

河川砂防技術研究開発【成果概要】

①研究代表者		氏 名 (ふりがな)	所 属	役 職
		橋本雅和 (はしもとまさかず)	関西大学	准教授
②研究テーマ	名称	降雨流出氾濫解析と簡易型河川監視カメラ画像解析を用いたリアルタイム浸水予測の高度化		
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。		令和 5 年度	令和 6 年度	合 計
		199万円	199万円	398万円
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏 名		所属機関・役職 (※令和7年3月31日現在)		
風間聡		東北大学工学研究科		
越村俊一		東北大学災害科学国際研究所		
⑤技術研究開発の目的・目標 (様式河提地-2、河提地-3に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。) (目的) 本研究の目的は降雨流出氾濫解析と簡易型河川監視カメラ画像解析を用いた、リアルタイム浸水予測手法を確立し、その精度検証とリアルタイムでの運用に際しての課題を抽出することである。 (目標) 1. ネスティング計算法によるマルチスケール降雨流出氾濫解析モデルの構築とリアルタイム運用の課題抽出 2. 深層学習を用いた河川水面抽出および越水深の算出 3. 高密度河道横断面データを用いた越流量推定と高空間分解能浸水域予測モデルの構築 4. 河川監視カメラ画像による破堤個所の検知および越水深の自動検出 (研究期間全体での達成目標) 降雨流出氾濫解析と簡易型監視カメラ画像解析によるリアルタイム浸水予測システムの構築				

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

(1) 越流監視のためのカメラ設置場所の提案

(方法)

- 簡易型河川監視カメラを用いて越水判定をする際に、1 破堤点あたりの浸水家屋把握数が最も大きくなるポイントを探索し、監視カメラ位置の最適化手法を提案を試みた。最適化手法は遺伝的アルゴリズムを採用し、氾濫形態(貯留、流下、拡散) 毎にその最適化過程の差異を確認した(図1)。対象地は拡散型として岩木川、貯留型として大和川水系石川、流下型として明石川を選定した。

(結果)

- 沿川に仮定の破堤点を設定し、遺伝的アルゴリズムを適用することで最適化システムを構築した。拡散型は破堤点毎に浸水家屋数にばらつきが大きくなるため、最適点を探索しやすく、貯留型氾濫は破堤点毎の浸水域の重複多いため探索がし難いことが示された。また、流下型氾濫は家屋の空間分布にもよるが、多くの場合で最上流が最適となった。
- 最適化アルゴリズムを用いない場合、破堤候補となる全区間に対して個別に氾濫解析を実施する必要がある、計算負荷が非常に高くなる。一方で、本手法を適用することにより、解析に要する計算負荷を大幅に軽減することが可能となった。実際に、本検討対象とした複数の氾濫ケースにおいては、全体で約4~6割程度の解析負荷削減効果が確認されている。これにより、広域的な監視網を構築する際の効率的な設計支援が可能となり、氾濫解析の高速化に大きく寄与する成果が得られた。
- 本研究においては、カメラ配置の最適化に関する一定の成果が得られた一方で、今後の課題として、浸水家屋把握数に対する重みづけの手法が挙げられる。例えば図2に示すように、沿川に位置する家屋において、越水が発生した場合に最初に浸水する手前の家屋と、その背後に位置する奥の家屋では、防災上の観点から越水開始情報の重要度に差があると考えられる。本研究では、浸水家屋を一律に「1」としてカウントする手法を採用していたが、今後は河川からの距離等を基に重みを付与することで、より防災効果の高い監視カメラ配置が可能になると期待される。このような空間的リスクの優先度を考慮した評価手法の導入は、現実の防災対応における有効性をさらに高めるものと考えられるため、今後の検討課題として継続的な研究が望まれる。

