

35. 様々な観点からの水平避難区域の 算出方法の検討

八木 隆聖¹・呉 修一^{2*}・山田 瑛菜³

¹富山県立大学大学院 工学研究科環境工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒川5180)

²富山県立大学准教授 工学部環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒川5180)

³富山県立大学 工学部環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒川5180)

* E-mail: kure@pu-toyama.ac.jp

本研究は、洪水氾濫における家屋の粗度や脆弱性（リスクランク）の取り扱いによる氾濫流況への影響評価を行い、様々な観点から危険ゾーン（水平避難区域）の検討を行うことを目的としている。そのため、日本屈指の急流河川である富山県神通川を対象に家屋の有無を考慮した洪水氾濫解析やリスクランクの取り扱いによる家屋倒壊等氾濫想定区域への影響を評価した。さらに、詳細な数値解析を用いずに地形データの堤防高と堤内地盤高の関係から危険ゾーン（水平避難区域）の算出を行った。

Key Words: , flood inundation simulation, house, Jinzu river, risk rank evaluation

1. はじめに

近年、毎年のように豪雨災害が発生している。令和元年台風19号の豪雨により長野県長野市の千曲川では堤防が決壊し、河川が氾濫したことで住宅等が浸水、流失した。また、千曲川での洪水氾濫では家屋や微地形などの影響により、2方向への強い氾濫流れが生じた。この流れは、Priyambodoho¹⁾が被災後の詳細なLP地形データを用い、家屋の分布と氾濫流による土砂侵食状況を考慮することで再現可能であることを示している。また、八木²⁾は千曲川を対象に解像度5mの地盤標高データを用いて、家屋格子に粗度係数0.20を与えることで上記のPriyambodoho¹⁾の結果と同程度の氾濫流を表現できることを示した。そのため、破堤箇所付近の危険箇所を明示するためには、洪水氾濫解析において堤防付近の家屋などの影響を適切に表現することが重要である。また、このような洪水災害の頻発化を踏まえ治水対策は流域治水に方針転換された。流域治水においては住民の避難を促進するため、分かりやすいハザード情報の提示が重要となる。そこで、現状のハザードマップ、特に家屋倒壊等氾濫想定区域などの指定プロセスにおいて上記のような現象が与える影響が評価されているか懸念される。

従来から洪水氾濫解析は様々な方法で行われている。

例えば、八木・呉³⁾は、富山県の常願寺川と神通川を対象に計画規模流量と想定最大規模流量を外力とした洪水氾濫解析を行い、リスクランク評価による垂直・水平避難ゾーンの分類を行う避難促進案を示した。

家屋の損壊、流失を考慮した洪水氾濫解析では今井ら⁴⁾は市街地における複雑な流況を再現するには起伏地形と底面摩擦で表現する合成地形モデルによる解析が有用であることを示した。しかし、上記において家屋の影響が考慮されていない場合や家屋を考慮した場合でも、建物占有率によって粗度係数を反映し、家屋を表現しているが、家屋の損壊や流失プロセス等の影響は十分に表現されていない。そのため、既存のハザードマップでは詳細な家屋の影響や氾濫流による土砂の移動などは表現されていないと考える。これより、堤防破堤箇所付近の真に危険な区域とハザードマップの家屋倒壊等氾濫想定区域とは差異が生じる可能性がある。

上記の懸念を検討するために、本研究では日本屈指の急流河川である富山県の神通川に適用することで家屋の取り扱いや家屋脆弱性としてのリスクランクの違いが広域を対象とした洪水氾濫解析結果に与える影響を評価し、水平避難が必要な区域を明瞭に算定することを試みる。さらに、想定以上の降雨の場合、水平避難区域には水深が大きく影響するため、堤防高と堤内地盤高の関係から危険ゾーンが判定できるのではないかと考える。そこで、

