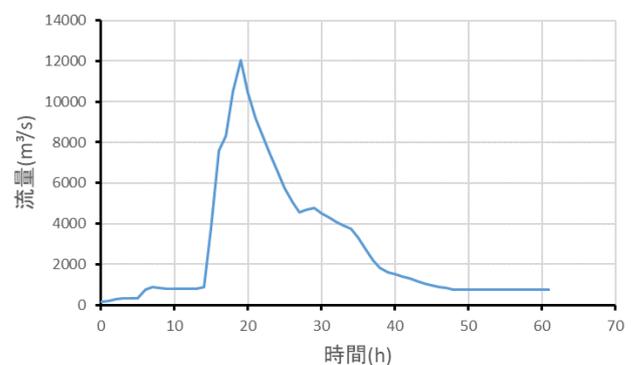


図-2 計算条件

4. 解析結果

4.1 最大浸水深と洪水の時間変化の比較

図-3に、破堤箇所9km地点で破堤させたときと、破堤箇所15km地点で破堤させたときの最大浸水深の様子を示す。地下鉄を考慮することにより浸水の様子に大きな違いが生じていることが分かる。地下鉄を考慮することで、河川を超えて浸水が広がって

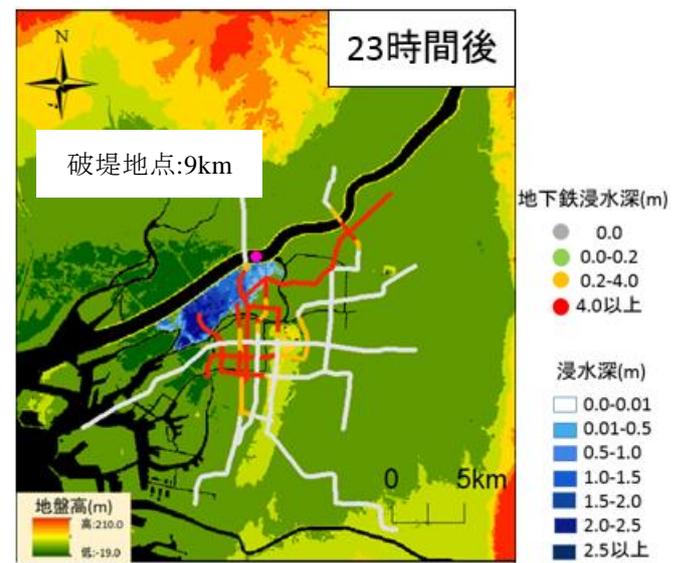
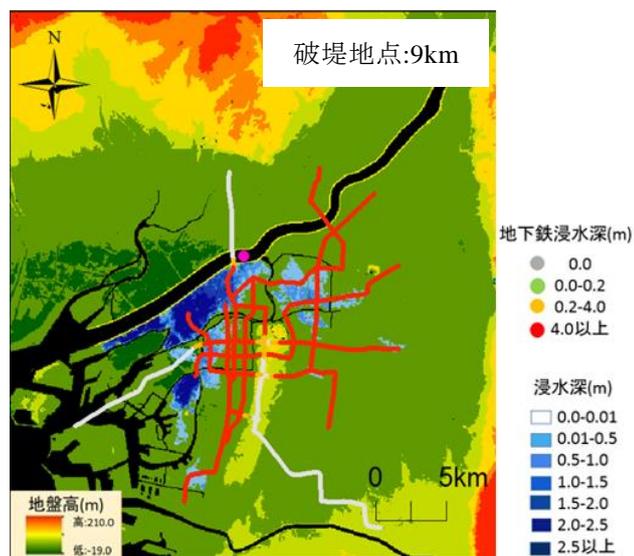
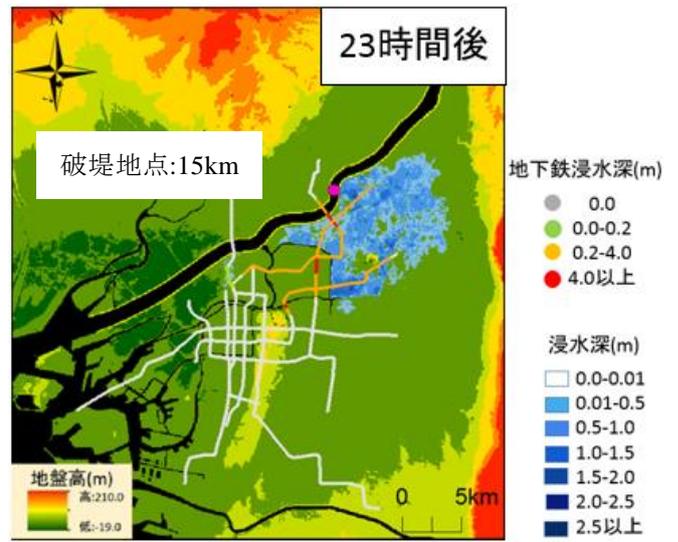
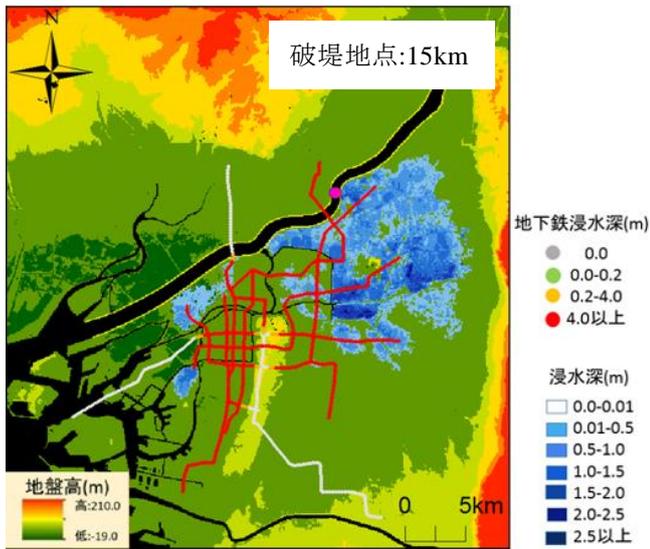


図-3 最大浸水深の分布

図-4 23 時間後の浸水の様子

おり、地下鉄駅からの吹き出しにより、浸水が広域に及んでいる。

地下鉄の浸水を見ると、御堂筋線、谷町線、中央線以外の路線において、地下鉄トンネルの高さ 4.0 m を越え、満水になっていることが分かる。これらにより、本計算条件の場合、地下鉄トンネルは極めて危険な状況になることが分かる。地下鉄浸水の広がる範囲において 9km 地点で破堤させた場合と、15km 地点で破堤させた場合ではあまり変化が出ていないことが分かる。しかし、地下鉄浸水は 9km 地点で破堤させたときの方が広がり早いことから、9km 地点で破堤させたときの方が危険度は高いと考えられる。破堤箇所 15km の場合では、逆に地下浸水の広がり遅く満水の場所が出てくるのに 23 時間後まで時間がかかっている。図-4 に 23 時間後（破堤から 4 時間後）の浸水の様子を示す。

4.2 浸水深の到達時間の比較

次に地下空間への浸水深の到達時間について考察する。到達時間は 1 時間ごとに 12 時間後までの状態を表現した。

以下では、破堤 9km 地点 (図-5) と破堤箇所 15km 地点 (図-6) の 0.05m, 0.1m, 0.2m, 1.0m, 2.0m, 4.35m に到達した時間 (破堤からの時間) を色分けで示している。

図-5 の破堤 9km 地点の到達時間を見ると 0.05m から 4.35m と色の変化があまり無い状態であった。このことから、早い段階で地下鉄の浸水深が満水である 4.35m に到達していることが分かる。細かく見ていくと、破堤箇所から遠いところだと浸水の到達

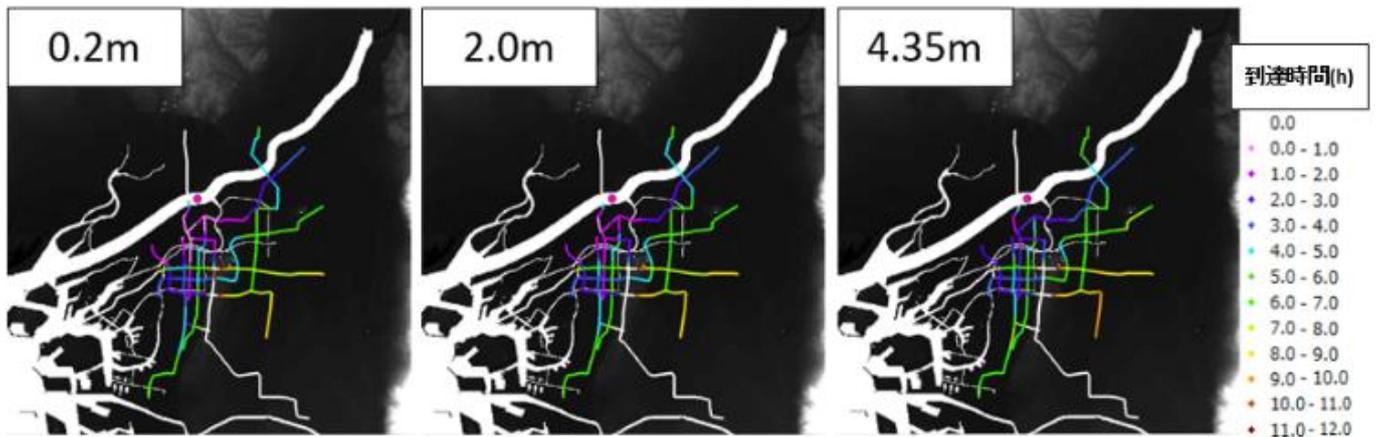


図-5 地下鉄の浸水深の到達時間（破堤箇所：9km）

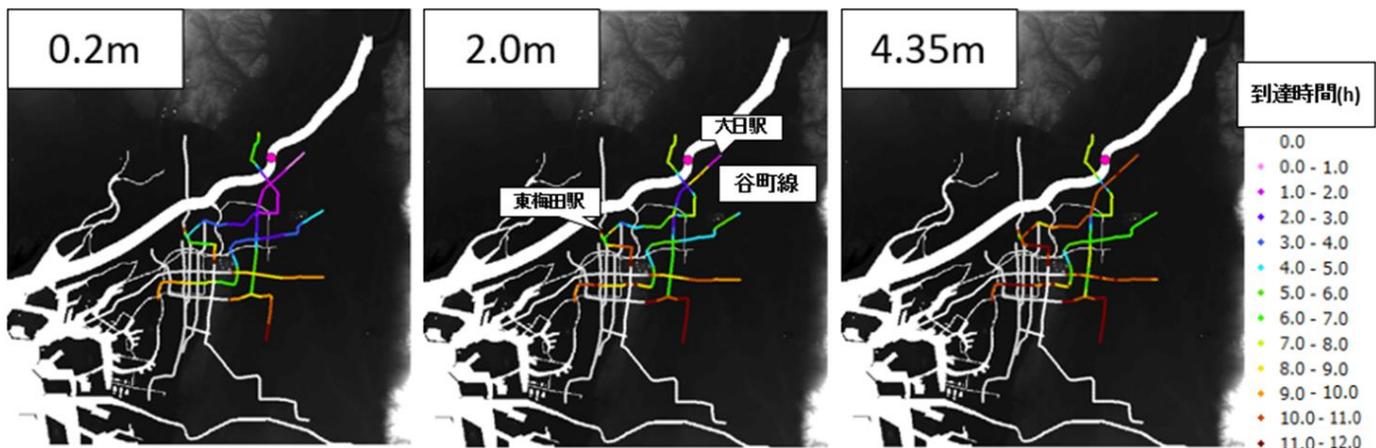


図-6 地下鉄の浸水深の到達時間（破堤箇所：15km）

時間が約 6 時間～9 時間ほどと地下鉄浸水深の変化があまりないが、谷町線の大日駅から東梅田駅の区間では 0.2m から 2.0m の間で到達時間に変化が出ていることが分かりやすくなっている。地下浸水深が 2.0m にもなると電車に影響が生じて、走行ができなくなると考えると破堤箇所付近では 1 時間以内に避難できなければ、非常に危険な状態になると分かる。

