

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05047

研究課題名（和文）水理観測データが不足する中小河川の氾濫予測と避難経路予測手法の構築

研究課題名（英文）Flood prediction with levee breach and evacuation route search method for small and medium rivers of insufficient hydraulic observation data

研究代表者

前野 詩朗（Maeno, Shiro）

岡山大学・環境生命科学学域・特任教授

研究者番号：20157150

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：近年の地球温暖化の影響を受けて、特に中小河川の洪水被害が頻発しており、あらかじめ洪水氾濫解析を行い、氾濫危険箇所を特定して、氾濫時の避難経路を事前に示すことは重要な課題である。しかし、中小河川は、精度良い氾濫解析に欠かせない観測データが乏しく、解析精度を向上させることが喫緊の課題となっている。本研究では、中小河川の氾濫解析精度を向上させるための効果的な上流端境界条件の与え方や堤防天端高の与え方を明らかにした。また、堤防決壊などが発生した場合の避難時間や避難経路を検討することで適切な避難開始時刻の提示できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年堤防決壊を伴う大規模水害が頻発しており、特に中小河川の被害が大きい。中小河川は観測データが少ないため被害を予測するための精度良い氾濫解析が困難である。本研究で示した精度向上のための手法を用いることで多くの中小河川で氾濫解析の精度を向上させることが期待出来る。また、提案した堤防決壊が生じる箇所を推定する簡易な手法は我が国の多くの中小河川に適用できるため堤防の弱点箇所を抽出し優先的に堤防強化を図ることができる。さらに、氾濫時に時間的に変化する浸水深や歩行速度を考慮した避難経路を示すことで適切な避難開始時刻や最適な避難経路を示すことができるため防災面での工学的、社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：Due to global warming effect, severe flood damage has frequently occurred especially in small and medium rivers. Therefore, it is important to carry out flood analysis in advance and identify areas at high risk of inundation, and indicate evacuation routes during flooding beforehand. However, because the observation data necessary for accurate flood analysis is scarce for small and medium rivers, so, it is an urgent issue to improve the analysis accuracy. In this study, we clarified how to give an effective upstream end boundary conditions and how to give a levee crest height to improve the accuracy of flood analysis of small and medium rivers. In addition, it was shown that an appropriate evacuation start time can be shown by considering the evacuation time and evacuation route in the event of a levee failure.

研究分野：河川工学

キーワード：水防災 堤防決壊予測 被害予測 内外水位差 避難経路 氾濫解析

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化の影響と思われる水害が頻発している、2018年の7月5日～7日にかけて西日本の広い地域で降った大雨では、犠牲者が200名を上回る甚大な大水害となった。また2019年には台風19号により、関東を中心に7県の71河川135箇所の堤防が決壊し、多くの人命資産が奪われた。これらの水害の特徴として多くの河川が越流により決壊したことや土砂と洪水が同時に起こる土砂・洪水氾濫があげられる。もう一つの特徴として、これらの被害の多くが中小河川に集中して発生していたことである。地方自治体が管理する中小河川は、そもそも流量や水深などの水理観測データが乏しく、発生した被災メカニズムが十分明らかにされていないのが現状である。このように中小河川において多数の堤防が決壊することを予測出来ていたのか、また、どの箇所が危険であったのか等の予測が出来るのか、さらに適切な避難開始時刻や避難経路などが事前に示されているかなどについて本研究を実施することで解決出来る課題も多々あると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、地方自治体の管理河川で流量・水位データが殆ど無い河川に対する、ローカルな地形条件などを考慮できる精度良い被災予測モデルを構築することで、今後の被災防止に向けて河道の弱点箇所の抽出手法を確立する。さらに、避難路が浸水して避難出来なかったなどの事例もあったため、事前に、安全な避難経路提示システムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 決壊を予測する簡易な手法を提案

