

内外水氾濫時による浸水の迂回を考慮した避難解析による 洪水時の安全避難に関する検討

Evacuation Analysis Considering Detours Due to Flooding From Inland Water and River Water for Safe Evacuations During Floods

藤野晃慈・田中規夫・五十嵐善哉⁽¹⁾

Koji FUJINO, Norio TANAKA and Yoshiya IGARASHI⁽¹⁾

(1) 埼玉大学大学院理工学研究科

(1) Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, Japan

Synopsis

In addition to understanding flood risks in advance as indicated on hazard maps, it is important to consider the real-time evacuation risks when evacuating from flood inundated currents. In this study, we conducted a pedestrian evacuation analysis considering the flooding situation when floodwater from one of assumed fifteen breach locations in Kawajima Town, Saitama Prefecture, where is surrounded by rivers, and identified weaknesses in evacuation from flood inundation by each breaching location. As a result, it was found that even in areas close to the breaching location, there are places where evacuation is possible with sufficient time due to the slow spread of flood caused by the undulated ground elevation due to natural levee. In addition, high evacuation success rates have been recorded in areas with a high concentration of evacuation shelters. On the other hand, it was found that accessible roads is restricted in the vicinity of the Ando River where inland water flooding occurred before the breaching of river levee, resulting that evacuees in the areas cannot reach evacuation shelters.

キーワード: 避難解析, 洪水, シミュレーション, 一時避難先

Keywords: evacuation analysis, inundation, simulation, temporary shelter

1. はじめに

近年, 気候変動の影響から洪水が頻発している. 水防法により浸水想定区域図や洪水ハザードマップの公開が義務化され, 住民に住んでいる地域の被害の被害リスクを事前に把握できるようになった. しかし, 実際にはリアルタイムで発生している内外水氾濫の状況を考慮した避難リスクについて考えていく必要がある. 特に水平避難が可能な地域や避難のタイミング, 垂直避難が可能な地域の区別が重要になる.

岡野・池内(2021)は内水氾濫が多発している筑後川を対象として内水氾濫と決壊による浸水シミュレーションを行い水平避難と垂直避難のリスクを評価・比較をして, 「避難指示」における住民のより安全な避難選択を促す仕組みの必要性を検討した. その結果, 水平避難リスクは浸水の到達が早い地域よりも浸水の到達が遅い地域で避難場所まで時間を要する浸水が起きる場合や, 内水氾濫に対して脆弱な地域であると高くなることが分かった.

原田ら(2012)は洪水予報河川がない滋賀県高島市において堤内地の内外水氾濫の過程から把握できる

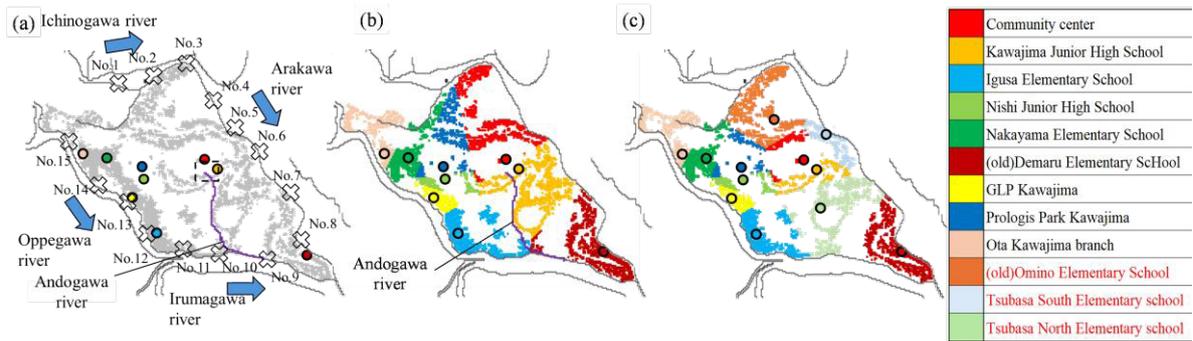


Fig. 1 Location of houses and evacuation shelters in Kawashima Town. (a) Location of rivers and anticipated breach points, relationship between house locations and evacuation shelters (current) (The colored grid indicates the location of houses, and the circles indicate the location of evacuation shelters) . (b) The nearest evacuation center for each house (c) Location of evacuation shelters and the nearest evacuation shelters for each house (The red text in the legend indicates the three former evacuation shelters that have been added) .

地区ごとの氾濫情報と対比した水位や雨量のとの関連性を利用して、避難判断基準の設定を行った。水平避難に関しては雨量や住民が得ることのできる周辺の状況に応じた避難判断フローを作成し、垂直避難に関しては垂直避難が可能な地区を分けて避難行動を分類することによって住民が自主判断できる基準の設定をした。このように氾濫シミュレーションの応用により、内水・外水氾濫を想定した状況下での適切な避難行動や脆弱な地域についてあらかじめ理解しておくことが可能になりつつある。

また、水害に脆弱な地域に対してはハード対策として避難所の増加が検討されている。赤穂ら(2021)は倉敷市真備町で発生した洪水を対象に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い、分析結果に基づいて浸水が避難時間に及ぼす影響や効果的な避難場所の追加箇所について検討した。氾濫解析結果から避難に影響の出る適切な避難所を追加することで避難可能な領域が増加し、避難場所の偏りも改善することできた。一方で、少子化の影響で小中学校の統廃合が進んでいる過疎地域では避難所の経営が厳しく避難所の廃止が多くなっていることが問題となる(三橋, 2015)。本研究の対象地域である川島町でも同様な問題となっており、避難所が3箇所減少している。

小内ら(2021)は本研究の対象地域である埼玉県川島町において、洪水氾濫・避難解析を行い、推奨される避難行動を示すリスクマップを作成している。しかし、同解析では川島町の避難可否の検討が目的であったため、各避難者のリアルタイムな浸水情報の取得や避難行動(浸水箇所の迂回や目的地の変更)は考慮されていない。藤野ら(2024)は同地域で避難者