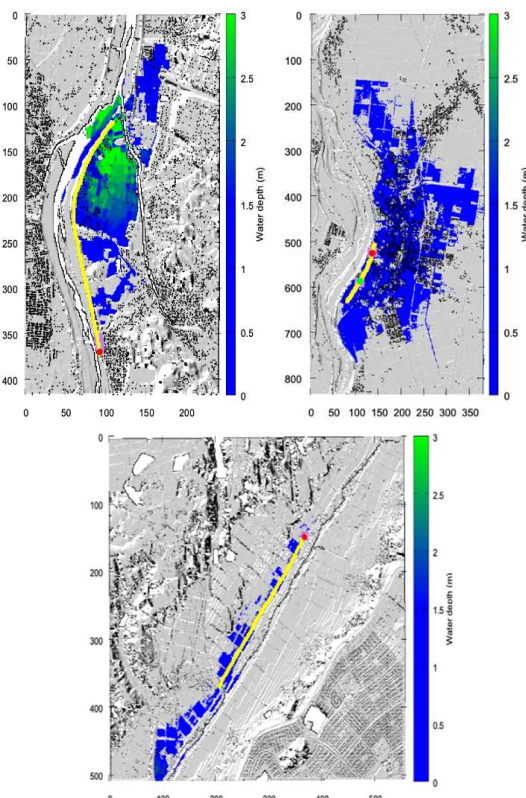


図1 氾濫解析による監視カメラ最適位置の探索の様子(左上:貯留型, 右上:拡散型, 下:流下型, 黄色線は破堤候補区間, 赤点は表示したケース時の破堤点)

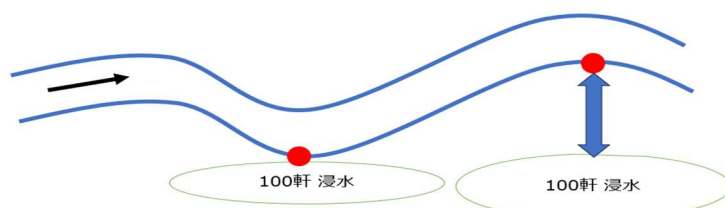


図2 浸水家屋把握数の重みづけの課題のイメージ図

(2) 高密度断面データ作成

(方法)

- 高解像度 DEM から任意間隔の河道横断データ作成ツールを構築した。また、阿武隈川、北上川、七北田川、名取川の 4 つの河川を対象として、1m および 5m の DEM データと地上横断測量と差異について分析した(図 3)。

(結果)

- 結果として、例えば阿武隈川での 1mDEM の鉛直精度は $RMSE=0.83m$ 、5mDEM は $RMSE=1.47m$ であり、1mDEM でも平均して 0.8m 程度の誤差があることがわかった。一方、1mDEM および 5mDEM を活用した地形把握についてはそれぞれの標高差を確認し、それを解析することで不陸の検出可能性について検討した。結果、本研究では明らかな不陸として確認された区間はなく、局所的に落ち込んでいたり、橋梁付近の複雑な地形から両地形データに大きな差異が生まれている場所のみ検出された。

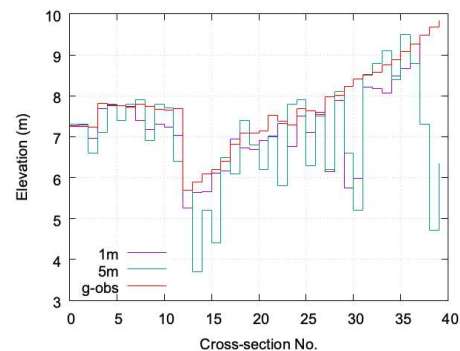


図 3 地上横断測量との比較による高解像度 DEM の鉛直精度評価 (赤線は地上横断測量、紫、緑線はそれぞれ 1m, 5mDEM を示す)

(3) 高密度断面の RRI への考慮

- 河道区間の計算のみを高空間分解能にすることは技術的には可能ではあるが、計算不可が大きくなってしまうため、高密度断面の天端情報のみを使用する運用することとした。

(4) RRI-平面二次元モデル結合リアルタイム運用の課題抽出

(方法)