決壊を予測する簡易な手法を提案するために、高梁川水系小田川堤防調査委員会報告書、岡山県平成30年7月豪雨災害検証委員会報告書等を用いて堤防の決壊状況と要因を整理するとともに、氾濫シミュレーション結果を用いて、堤防決壊の主要因を分析することで、簡易な方法で堤防の決壊予測が可能かどうかを検討する。なお、この研究では越流開始から3時間程度で決壊する状況を想定しており、越流開始から3時間程度以上経過後の決壊や逆越流による決壊は現象が複雑であるため含めないこととした。

(2) 観測データが不足する中小河川の氾濫解析精度向上と堤防弱点箇所の抽出

次に、観測データが不足する中小河川を対象にした氾濫解析の精度向上のために、2018年7月に発生した西日本豪雨により堤防決壊を伴う大規模な浸水被害が発生した岡山市を流下する砂川を対象として、解析の境界条件となる流量や水位データが観測されていなかった同洪水の氾濫シミュレーションを実施して解析の妥当性を検討する。さらに、本研究で構築した簡易な堤防決壊予測モデルを砂川へ適用して、堤防決壊リスクの高い箇所の空間分布を把握して堤防強化が必要な箇所の抽出を試みる。その際、解析で用いる堤防高について、200m間隔の定期横断測量を内挿した場合と、RTK-GPSによる堤防天端高の測量データを利用した場合について決壊予測に及ぼす影響を検討する。

(3) 内水氾濫と外水氾濫を考慮した効果的な避難場所設置と避難開始時刻の検討

倉敷市真備町で発生した洪水を対象に用いた河川流と氾濫流を包括的に取り扱う包括型氾濫解析モデルに降雨による影響をSource項として与え、内水の影響を含む解析結果をもとに、浸水が生じている状況下における動的な避難経路分析を行った。分析結果に基づいて浸水が避難時間へ及ぼす影響や効果的な避難場所の追加箇所を検討するとともに、全員が避難出来る時刻を検討し、当時の河川水位との関係から避難開始限界時刻を何時に設定すべきであったかを検討した。

(4) 土砂・洪水氾濫による被害予測

2019年9月に岡山県新見市において、2018年の広島で見られたものと同様な土砂・洪水氾濫が発生した。本研究では、短期集中型のゲリラ豪雨時の土砂・洪水氾濫の発生の再現シミュレーションを実施し、土砂・洪水氾濫により水路に土砂が堆積する場合の氾濫範囲や浸水深の違いを検討した。

4. 研究成果

(1) 決壊予測手法の検討結果

① 図-1 に示すように氾濫水が越流す

際に、堤内地面積が大きい拡散型氾濫の場合は決壊が生じ易く、逆に、短時間で堤内水位が上

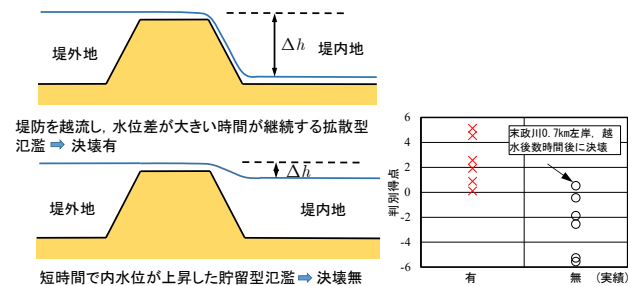


図-1 越水後の内外水位差と決壊の有無の模式図

図-2 判別分析結果

昇する貯留型の氾濫の場合は、決壊が生じ難い。

② 堤防越流前から1時間平均内外水位差が大きいと決壊が生じ易くなる。

③ 真備地区の洪水解析結果より得られる内外水位差と堤防の形状を示す指標を用いて判別分析した結果、図-2に示すように越流時の堤防決壊を精度良く予測できることが示された。

