

氾濫形態及び斜面勾配の影響を考慮した 避難経路策定モデルの提案と現地適用

岡山大学 学生会員 ○橋爪 菜摘
岡山大学 フェロー会員 前野 詩朗
岡山大学 正会員 赤穂 良輔
岡山大学 正会員 吉田 圭介

1. はじめに

平成26年8月19日から20日にかけて起こった広島県の豪雨災害により、大規模な土石流が発生し、甚大な被害となった¹⁾。被災地の特徴として急斜面上に発達した市街地であることが挙げられる。集中豪雨による災害が予想される場合、土石流が起こる前に迅速に避難する必要があるため、正確な避難経路の設定、発信が重要視される。そこで、本研究では氾濫の時間的変化及び勾配を考慮した避難経路の設定を目的とし、現地適用の正確性の検討として、広島市の集中豪雨による被害が最も大きかった安佐南区八木地区を対象に、氾濫の時間的変化を考慮した避難経路の設定を行った。

2. 数値解析の概要

2.1 氾濫解析(浅水流モデル)

氾濫の時間的変化を調べるために浅水流モデルによる氾濫解析を行った。氾濫流の基礎方程式には、非圧縮流体に対する連続の式と静水圧仮定による運動方程式から構成される二次元浅水流方程式を採用した。水路モデルの基礎方程式には一次元の浅水流方程式を用いた²⁾。

2.2 避難経路の設定(ダイクストラ法)

ダイクストラ法とは最短経路問題を効率的に解くグラフ理論における動的なアルゴリズムであり、スタート地点からゴール地点までの最短経路と距離を求めることが可能となる。まず、スタートとゴールを設定し、道路を全て点で表す。スタートの位置からいくことのできる場所への最短距離を算出し、その中でも最短のものを最適解として確定させる。次に確定した場所から辿れる経路を確認し、辿った場合の距離を算出し、その段階で判明している距離より大きい場合は更新せ

表-1 歩行速度減衰モデルに用いる係数の設定

	歩行限界水深 $H_{\max}$ (m)	歩行限界流速 $V_{\max}$ (m/s)	最大歩行速度 $U_{\max}$ (m/s)
勾配なし	0.7	2.5	1.5
勾配あり	0.7	1.0	1.5

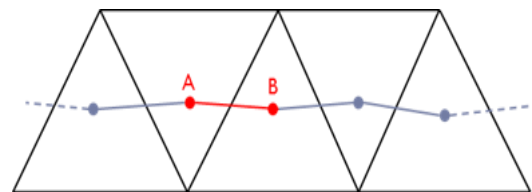


図-2 解析範囲の概要

ず、距離が小さい場合のみ新たな経路を採用することで最短経路を更新していく。この手順を繰り返し、経路を確定させていくことで、ゴールまでの最短経路・最短距離が確定する。この方法を利用し、避難場所をスタートとし、他のすべての点までの最短経路及び最短距離を求めることで、すべての地点から避難場所までの最短経路及び最短距離を求めることができる。

2.3 歩行速度の計算

氾濫解析から得られた水深及び流速から受ける抵抗、勾配による歩行速度の低下を考慮した歩行速度の算出をする。道路の点がそれぞれどの三角形格子に対応しているかを抽出することで、各点における水深及び流速が算出でき、歩行速度が求められる。本研究では、 $H_{\max}, V_{\max}, U_{\max}$ について表-1に示す、成人男性における歩行速度条件を用いて検討した。また避難の歩行速度に関して、以下に示す目黒らの歩行速度減衰モデル³⁾を用いた。

$$v = v_{\max} \left| 1 - \frac{h}{h_{\max}} - \frac{u}{u_{\max}} \right| \quad (1)$$

ここで、 $h_{\max}$ は歩行限界水深、 $v_{\max}$ は歩行限界流速、 $u_{\max}$

キーワード 内水氾濫シミュレーション、土石流、広島土砂災害、避難シミュレーション

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 岡山大学大学院環境生命科学研究科

TEL 086-251-8167

は最大歩行速度を示す．また h は水深， v は水の流速， u は歩行速度を表す．図-1 において経路を決定していく際，道路上の点の A から B に向かう場合，AB 間の歩行速度の算出には A 地点の水深と流速を用いる．