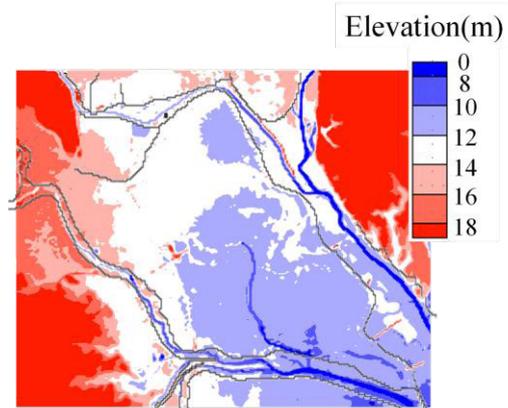


Fig. 2 Ground elevation data.

間の情報共有の有無を考慮した避難解析を行い、避難者間の情報共有についての重要性について議論した。本研究では藤野らの避難解析を詳細に分析し、川島町における歩行避難において脆弱な地域の特定し、適切な一時避難先の検討することを目的とする。

2. 避難解析モデルの概要

2.1 避難解析領域とその地理的特徴

対象領域は藤野ら(2024)と同様に埼玉県比企郡川島町とした。川島町は、Fig.1(a)に示すように、荒川本川とその支川群に囲まれた地形になっている。Fig.2に示す通り、川島町の地形は南東の地盤が低いことが特徴である。川島町の洪水ハザードマップによると、川島町のほぼ全域が浸水し、南東側では浸水深が3~5m程度になると想定されている。

2.2 浸水データ

小内ら(2021)は、昭和22年のカスリーン台風時の降雨波形を洪水生起確率1/200に引き延ばした降雨を

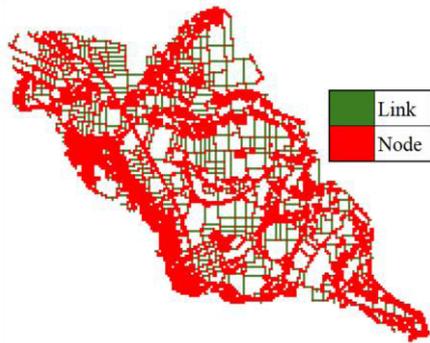


Fig. 3 Link nodes (road network data).

対象に50mメッシュで洪水氾濫解析を行い、その結果を避難解析に使用している。川島町を囲う15地点を想定破堤点として設定しそれぞれ解析を行っている。この15地点は既往破堤地点と川島町を包括するように設定しており、中心部を流れる安藤川の内水氾濫や地形勾配の影響により川島町南東部での浸水深が広い地域で3m以上となることを示している。本研究においても、同一の洪水氾濫解析結果を浸水情報に用いて避難解析を行う。

2.3 避難所および道路網

藤野ら(2024)と同様に川島町の町内緊急避難場所6箇所と町協定締結の一時的な緊急避難場所3箇所を合わせた全9箇所の避難所を考慮した。避難解析も氾濫解析結果と同様にグリッドサイズは50m×50mとする。Fig.1(a)の○印はそれぞれの避難所の場所を示している。また、Fig.1(b)はFig.1(a)で示した家屋グリッドの最寄りの避難所を表しており、着色グリッドと凡例の色が対応している。家屋グリッドは解析グリッドの50m×50mの中に土地利用データの住宅地が含まれるグリッドとした。本研究では避難者単位ではなく家屋グリッド単位での避難解析を行っており、避難者数そのものの評価はしていない。次節から家屋グリッドから避難する避難者を示す表現に関しては家屋Gとする。また、Fig.1(c)に閉鎖された避難所(旧小見野小学校、つばめ北小学校、つばめ南小学校)を追加した場合の最寄りの避難所の関係を示す。

道路グリッドに関しては土地利用分類が道路用地となっている地点とした。道路グリッドは隣接するグリッドとの関係から、東西または南北に直線的な一本道となっているグリッドをリンク、直線的な一本道ではない、または移動可能な方向が2つ以上あるグリッド(交差点)をノードに分けて設定した。Fig.5に避難解析に用いたリンク・ノード(道路網データ)を示す。

2.4 避難者の移動条件

藤野ら(2024)と同様に、歩行避難のみを対象とし、避難者の歩行速度はSimonovic・Ahmad(2005)の津波での避難訓練のデータの避難速度のヒストグラムを参考に全避難者に一律で1.0m/sと設定した。全15箇所の破堤点(No.1~15)に対して避難解析を行う。本研究では複数地点の堤防決壊は想定しておらず、それぞれ1箇所の破堤点に対して避難解析を実施した。想定破堤時刻から全避難者が家屋グリッドから一斉に最寄りの避難に向けて水平避難を開始する。ここでの最寄りとは、実際の道のりではなく、避難所までの直線距離を計算したものになる。避難所までの移動は隣り合うノードグリッドが避難所までの最短経路となる方向に移動をする。解析時間に関しても藤野ら(2024)と同様に7200秒後まで行い、道路が通行可能か判断する浸水深の閾値は0.3mとした。この値は、水野・二瓶(2016)の水害時の歩行速度実験での歩行中に水面下が見えない水が濁っている状況での歩行限界速度に対応している。本解析では初めに設定した避難所のみを目指すわけではなく、浸水や道路に応じて目的地としている避難所の変更を行っている。目的地の変更条件としては避難所へ向かう2方向とも浸水グリッドである場合が2回あったときとしている。条件を満たした場合はその場所から直線距離で近いかつまだ目指していない避難所を次の目的地として移動を開始する。本研究では、解析時間の2時間までに避難所に到着した状態を避難成功(Successful Evacuation)浸水により移動困難になった状態(水深0.3m以上の浸水に巻き込まれた場合)を避難失敗(Evacuation Failure)、浸水に遭わずまだ避難中の状態を避難途中(Evacuation in progress)の3種類で定義した。

