

内外水同時氾濫解析モデルを用いた 時空間的な浸水リスク評価

よねだ はやせ さとう まこと かわむら いくお
米田 駿星¹・佐藤 誠²・川村 育男¹

¹ (株)建設技術研究所 北海道支社 河川室 (〒060-0003 札幌市中央区北3条西3丁目1-6)

² (株)建設技術研究所 東京本社 河川部 (〒330-6030 埼玉県さいたま市中央区新都心11-2
明治安田生命さいたま新都心ビル30F)

令和元年台風第19号では、主要河川の破堤や越水だけでなく内水氾濫による被害が多く見られた。一般的に大河川の浸水想定区域図は外水氾濫を対象に作成されており、大河川氾濫時に発生すると想定される中小河川、下水道の氾濫を考慮した時空間的な浸水リスクの評価手法は十分に確立されていない。本検討では、大河川の氾濫原において中小河川、下水道を考慮した内外水同時氾濫解析モデルを開発し、内水氾濫から外水氾濫までの大規模洪水時の浸水状況を時空間的に算定した。更に、浸水による危険性を示す浸水リスクマップを作成し、危険箇所を適切に抽出する手法を新たに提案した。

Key Words: 内外水同時解析,大規模洪水,浸水リスク評価

1. はじめに

近年、日本全土で大規模洪水が頻発し甚大な被害が発生している。2015年9月の関東・東北豪雨災害では、鬼怒川直轄管理区間で堤防が決壊し、茨城県常総市の約1/3の面積(約40km²)が浸水する大規模洪水が発生した¹⁾。鬼怒川では決壊前に中小河川が氾濫し、住民が鬼怒川の氾濫流と勘違いして避難判断を遅らせる要因となり逃げ遅れが発生した^{2,3)}。更に、令和元年台風第19号では、主要河川の破堤や越水だけでなく内水氾濫による被害が多く見られた⁴⁾。大規模洪水時には、まず氾濫域の中小河川から氾濫が発生することが考えられ、中小河川の氾濫で死者発生、避難判断の遅延、避難経路の制限などの浸水リスクを有している。洪水時の浸水域を住民に伝える浸水想定区域図の作成では、同流域に位置する河川でも河川管理者ごとに個別に浸水域が検討されている。そのため、大規模洪水時の河川毎の最大浸水域は捉えることができていないが、時空間的な複数河川からの氾濫による浸水域の変化は十分に捉えることが出来ていない。更に、下水道が整備された市街部では、下水道からの溢水による内水氾濫の発生も懸念される。住民の家が複数河川の氾濫域内に位置し、内水氾濫も発生する地域の場合、大規模洪水時の避難判断時の浸水状況は複雑であり、一般

的な河川毎の浸水想定区域図では避難経路等の判断が難しいことが考えられる。住民が避難を判断するには、いつ避難すべきなのか、避難所までのルートに危険はないのかなどの浸水リスクを事前に知ることが望ましいが、外水及び内水氾濫を考慮した数値解析手法は研究^{5,6)}されているが時空間的な浸水リスクの評価手法は確立されていない。本検討は、大規模洪水時に実態に即した複雑な氾濫形態を把握し、浸水リスクを分かり易く示すことで避難計画等の基礎情報の提供を目的とした。そのために、中小河川や下水道を一体として解析可能な内外水同時解析モデルを用いて、時空間的な浸水リスクマップを作成し、浸水リスクを評価する手法を提案した。

2. 大規模洪水時における浸水リスク評価手法の提案

大規模洪水時には、床上浸水の発生、家屋倒壊、浸水期間の長期化等が発生するため、住民は避難警報の発令を受け、避難所への水平避難や垂直避難の判断を迫られる。このうち、水平避難時には中小河川の溢水、下水道からの内水氾濫が発生し、すでに浸水リスクの発現している場合がある。これらの氾濫で住民の避難経路が浸水し、避難が困難になることや浸水リスクの高い地点を避難者が通過する等の危険性が考えられる。本研究では、

これらの危険性を回避するため、図-1に示すリスク評価法を提案した。以下に、当手法の具体的な検討方法を示す。

(1) 大規模洪水時の浸水リスクの概略把握

大規模洪水時の中小河川や下水道の浸水リスクのポテンシャルを把握し、対象とする河川・下水道を選定する。大規模洪水発生前の浸水リスクは、大河川の想定最大規模降雨等の浸水区域図による浸水域及び避難所等の浸水状況を参考とし、中小河川の浸水想定区域図が浸水実績、内水氾濫実績等を参考に把握する。