本研究で提案した簡易に決壊を予測する手法により破堤リスクの高い箇所を抽出することで、堤防強化や住民の危機意識の向上に資することができるものと考えられる。

(2) 観測データが不足する中小河川の氾濫解析精度向上と堤防弱点箇所の抽出に関する検討結果

① 上流断面が定規断面で一定勾配の直線区間の場合、流量観測データが無い場合であっても、等流水深から概ね妥当な流量条件を求めることができる。したがって、水位観測点として、定規断面で一定勾配の直線に近い区間を選ぶことが推奨される。

② 氾濫解析に用いる堤防天端高の設定に200m毎の定期横断を用いると詳細な堤防の凹凸が再現できないため、堤防の弱点箇所を見逃す可能性がある。よって、堤防決壊リスクを評価する際には詳細な堤防高の測量データを用いる必要がある。

③ 本研究で構築した簡易な堤防決壊予測手法を用いることで図-3に示す判別得点が0以上の箇所が越流による決壊リスクの高い箇所として抽出できる。これらの抽出箇所には2018年の西日本豪雨災害で決壊した箇所も含まれる。このように、堤防決壊の可能性が高い箇所を抽出することで整備計画の優先度を決めたり、応急的に堤防を強化することができる。また、住民に堤防決壊の危険性を周知する際に活用できるため、迅速な避難に対する住民の意識向上にも役立つものと考えられる。

今後、本研究で用いた予測手法の一般化並びに予測精度向上のためには更なる検証データの蓄積が必要である。また、法面の被覆状況の違いなどの決壊要因を判別式に追加することも今後の課題である。

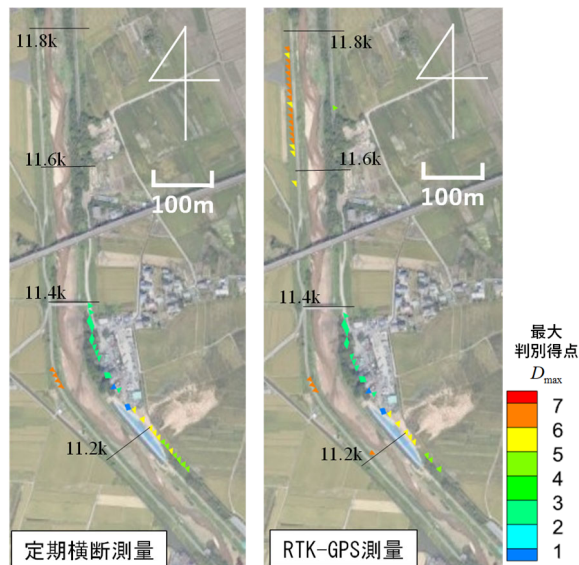


図-3 越流による決壊が予測される箇所の判別得点の最大値

(3) 内水氾濫と外水氾濫を考慮した効果的な避難場所設置と避難開始時刻の検討結果

① 図-4は避難者が自宅前の道路から避難場所までにかかる避難時間を示している。このように浸水していない条件下で避難時間や避難場所毎の避難者割合を検討することで、避難場所の設定が適切であるかどうかや避難場所追加の必要性を定量的に評価出来ることが分かった。

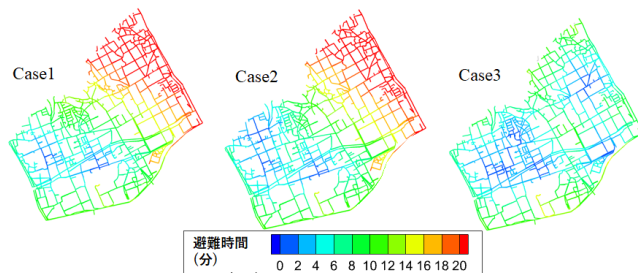


図-4 道路上の避難開始者の避難時間分布(浸水無)