本研究では数値解析を用いずに地形データのみを用いて、簡易的に水平避難区域を算出できないかを検討する。

2. 対象流域の概要

本研究では、富山県と岐阜県を流れる神通川（図-1）を対象河川とし、対象河川の浸水域に該当する富山市を対象地域とする。富山市内には1級河川である神通川や常願寺川、2級河川の井田川、熊野川などの大小さまざまな河川が流れ、川で結ばれた文化圏を形成している。また、急勾配であり、河川の勾配は上流で約 1/20 から 1/150、下流で約 1/250 からほぼフラットとなる。

3. 研究の流れ

水平避難区域の算出を行うために富山市を対象とした洪水氾濫解析を行った。外力には想定最大規模流量を設定した。さらに、数値解析を用いずに地形データのみを用いて水平避難区域の算出も行った。以下に詳細を示す。

(1) 数値解析を用いた垂直・水平避難区域の算出

神通川を対象に解像度 5 m の標高データを用いて、洪水氾濫解析を行う。氾濫域の粗度係数は家屋を考慮しない洪水氾濫解析では 0.04 を使用し、家屋を考慮した洪水氾濫解析では八木ら³⁾に習い、家屋格子の粗度係数を 0.20、その他の氾濫域では 0.04 を使用した。これにより、家屋の有無を考慮した洪水氾濫解析を実施するとともに、氾濫時の浸水深と流速に応じたリスクランクには八木ら³⁾と佐藤ら⁵⁾の2種類を検討することで、垂直・水平避難区域を分類することに取り組む。

(2) 数値解析を用いない水平避難区域の算出

数値解析を用いずに地形データの堤防高と堤内地盤高との関係から水平避難区域の算出法を検討する。地盤標高データには(1)と同様の解像度 5 m を用いる。これにより、詳細な数値解析を実施せず、簡易的に危険ゾーン（水平避難区域）を算出できると考える。

4. 洪水氾濫解析を用いた水平避難区域の算出

4章では高解像度を用いて家屋の取り扱いや家屋の脆弱性が神通川などの広域の洪水氾濫解析結果に与える影響を評価することで、垂直・水平避難区域を分類することを試みる。

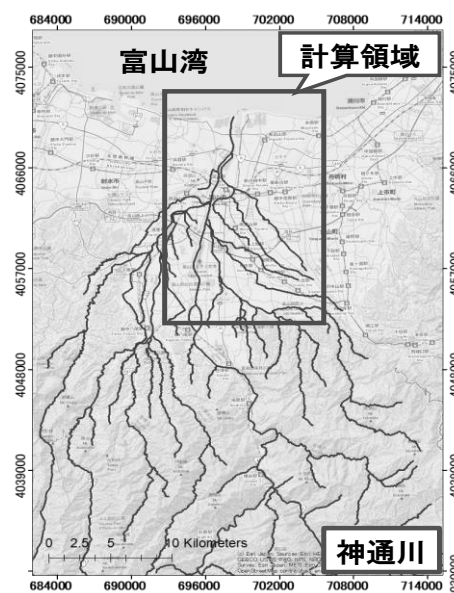


図-1 対象河川の神通川流域と計算領域

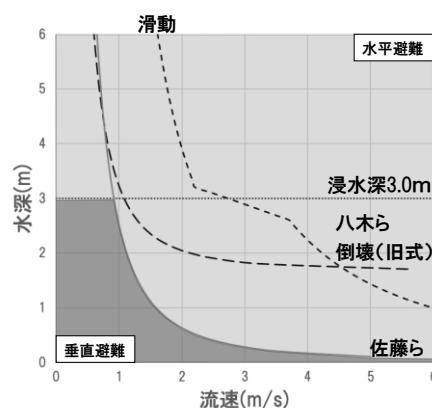


図-2 浸水深と流速に応じた八木ら³⁾と佐藤ら⁵⁾のリスクランク評価

(1) 計算条件

神通川を対象に図-1の計算領域で解像度 5 m の標高データを用いて洪水氾濫解析を行う。また、洪水氾濫解析手法の概要や、対象流量は想定最大規模流量としている点などは、八木・呉³⁾と同様の条件であるため、詳細についてはこちらを参照されたい。氾濫域の粗度係数は上記でも記載したように、八木ら³⁾に習い、家屋の影響を考慮しない洪水氾濫解析の場合、0.04 を用いた。また、家屋の影響を考慮した洪水氾濫解析の場合、解像度 5 m では家屋格子に粗度係数 0.20、その他の氾濫域では 0.04 を与え、計算を実施した。