勾配に関して，坂を上る方向に歩行する場合は，歩行速度は遅くなり，歩行限界流速も小さくなると考えられるため，歩行限界流速の条件を変えた(表-1)．歩行限界流速は歩行速度の算出式にも含まれているため，勾配を考慮した歩行速度の算出ができる．

3. 数値テスト

勾配がどの程度歩行速度や避難経路に影響を及ぼすのかを確かめるため，建物再現を行った簡易的な地形(図-2)において勾配を変化させ，影響の確認を行った．建物内への浸水は考慮せず，勾配は頂上から一様に 0.01 と 0.001 を与えた．この 2 ケースについて，頂点

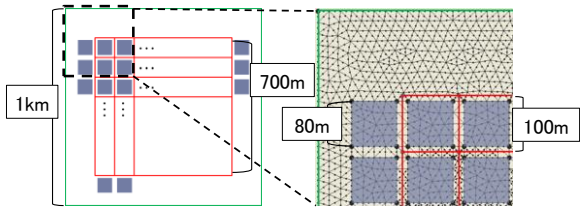


図-2 解析範囲の概要

表-2 避難時間の時間的变化

	初期時間 (秒)	1 時間 後(秒)	2 時間 後(秒)	3 時間 後(秒)	4 時間 後(秒)
0.001 勾配	390.0	390.0	390.0	390.1	390.1
0.01 勾配	390.0	390.4	397.2	427.8	487.1

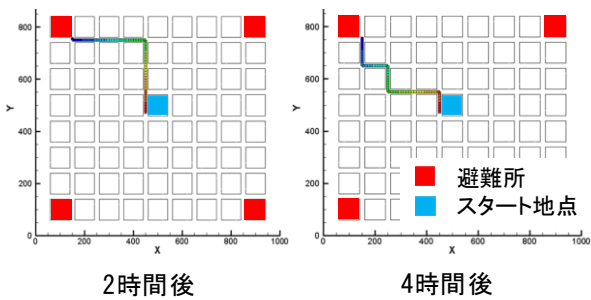


図-3 勾配なしの場合の避難経路の時間変化

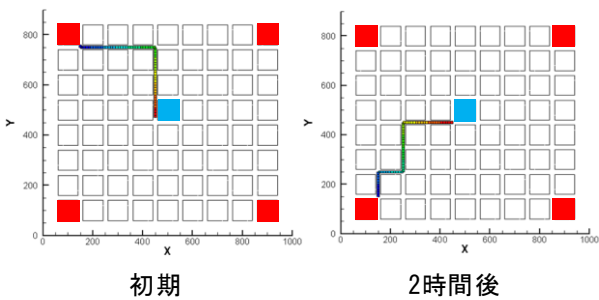


図-4 勾配ありの場合の避難経路の時間変化

の水深が 40cm になるハイドログラフに沿った水量を解析範囲中央部より 4 時間与え，氾濫解析により水深・流速を求めた．本研究では式(1)を用いて，被験者を成人男性として数値テストを行った．ここで避難所は道路の四隅(赤色のブロック)に設置し，スタート地点(青色のブロック)は解析範囲の中心に設定した．

2 ケースの勾配について比較を行うと，勾配を考慮した歩行速度の条件の提案において，緩勾配の場合では勾配による影響は小さく，比較的急な勾配の場合，勾配による影響は大きくなることが確かめられた．この 2 ケースにおいて，勾配が 0.001 の場合は 4 時間経過後も経路に変更はある(図-3)が，時間に影響は出ていない．勾配が 0.01 の場合には 2 時間経過付近から避難時間に影響が出始め，4 時間後には 97 秒遅くなっており，大きく影響している．また，避難経路にも変化が見られ，2 時間後には避難所も変更されている(図-4)．このことから，比較的急勾配な地形の場合，勾配の影響を受けたことによる歩行速度の低下，及び避難経路の変更が生じており，勾配を考慮した避難経路の算出式の条件はおおよそ再現できていると言える．

4. 解析結果および考察

4.1 解析対象地域の概要

本研究では，平成 26 年 8 月の広島豪雨災害の中でも特に被害の大きかった広島県広島市安佐南区八木地区(図-5)を対象として，豪雨による氾濫解析，避難経路の設定を行った．この地区のみで全体の半数以上の人的被害があった．この災害による犠牲者は同時多発的に複数箇所において発生した土石流によるものであるが，八木地区では急傾斜地に住宅が立地しており，当時は急斜面の道路上に豪雨により激しい流れが発生していたこともあり，事前の避難が困難であった．