図-6 の破堤箇所 15km 地点の到達時間を見ると 0.2m 以降からの色の変化が大きく生じていることが分かる。このことから、地下鉄の浸水深は破堤箇所 9km 地点の状況に比べ 4.35m に達する区間が遅いことが分かる。破堤箇所付近を見ると、2.0m までは谷町線の大日駅から守口駅は 2 時間以内で到達していることが分かり、4.35m の満水に到達するのに 10 時間以上も掛かっていることが分かる。また、広い範囲でも谷町線が 2.0m から 4.35m の到達時間の変化が大きく、満水に到達するのに 10 時間以上掛かっている。

地下鉄浸水深の到達時間は破堤箇所 15km 地点の方が満水に到達するのが遅いため破堤箇所 9km 地点に比べ危険度は低く、12 時間以内での地下浸水は広がり範囲が狭いことが分かる。

破堤箇所 15km 地点の 12 時間以降の影響は図-7 に示した。被害の大きい 2.0m と 4.35m の到達時間の様子を見ると、約 21 時間後に破堤箇所 15km から離れた四ツ橋線も満水になることが分かる。

5. おわりに

本研究では、浸水深が基準の高さに達する時間を対象とした浸水解析を行い、地下空間に着目して大阪の計算結果の考察を行った。破堤箇所を淀川河口から 9km 地点と 15km 地点の計 2 種類とし、地下浸水の時間変化、危険性の検討を行った。まず、破堤箇所が河口から 9km 地点と 15km の地点どちらも地下鉄線路を伝う氾濫水によって浸水被害が拡大していることが分かった。水深が基準の高さに達

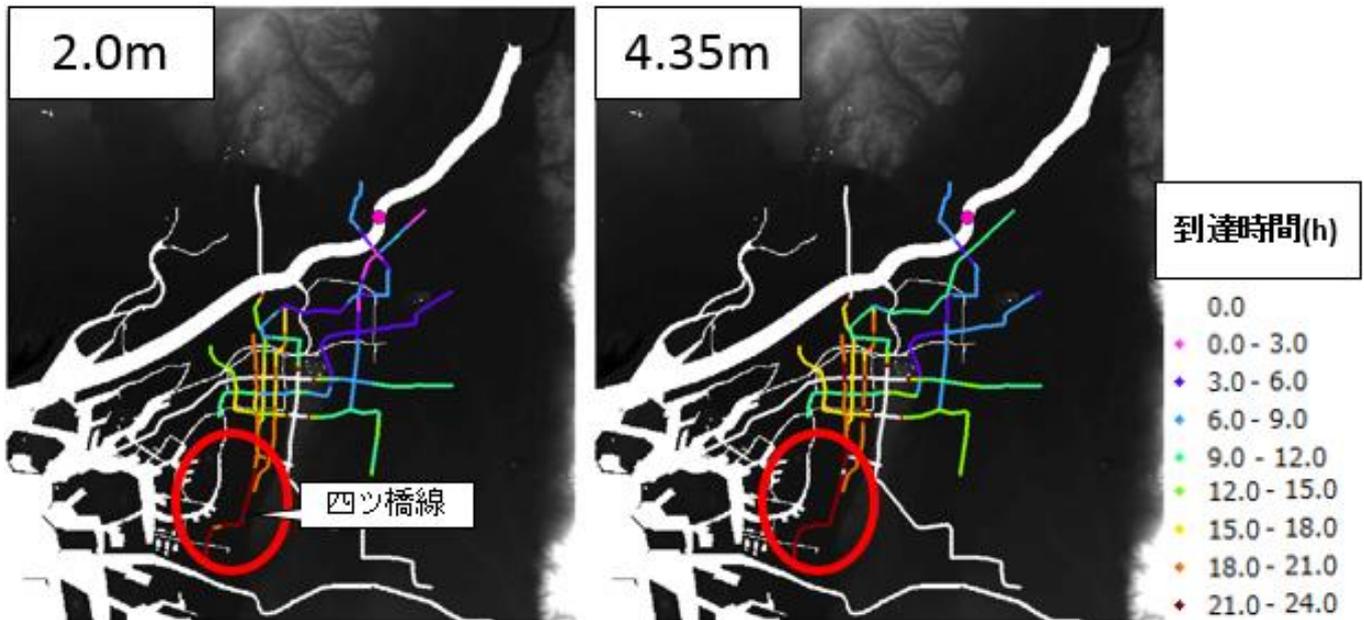


図-7 地下鉄の浸水深の到達時間（破堤箇所：15km 24時間までを考慮）

する時間では破堤点付近と地下鉄線路を伝う氾濫水による浸水では河口から 9km 地点で破堤させたときでは 12 時間、河口から 15km 地点で破堤させたときでは 24 時間ほどのズレがあることから、破堤してから避難するまでの時間があるため、地下鉄線路を伝う氾濫水による浸水の危険度は河口から 9km 地点の方が高いと考えられる。地下浸水深の到達時間からも分かるように、破堤箇所 9km 地点と 15km 地点を比較すると満水である 4.35m に広範囲に影響を与えるのは破堤箇所 9km 地点であることが分かった。また、最大浸水深を見ると地下鉄への影響はどちらの破堤箇所もあまり変化は見られなかった。これらのことから、河口から 9km 地点と 15km 地点で破堤させたときの比較により 9km 地点の方が地下浸水深が満水になるのが早く、浸水の広がりも早く危険度が非常に高いということが分かった。

これらより、地下空間の浸水の特性や、地下浸水深の到達時間について解析を行うことで、浸水の特徴をより明らかにすることができたと考えられる。

参考文献

- 1) 中国・河南省の洪水、地下鉄の車内に浸水
www.bbc.com › Japanese
(2022年1月25日確認)
- 2) 西脇翔, 土田拓輝, 武田 誠, 村瀬将隆, 佐藤大介, 松尾直規: 小河川を考慮した大阪の都市浸水解析の検討, 令和元年度土木学会中部支部研究発表会, II-51, 2020.
- 3) 濱口舜, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一: 記録的水災害に対する大規模地下空間の浸水脆弱性に関する検討, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol. 72, No. 4, I_1363-I_1368, 2016.
- 4) 村瀬将隆, 中島勇介, 武田誠, 川池健司, 松尾直規: 地下鉄を考慮した名古屋と大阪の大規模浸水解析, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol. 73, No. 4, I_1441-I_1446, 2017.
- 5) 大阪府/大阪府を襲った主な災害
<http://www.pref.osaka.lg.jp/kasenkankyo/boujyo/ka-konosai.html>
(2022年1月15日確認)

名古屋における地下空間を考慮した浸水解析

EC18060 平田悠真

1. はじめに

現在、移動手段が多様化しており、地下鉄などの地下空間の活用も盛んになっている。2021年7月21日に中国中部では、集中豪雨により地下鉄が浸水し、数百人が閉じ込められ、12人が死亡、5人が負傷した。また日本においても1999年6月、2003年7月に福岡市で豪雨による地下浸水が起き、地下街や地下鉄の機能が一時麻痺した。将来の気候変動による洪水の甚大化を考えれば、都市の地下浸水は特に注意すべき災害事象といえる。都市浸水に関する対策を検討する場合、数値解析が有効な手段となる。今後、数値解析を用いて、都市空間における水害の被害予測を行い、その様子を視覚化し、対策を立てることが必要である。本研究は、名古屋を対象に地下空間を考慮した都市浸水解析を実施し、破堤箇所による浸水特性、地下鉄線路の危険性の考察を行った。名古屋における庄内川破堤時の地下鉄線路・地上の浸水について詳細に検討することにより、名古屋における地下鉄の浸水特性の変化と、浸水に至るまでの時間変化をまとめ、危険性を明らかにした。

2. 解析モデル

洪水流を1次元不定流モデル、地表面の氾濫流をデカルト座標の平面2次元不定流モデルで解析し、互いを越流公式で接続する。また、地下街および地下鉄駅を一つのボックスとしてとらえ、水の連続式を用いてその水理を表現し、さらに地下鉄線路を伝う流れはスロットモデルを用いた1次元不定流モデルで解析した。

3. 計算領域および計算条件

図-1に計算領域を示す。本計算では庄内川の想定破堤氾濫を対象とする。地上域を50m格子で表現し、地下鉄線路も概ね50m格子で表現し、名古屋港へつながる堀川と、中川運河、荒子川のポンプ排水を考慮した。地下鉄は幅7.75m、高さ4.35mの矩形断面として考える。庄内川の計画洪水流量(4400 m³/s)をピーク流量とす

る洪水を想定し、ピーク時(19時)に庄内川左岸が100mの幅で破堤する(堤防天端高が地盤高に置き換わる)とした。また破堤箇所を庄内川河口から17km、15km、11km、9km、7km地点とした。計算時間は36時間とし、10分毎に地下街・地下鉄の浸水結果を出力した。また本研究では、破堤箇所を比較し、最も浸水範囲が大きい17km地点での破堤を中心に考察し、他の地点の計算結果とも比較し考察する。