(2) リスクランクの違い

氾濫時の浸水深と流速に応じた八木ら³⁾と佐藤ら⁵⁾の2種類のリスクランクを用いて垂直・水平避難区域を算出する。八木ら³⁾は令和元年の千曲川の家屋被害調査結果などからリスクランクを提案しており、佐藤ら⁵⁾の家屋被害のデータを追加したリスクランクを佐藤ら⁵⁾として

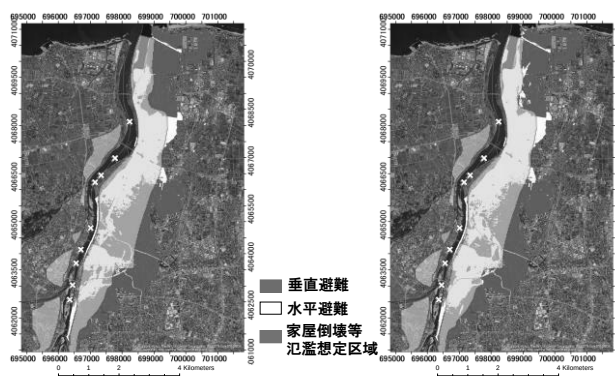


図-3 解像度 5m での垂直・水平避難区域（家屋なし，リスクランク：八木ら³⁾（左），佐藤ら³⁾（右））

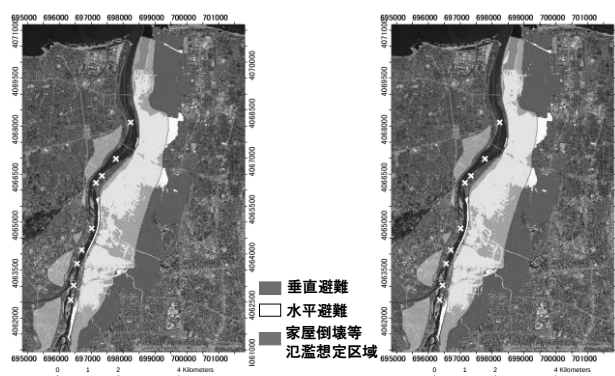


図-4 解像度 5m での垂直・水平避難区域（家屋あり，リスクランク：八木ら³⁾（左），佐藤ら³⁾（右））

本論文では使用する．図-2 に八木ら³⁾と佐藤ら³⁾のリスクランクを示す．図-2 より八木ら³⁾のリスクランクは倒壊の旧式と滑動の曲線，浸水深 3.0 m 以上を水平避難区域とする．八木ら³⁾と佐藤ら³⁾を比較すると佐藤ら³⁾の方が浸水深が低い場合も水平避難区域に含まれることから，異なるリスクランクを用いることで危険区域である水平避難区域に差異が生じるか検証を行う．なお実際の家屋倒壊等氾濫想定区域では倒壊の新式と滑動の曲線が使用されているが，本論では過去のデータに基づき更に安全側で評価することを試みる．

(3) 結果と考察

神通川での広域を対象に家屋の有無を考慮した垂直・水平避難区域を算出した．図-3 に家屋を考慮しない洪水氾濫解析結果に 2 つのリスクランクを適用した結果と神通川で現在設定されている家屋倒壊等氾濫想定区域との比較を示す．図-3 より 2 つのリスクランクを用いることで中流域，上流域にて水平避難区域に差が見られた．しかし，どちらも家屋倒壊等氾濫想定区域と比較すると低標高地域では水平避難区域が包括的に含んでおり，中流域では家屋倒壊等氾濫想定区域が広がっている．これは，家屋を考慮していない点と，浸水想定区域図の作成過程