広島県が定める避難所は対象地区内に 7 ヶ所設置さ



図-5 解析対象範囲(広島市安佐南区八木地区)

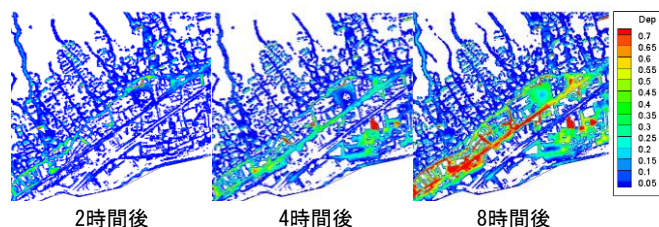


図-6 水深の時間変化

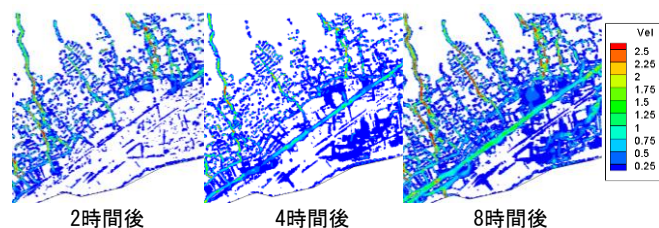


図-7 流速の時間変化

れており、その地点までの避難経路を検討する。道路再現は国土地理院の道路データを変換し、約 2m おきに点をうち、その点を使用し、地点ごとの水深・流速から歩行速度の算出を行い、避難経路の検討を行った。

4.2 氾濫解析結果

雨量は国土交通省の XRAIN⁴⁾のデータより、8 月 19 日の 18 時から 8 月 20 日の 2 時までの 8 時間のデータを用いて解析を行った。ここで、最も雨量が多く、記録的豪雨となった 20 日の 2 時から 4 時はそれ以前に避難する必要があるとして、今回の検討では除いた。

勾配が急な山間部では水深は浅いが、流速が 2.0m/s を超える地点もあり、勾配がある場合の歩行限界流速を超えているため、山を登っての避難は困難であることが示唆できる。ここで、図-6、図-7 に解析範囲の一部を拡大した場合の水深・流速の時間変化を示す。2 時間後のデータでは水深は比較的浅いが、流速は 2.5m/s を超える場所が見られる。これは平坦な地形における成人男性の歩行限界流速であるため、成人男性を含むすべての人が歩行不可能となる。4 時間後には水深は上昇しているが流速は低下している地点が多くみられ、歩行限界水深を超えるため歩行が不可能になる地点が現れる。流速は比較的小さいが、主要道路では水深が 0.3m で流速が 1m/s に近い値が確認でき、容易に歩行が可能な状態ではないと考えられる。8 時間後には、多くの地点において水深が 0.7m を超え、山間部につながる道路では流速が 2.5m/s を超える。0.7m、2.5m/s はそれぞれ成人男性の歩行限界の水深、流速であるため八木地区に住む大多数の人が避難できなくなると考えられる。歩行限界に達していない地点においても水



図-8 避難スタート地点

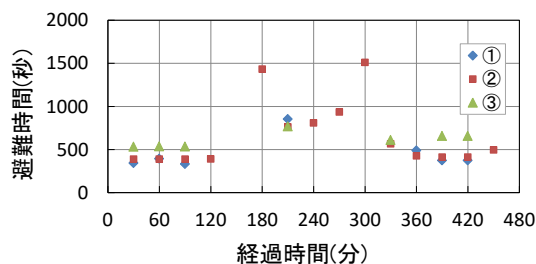


図-9 スタート地点ごとの避難時間の変化

深・流速は大きくなっており、歩行及び避難は困難であると予測できる。

4.3 避難経路の設定

3 か所の地点をスタート地点(図-8)とし、解析範囲内に存在する 7 ヶ所の避難所までの避難経路の検討を行った。①の地点は山間部に位置しており、急勾配な斜面である。②の地点は比較的平坦な場所で、主要道路に密接しており、③の地点は解析範囲内の東側の斜面上で、避難所から少し離れた場所に位置している。図-9 にそれぞれのスタート地点からの避難時間に変化を示す。スタート地点ごとの避難時間について比較すると、解析開始から 2 時間まではそれぞれにあまり差はなく、2 時間経過後から①と③については避難が不可能となり、②については避難にかかる時間が大きく変化する。雨が弱くなる 0 時から 1 時には比較的避難時間が短くなり、避難しやすい状況となるが、2 時直前にはどの地点からすべての避難所への避難は不可能となった。