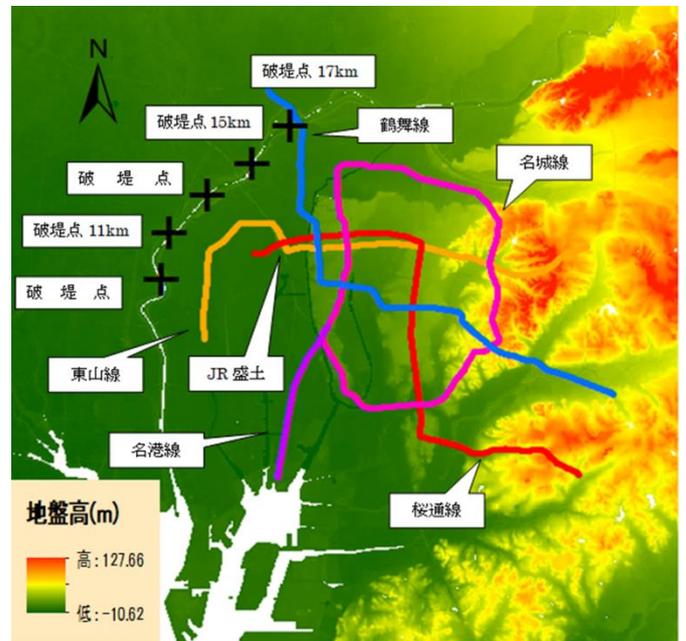


図-1 計算領域

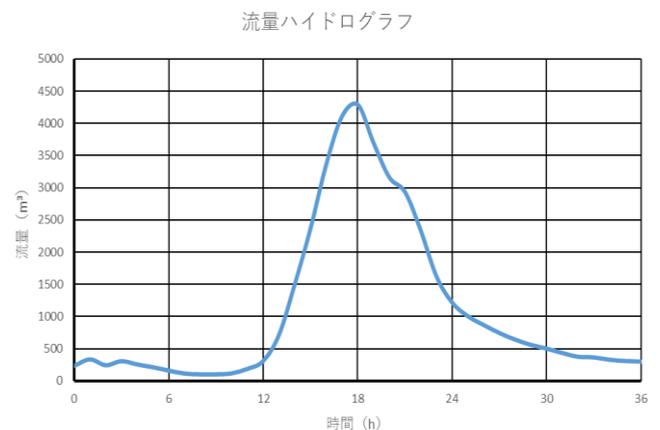


図-2 庄内川の流量ハイドログラフ

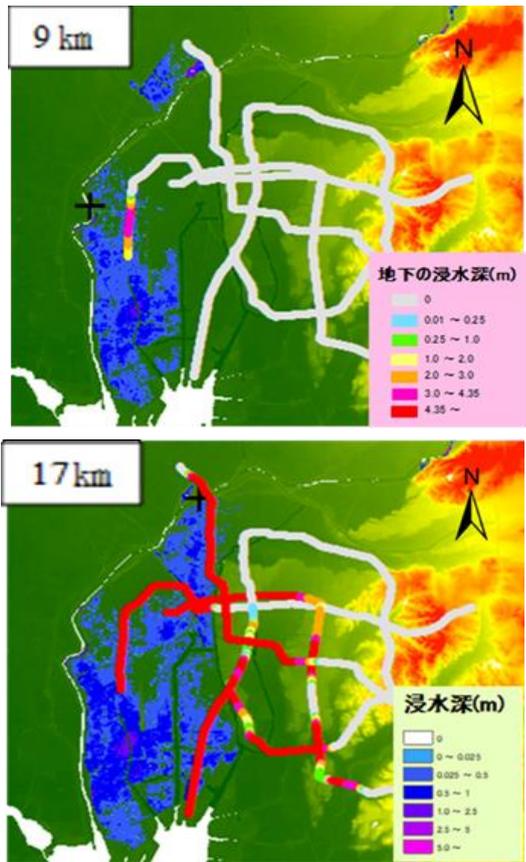


図-3 9 km, 17km 地点で破堤した場合の地上の最大浸水深

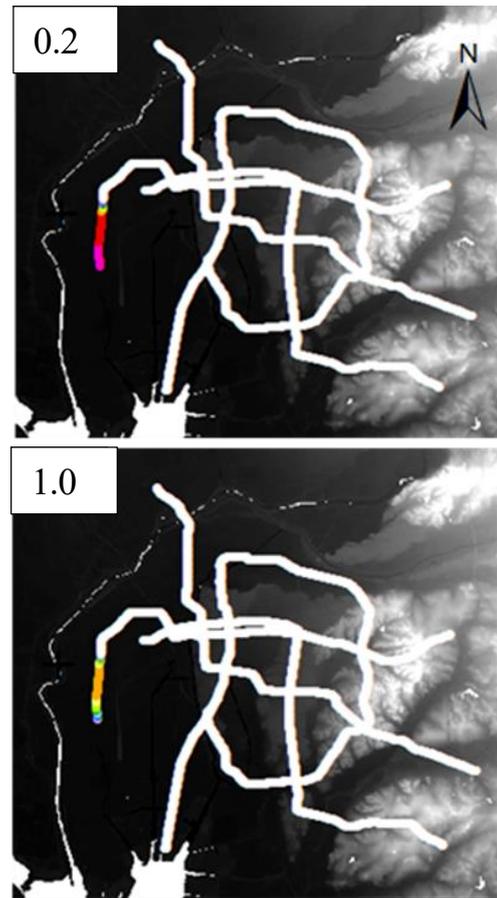


図-4 浸水深(0.2m,1.0m)への時間到達時間

4. 計算結果および考察

4.1 9km,17km の最大浸水深の比較

図-3に破堤箇所9km,17km地点の浸水の様子を示す。破堤点9 km地点では、東山線のみ地下空間への浸水もあり、被害の範囲は少ないが、一部の地下鉄では、浸水の高さが3m~4.35mまで行くため、危険性が高いことが分かる。破堤点17 km地点では、破堤点9 km地点に比べ、清水となる4.35mを超える清水が多数あり、被害範囲が広く、危険性も高いことが分かる。

4.2.1 破堤点9kmの地下鉄線路への浸水到達時間

図-4に地下鉄内の1.0mまでの浸水到達時間を示す。0.05m~0.2mまでは1時間から3時間までの間で早い段階で到達する。0.1mまでは、最短で1時間30分で到達し、地下鉄線路を走行する電車に影響が生じる条件となる0.2mでは、最短で1時間40分10秒で到達する。お腹当たりを1mとし、身動きが取れなくなる条件となる1.0mでは、最短で3時間10分20秒で到達し、遅い場所では、10時間30分で到達する。

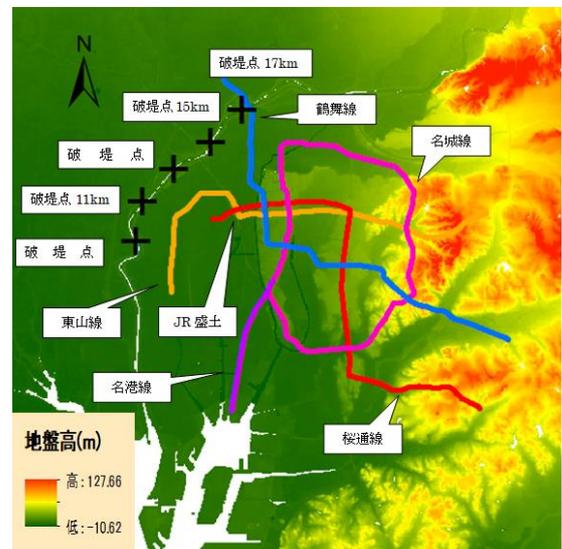


図-5 地下鉄線路の始点と向きと駅名

4.2.2 地下鉄線路の始点と向きと駅名

図-5に地下鉄線路の始点と向きと駅名を示す。

- 東山線は高畑駅から始まる。
- 鶴舞線は上小田井駅から始まる。
- 桜通線は中村区役所駅から始まる。
- 名港線は金山駅から始まる。
- 名城線は栄駅から下向きへ一回りする。

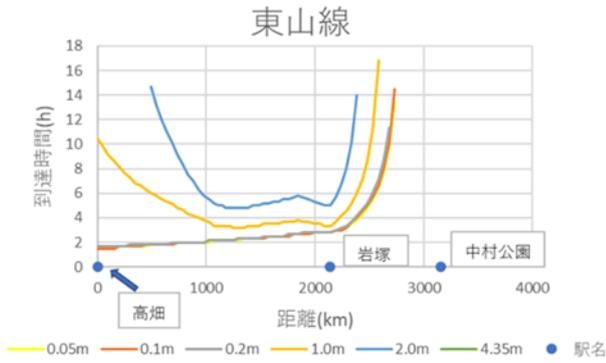


図-6 破堤点 9km の線路別の浸水到達時間

4.2.3 破堤点 9km の線路別の浸水到達時間

図-6 の横軸に始点からの距離を、縦軸に規定浸水深の到達時間を示す。図-6 の東山線のみ浸水が生じた。0.05m、0.1m の危険度の低い高さでは、高畑駅から岩塚駅にかけて1~2時間で到達し、最短で1時間30分で到達する。地下鉄線路を走行する電車に影響が生じる条件となる0.2mでは、最短で1時間40分10秒で到達する。1.0m、2.0m の危険度の高い浸水は高畑駅から岩塚駅の間で生じ、始点から1500km周辺が集中して到達時間の早いことが分かった。また4.35mの浸水に到達する箇所はなかった。以上から、9km地点では、1時間40分で電車の走行が難しくなり、東山線高畑駅周辺では、1.0m、2.0mまで浸水の高さが到達するので、危険であることが分かる。被害範囲は狭いが、一部では2mまで到達し、危険性が高いことが分かる。

4.3.1 破堤点 17km の地下線路への浸水到達時間

図7に規定浸水深の到達時間の分布を示す。0.05m~0.1mの浸水は最短で鶴舞線で19分、東山線は1時間10分10秒で到達する。0.2mの浸水は、鶴舞線において最短で30分で到達し、1.0mでは、鶴舞線において最短で1時間で到達する。2.0mでは、鶴舞線で1時間20分で到達し、桜通線では、1時間30分で到達し、東山線では1時間40分10秒で到達する。17km地点では、地下鉄線路が満水となる危険度の高い4.35mに早く到達し、東山線、鶴舞線が非常に危険であることが分かる。9km地点と比較すると、被害が甚大であり、金山駅に到達した浸水が名城線に流れ込むことで、地上の氾濫水は、名城線に到達しないが、地下鉄が浸水することが分かる。