(2) 浸水リスクの予測

大規模洪水時の複雑な氾濫形態を把握するため、内外水同時解析モデルを構築し浸水解析を実施する。下水道解析モデルは、主要な管路をモデル化したランピングモデルを用いて構築し、浸水実績の再現性を踏まえ細かい管路を追加することが効率的であると考えられる⁷⁾。構築した内外水同時解析モデルにより、浸水実績のある洪水を対象に浸水状況の再現性を確認し大規模洪水時の浸水解析を実施する。

(3) 浸水リスクの評価

一般的な浸水想定区域図では、浸水深や家屋倒壊区域を表示することで浸水リスクを表している。本検討では、具体的な浸水発生による危険性を示すために米田ら⁸⁾の手法により、水深と流速による浸水リスクランクを用いた(図-2)。浸水リスクの評価時点は、(i)大河川の避難判断水位到達時点、(ii)大河川の氾濫(破堤)開始時点、(iii)最大浸水時点が重要であると考えられる。浸水リスク評価の視点は、大河川氾濫前に避難所周辺や、大河川氾濫後に浸水深が大きくなる地区で車両移動困難以上のリスクとなっていないかが重要となる。住民が避難する時点で、浸水が発生している場合は避難中の被災や避難に想定以上の時間を有するなどのリスクが考えられる。

3. 札幌市街部を対象とした大規模洪水時の浸水リスク評価手法の適用

(1) 札幌市街部を対象とした浸水リスクの概略把握

札幌市街部は、豊平川左岸域に位置し創成川や新川等の中小河川に囲まれている(図-3)。札幌市内は管路延長約8,200kmの下水道が整備されており、豊平川からの氾濫だけではなく中小河川の溢水、下水道からの内水氾濫なども複雑な氾濫形態の要因と考えられる。豊平川の想定最大規模降雨では、左岸KP17.0破堤時の氾濫流は札幌市街部広域に広がる⁹⁾。札幌市洪水ハザードマップには内水氾濫危険区域が示されており¹⁰⁾、想定最大規模時の最大降雨強度は70mm/hで、札幌市の下水道整備の計画規模35mm/hを上回っている。これらのことから豊平川の