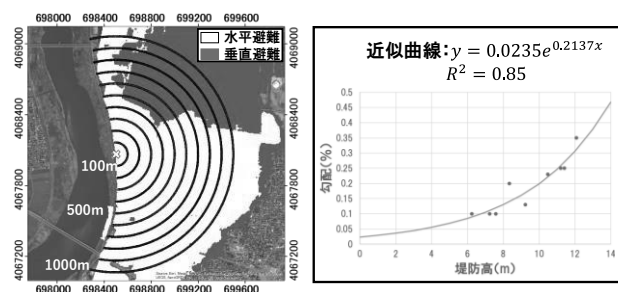


図-5 破堤地点からの距離と垂直・水平避難区域（左）堤防高と水平避難における勾配（%）の関値との関係（右）

よりも本論文での堤防破堤箇所が少ないためと考える．また，図-4 に家屋の影響を考慮した洪水氾濫解析結果に 2 つのリスクランクを適用した結果と神通川で現在設定されている家屋倒壊等氾濫想定区域との比較を示す．図-4 より 2 つのリスクランクを用いても水平避難区域に差は見られなかった．これは家屋を考慮することにより局所的に速い氾濫流が表現されたことや家屋粗度により浸水深 3.0 m 以上の区域が広がったためである．また，家屋倒壊等氾濫想定区域が下流部の低標高地域や上流部で水平避難区域とある程度の整合性が確認されたため妥当であると考えられる．さらに神通川右岸側では浸水深の影響により水平避難区域が広がっていることから数値解析を用いずに，地形データと水深の関係のみから水平避難区域を算出できるのではないかと考えた．

5. 地形データからの水平避難区域の算出

前章では洪水氾濫解析を用いて家屋の取り扱い方や家屋の脆弱性の考慮など，様々な観点から神通川の危険ゾーン（水平避難区域）を評価した．また，氾濫時の浸水深が水平避難区域に大きく影響していることが確認されたため，5 章では詳細な数値解析を用いずに地形データのみから危険区域を算出できないかを試みる．

(1) 計算手法

神通川を対象に数値解析を用いずに解像度 5 m の地盤標高データから水平避難区域を算出する．まず，各堤防破堤箇所の堤防高と堤内地の各地点の標高との勾配を算出する．想定破堤地点から堤内地の方向に 100 m 間隔で堤内地の各地点を取った．次に前章の家屋の影響を考慮した洪水氾濫解析結果にリスクランクを適用した垂直・水平避難区域（図-4（左））を用いて，堤内地の各地点が垂直・水平避難区域のどちらに属しているかを判断し，水平避難区域に属する勾配の関値を算出する．堤防破堤地点からの各地点と垂直・水平避難区域を図-5（左）に，各堤防高と勾配の関値との関係を図-5（右）に示す．図

-5 (右) のように堤防高と水平避難区域における勾配との関係から近似曲線を算出した。図-5 (右) より、堤防高と水平避難区域における勾配の閾値にはある程度の関連性があることが分かった。算出した近似曲線の整合性を図るため、近似曲線を用いて水平避難区域を算出し、家屋倒壊等氾濫想定区域と比較・検討する。

(2) 結果と考察

近似曲線から算出した水平避難区域と家屋倒壊等氾濫想定区域を図-6 に示す。図-6 から下流域では家屋倒壊等氾濫想定区域と比較すると水平避難区域が広範囲に広がっており、過大評価であるが上流域にかけて同程度の範囲であることから、ある程度の精度を有していることが分かる。これより、詳細な数値解析を用いず、簡易的に堤防高と堤内地盤高の関係から危険ゾーン（水平避難区域）を算出できることが分かった。しかし、現状では9地点の想定破堤箇所でのみ検討していないため今後も破堤箇所を増やし検討していく。