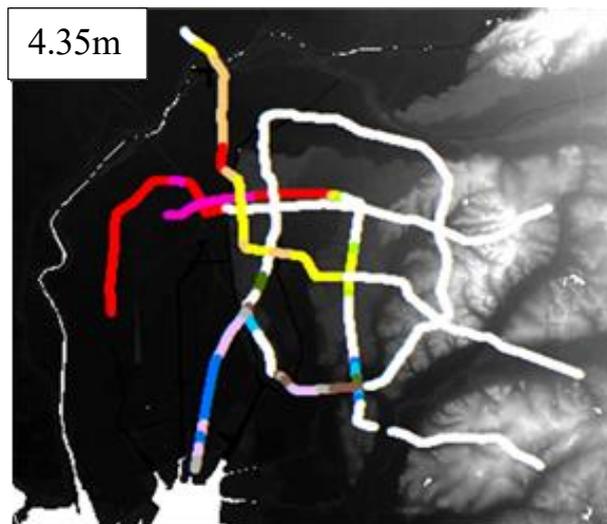
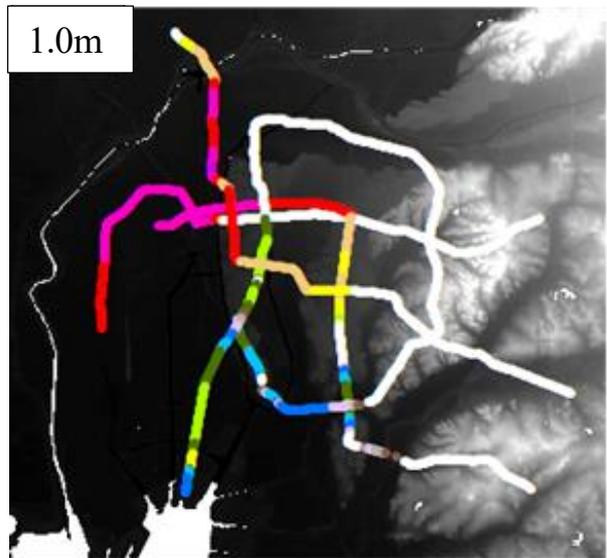
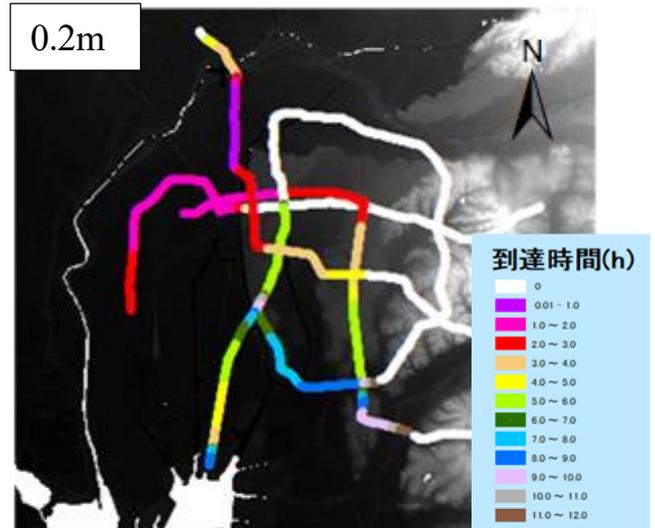


図-7 浸水深(0.2m,1.0m,4.35m)への時間到達時間

4.3.2 破堤点 17km の線路別の浸水到達時間

図-8 で見ていくと、鶴舞線では、庄内通駅、浅間町駅において、浸水深 1.0m は1時間から2時間で生じ、浅間町駅では、4.35m の浸水に2時間半で到達する。桜通線では、名古屋駅と久屋大通駅において2時間半で4.35m に到達する。東山線は浸水する大部分が、浸水深 4.35m に3時間以内に到達するなど非常に危険である。初めに鶴舞線庄内通駅に浸水が生じることが分かる。そこから浅間町駅へと流れていく。次に地表の氾濫水が桜通線、東山線の名古屋駅に入り、そこから各駅に浸水していく。東山線の中村公園駅、高畑駅は2.5時間で浸水深4.35mまで到達するが、地表の氾濫水は2.5時間後にはまだ浸水していないため、名古屋駅に流入した地下浸水が被害を出していることが読み取れる。また地表の氾濫水が届いていない名城線においては、鶴舞線と繋がる上前津駅や、東山線と繋がる栄駅、鶴舞線に繋がる久屋大通駅から流入した地下浸水により被害が出たことが分かる。以上のことから17kmでは一番初めに被害のする庄内通駅、浅間町駅が危険度が高いことが分かる。また名古屋駅は活動する人が多く、地表の氾濫水により、浸水深が4.35mにいち早く到達し、ほかの線路に流入し、被害を広げるため、危険度がとても高く、補修の必要な駅であることが分かる。

5. おわりに

本研究の成果を以下にまとめる。

- (1) 名古屋における浸水の破堤箇所・時間的な変化を詳細にまとめることで、将来的に起こり得る大規模水害発生時の浸水特性を確認できた。
- (2) 地下空間に着目し、破堤点による地下空間の浸水の特性や、規定した浸水深への到達時間が分かり、活動人口の多い名古屋駅も4.35mに二時間半で到達し、まだ地上の氾濫水が到達していない東山線高畑駅を満水にするなど、地下空間を通り、ほかの線路、駅に多大な影響を与えるなど補修、対策を重点的にすべき駅を確認できた。

参考文献

- 1) 藤田涼子：名古屋における地下空間を考慮した浸水解析,中部大学_工学部_工学科_都市建設工学科_卒業論文,2020年
- 2) 村瀬将隆・中島勇介・武田誠・川池健司・松尾直規：地下鉄を考慮した名古屋と大阪の大規模浸水解析,土木学会論文集B1(水学),vol.73.No.4,I_1441-I_1446.

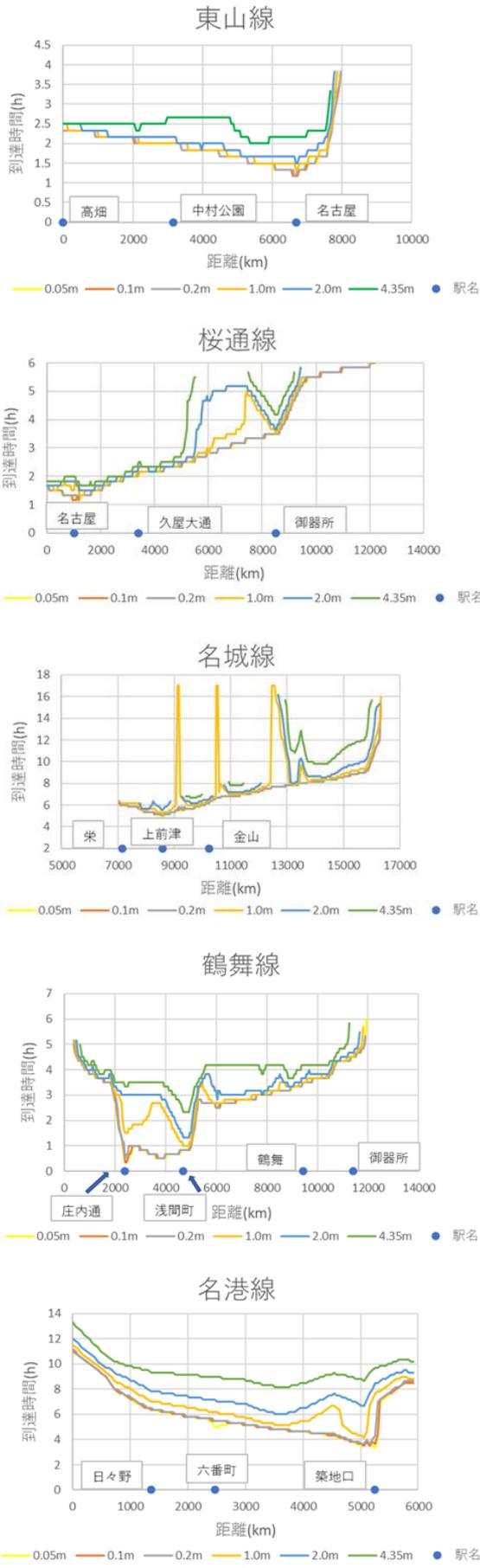


図-8 破堤点 17km の線路別の浸水到達時間

地下街の避難シミュレーションに関する基礎的研究

EC18063 松井 柁輝

1. はじめに

近年、2019年千曲川、2020年球磨川など大規模な浸水災害が多発しており、都市域における大規模な氾濫災害の発生も懸念される。仮に、大規模な浸水が都市域で生じれば、その氾濫水は低いところへ流れ広がる。都市には、地下鉄や地下街などの地下空間が存在し、そこへの流入は甚大な人的・経済的な被害を生じさせる。武田ら¹⁾は、名古屋駅前地下街を対象に庄内川の洪水による想定破堤氾濫の数値計算を行い、名古屋駅前地下街への流入と地下街の浸水の様子を検討した。そこでは、単位幅比力による避難困難度指標を用いて避難の様子を考察した。本研究では、地下街の浸水時の避難行動を詳細に検討するために、避難シミュレーションの構築を目的とする。

2. 地下街の避難シミュレーションモデルの検討

2.1 エリアにおける出口への移動

避難シミュレーションについて、これまで多くの研究が行われている²⁾³⁾⁴⁾。ここでは、地下街における避難を対象とし、個人の移動を数値モデルで表現する。個人は現在地から出口まで移動するとし、個人はある速度（本研究の場合1.4m/sとした）を持って移動する。

まず、図1のように計算領域を5m格子で表現し、その中央に人を配置した。個人の移動する方向は、A出口などの目標の方向と、B出口毎に計算格子中央の出口からの距離を求め、人の現在地から出口への最短となる隣接格子の中心方向の2つを考えた。その結果を図2と図3に示す。Bの場合、図3のように、ある経路に人が集中し、人の移動として不自然と判断した。そこで、出口への移動はAの方法を採用する。なお、図4は出口が複数ある場合の人の移動の様子を示す。それぞれが目的とする出口に移動していることが分かる。

2.2 通路を伝う移動

つぎに、通路を伝う人の移動を考える。対象領域を図5に示す。本図から通路を伝って、距離のある出口へ移動する様子を検討する。まず、Aのモデルで出口方向へ移動すると、図6のように、壁の中へ移動してしまうことから、通路を意識した人の移動を検討する必要がある。そこで、エリア毎に番号を付けて、出口があるエリアに人が来たらAの方法で出口に向かい、別のエリアから出口へ向かう場合に、次に進むエリア情報、次のエリアへの目標となる格子位置情報を与えて、そこへ移動するようにモデ

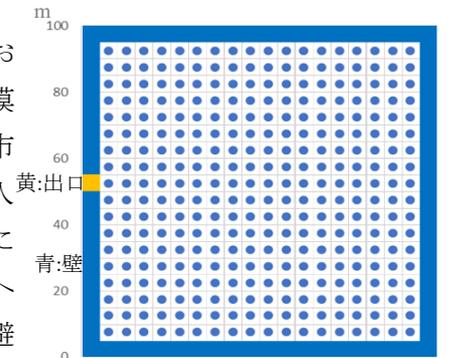


図1 モデル領域と初期配置^m

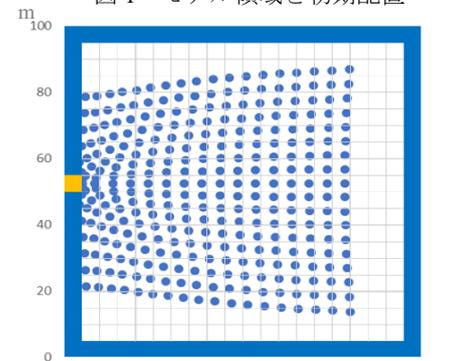


図2 人の移動(10秒後 Aの場合)^m

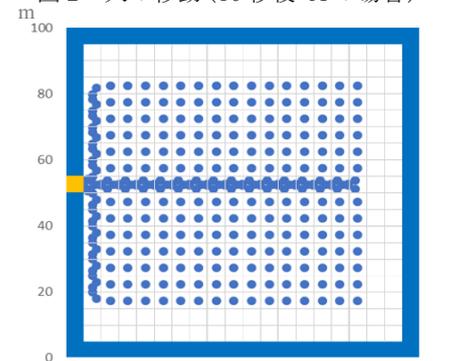


図3 人の移動(10秒後 Bの場合)^m

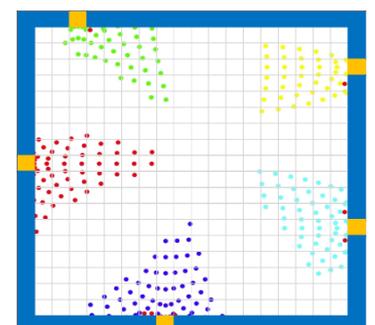


図4 人の移動(多数出口あり)