2.5 避難解析モデル

本避難解析では藤野ら(2024)が開発したマルチエージェントモデルを用いている。エージェントとしては浸水情報を持たない避難者と浸水情報を持つ避難者の2種類とした。Fig.4はこれらの動きを説明している図となる。この図が示す範囲はFig.1の黒破線の四角に囲まれた範囲である。まず、避難開始時はすべての避難者が情報を持たない避難者である。よって、Fig.4(a)のEvacuee 1とEvacuee 2は北東の方向にある最寄りの避難所に向けて避難を開始する。Evacuee 2は点Aに到達するが、避難所へ向かう2方向とも浸水グリッドであるため迂回して同じ避難所を目指す(1度目の迂回)。その後、Evacuee 2とEvacuee 1が遭遇し、情報共有を行う(Evacuee 1の1度目の迂回)(Fig.4(a))。これによりEvacuee 1は浸水グリッドに向かうことなく、迂回してEvacuee 2と共に北東

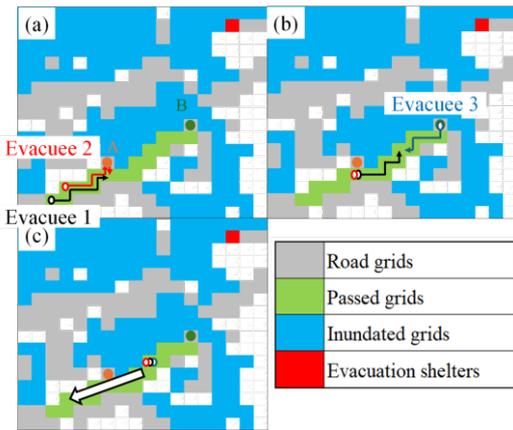


Fig. 4 An example of an evacuation analysis model. ((a) Movement of evacuees 1 and 2 to information sharing. (b) Sharing information with evacuee 3 (change of evacuation center). (c) Moving after changing evacuation shelters.)

に向かう。その途中、すでに2度目の迂回を経験し、Evacuee 1,2が目指している避難所ではなく、次に近い避難所を目指すべきという情報を持ったEvacuee 3とEvacuee 1,2が遭遇し情報共有を行う (Fig.4(b))。その結果、Evacuee 1,2が遭遇は北東の浸水状況を実際に目にすることなく、Evacuee 3と共に次に近い避難所 (西側) へと進路を変更する (Fig.4(c))。以上により、周りの避難者の状況に応じた実際に起こりうる避難を再現している。浸水した道路や行き止まりを発見すると浸水情報を持つ避難者となる。また、避難者自身が浸水情報を発見せずとも、情報を持つ避難者と遭遇することでお互いに持っている情報を共有するモデルとなっている。避難者間の情報共有は、避難者同士が同じグリッド内に存在する場合とした。

3. 解析結果

3.1 全体の避難失敗者・途中者の比較

Fig.5に破堤点ごとの避難失敗者・途中者数を示しており、すべての破堤点において避難失敗者と避難途中者が存在しており、川島町ではどの河川、破堤点でも氾濫により避難に支障が出ていることがわかる。特に、破堤点No.5,6では避難失敗者が多く存在することがわかる。また、破堤点No.10では避難途中者が多く、避難開始から2時間後も避難所にたどり着くことができていない。それらの理由については次節以降で詳細に分析する。

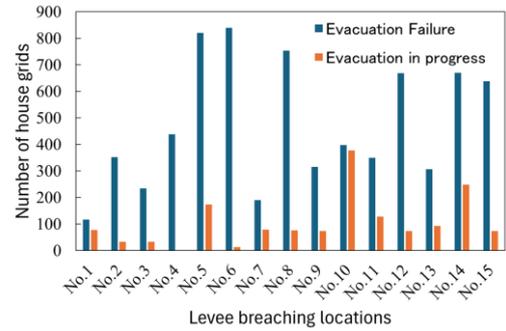


Fig. 5 Number of people who failed to evacuate or who were in the process of evacuating at each levee breach point.

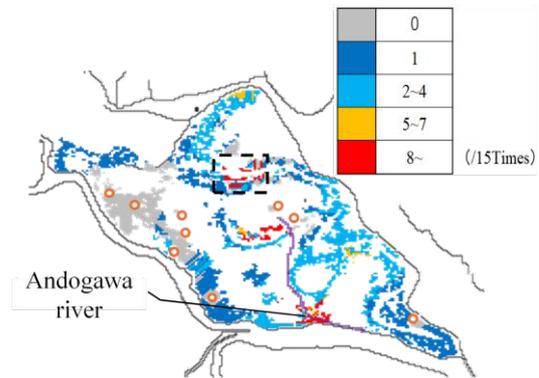


Fig. 6 Number of evacuation failures or in-progress cases (Combined results for all levee breach locations).

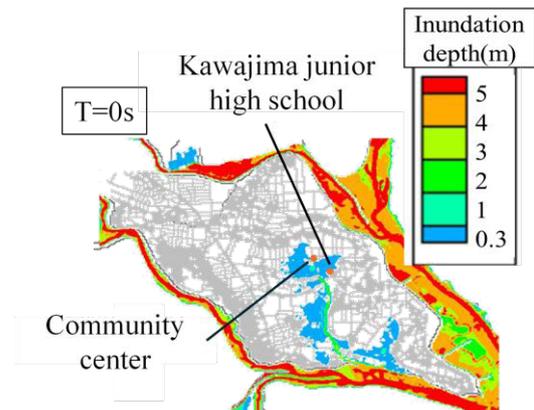


Fig. 7 Flood depth immediately after the breach.

