

# 数値解析を用いた洪水氾濫形態と避難経路の安全性に関する考察

熊本大学 工学部 土木建築学科 学生会員 北村 俊輔  
 熊本大学 くまもと水環境・減災研究教育センター 正会員 石田 桂  
 熊本大学 大学院先端科学研究部 正会員 竹内 裕希子  
 熊本大学 自然科学教育部 学生会員 永里 起義  
 熊本大学 自然科学教育部 学生会員 坂口 大珠

## 1. 序論

近年、観測史上最大規模や想定を超える豪雨による自然災害が多発しており、甚大な被害が生じている。例えば、令和2年7月豪雨では、人吉市や球磨村などの球磨川流域において、人吉市総合防災マップの浸水想定における雨量と同規模の雨量が記録されたり、球磨川やその支流で氾濫が発生し、浸水による被害が生じた。この災害で、人吉市では避難指示が発令されたものの、19名の死亡が確認された。豪雨による被害が増加する中、国土交通省は最大クラスの洪水等への対策としてソフト対策の重点化を指針として示している。さらに「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法」<sup>2)</sup>「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」<sup>3)</sup>を公表し、全国の河川においておよそ1000年に1度規模の大雨に基づく浸水想定区域図等の整備を進めている。浸水想定区域は重要であるが、破堤と越水では河川から流入する水の流速ベクトルが異なり、破堤・越水地点の違いにより氾濫流の方向・速度や到達時刻が異なる。より安全な避難経路の選定には浸水想定区域のみならず、浸水時の詳細な氾濫流の方向・速度情報が有用であると考えられる。そこで、本研究では仮想的な空間を用いた洪水氾濫の数値解析を行い、洪水氾濫が発生した地域における、避難経路の安全性を検討することを目的とする。

## 2. 手法

本研究では、二次元浅水流方程式を用いることで仮想空間における浸水氾濫解析を行う。連続式は式(1)、運動量方程式は式(2)(3)で示す。

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

<運動量方程式>

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{h} \right) \\ = -gh \frac{\partial z}{\partial x} - gn^2 \frac{M\sqrt{M^2+N^2}}{h^{10/3}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2 \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{h} \right) \\ = -gh \frac{\partial z}{\partial y} - gn^2 \frac{N\sqrt{M^2+N^2}}{h^{10/3}} \end{aligned} \quad (3)$$

$h$ は水深、 $M$ 、 $N$ はそれぞれ $x$ 方向、 $y$ 方向の流量フラックス、 $z$ は水位、 $n$ は粗度係数である。計算メッシュは $10\text{m} \times 10\text{m}$ 、時間ステップは $0.001$ 秒である。 $M$ 、 $N$ を $h$ の計算点から $+\Delta x/2$ 、 $+\Delta y/2$ だけずらして、 $h$ 、 $M$ 、 $N$ を千鳥格子状に配置することでスタッガード格子として計算を行う。離散化には有限体積法を用いる。また、時間方向差分には陽的解法の前進差分法を用いて計算を行う。個々の建物や障害物の影響は、粗度係数として設定し計算を行う。洪水氾濫解析を行う仮想空間は、令和2年7月豪雨で甚大な被害が生じた、熊本県人吉市を簡易化したものとし、人吉市の土地利用状況を基に各メッシュの粗度係数を設定する。土地利用ごとに設定する粗度係数は表1に示す。

## 3. 結果

粗度係数と初期水深を設定し、破堤氾濫開始から2時間経過後の状況を想定した解析を行った結果を図1に示す。横軸・縦軸はそれぞれ $x$ 座標・ $y$ 座標を示している。また、複数箇所での洪水氾濫が発生した場合を想定して、下側に加え左側にも氾濫を設定して解析を行った結果を図2に示す。図1と図2を比較すると、図2では2つの氾濫範囲が重なっている部分はあるが、それぞれの氾濫の浸水範囲にはほとんど変化が見られない。このことは、氾濫開始からの時間がさらに経過したときの状況を想定した解析の結果においても同様であった。

表1. 土地利用に応じた粗度係数

土地利用	粗度係数 $m^{-1/3} \cdot s$
住宅地（密）	0.100
住宅地（粗）	0.050
水域	0.025
農地・空き地	0.020
道路	0.015