ル化を行った。その計算結果を見ると、通路を通じて出口への人の移動が示されていたが、わずかに壁に入った人が次の目標となるエリア情報(格子位置情報)が得られずに誤った動きをしていた。そこで、Aの方法で目的地へ向かう人が壁の中に入ってしまった場合、Bの方式で再度移動を計算することで、壁の中への移動を妨げるよう工夫した。その結果が図8である。本図から、通路を伝って別の出口に移動する人の様子が確認される。今後は、出口への複数の経路がある通路を想定した解析を行うと共に、人の密度(込み具合)による歩行速度の減少、年齢や性別による歩行速度の違いなどを考慮することが課題と考える。

3. おわりに

本報では、地下街を対象に人の移動に関するモデル開発を行った。現状では第一段階の検討であるが、今後、人の移動に関わる様々な要因を考慮して避難シミュレーションモデルの高度化を進めたい。さらに、開発されたモデルを活用して、地下浸水時の避難について考察したいと考えている。

参考文献

- 1) 武田誠, 鷲山陸, 佐藤大介, 村瀬将隆: 洪水を対象とした名古屋駅前地下街の浸水解析と避難に関わる検討, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第26巻, pp.37-43, 土木学会, 2021.
- 2) 武田誠, 井上和也, 戸田圭一, 川池健司: 高潮ハザードマップと避難に関する二・三の検討, 第44回海岸工学論文集, pp.356-360, 1997.
- 3) 関根正人: 複雑な構造をもつ地下鉄駅構内の浸水過程と避難誘導に関する数値解析, 水工学論文集, 第54巻, pp.907-912, 2010.
- 4) 尾崎平, 河南友也, 檀 寛成, 石垣泰輔: 内水氾濫と避難シミュレーションによる地下空間浸水対策の評価, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第26巻, pp.8-17, 2020.

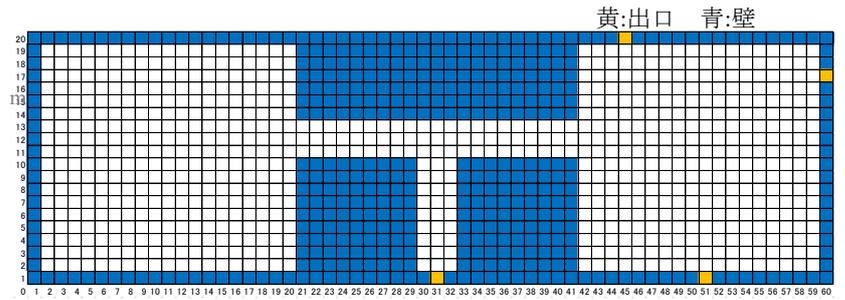


図5 通路が有る場合のモデル領域

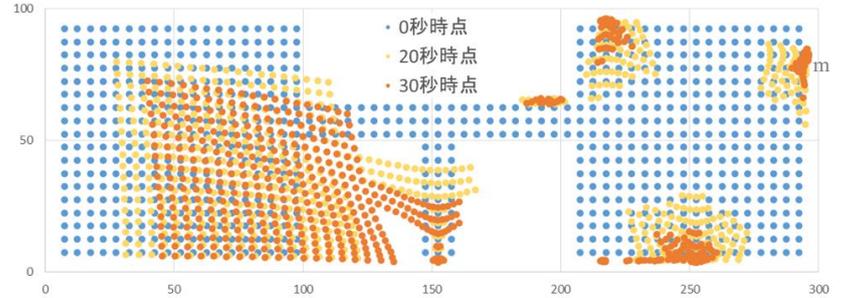


図6 人の移動の計算結果

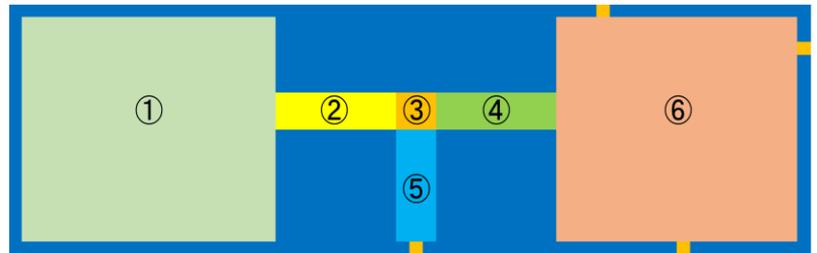


図7 領域の区分

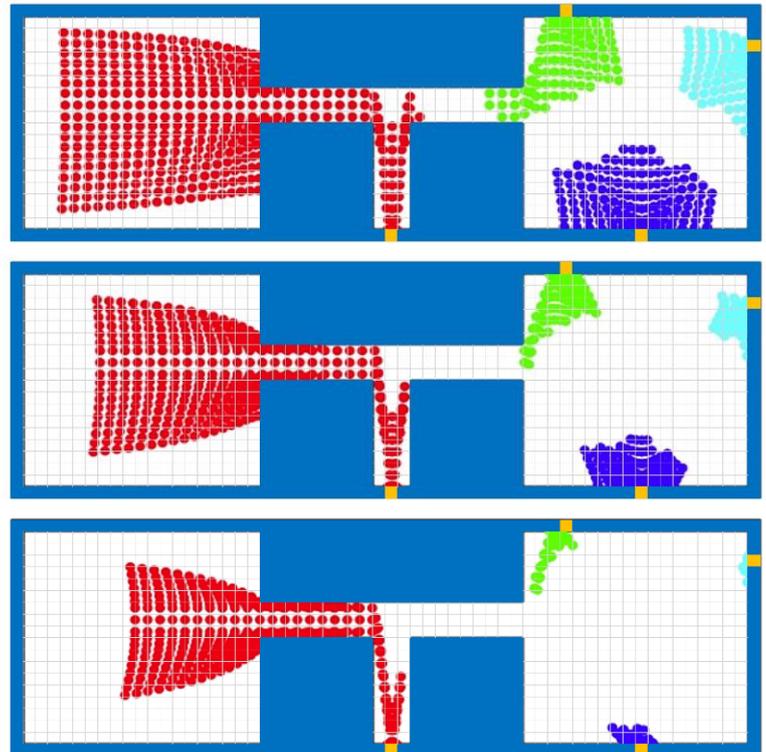


図8 人の移動の計算結果(壁のモデル化有り)

水理解析における並列計算の適用

1. 研究背景, 目的

近年, 洪水による大規模な破堤氾濫が生じ, 甚大な浸水被害が多く発生している. 気候変動による予測では, 今後も大雨や短時間に降る強い雨の頻度はさらに増加するとされている. これらの災害対策を検討する場合, 浸水解析は重要なツールとなる. また都市の浸水は, 道路や建物, 小河川などの細かな都市構造の影響を受けて広がることから, 計算格子は小さく設定することが望ましい. そのような場合は計算容量の制約があるため, 計算領域は狭くとらざるを得ない. 小さな計算格子を用いた広域の氾濫解析は, 現在望まれている解析技術といえる. 本研究では, 中部大学にある SCOPE¹⁾²⁾を活用して, 並列計算を用いた流れの解析および浸水解析のシステム構築を行う. 並列計算は中部大学武田研究室初の試みである. 計算時間の短縮と精度向上が見込まれる.

2. 計算条件

計算式は浅水方程式を用いる. 縦 20m, 横 20mの格子を縦 20 個, 横 100 個配置し矩形の川を想定する. 左側を上流, 右側を下流として上流から流量 Q を与え, 下流には等流水深を与える. ここで, 下流側左岸に浅瀬を想定して隆起させた. 本研究では, 1つのプロセッサーでの解析 (以下, 逐次計算と呼ぶ) と2つのプロセッサーでの解析 (以下, 並列計算と呼ぶ) を行う. 並列計算では流量や等流水深, 地形条件及び計算式は逐次計算と同じである. 違いは大きく2つある. 1つ目はプロセッサー2つを使って領域を半分に分け, 各プロセッサーで計算を行うことである. 2つ目は各プロセッサー間の計算結果を共有するためにプロセッサー間で通信が行われることである. 左半分をプロセッサーA, 右半分をプロセッサーBの計算領域とする. イメージ図を図1に示した. 解析する時間は1時間で, 流量を時間によって変動させる. これを図2に示した. 計算開始から 1200 秒後が

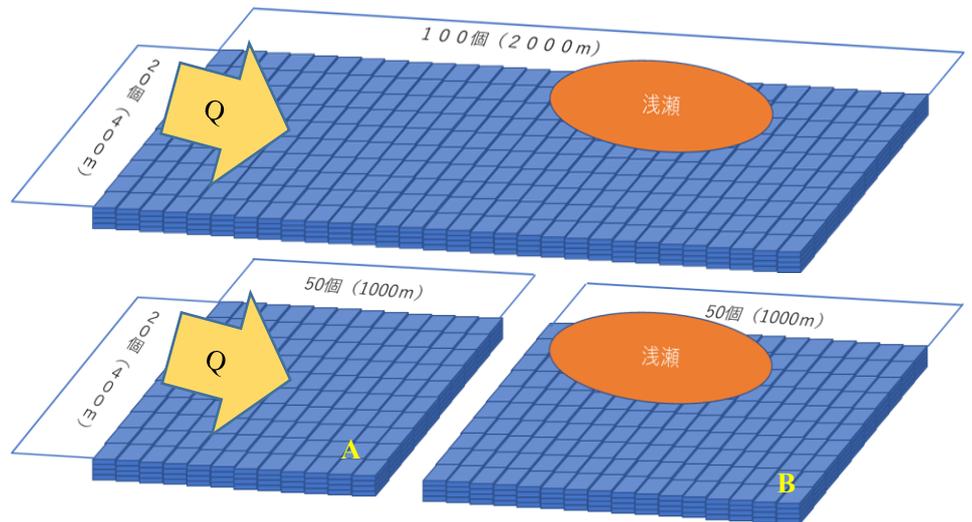


図1. 計算条件イメージ
上段: 逐次計算 下段: 並列計算

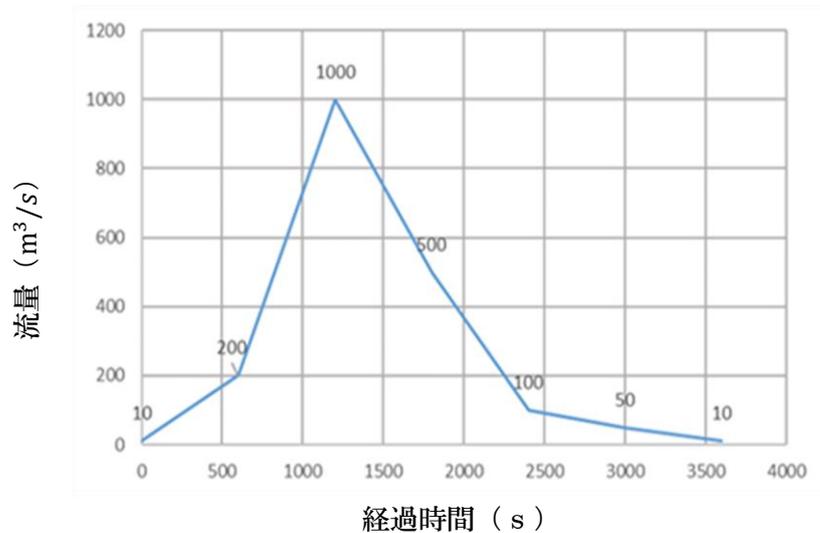


図2. 流量 Q の時間変化

1000m³/sで最大となっている。以下に並列計算の計算手順を、図3にフロー図を示す。ここで、逐次計算の場合はプロセッサが1つであるため、「1次元データの作成、データの受け渡し、1次元データから2次元データへの変換」の過程が存在しない。