② 内水氾濫発生下においては、浸水状況に応じて避難時間および避難場所が動的に変化するものの避難場所を追加することで速やかに最寄りの避難場所へ避難可能となる。

③ 外水氾濫発生後は、避難時間および避難場所の動的変化が顕著となり、避難困難者の割合が急増するため、浸水想定区域外へ早期に避難行動を開始することが重要である。

④ 今次災害での避難は外水氾濫発生時刻30分前の7/6 22:30までに開始できれば、全域において避難時間を確保できることになる。当時、当該地域では7/6 22:00に避難勧告が発令されており、この時点で全員が避難開始したならば人的被害はかなり減少したと推察される。ただし、7/6 21:30以降は図-5に示すように20mm/h以上の土砂降りの状態であったため、気象庁が公表している基準によれば、歩行困難な時間帯であったと考えられる。したがっ

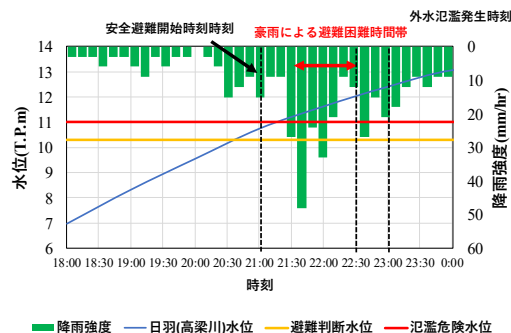


図-5 道路上の避難開始者の避難時間分布(浸水無)

て、降雨状況を踏まえると、安全に避難するための避難行動開始時刻は 21:00 となり、これは避難判断水位に到達した時刻より 45 分後で、丁度氾濫危険水位に達する十数分前の時刻であることが分かる。このように河川水位指標と降雨量を考慮することで、安全避難開始限界時刻を提示できることを示した。以上のシナリオは、危険側の仮定の下で想定した内容であるが、迅速な情報発信の重要性が改めて示唆されたとともに、今後の避難訓練に有効に活用する方法を検討する意義が示されたと考えられる。本研究により得られる成果は、住民に適切な避難経路、避難場所、避難開始時刻などの情報を提供するものであり、工学的な意義は大きい。

(4) 土石洪水氾濫により図-6 に示す土石流が水路を埋めて更に住宅地に堆積した。土石流と洪水氾濫をカップリングした解析により得られた結果と現地観測結果を比較した結果、本研究で用いた解析方法は図-7 に示すように現地の状況をよく再現出来ることが分かった。また、図-8 に示すように、土石流の堆積状況を明らかにするとともに、最大浸水深分布を示した。