Fig.6は避難困難回数 (避難失敗または避難途中の回数) を着色グリッドで分類して示し、図中の○印は避難所の場所を表している。川島町内の北部地域や安藤川の周辺の地域では破堤点から避難所が遠いため避難困難回数が多い傾向にあり、北西部の避難所が密集している地域では15破堤点すべての解析に

において避難に成功している。一方、安藤川近くやFig.6の四角で囲まれた地域では半分以上が避難困難となっている。Fig.7は破堤直後の浸水の広がりについて示した図である。破堤前から安藤川の内水氾濫が広がっており、安藤川付近の家屋は破堤前から浸水している。避難所となっている川島中学校とコミュニティセンターは、内水氾濫域付近に位置しており、川島中学校では破堤前から0.29mの浸水深が確認されている。内水氾濫は破堤後には広がりがなく、避難所が内水氾濫の影響だけでは0.3mを越えることはない。しかし、周辺の通行できる道路が制限され、四角の範囲の避難者は、最寄りの避難所（コミュニティセンター）に到着することができていない。

3.2 市野川の氾濫と避難解析結果

Fig.8に市野川の破堤点(No.1~4)に対応した解析結果を示す。Fig.8(a)の合計避難困難回数を示す。市野川の破堤では破堤点付近での避難が困難な家屋Gが多くみられる。川島町北部の家屋Gでは避難所の位置が遠くなっており、避難所に到着する前に氾濫流に巻き込まれていることが考えられる。

(1) 破堤点No.1の氾濫流と避難特性

Fig.8(b)に示すように破堤点No.1の氾濫流は長楽堤により破堤から2時間経過しても氾濫流が長楽堤の南側に流れ込むことがないため、氾濫流が避難に直接の影響を及ぼすことはない。しかし、安藤川の内水氾濫の影響が出るため、避難失敗者が存在している。すなわち、Fig.8(b)は安藤川の内水氾濫のみの影響を示した結果になっている。前節で述べたように、安藤川の内水氾濫影響で安藤川周辺の一部で避難失敗、安藤川の北側の一部で避難途中となっている。

(2) 破堤点No.2の氾濫流と避難特性

Fig.8(c)より、破堤点No.2の氾濫流は地盤の低い東側に流れ込むため、破堤点より北部の家屋Gでは通行できる道路がなくなり、避難失敗になっている。一方、破堤点より南側の家屋Gについては、氾濫流が地盤の低い東側に溜まることで氾濫流の南下が遅くなり、氾濫流が流れ込む前に避難所に到着できている。

(3) 破堤点No.3の氾濫流と避難特性

破堤点No.3は破堤点No.2よりも北側に位置し、氾濫流の流れ方は破堤点No.2と同様に地盤の低い方向に流れる（Fig.8(d））。すぐ南側が地盤の低くなっているところであるため、破堤点No.2と比べると西側への氾濫流の広がりが狭くなっていることがわかる。また、避難状況に関しては、地盤の低い場所に氾濫

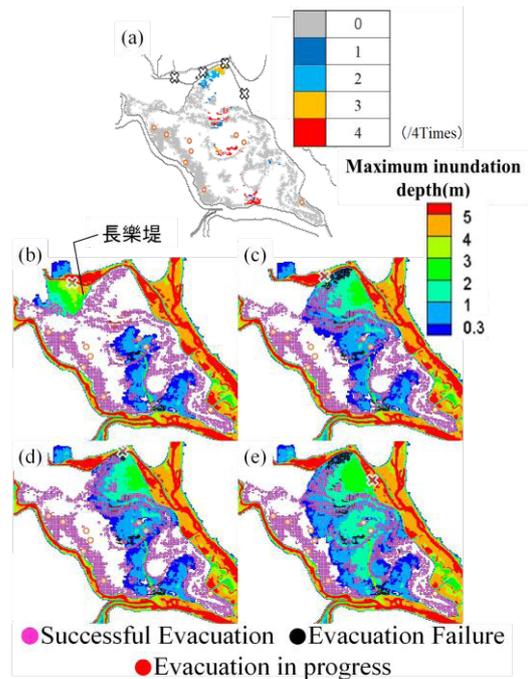


Fig. 8 Analysis results for Ichinogawa River. (a) Number of evacuation failures or in-progress cases from the evacuation analysis corresponding to the Ichinogawa river levee breach points. (b~e) Evacuation status at Ichinogawa river breach points (No. 1~4).

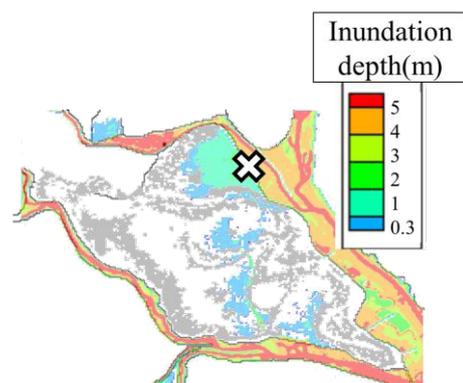


Fig. 9 Flood depth 30 minutes after the breach at breach point No. 4.