0 計算開始。

1 地盤高や境界条件等を読み込む。

2 時間 T=0s に設定する。

3-1-A, B 運動量方程式を使って運動量を計算する。

-2-A 下端2列の計算結果を1次元データに変換。

-B 上端2列の計算結果を1次元データに変換。

-3-A 変換したデータをBへ送る。

-B 変換したデータをAへ送る。

-4-A Bのデータを受け取る。

-B Aのデータを受け取る。

4-1-A, B 連続式を使って水深を計算する。

-2-A 下端2列の計算結果を1次元データに変換。

-B 上端2列の計算結果を1次元データに変換。

-3-A 変換したデータをBへ送る。

-B 変換したデータをAへ送る。

-4-A Bのデータを受け取る。

-B Aのデータを受け取る。

5 水深を使って流速を計算する。

6 一定時間毎の得られたデータをファイルに書き込む。

7 $T=T+\Delta T$ (0.01s)。

8 $T>T_{max}$ (3600s) になるまで3から繰り返す。

9 計算終了。

計算終了後、計算結果はプロセッサ毎に出力されるので出力されたデータを統合する必要がある。

3. 結果, 考察

逐次計算と並列計算について、以下の4つのデータを出力した。

- 1 時間 T が 300s 毎の、すべての格子の x 方向の流速 (m/s)。
- 2 T が 300s 毎の、すべての格子の y 方向の流速 (m/s)。
- 3 T が 300s 毎の、すべての格子の水深 (m)。
- 4 プログラム解析にかかった時間 (s)。

計算精度の確認のため、流速のデータを用いてベクトル図を作成した。また、全格子の流速の絶対値を出して「逐次計算の結果-並列計算の結果」を計算し、エクセルのカラースケールを用いて差を確認した。水深も同様に差を確認した。以上の結果の一部を下記にまとめる。

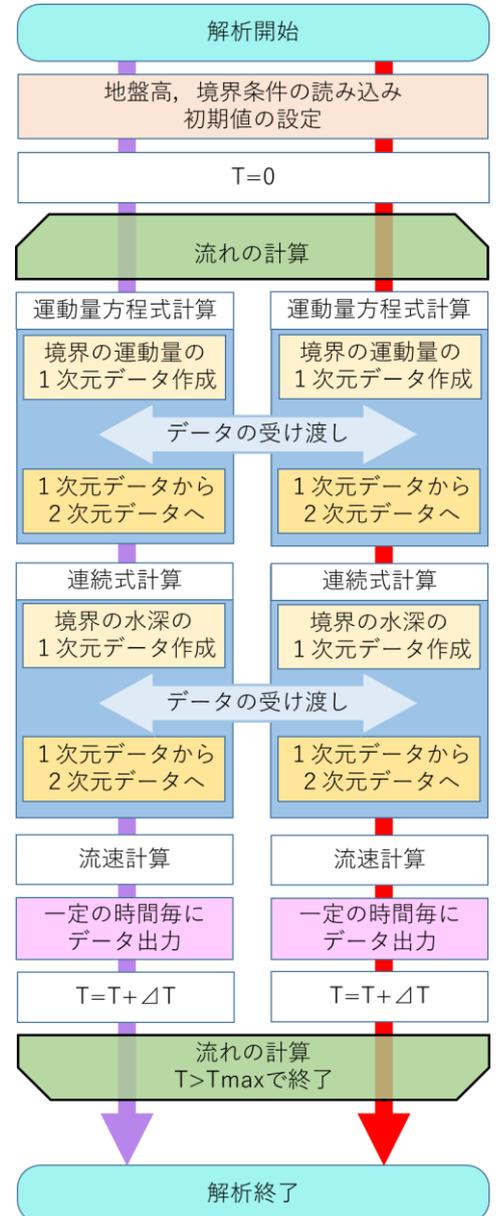


図3. 並列計算手順のフロー図

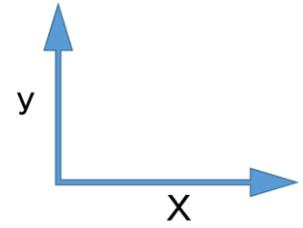
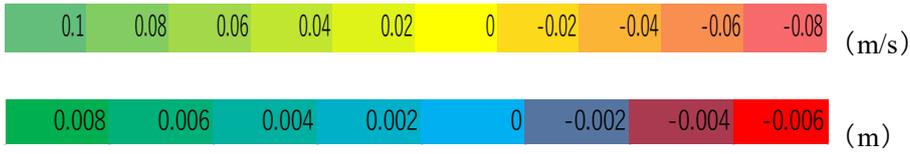


図4. 差の分布のスケール
(上：流速，下：水深)

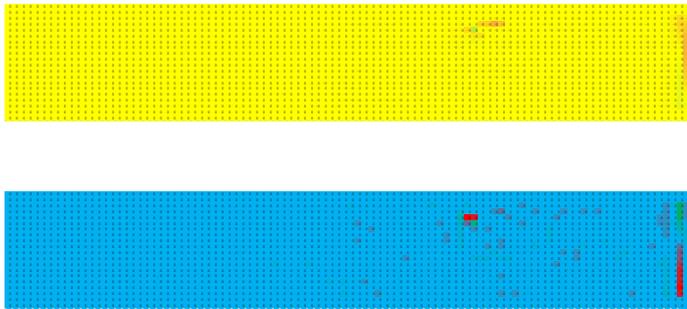


図5. 1500s の差の分布
(上：流速，下：水深)

3m/s

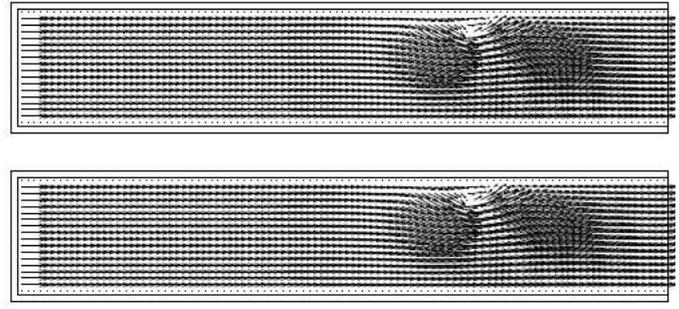


図8. 1500s のベクトル図
(上：逐次計算，下：並列計算)

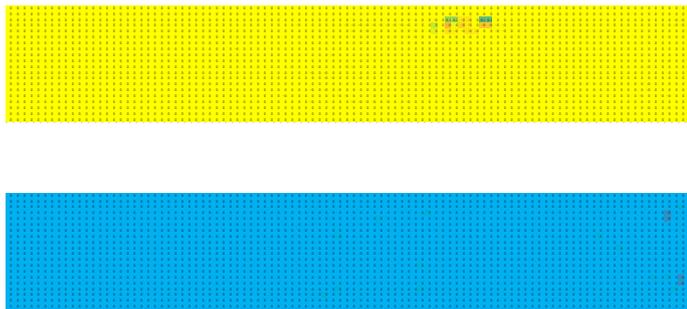


図6. 2400s の差の分布
(上：流速，下：水深)

3m/s

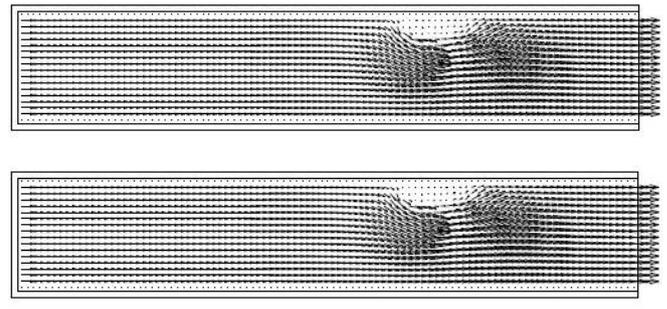


図9. 2400s のベクトル図
(上：逐次計算，下：並列計算)

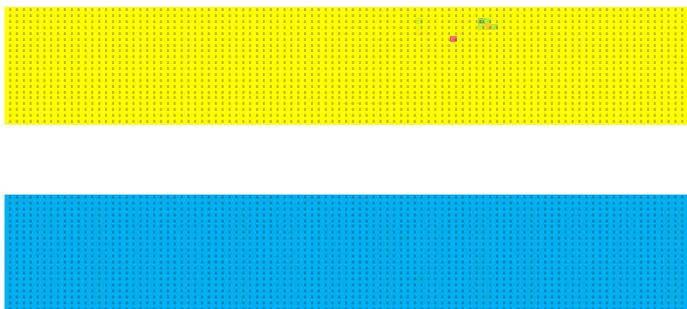


図7. 3000s の差の分布
(上：流速，下：水深)

3m/s

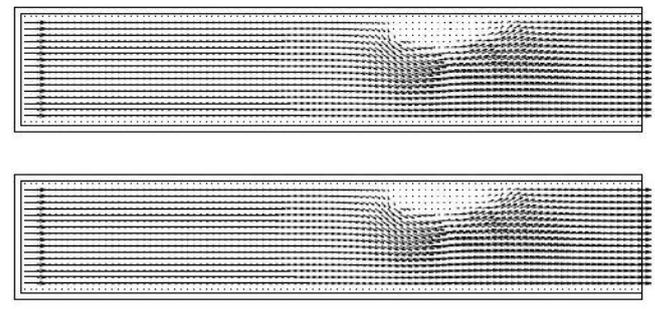


図10. 3000s のベクトル図
(上：逐次計算，下：並列計算)

ここまでの結果より、並列計算はエラーすることなく最後まで計算された。そして、ベクトル図を見ると誤差はほとんど確認できない。よって解析は成功したと考える。

また流速の差は、2400sの時に最大0.098m/s、3000sの時に最小-0.076m/sであった。これらを各時間の平均流速、「差と平均流速」の百分率と共に表1にまとめた。この差は6,7%と小さいとは言えないが、差が発生した箇所のほとんどは浅瀬や境界条件の付近かつ短時間であった。加えて、発生した差が以降の計算に大きく影響した様子は見られなかった。

次に水深の差は、1500sの時に最大0.007m、及び最小-0.006mであった。これらを平均水深、「差と平均水深」の百分率と共に表2にまとめた。この差は1%未満と小さいため、無視できる誤差である。