- 降雨流出氾濫解析モデル (RRI) のプログラム内の、河道流と斜面流の結合部に関する計算手法の改良を試みた。従来の RRI モデルでは、河道からの氾濫流発生に関して、堤防高を一律的または単純化して取り扱っていたため、実際の地形条件を十分に反映できないケースが存在した。これに対し、本改良では高解像度 DEM を用いて作成した高密度横断面データを基に、堤防天端高の縦断方向の変化を考慮する手法を導入を試みた(図 4)。これにより、堤防の低位部から優先的に氾濫が発生するような物理的に妥当な氾濫流の流出がモデル上でも再現可能となり、より現実に即した氾濫予測が期待できる。

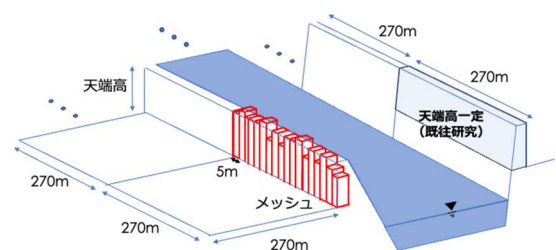


図 4 高解像度 DEM より得られる天端高を越水開始地点推定に用いるイメージ図

(結果)

- (1)の監視カメラ設置位置の最適化計算に関連して、沿川の任意箇所に仮想的な破堤点を設定し、そこから氾濫解析を即時に実施可能とするシステムの構築に成功した。一方で、河道流-斜面流結合部の計算に関しては、想定していたよりもプログラムの改修に時間を要したため、当初予定していた全体システムの完成には至らなかった。今後は、当該部分の改良作業を継続し、システム全体の機能強化を図る必要がある。

(5) 越流・破堤検知システムの構築

(方法)

- 水面検知において、水面以外の箇所を誤って水面として判別する誤検知が課題として確認された。従来手法では、水面部分に対してアノテーションを施した教師データを用いて学習を行っていたが、これにより背景に存在する建物や植生との識別が不十分であった。この課題に対応するため、新たに建物および植生を明示的に分類対象とした教師データを作成し、それらを含めた学習を実施した。その上で、学習モデルにおける水面検知の適合率 (Precision) の変化を評価し、改良の効果を検証した。
- 解析手法としては、越水時に撮影された河川画像 2,129 枚を教師データとして用い、深層学習による水面領域の検出モデルを構築した。

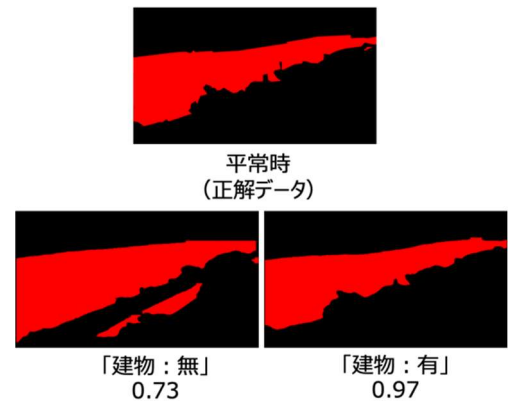


図 5 建物を学習させた場合の水面検知適合率の変化

(結果)

- この学習により、越水時に特徴的となる水面の形状・反射特性を高精度に把握可能となり、従来よりも誤検知の発生頻度を低減する効果が確認された(図 5)。
- 建物、植生、水面といった各対象を個別に検出することで、それぞれの検出精度は向上したものの、対象物が多様化し、背景が複雑化する場合には、全体としての検出精度が低下する可能性があることが確認された(図 6)。この点については、今後さらなる検証と手法の高度化が必要である。
- さらに、建物の影響を検証する過程で、昼夜の別および雨天・晴天といった気象条件の違いによっても検出精度が変動することが明らかとなった。とりわけ夜間においては、街灯や建物照明の反射が水面と類似の特徴を示すことから、誤検知の増加により精度が顕著に低下する傾向が見られた。このような多様な環境条件が水面検出精度に与える影響を踏まえ、今後は複数地点・多様な条件下で撮影された監視カメラ画像を基にした教師データを作成し、深層学習モデルへの学習を行う必要がある。とりわけ、夜間や降雨時、複雑な背景条件において誤学習を防ぐためには、アノテーションの精度や学習対象の選定を含め、慎重なデータ整備が求められる。