流が溜まる前に避難者が浸水を把握することができるため破堤点付近の家屋G以外は迂回可能となり、避難成功が高くなっている。

(4) 破堤点No.4の氾濫流と避難特性

破堤点No.4は地盤が低い位置にあり、氾濫流が家屋のある場所に広がるまで時間を要する（Fig.8(e））。Fig.9は破堤から30分後の浸水深を示しており、破堤から30分後であると、家屋のある場所までの浸水の

広がり狭いことがわかる。避難者に影響が出るまでに1.8kmも移動することができるため、避難失敗の数が少ない。一方、北部の家屋Gは最寄りの避難所に向けて南の地盤の低くなっている方向に移動すること、氾濫流がこの場所に溜まることによって迂回のタイミングが遅れ避難失敗となっている。

3.3 荒川の氾濫と避難解析結果

Fig.10(a)から荒川では避難失敗回数が1,2回になる家屋Gが多く破堤位置によって避難特性に大きく影響されることが考えられる。氾濫流は地盤の関係で南東方向に流れやすく、北の方向に広がりにくいいため市野川沿いの家屋グリッドからの避難者は浸水による迂回や避難所の変更を容易に行っている。一部の北部の家屋Gは避難困難となっており、これは破堤点No.5の氾濫流により中心部の避難所（コミュニティセンターと川島中学校）が浸水したためである。浸水により、避難所の変更と浸水域の迂回を行ったことによる時間ロスで避難所にたどり着くことができていないためである。

(1) 破堤点No. 5の氾濫流と避難特性

破堤点No.5はFig.5のグラフでも示した通り、全破堤点の中で一番避難失敗が多いケースになる。これは、Fig.10(b)より地盤高が低く家屋グリッドの数も多い南側に氾濫流が流れることと、安藤川の内水氾濫や避難所の位置関係が影響していると考えられる。安藤川の東部の避難途中の家屋Gは避難開始時に最寄りの川島中学校に移動を開始する。しかし、氾濫流により川島中学校が浸水するため避難所を変更する必要がある。その影響で避難が完了していないまたは変更先に移動している途中で氾濫流に巻き込まれている。また、北部における一部の家屋Gで避難途中となっており、これは前節で説明した避難所の変更と浸水域の迂回による時間ロスの影響である。

(2) 破堤点No. 6の氾濫流と避難特性

Fig.10(c)より破堤点No.6の氾濫流の広がりは破堤点No.5と比べると南に移動したようになる。2m以上の浸水深の範囲が広く、垂直避難が困難な家屋Gも多くなる。避難状況も破堤点No.5と同じように安藤川の東部で避難失敗となっている。最寄りの避難所である川島中学校に移動途中で北部からの破堤による氾濫流が襲い避難失敗の家屋Gが破堤点No.5と比べると増えている。

(3) 破堤点No. 7の氾濫流と避難特性

Fig.10(c)より破堤点No.7の氾濫流は南東方向に流れ、川島中学校のある中心部に流れなくなり、浸水

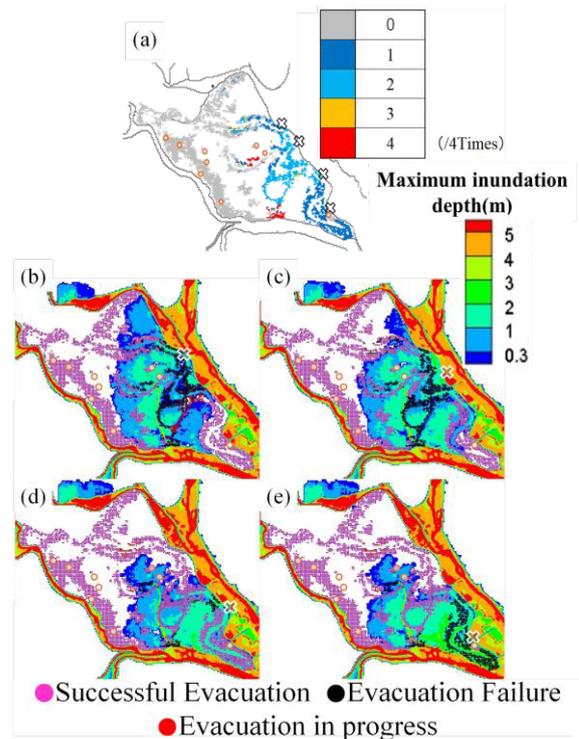


Fig. 10 Analysis results of Arakawa River.

(a) Number of evacuation failures or in-progress cases from the evacuation analysis corresponding to the Arakawa River levee breach points. (b~e) Evacuation status at Arakawa River breach points (No. 5~8).

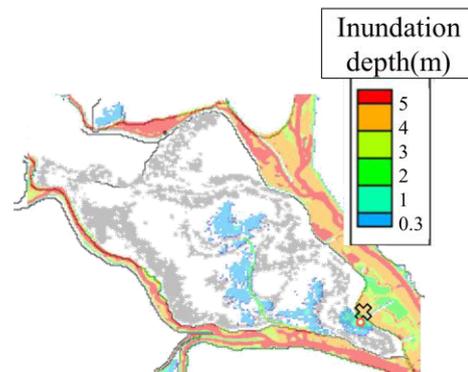


Fig. 11 Flood depth 10 minutes after the breach at breach point No. 8.

の範囲が破堤点No.5,6と比べると狭くなった。破堤点から避難所までの距離が遠く、避難所が0.3m以上浸水するよりも前に避難者が避難所に到着することができるため避難失敗が少ない。

(4) 破堤点No. 8の氾濫流と避難特性

Fig.10(d)より破堤点No.8付近は地盤高の低い地域が広がっており、氾濫流が溜まりやすく最大浸水深

が高いことが特徴である。Fig.11は破堤から10分後の浸水深を示した図となる。この図から破堤から10分後ですでに旧出丸小学校は1m以上の浸水を確認しており、この場所を最寄りの避難所としている家屋Gは水平避難が厳しくなることがわかる。

3.4 入間川の氾濫と避難解析結果

Fig.12(a)に示すように、入間川の破堤点は川島町の南側に位置し、氾濫流は安藤川の内水氾濫と重なるケースがある。また、氾濫流は地盤高の関係から東側に流れるため、西部の家屋Gは避難に影響していないことがわかる。一方、安藤川の周辺や東側では避難困難な家屋が多く広がっている。