最後にプログラム解析にかかった時間を表3にまとめた。計算にかかった時間は、解析開始コマンドの前に「解析時間をウインドに表示」させるコマンドを入力することで測った⁵⁾。並列計算の解析時間は逐次計算の約64%に短縮できた。ここで、初めは計算時間が50%近くになると考えていたが、約64%までしか短縮されなかった。これはプロセッサ間での通信が発生しているためであり、通信回数が少なければもう少し短縮できると考える。

表1. 平均流速と流速の差の最大、最小及び割合

	平均流速 (m/s)	最大値 (m/s)	最小値 (m/s)	百分率 (%)
2400s 時	1.532	0.098		6.4
3000s 時	1.077		-0.076	-7.1

表2. 平均水深と水深の差の最大、最小及び割合

	平均水深 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)	百分率 (%)
1500s 時	1.057	0.007		0.7
			-0.006	-0.6

表3. 逐次計算と並列計算の解析時間

	解析時間	システム CPU 時間	ユーザー CPU 時間	コマンド実行時の CPU 使用率
逐次計算	140.43s	0.02s	139.01s	99%
並列計算	89.71s	0.22s	179.10s	199%

4. 成果と今後の課題

本研究では以下の成果が得られた。

- ・並列計算がエラーなしで解析できた。
- ・計算時間は大幅に短縮できる。
- ・誤差が小さいため計算精度は妥当である。

次に今後の課題を記す。

- ・今回扱った計算は情報量が少ないため、今回よりも広範囲で複雑な流れで解析を行った場合でも精度が保てるかを見ていく必要がある。
- ・今回は2つのプロセッサを使用した。使用するプロセッサを増やした場合の精度や計算時間がどのように変化するかを見ていく必要がある。

参考文献

- 1) 浅野栄治：SCOPE 並列計算利用講習会 2021,
MPIによる並列プログラミング～差分法二次元分割～, 中部大学 SCOPE 資料, 2021.
- 2) 中部大学：SCOPEについて <http://www.dg.chubu.ac.jp/about.html> (参照 2021-9-15)
- 3) SE おっさん：フローチャートで簡単にループを抜ける方法！2つの図形と3つの判定
<https://kenko-keep.com/loop-exit/> (参照 2022-1-11)
- 4) いのき：フローチャートループ（繰り返し）の意味と書き方
<https://www.edrawsoft.com/jp/how-to-make-flowchart-loop.html> (参照 2022-1-11)
- 5) 西村めぐみ：【time】コマンド（外部コマンド）——コマンドの実行時間と実行時のシステムリソース情報を計測する <https://atmarkit.itmedia.co.jp/ait/articles/1810/25/news022.html> (参照 2021-12-21)

東京を対象とした都市浸水に関する検討

EC18072 山口貴誉

1. はじめに

近年、地球温暖化により、大雨による洪水氾濫が世界各地で発生している。平成16年10月に発生した台風22号では、東京都港区の地下鉄麻布十番駅の出入口より雨水が流れ込み、改札通路、ホームおよび線路が冠水し、南北線は一時不通となった。東京では地下鉄や地下街といった地下空間が高度に開発されている。東京の地下鉄は1日に約498万人利用しており、都市部で大規模な浸水が生じれば甚大な被害が考えられる。そのため、東京における浸水状況を予測し、危険性を明確にし対策を行う必要がある。本研究では、東京を対象とした浸水解析を検討する。武田研究室で過去に行われた研究を踏まえ、特にGISを用いて解析結果の表示を工夫して、地下空間に注目して東京の浸水特性と浸水対策を検討する。それにより、東京の地下空間の浸水状況を明らかにし、危険性を明確にし、対策を検討する。

2. 解析モデル

本研究では、河川を1次元不定流モデルで、地表面氾濫流をデカルト座標の平面2次元不定流モデルで解析し、互いを越流公式で接続している。地上は50mの計算格子を設定し、河川は200mで区分した。また、地下街・地下鉄駅を1つのボックスとしてとらえ、氾濫水は複数ある地上の入口から地下街・地下鉄駅へ流入・流出し、地下街・地下鉄駅では地上の入口からの流入・流出流量と地下鉄路線への流入・流出流量を考慮して連続式により水の収支が計算される。また、地下街・地下鉄駅に繋がっている路線では地上からの流入・流出流量が考慮され、その他の路線では考慮されずに、スロットモデルを用いた1次元不定流解析で水の流れを表現した。

3. 地下鉄データの修正

これまでの武田研究室での東京の浸水解析では、荒川の左岸側で地下浸水が確認された。そのため、220個の駅情報と1454個の入口座標を1つずつGISで表示し確認を行った。三田駅、高輪台駅、五反田駅、戸越駅、曙橋駅、岩本町駅、菊川駅、一之江駅、篠崎駅、本八幡駅、新高島平駅、高島平駅、志村三丁目駅、志村坂上駅、御成門駅の計15駅の入口座標28か所を修正した。図-1は、寺井¹⁾による小河川や堤防を考慮していない場合の、河口から12km地点の破堤による24時間後の解析結果である。この解析結果では、荒川の左岸側の地下鉄に浸水が生じていることが分かる。図-2は、データを修正した後の解析結果である。荒川左岸の浸水が無くなり、より現実的な解析を行えるようになった。本研究では、修正した地下鉄のデータを使用する。

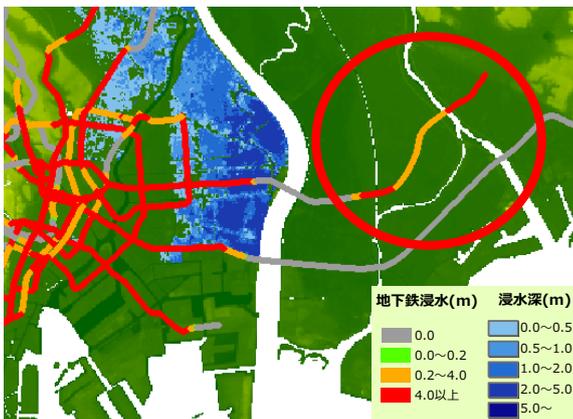


図-1 修正前の解析結果

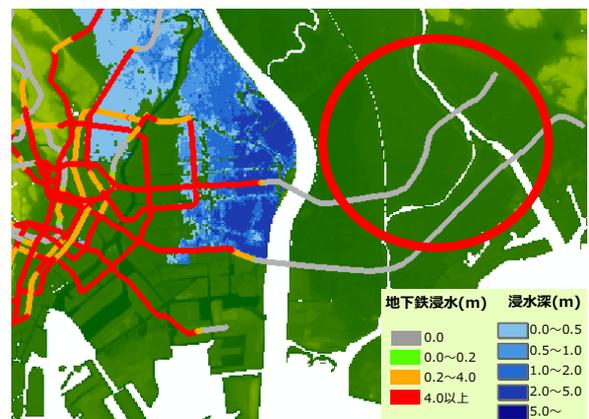


図-2 修正後の解析結果

4. 計算領域および計算条件

本研究では、東京都内の荒川流域を対象とする。計算領域を図-3 に示す。荒川の計画洪水流量 $7000\text{m}^3/\text{s}$ をピーク流量とする洪水流量ハイドログラフを上流端に与え、ピークとなる 19 時間後に破堤させた。下流端には振幅 1m, 周期 12 時間の潮汐変動を与えた。河口から 12km 地点, 16.5km を破堤箇所とし、破堤幅は 100m とした。本研究ではポンプによる排水は考慮していない。

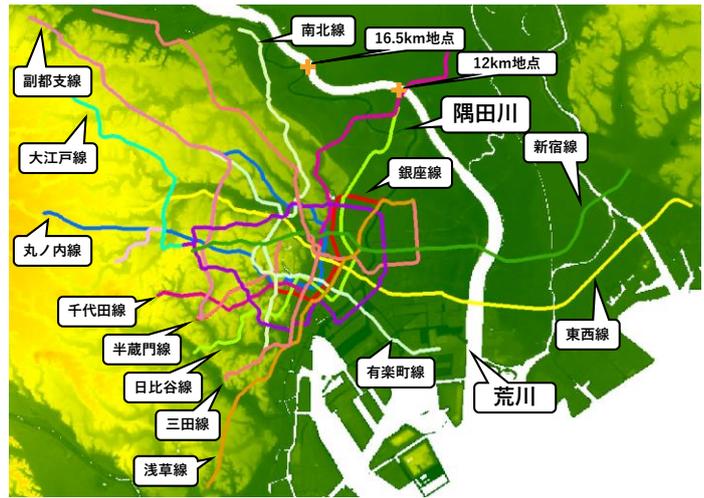


図-3 計算領域

5.1 12km 地点破堤の場合

図-4 に、破堤箇所 12km 地点の最大浸水深を示す。図-5 に、破堤箇所 12km 地点の地下浸水の到達時間を示す。破堤地点が河口から 12km では、0.2m の地下浸水が 0.5 時間後には生じている。0.2m の地下浸水は電車の走行に影響がある深さである。3 時間後には東京駅まで 0.2m の浸水がみられる。24 時間後には多くの路線で 0.2m の浸水が起きていることが分かる。また、4.35m の地下浸水は満水の状態であり 1 時間後から生じている。1.5 時間後には北千住駅周辺に満水の区間が多くみられる。24 時間後には東京駅周辺にも多くの区間で満水になることが分かる。