大規模洪水時には、まず中小河川の溢水や内水氾濫等により浸水リスクが発生することが考えられる。

(2) 札幌市街部を対象とした浸水リスクの予測

a) 内外水同時解析モデルの構築

札幌市街部の浸水リスクを予測するために、内外水同

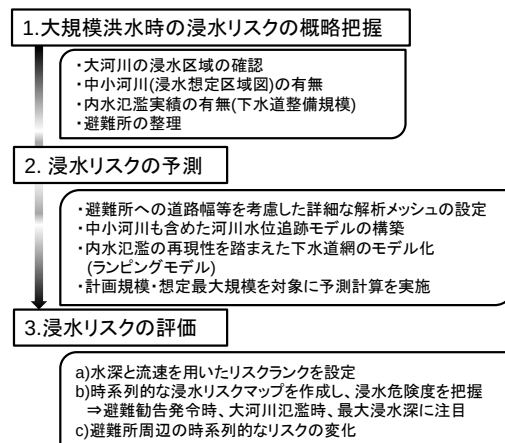


図-1 大規模洪水時における浸水リスク評価手法

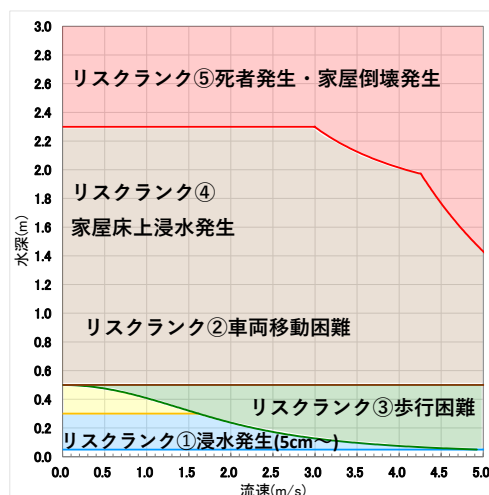


図-2 浸水による危険度を示したリスクランク

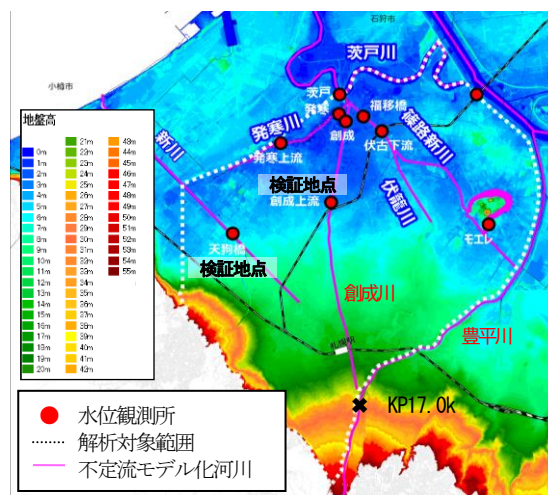


図-3 対象領域(豊平川左岸域)

時解析モデルを構築した。本モデルでは、流域からの河川流出量を土研分布型流出モデル¹¹⁾で、下水道への雨水流出量を修正RRL法¹²⁾で算定した。その流出量を河道上流端及び下水道のマンホールと地表面に分離して与え、河道追跡モデルと下水道追跡モデルにより河道内及び下水道管路内の水位・流量を解析した。さらに、氾濫モデルにより地表面の氾濫の拡がりを解析した。河道追跡モデルは、石狩川及び豊平川に加え、指定区間、準用河川も一次元不定流解析モデル化した。下水道雨水流出量は、φ600mm未満の管路を流下する時間を考慮するため、修正RRL法を用いて遅れ時間を考慮した流出量を算出した(図-4)。検証計算は、モデル化した平成30年の下水道整備状況に近い平成28年9月降雨(最大降雨量約25mm/h)を対象とし、降雨量を地上雨量計観測値(気象庁)、河川下流端は観測潮位を境界条件として設定した。内水氾濫は下水道排水河川水位が高くなり、排水が困難になることで発生することがあるため、検証は下水道排水先の河川水位の再現性に着目し創成川及び新川の観測所(図-3)の観測水位と解析値を比較した。検証結果は図-5に示すように両河川の観測水位を高い精度で再現している。

b) 浸水リスクの予測

想定最大規模降雨(罹来地点上流域406mm/72時間)を対象とし、豊平川が破堤した場合の浸水リスク予測を実施した。降雨波形は、豊平川の河川整備基本方針の対象波形である昭和56年8月下旬降雨とした。破堤条件は札幌市街部へ氾濫流が最も流下するKP17.0地点とし、河道水位が計画高水位に達した時点で破堤するとした。図-6に示すように札幌市街部全域が浸水し、破堤地点周辺、豊平川左岸下流部、創成川下流域では最大浸水深が1.5mを超過する。

(3) 浸水リスク評価

想定最大規模降雨時を対象に、時空間的な浸水リスクの変化を把握するために浸水リスクマップを作成した。浸水リスクランクを用いることで、浸水により生じる避難困難などの浸水状況を住民でも分かり易く理解することができる。図-7に示す時系列的な浸水リスクの変化に注目すると、避難勧告が発令される(i)避難判断水位到達時点(7.5h)で札幌市街部には図-8に示す70mm/hの降雨により、創成川下流や新川上流で②車両移動困難以上のリスクが発生し、住民の避難判断や避難に影響を及ぼすことが考えられる。(ii)避難判断水位到達2時間後(9.5h)は豊平川破堤時点であり、創成川下流や豊平川下流では③歩行困難以上の区域が増加する。(i)時点で避難を開始した住民は浸水リスクを有する地点を通過して避難する危険性が考えられる。その後、(iii)豊平川の氾濫により市街部全域に浸水リスクが生じる。創成川下流域では、早期に創成川及び下水道からの浸水が発生し、その後豊平川破堤地点からの氾濫流が創成川を流下し、

浸水域と浸水深が急増することを住民が認識する必要がある。また、豊平川下流域では、図-7に示すように(ii)豊平川破堤時点で避難所周辺の道路で下水道の内水氾濫により②車両移動困難のランクの浸水リスクが発生しており、豊平川の氾濫に備えて避難移動中の住民が避難困難となる危険性がある。