(1) 破堤点No. 9の氾濫流と避難特性

破堤点No.9の氾濫流は破堤点No.8の氾濫流と同様に南東方向の地盤の低い方向に氾濫流が溜まり、最大浸水深が高いことが特徴である (Fig.12(b))。避難状況は、破堤点No.8と異なり、避難成功が多くなっている。これは破堤点と一番近い避難所である旧出丸小学校との距離が遠く、氾濫流が避難所に到達する前に多くの家屋Gが避難できるためである。

(2) 破堤点No. 10の氾濫流と避難特性

破堤点No.10は安藤川から近い場所になっており、破堤による氾濫流と内水氾濫が重なり北方向に浸水域が広がる影響を受ける (Fig.12(c))。その影響で浸水の無い北部の家屋Gで避難が終わっていない場合が存在する。北部の家屋Gで避難が完了している場合とできていない場合の違いをFig.13で示す。Evacuee A,Bはともにコミュニティセンターを目指している (Fig.13(a))。1500s後の中心部の浸水深は破堤直後と変化はないため、Evacuee A,Bともに避難所の変更はなく、始めに設定した目的地に移動を続ける (Fig.13(b))、3700s後にEvacuee Bは目的地として設定した避難所に到着する。同時刻にEvacuee Aは氾濫流と安藤川の内水氾濫が重なったことによるわずかな浸水範囲の広がりにより移動ができなくなっている (Fig.13(c))。早崎ら(2021)は令和2年7月の球磨川流域の氾濫において本川と各支川との合流部では、水路がある場合、本川の水位が高く、背水の影響により内水氾濫が助長されたと考えられている。このような現象が破堤点No.10で起きており、河川の合流部においては内水氾濫の広がりにも気を付ける必要があることが示唆された。

(3) 破堤点No. 11の氾濫流と避難特性

破堤点No.11の氾濫流は川島町の西部の自然堤防により西方向には流れず、東へ広がることが特徴で

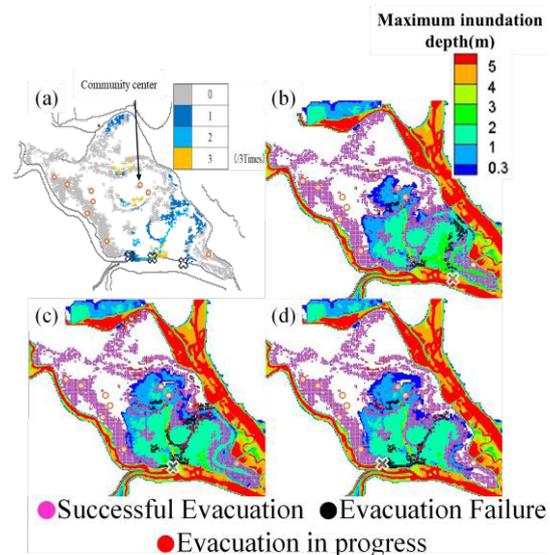


Fig. 12 Analysis results of Irumagawa River (a)Number of evacuation failures or in-progress cases from the evacuation analysis corresponding to the Irumagawa River levee breach points. (b~d) Evacuation status at Irumagawa River breach points (No. 9~11).

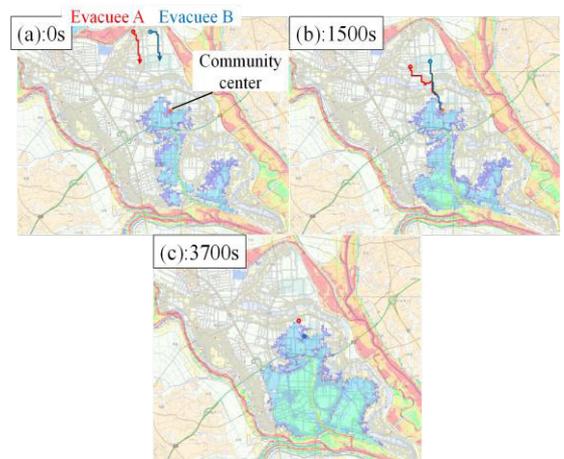


Fig. 13 Reasons why houses in the northern part of the city were unable to evacuate successfully at breach point No. 10. (a) Locations of evacuees A and B at the start of evacuation. (b) Locations of evacuees A and B and flood depth 1,500 seconds after the breach. (c) The locations of evacuees A and B and the depth of flooding 3,700 seconds after the breach (the time when evacuee B arrives at the evacuation center).

ある (Fig.12(d))。西部の自然堤防帯と安藤川の間では最大浸水深が高くなっている。したがって、破堤

点から近い場所でも西側の家屋Gでの避難は成功しており、一方で、西側の家屋帯と安藤川の間にある家屋Gでは避難失敗となっている。

3.5 越辺川の氾濫と避難解析結果

Fig.14(a)に示すように、南西側の家屋Gは破堤点付近の家屋の影響が大きい、避難所が密集している北西側では少ない。また、破堤点から遠い家屋Gでの避難失敗が多く広がっていることが特徴である。これは、コミュニティセンターを浸水させる氾濫流の場合に、北部のコミュニティセンターを最寄りとしている避難者が影響をうけるためである。

(1) 破堤点No. 12の氾濫流と避難特性

破堤点No.12の位置は南側であり、氾濫流が地盤の低い南側に溜まるため最大浸水深が高いことが特徴である (Fig.14(b))。避難状況に関しては、南部の家屋Gは氾濫流が流れてくる方向に最寄りの避難所が存在しているため避難失敗となっている。

(2) 破堤点No. 13の氾濫流と避難特性

破堤点No.13の氾濫流は浸水の範囲が広く多くの避難所で浸水が確認できているが、破堤点の近くの家屋Gを除いては避難ができていないため、避難成功者が多い (Fig.14(c))。これは、避難所が密集している地域で最寄りの避難所までの距離が近い点、家屋の多い南方向への浸水の広がりが遅いことが避難成功につながっている。Fig.15は破堤から30分後の浸水深を示しており、氾濫流は地盤が周辺より低く、家屋が少ない東の方向に広がっていることがわかる。