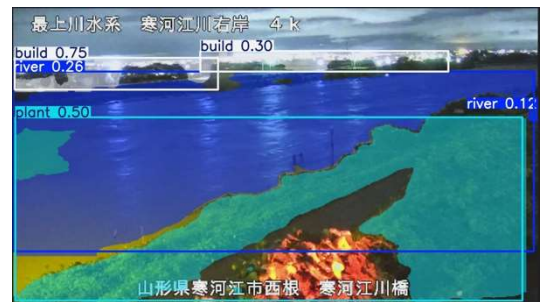


図 6 建物、植生、水面を個別に検知した結果

(6) 越流水深推定手法の汎用化

(方法)

- 簡易型河川監視カメラの新たな活用法として、数値標高モデル(DEM)を用いて作られた仮想空間内に監視カメラ画像と同一の画角を再現し、仮想空間と実際の河川において同一の水面率を持つ状態を作ることによって、水位推定を行う手法を提案する(図 7)。具体的には、仮想空間内で水面率と水位の関係式を導出し、実際の監視カメラ画像に適用することで水位を推定する。本手法を秋田県の観測地点「森岳」および「田中」に適用し、水位推定精度の評価を行った。



図 7 仮想空間での視野の再現

- 仮想空間における水面再現の手法としては、平面二次元の非定常流解析を複数ケース実施し、段階的に流量を増加させながら解析を行った。各流量条件において定常状態が得られた時点の水面率を記録し、水位と水面の関係を整理した（図 8）。この一連の解析結果をもとに、水面率と対応する水位の関係をデータベース化した。このデータベースを活用することで、監視カメラ映像から得られる水面率を入力とし、水位を推定する手法を構築している。手法の検証ため、カメラ近くに設置された水位計の観測データを用いた。

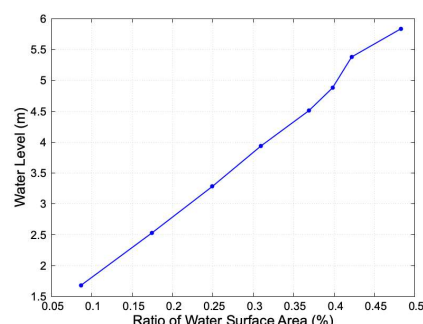


図 8 解析水位と解析水面率の関係(三種川森岳)

(結果)

- その結果、監視カメラ画像を完全に再現することは困難であったものの、水面率の変化が類似する範囲でトリミングを行うことで、より高精度な水位推定が可能であることを確認した。これにより、仮想空間と実際の河川において適切に水面率を一致させることで、水位推定の精度向上が可能であることが示された。本研究で得られた最も良い精度で $RMSE=0.24m$ であった（図 9）。ただし、水位推定精度は河道横断形状と撮影範囲に左右されるため注意する必要がある。
- 前述の水位推定手法を応用し、水面形状から流量を逆算する新たな流量推定手法について検討を行った。水位推定においては、流量を段階的に変化させ、それぞれの流量に対する水位-水面形状の関係を整理した。一方、流量推定においては、流量を一定に固定した上で、破堤幅および堤防天端からの洗掘深を変化させた複数のケースについて解析を行い、それぞれ定常状態に至った時の氾濫流量-水面率関係を取得した。これらの解析結果をデータベースとして構築し、監視カメラ画像から得られた水面の様子と比較することで、最も類似度の高いケースを選定する。これにより、カメラ映像に基づいて、現時点での流量を推定する手法の構築を試みたものである（図 10）。ただし、本手法については現段階では推定精度の検証には至っておらず、今後はその妥当性および適用可能性について、実測データ等を用いた検証が必要である。