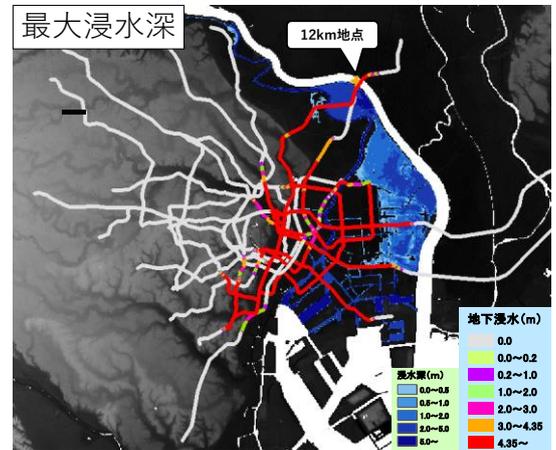


図-4 破堤箇所 12km 地点の最大浸水深

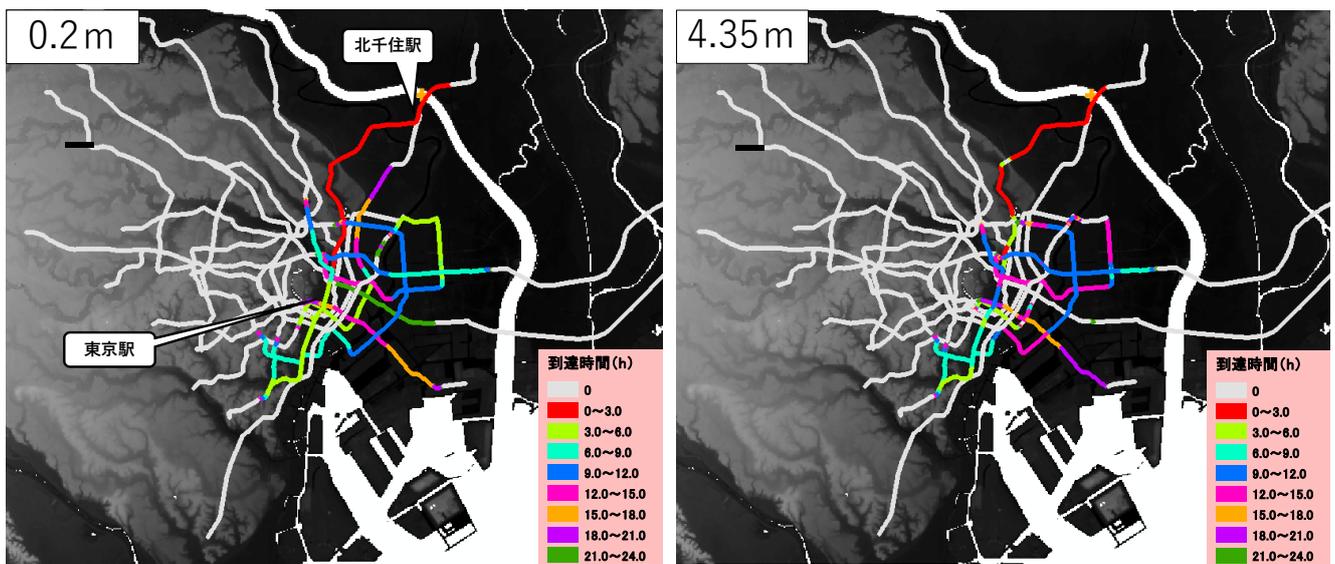


図-5 破堤箇所 12km 地点の地下浸水の到達時間

5.2 16.5km 地点破堤の場合

図-6 に、破堤箇所 16.5km 地点の最大浸水深を示す。図-7 に、破堤箇所 16.5km 地点の地下浸水の到達時間を示す。破堤地点が河口から 16.5km では、0.2m の地下浸水が 2 時間後には南北線で起きている。2.5 時間後には町屋駅周辺でも地下浸水が起きている。24 時間後には南北線、千代田線で多くの区間で浸水がみられる。また、4.35m の地下浸水は 2.5 時間後から王子神谷駅周辺から浸水が起きている。24 時間後には南北線、千代田線で浸水が起きていることが分かる。

16.5km 地点では破堤箇所から近い王子神谷駅から地下浸水が起きていることが分かった。2.5 時間後に地上の浸水が町屋駅周辺まで来ており地下浸水が起きていることが分かった。

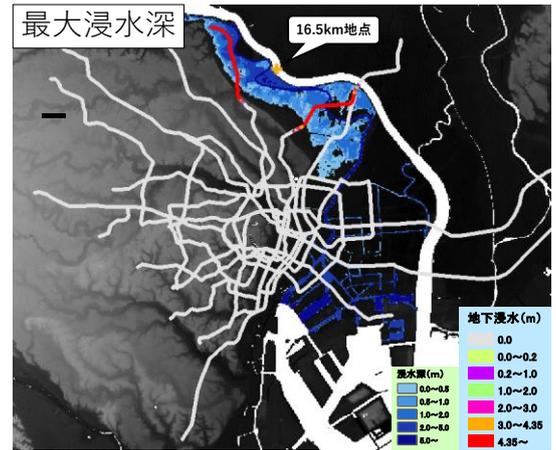


図-6 破堤箇所 16.5km 地点の最大浸水深

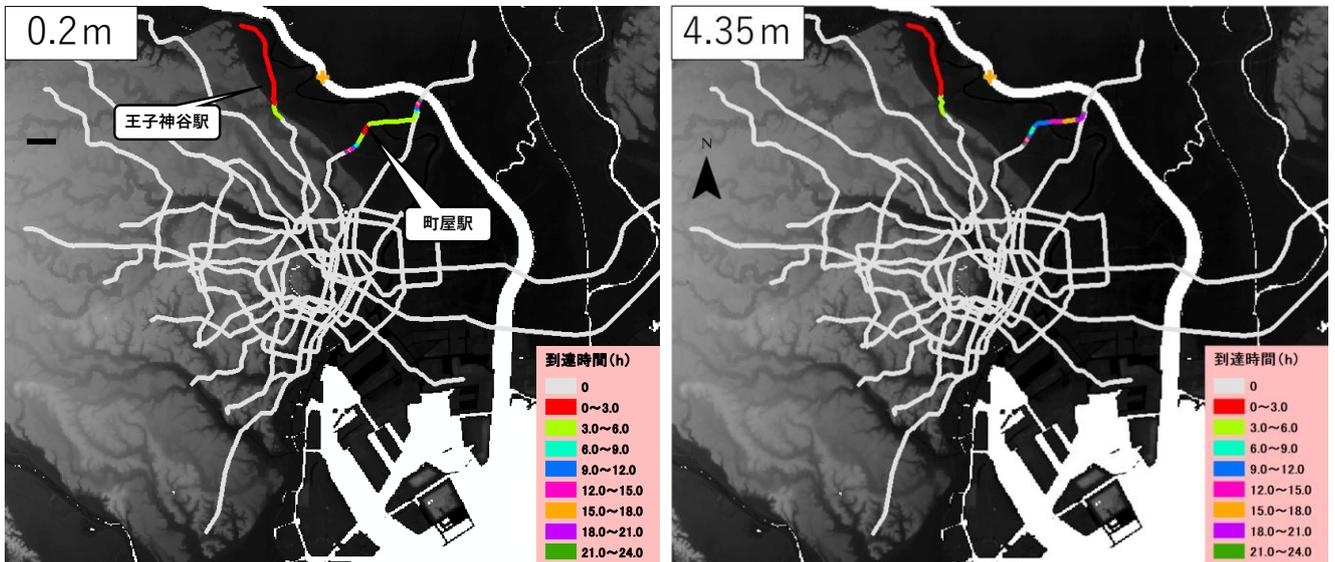


図-7 破堤箇所 16.5km 地点の地下浸水の到達時間

5.3 3km 地点から 19km 地点の破堤による結果の整理

図-8 に、3km 地点から 19km 地点の 1km ごとの解析結果から得た、地下浸水 2m の到達時間の最短の情報を示す。また、図-9 に、最大浸水深の解析結果を重ねた図（最大値）を示す。図-8 より、南北線の赤羽岩淵駅から王子駅まで、千代田線の北千住駅から湯島駅まで、新宿線の住吉駅から大島駅までが 1 時間から 2 時間で浸水 2m に到達するため危険性が高いことが分かる。また、日比谷駅、大手町駅周辺でも 3 時間から 6 時間後には浸水が生じており、安全とはいえないことが分かる。図-9 より、多くの区間で満水のある場所があり、荒川が破堤した時は地下空間が危険だということが分かる。

6. おわりに

本研究では、先行研究を踏まえ地下空間に着目して東京の浸水解析を行った。破堤箇所による浸水特性、地下浸水に至るまでの時間変化をまとめ、危険性の検討を行った。

16.5km 地点では南北線の王子神谷駅や千代田線の町屋駅から地下浸水が起きており、地上の浸水に伴い地下浸水が起きたことが分かる。24 時間後でも地下浸水はそこまで広がらないことが分かる。12km 地点では、千代田線

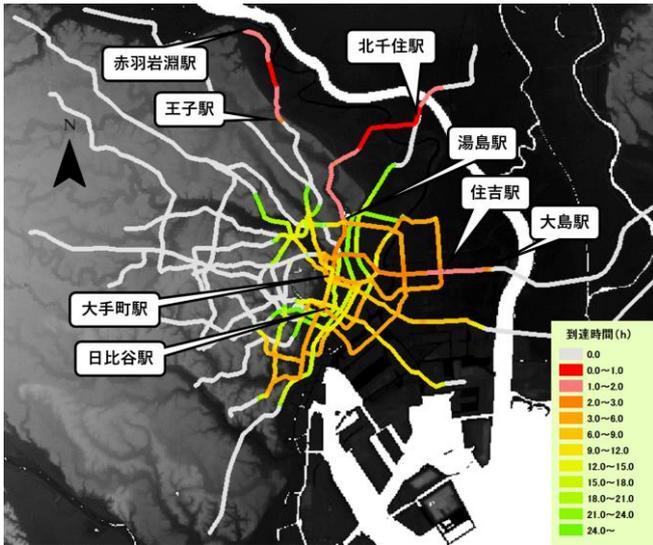


図-8 地下浸水 2m の到達時間

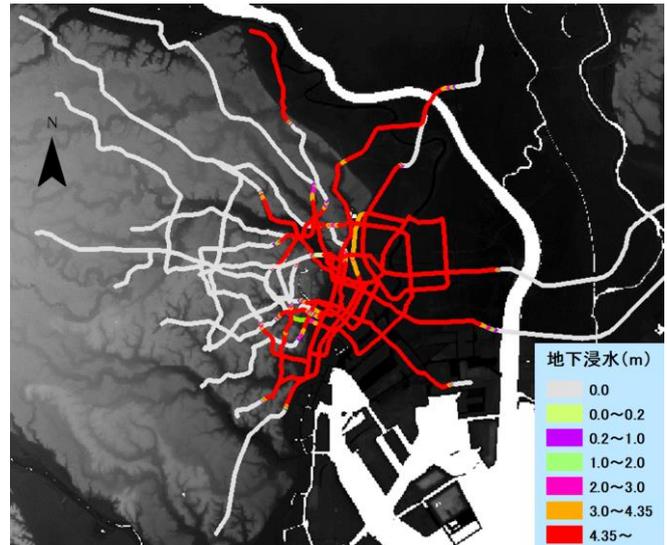


図-9 最大浸水深

の北千住駅から浸水が始まった。24 時間後には地下浸水は広範囲にみられた。地上の浸水では荒川右岸側で浸水が起きており、東京駅周辺では地上の浸水はないため地下空間によって広がっていることが分かった。12km 地点は 16.5km 地点に比べて地下浸水が広範囲にみられた。大手町駅、日比谷駅には複数の線路があるため大手町駅、日比谷駅まで地下浸水が起きると被害が拡大していると考えられる。地下は地上より低いいため流入しやすく、地上に比べて早く広範囲に広がるため危険性が高いことが分かった。

荒川に近い南北線、千代田線、新宿線は地下浸水が 1 時間から 2 時間で 2m に到達しやすいため危険性が高いことが分かった。特に、大手町駅、日比谷駅がある千代田線への流入量を減らす、または防ぐことで浸水を減らせれば地下浸水の被害を軽減できると考えられる。

以上より、地下浸水に至るまでの時間による浸水解析を行うことで浸水の特徴を明らかにすることができた。

参考文献

- 1) 寺井大稀：東京都における地下空間および小河川を考慮した浸水解析，令和 2 年度中部大学卒業論文概要，2020
- 2) 森兼政行・井上知美・石垣泰輔・尾崎平・戸田圭一 地下駅を考慮した大規模地下空間での浸水特性と浸水対応策の効果に関する検討 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.68, No.4, I_1003-I_1008, 2012.
- 3) 国土交通省 台風 22 号
https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/2005/28.pdf (参照 2022-01-12)