(3) 破堤点No. 14の氾濫流と避難特性

破堤点No.14の氾濫流は南東方向に流れ、広い範囲での浸水が確認され、多くの避難所で最大浸水深が1mを超える (Fig.14(d))。しかし、浸水の広がりが遅いため、避難所から距離の近い家屋Gは避難成功となっている。一方、浸水のない北部の家屋Gは避難所にたどりつくことができていない。これは、最寄りの避難所であるプロロジスパーク川島が破堤後1600s後に浸水しているためである。浸水情報によって目的地を変更できる避難者も多いが、その時点ですでに多くの避難所が浸水しており、次に近い避難所も浸水している。そのため、避難できる避難所を選択することが難しくなっている。これが、北部の家屋Gで避難困難な家屋Gが多い要因である。

(4) 破堤点No. 15の氾濫流と避難特性

破堤点No.15の氾濫流は、破堤点No.14と同じように南東方向へ氾濫流が広がっている (Fig.14(e))。異

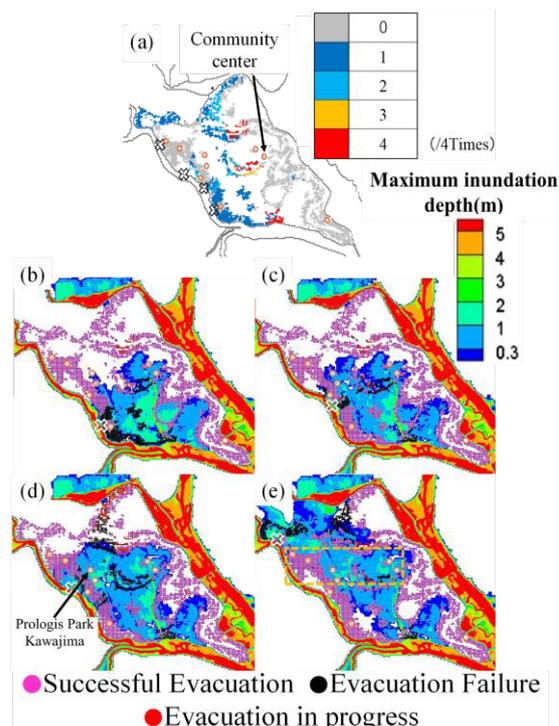


Fig. 14 Analysis results of Opegeawa River. (a)Number of evacuation failures or in-progress cases from the evacuation analysis corresponding to the Opegeawa River levee breach points. (b~d) Evacuation status at Opegeawa River breach points (No. 12~15).

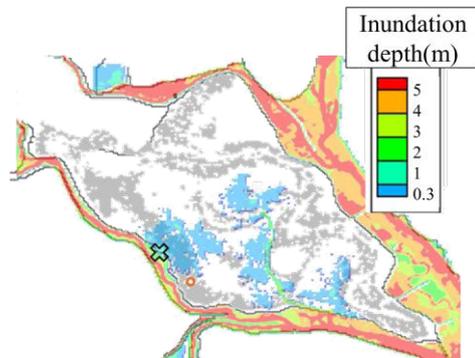


Fig. 15 Flood depth 30 minutes after the breach at breach point No. 13.

なる点は自然堤防帯の南西に浸水していないことである。避難状況はプロロジスパーク川島を最寄りとしている北部における一部の家屋Gと破堤点No.15より北側の家屋Gのように最寄りの避難所までの道路が氾濫流によって遮断される地域において、避難失敗となっている。破堤点No.14と似たような浸水状況であるが、破堤点No.14の場合であると四角に囲まれた地域の避難所が浸水するまでに時間がかかる。この地域を最寄りとしている避難者は安藤川の内水氾

濫の影響を受ける地域を除いて避難成功となっている。

3.6 避難解析結果の全体的傾向

Fig.16に、前節までの水平避難が困難な家屋Gに加えて垂直避難が可能な家屋Gをあわせて示す。本研究では最大浸水深が3m以上（建物の2階相当）とある家屋とハザードマップに記載の家屋倒壊危険想定区域に該当する地域を垂直避難困難家屋Gと定義して、水平避難の解析結果と重ね合わせた。この図から西部は避難所が密集している点と自然堤防上に家屋が建っていることが要因で破堤と同時に避難を開始しても避難所にたどり着くことが可能である。安藤川周辺の家屋は家屋倒壊危険想定区域外の家屋でも安藤川の内水氾濫の影響で最大浸水深が3m以上にもなる地域があり、垂直避難ではなく水平避難が必要になる。北側の家屋G（四角に囲まれた地域）は破堤前からの安藤川の内水氾濫により最寄りの避難所への最短になる道路が通れなくなる影響で時間がかかり避難が完了できていない回数が多くなっている。

3.7 閉鎖された避難所を追加した場合

一時避難先を検討するために閉鎖された避難所を追加した場合の避難解析を同様に行った(Fig.17)。追加した避難所の場所は赤○で示している。避難所を追加することで避難困難回数が減少している家屋Gが多くあることがわかる。特に、旧小見野小学校の周辺では避難距離の短縮や安藤川の内水氾濫の影響を受けるコミュニティセンターが最寄りではなくなったことで、8回以上失敗している家屋Gが減少している。また、つばさ南小学校の周辺の安藤川の内水

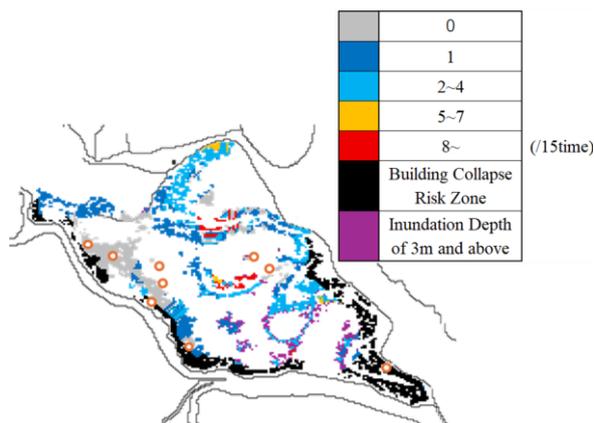


Fig. 16 Number of evacuation failures or in-progress cases (Map showing the overlap between areas at risk of house collapse and houses located in areas with maximum flood depths of 3 meters or more).