ここで 3 ケースの中から最も避難可能な時間が多く、避難時間に変動が大きい②の地点からの避難経路の時間変化について図-10 に示す。初期の経路における避難時間は 389 秒であり、最も近い位置の広島市立梅林小学校に向かっている。2 時間が経過すると、近い場所に位置する避難所に行くことが不可能となり、城山集会所への避難経路を設定しており、避難時間は



図-10 避難経路の時間変化

初期の約 3 倍になっている。4 時間後には徐々に南側の水深が大きくなり、歩行が困難となるが主要道路の北側において流速が一度低下するため歩行が可能となり、室屋会館へと避難経路を更新する。7 時間経過時刻である 20 日の 12 時から 1 時にかけては雨量が少ないため、比較的避難が容易となり、初期とほぼ同じ経路が選択されるが、避難時間は初期の倍の時間がかかることが確認できた。8 時間が経過するとどの経路においても避難が不可能となるため、8 時間経過以前の 1 時には避難する必要がある。

4.4 勾配による避難時間および経路の比較

4.3 において 3 ヶ所のスタート地点からの避難時間の変化を示したが、斜面地に設定された①と③が、比較的平坦な地形にある②に比べ、避難不可能な時間が多くみられた(図-9)。このことから、勾配が避難経路及び避難時間に影響していると考えられる。ここで、①について勾配を考慮した場合と考慮していない場合の避難時間の比較を図-11 に示す。解析開始より 100 分までは差はほとんどないが、110 分から勾配を考慮した場合、避難不可能な時間帯となっているが、勾配を考慮しない場合は避難可能な時間帯となっていることが確認できる。200 分以降にはどちらの場合にも避難は可能であるが、220 分には勾配を考慮した場合、避難時間が考慮しない場合の倍の時間がかかっている。このことから勾配を考慮しない場合、避難時間を過大評価していることが明らかになった。

この結果より、避難経路の決定において、勾配が歩行速度に及ぼす影響は無視できないことが明らかになった。特に広島市の八木地区の様に急斜面地に住宅地が存在する地域では、今後避難経路策定の際には地形の勾配を考慮に入れる必要がある。

5. 結論

以下に本研究で得られた結論を示す。

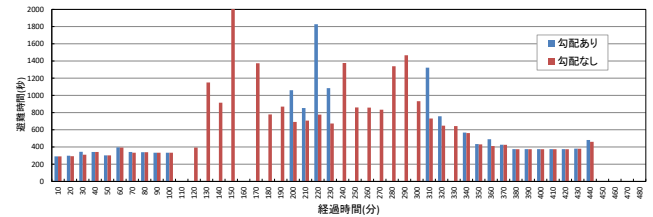


図-11 勾配の有無による避難時間の比較

- 1) 数値テストの結果、急勾配な地形は緩勾配な地形と比較すると歩行速度に及ぼす影響が大きいことが確認でき、条件の提案が有用であることが示された。
- 2) 水深・流速の時間的変化による、歩行速度への影響を考慮し避難経路の設定を行うことで、それぞれの時間において最も適切な避難経路の決定ができ、避難にかかる時間の把握もできる。そのため避難時間の設定に加え、いつまでに避難すべきか、避難の指示を出すべきかの判断のための有用な材料となり得る。
- 3) 勾配を考慮しない場合、避難時間及び経路を過大評価することがあるため、避難経路の設定において勾配を考慮することが必要だと言える。

参考文献

- 1) 水工学委員会災害調査団(2015): 平成 26 年 8 月広島豪雨災害調査報告書。
- 2) 石川忠晴: 道路等の連続盛土や灌漑水路の配置を考慮した氾濫水挙動のモデル開発, 河川整備基金助成事業。
- 3) 目黒公郎, 織田浩平: 津波災害時の避難行動シミュレーションモデルの開発, 生産研究(研究速報)57 巻 4 号, 2005。
- 4) XRAIN(extended radar information network): 国土交通省が運用する高性能気象レーダーを用いたリアルタイム降雨観測システム。