6. まとめ

本論文は、家屋の粗度、リスクランク（家屋の脆弱性）などの取り扱いが氾濫流況、水平避難区域に与える影響を評価するため、洪水氾濫解析を神通川で行った。さらに、地形データからの水平避難区域の算出など、様々な観点から危険ゾーンの評価を行った。以下、得られた知見を列挙する。

- 1) 神通川を対象に解像度5mを用いて家屋の有無や様々なリスクランクでの洪水氾濫解析の適用を行い、算出した水平避難区域と家屋倒壊等氾濫想定区域との比較を行った。これにより、広域においても危険なゾーンと家屋倒壊等氾濫想定区域は同程度の範囲であったため、現在設定されている家屋倒壊等氾濫想定区域は整合性を有していることが分かった。
- 2) 詳細な数値解析を用いずに地形データの堤防高と堤内地盤高との勾配の関係から簡易的に水平避難区域を算出した。比較より家屋倒壊等氾濫想定区域と算出した水平避難区域が同程度の範囲であったため、本研究で用いた算出方法の整合性が確認された。

しかしながら、本論文では神通川での破堤地点の想定数が少ないことや用いるリスクランク、洪水氾濫解析の家屋の取り扱い方法によって垂直・水平避難区域が変わ

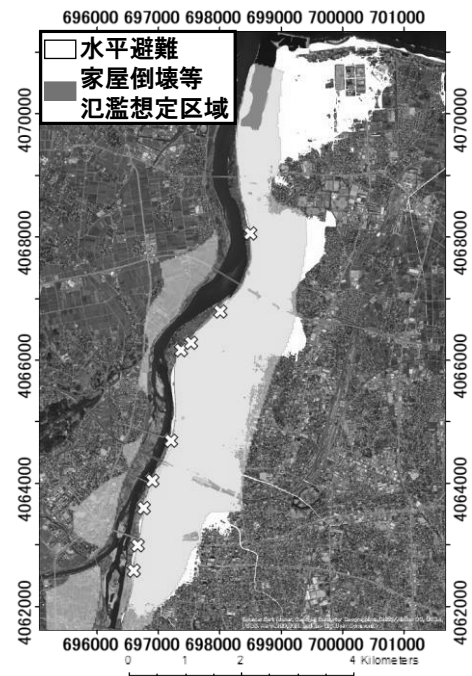


図-6 地形データから算出した水平避難区域

るため今後も家屋被害データの収集などを行う必要がある。よって、今後も多くの解析を通じて本論文の結果は検証、アップデートされる必要がある点は注意されたい。

謝辞：本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発地域課題分野（河川）「急流河川流域における水害版 BCP の河川計画・管理への実装可能性に関する研究」の助成を受けた。ここに記して謝意を表す次第です。

参考文献

- 1) Bambang PRIYAMBODOHO, 八木隆聖, 木藤あや音, 石川彰真, 呉修一: 2019 年長野県千曲川洪水災害における家屋被害状況と氾濫流況の関係, 土木学会論文 文集 B1(水工学), Vol.76, No.2, pp.I_619-I_624, 2020.
- 2) 八木隆聖, 呉修一, 木藤あや音: 洪水氾濫解析での家屋の取り扱いの影響評価と 3 分類でのハザード明治方法の提案, 土木学会論文 文集 B1(水工学), 投稿中, 2021.
- 3) 八木隆聖, 呉修一: 常願寺川および神通川における洪水氾濫解析とリスクランク評価による垂直・水平避難ゾーンの提案, 土木学会論文 文集 B1(水工学), Vol.76, No.2, pp.I_715-I_720, 2020.
- 4) 今井健太郎, 今村文彦, 岩間俊二: 市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案, 土木学会論文 集 B1(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_311-I_315, 2013.
- 5) 佐藤智, 今村文彦, 首藤伸夫: 洪水氾濫の数値計算および家屋被害について-8610 号台風による吉田川の場合-, 第 33 回水理講演会論文集, 1989.