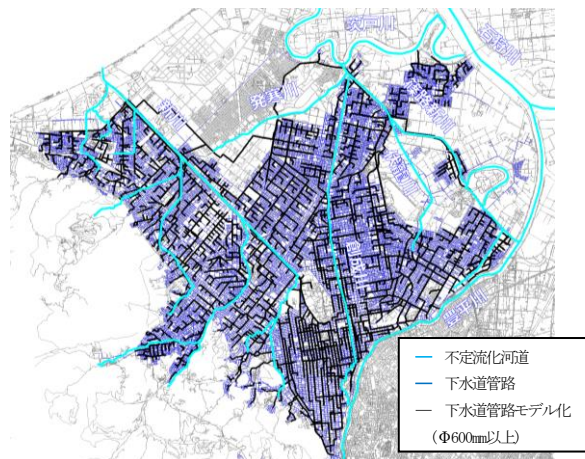


図-4 対象領域とモデル化した河道・下水道管路

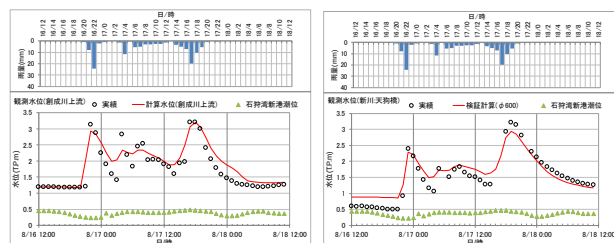


図-5 平成28年9月降雨での下水道排水先河川の水位検証結果

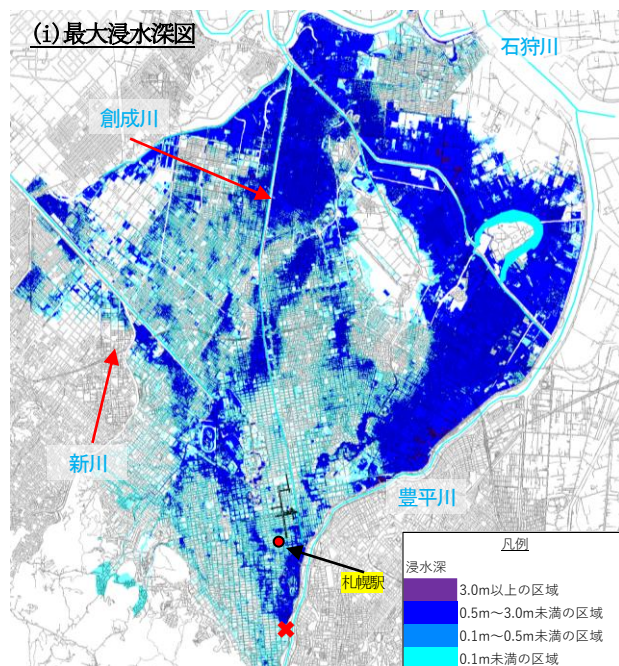


図-6 想定最大規模での浸水域(最大浸水深図)