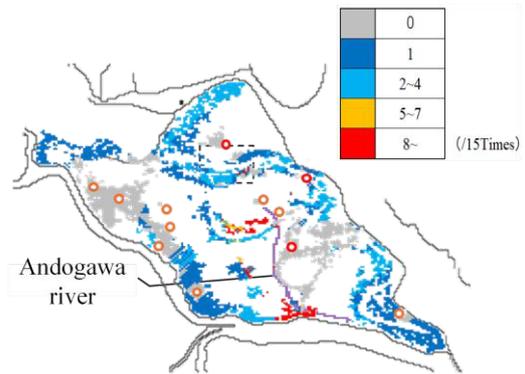


Fig. 17 Number of evacuation failures or in-progress cases (When a closed evacuation shelter (red circle in the figure) is added).

氾濫の影響を受けやすい地域では、避難所の追加により避難困難の回数が0になっている。一方、つばさ北小学校では、最寄りとなる家屋Gが少ないこと、破堤点から近く荒川の氾濫流の影響を受けやすいことから、周辺の家屋のみで避難困難回数が減少している。以上のことから旧小見野小学校とつばさ南小学校に一時避難先として追加することは有効であることが示唆された。

4. 結論

本研究では、河川に囲まれた埼玉県川島町を対象として、堤防決壊による河川氾濫流が来襲した条件での歩行による避難解析を実施した。各破堤点に応じた氾濫流を用いて避難解析を行うことで、破堤箇所によって避難上の弱点となる個所が地盤影響、家屋分布、避難所の位置によって変化することが分かった。破堤点に近い地域であっても、自然堤防帯による地盤高の高低による氾濫流の流れ方により避難時間に余裕のある地域がある。また、家屋が多く避難所が密集している地域は避難成功率が高い傾向にある。一方、破堤点から距離がある地域であっても、最寄りとする避難所の場所や方角により避難困難となる地域が存在することがある。

また、解析結果と家屋倒壊危険想定区域図および最大浸水深3m以上（建物2階相当）区域を重ね合わせることで、特に脆弱な地域を示すことが可能となった。この結果、安藤川では破堤前から内水氾濫が発生し、通過可能な道路が著しく制限され、避難所へ到達できない地域が存在した。したがって、氾濫流による浸水範囲を把握するだけでなく、破堤する前から内水氾濫が発生して浸水深が高くなる恐れのある地域・道路を把握しておくことが重要であることが示された。

さらに、閉鎖された避難所を一時避難所として活用する場合についても解析を行った結果、旧小見野小学校とつばさ南小学校は、避難成功率の上昇により川島町における有効な一時避難先となることが示唆された。ただし、つばさ南小学校は安藤川に近接しているため、周辺は内水氾濫による浸水深が高くなるリスクがある。

本研究は破堤直後からの避難を評価したものであり、河川の避難判断水位に到達してからの避難リスクを考慮していない。これは本研究の氾濫解析で用いている降雨波形が避難判断水位から計画高水位に到達するまでの時間が長く避難の猶予が長いため、避難が容易になるからである。そのため、今後は避難判断水位から計画高水位までの時間の短い降雨波形での検討を行い、避難タイミングが与える影響を明らかにする必要がある。また、川島町では町外避難が推奨されており、歩行避難のみだけではなく自動車避難の渋滞を考慮した避難についても検討する必要がある。

参考文献

- 赤穂良輔・西俣孝一・池尻悠人・華 威鑿・前野詞朗 (2021) : 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, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 77, No. 2, I_1495-I_1500.
- 岡野佑亮・池内幸司 (2021) : 内水氾濫も考慮した大規模水害時における垂直避難リスクと水平避難リスクの比較衡量, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 77, No. 2, I_421-I_426.
- 小内 堯・田中規夫・伏見健吾・五十嵐善哉 (2021) : 破堤点の相違による氾濫特性を考慮した避難解析にもとづく地域に適した避難手法分類, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 77, No. 2, I_1513-I_1518.
- 早崎水彩・前川勝人・瀧健太郎 (2021) : 令和2年7月豪雨時に農業利水施設が球磨川流域の洪水流出・氾濫に与えた影響, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol. 77, No. 2, I_451-I_456.
- 原田翔太・村岡治道・田中耕司・七里豊伸・手塚 聡・瀧健太郎 (2012) : 中小河川の氾濫原における水害リスクを考慮した地区別避難判断基準の設定, 土木学会論文集F6 (安全問題), Vol. 68, No. 2, I_18-I_23.
- 藤野晃慈・五十嵐善哉・田中規夫・小内 堯 (2024) : 浸水情報による目的地の変更を考慮した避難解析手法の構築と洪水時の安全避難に関する検討, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 81, No. 16, 213_1-213_7.
- 水野力斗・二瓶泰雄 (2016) : 様々な環境条件下における水害避難時の歩行速度に関する実験的検討, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 72, No. 4, I_1333-I_1338.
- 三橋浩志 (2015) : 人口減少社会における都市圏の学校再編と都市政策の関係, 日本地域政策研究, No.15, pp. 20-27.
- Simonovic・Ahmad(2005) : Computer-based Model for Flood Evacuation Emergency Planning, Natural Hazards (2005), Vol.34, pp.25-51.

(論文受理日 : 2025年8月29日)