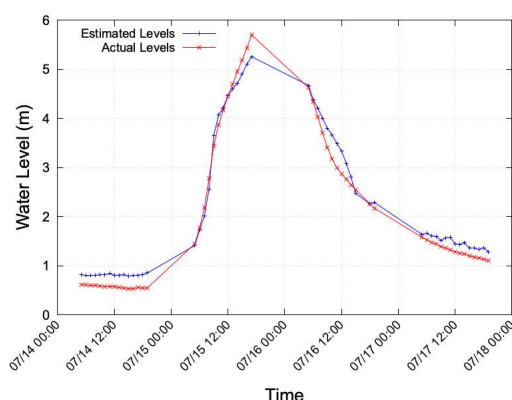


図 9 観測水位と推定水位の比較(青線：推定水位，赤線：観測水位)

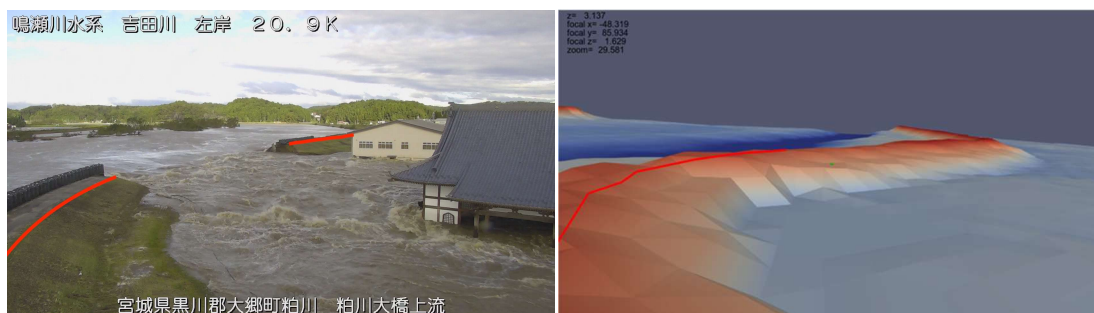


図 10 破堤ケースでの流量推定のイメージ（左：監視カメラ画像，右：仮想空間での再現）

⑦研究成果の発表状況・予定

(本技術研究開発の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

- ・ これまでに発表した代表的な論文
- ・ 著書(教科書、学会抄録、講演要旨は除く)
- ・ 国際会議、学会等における発表状況
- ・ 主要雑誌・新聞等への研究成果発表
- ・ 学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・ 研究成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・ 企業とのタイアップ状況
- ・ 特許など、知的財産権の取得状況
- ・ 研究成果による受賞、表彰等

(既発表)

- － L. Moya, E. Mas and S. Koshimura, "Flood Inundation Depth Estimation from SAR-Based Flood Extent and DEM", IGARSS 2023 - 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Pasadena, CA, USA, 2023, pp. 337-340, doi: 10.1109/IGARSS52108.2023.10283297.

(発表予定)

- － 簡易型監視カメラ設置位置の最適化に関する論文, Journal of Flood Risk Management
- － 簡易型監視カメラ画像と河道流解析による水位推定, 土木学会論文集 B1 (水工学)
- － 深層学習による越水検知のための学習データの質と検知精度への影響に関する論文, 自然災害学会誌

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

特になし。

⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑧⑨に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

特になし。

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

- 中小河川を対象にした水位予測は河道内植生の影響を大きく受ける場合があるため、衛星画像やドローンの情報を用いた植生量推定と河川粗度の関係性を評価する研究が必要と思われる。
- 水面検知を行う AI 技術は未知の状況には対応が難しいため、あらゆる場面のカメラ画像を学習させるとともに、構造物（建物、堤防など）も AI 検出できることにより、より多面的な活用が可能となる。
- 簡易型河川カメラ画像は、安価で手軽に設置できることに非常に意義があるが、長期間の天候不良などによりバッテリー不足となりカメラ画像が撮影されなくなるため、本システム運用に向けて、必要最低限のバッテリー容量の検討も必要となる。
- 簡易型河川監視カメラの撮り方次第で得られる情報が変わることから、カメラの設置高さ、設置角度、設置方位等の基準を、用途別に提案する研究が必要と思われる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

- 本研究により、簡易型河川監視カメラを画像解析することで、目視に頼ることない定量的な越水の判断と越水量推定の可能性が示された。簡易型監視カメラの有効的な活用方法を示すものであり、河川政策の質の向上へ寄与するものと考えている。