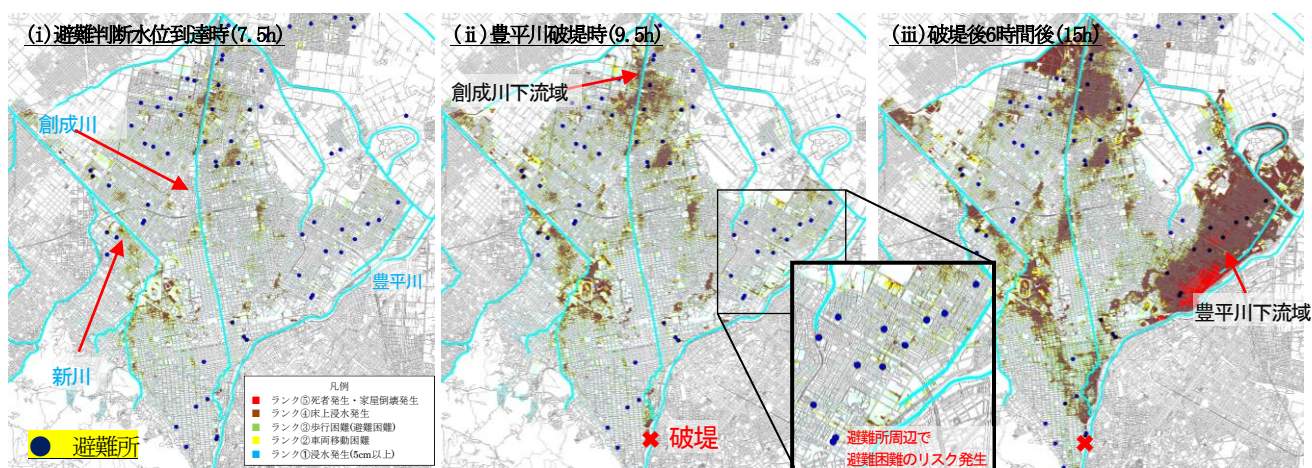


図-7 時空間的な浸水リスクマップの変化

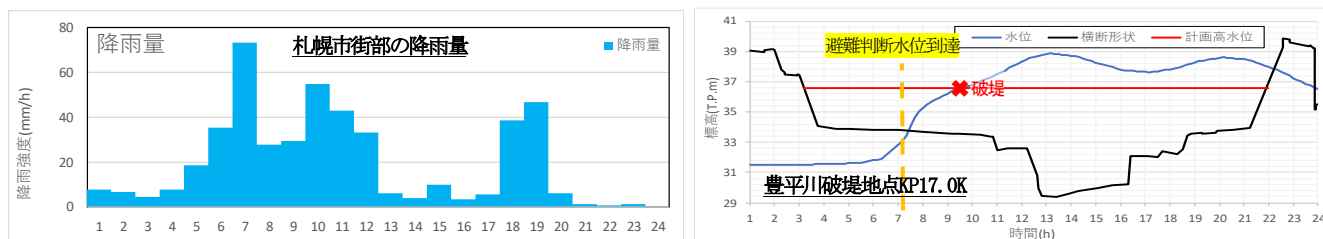


図-8 想定最大規模降雨時の札幌市街部の降雨量と豊平川破堤地点水位の時間変化

浸水リスク評価から豊平川の大規模洪水時には、まず下水道や中小河川の溢水等による浸水リスクが発生する。そのため、大規模洪水時に住民が避難することを踏まえ、早期に中小河川からの溢水等により避難経路内の浸水が発生することを平時から住民に理解してもらうことが重要である。対策案は、中小河川からの溢水や内水氾濫リスクを示したリスクマップの作成などが効果的であると考えられる。特に、浸水リスクが大規模洪水前に周囲に発生する避難所やアンダーパスも合わせて記載するのが効果的であると考えられる。

4. 結論

本研究で得られた成果を以下に示す。

- (1) 大規模洪水時の複雑な氾濫形態を把握し、時点毎に浸水リスクを評価する手法を提案した。
- (2) 大規模洪水時における浸水リスク評価を実施し、降雨の早い段階で中小河川や下水道からの溢水による浸水リスクが発生し、住民の避難に影響を及ぼす可能性があることを明らかにした。
- (3) 浸水リスク評価結果を踏まえ、大規模洪水時における住民の避難には、中小河川や下水道の溢水から大規模河川の破堤に至る浸水リスクの時間的変化を踏まえた避難行動が重要であることを示した。

謝辞：本検討は、北海道大学山田朋人准教授のご指導と国土交通省北海道開発局札幌開発建設部のご協力を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：「平成27年9月関東・東北豪雨」に係る洪水被害及び復旧状況について,2017.
- 2) 二瓶泰雄, 大槻順郎：平成27年9月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書 4.3節 決壊・溢水状況, p.86, 2016.
- 3) 諸岡良優, 山田正ら：平成27年9月関東・東北豪雨災害時における住民の情報取得状況及び避難行動の実態調査, 河川技術論文集, Vol.22, p.345-350, 2016.
- 4) 国土交通省：令和元年台風第19号による被害等,2019.
- 5) 関根正人：住宅密集地域を抱える東京都心部を対象とした集中豪雨による内水氾濫に関する数値解析,土木学会論文集B1(水工学),Vol.67,No.2,pp.70-85,2011.
- 6) 田中耕司,中北英一ら：中小河川群における内外水氾濫過程を踏まえた地区別の避難判断・行動に関する研究, 河川技術論文集, Vol.20, 2014.
- 7) 日本下水道新技術機構：流出解析モデル活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き),2017年3月.
- 8) 米田駿星, 山田朋人ら：降雨・流出の不確実性を考慮した内外水同時氾濫解析による浸水被害のリスク評価,土木学会論文集B1(水工学) Vo.74,No.5.
- 9) 国土交通省：地点別浸水シミュレーション検索システム, <https://suiboumap.gsi.go.jp/>
- 10) 札幌市：札幌市洪水ハザードマップ, https://www.city.sapporo.jp/kikikanri/higoro/fuusui/ssh_map.html
- 11) 安陪和雄, 大八木豊, 辻倉裕喜, 安田佳哉：分布型流出モデルの広域的適用, 水工学論文集, Vol. 46, pp. 247-252, 2002.
- 12) 山口高志, 松原重昭, 山守隆：都市における降雨流出調査, 第3報, 土木技術資料, 15-17, 1973.