図-6 土石流により埋まった水路

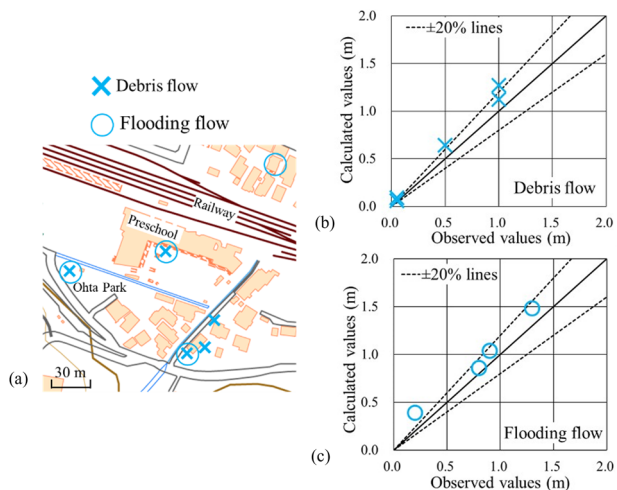


図-7 痕跡と解析結果の比較 (a) 観測位置 (b) 土石流堆積深, (c) 氾濫浸水深

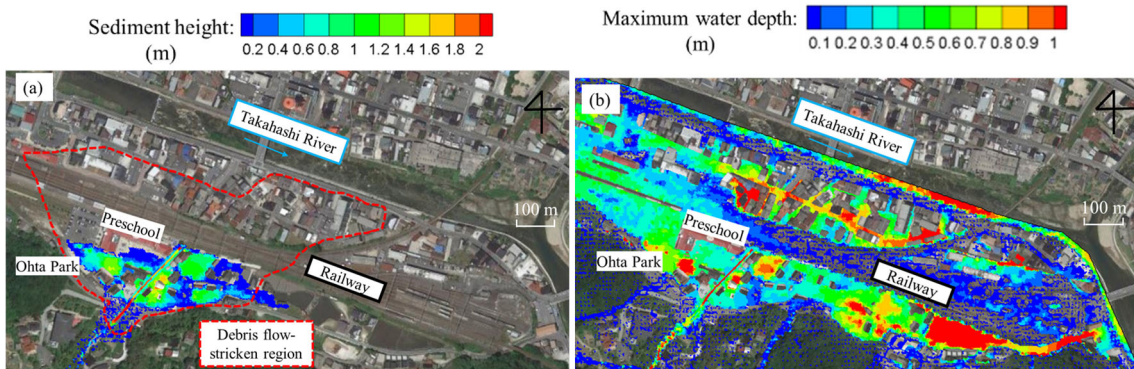


図-8 (a)解析結果による土石流堆積深 2019年9月3日18:30, (b)最大浸水深

以上の研究成果は国内の多くの中小河川の洪水氾濫の予測精度を向上させることに寄与できるため本研究の成果の工学的意義は大きい。また、今後、本研究で提案した避難経路予測手法や簡易な決壊予測手法を多くの河川に適用することで地域防災に大いに活用できると考えられる。さらに、土石洪水氾濫を予測することで人的被害の軽減を図ることが可能になる。以上の本研究で得られた成果を現地に適用する事で地域の効率的な防災基盤整備や地域住民の防災意識の向上に役立てることができると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 赤穂良輔, 西俣孝一, 池尻悠人, 前野詩朗	4. 巻 Vol.78, No.2
2. 論文標題 砂川の洪水氾濫解析と決壊予測手法を用いた堤防決壊リスク評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_667-I_672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 赤穂良輔, 池尻悠人, 前野詩朗	4. 巻 Vol.78, No.2
2. 論文標題 高梁川水系軽部川における田んぼを活用した流域治水対策の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_253-I_258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Weijian HUA, Ryosuke AKOH and Shiro MAENO	4. 巻 Vol.78, No.2
2. 論文標題 Numerical simulation of coupled debris flow and inundation disaster considering microtopography: A case study of Niimi city, 2019	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineering Ser.B1(Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_673-I_678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_673	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 赤穂良輔, 華威鑒, 前野詩朗	4. 巻 Vol.77, No.2
2. 論文標題 倉敷市真備地区の洪水解析結果を用いた堤防越流による決壊予測に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_367-I_372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_367	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 赤穂 良輔、西俣 孝一、池尻 悠人、華 威鑒、前野 詩朗	4. 巻 Vol.77, No.2
2. 論文標題 内水氾濫と外水氾濫を考慮した効果的な避難場所設置と避難開始時刻の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 内水氾濫と外水氾濫を考慮した効果的な避難場所設置と避難開始時刻の検討	6. 最初と最後の頁 1_1495-1_1500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_1_1495	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 原田翔太, 石川忠晴, 赤穂良輔, 前野詩朗	4. 巻 Vol.76, No.2
2. 論文標題 治水安全度向上のための流水型遊水地の試験的設計と数値実験による評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 457-462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.2_1_457	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤康, 石川忠晴, 赤穂良輔	4. 巻 Vol.76, No.2
2. 論文標題 数値シミュレーションによる山間河川における流水型遊水地の水理機能に関する考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 451-456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.2_1_451	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 赤穂良輔、鳩野俊史、前野詩朗
2. 発表標題 中小河川における微地形の現地測量データを用いた洪水氾濫解析の高度化に関する検討
3. 学会等名 第40回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	赤穂 良輔 (Akoh Ryosuke) (90599333)	岡山大学・環境生命科学学域・准教授 (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------