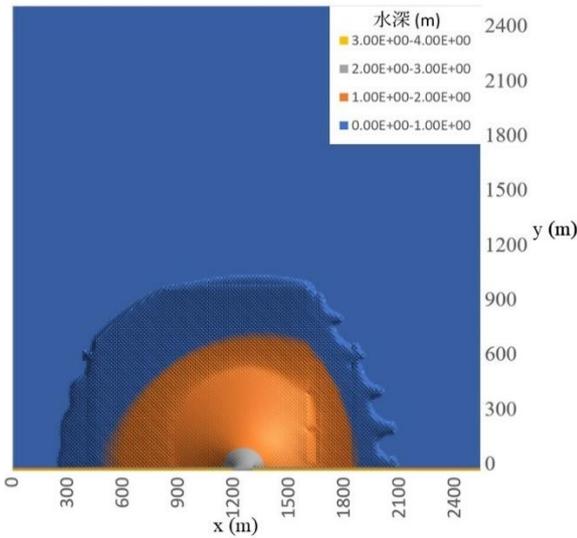


図 1. 人吉市を想定した洪水氾濫解析の結果

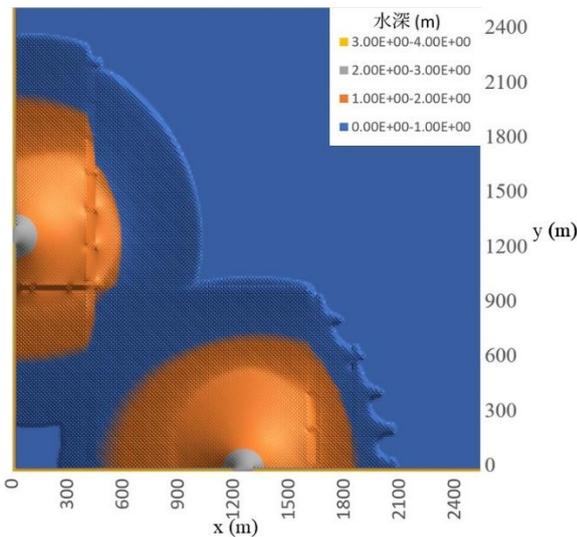


図 2. 下・左側での洪水氾濫を想定した解析結果

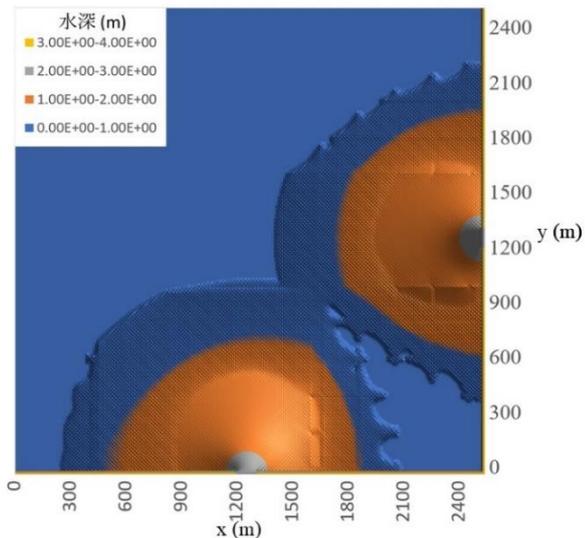


図 3. 下・右側での洪水氾濫を想定した解析結果

このことから、複数の洪水氾濫の浸水範囲を考える際には、それぞれの氾濫の浸水範囲を別々に解析することで、実際の浸水範囲を十分な精度で予測できると考えられる。下側に加え右側にも氾濫を設定し、解析を行った結果を図 3 に示す。図 2 と図 3 を比較すると、

図 3 は浸水範囲が小さくなっており、浸水到達時間も遅くなっていることがわかる。これは右上部に設定した住宅地（粗）の粗度係数、右下部に設定した住宅地（密）の粗度係数が大きいことによる影響であると考えられる。また、図 3 において右側に設定した氾濫は下側に設定した氾濫と比べて浸水範囲が小さくなっている。本研究では初期流量を与えていないため、粗度係数の設定が流入量自体に影響しており、浸水到達時間・浸水範囲が全体的に小さくなっていると考えられる。また、本研究では住宅地と仮定して粗度係数を設定した部分には、連続した空間として道路を仮定した粗度係数を設定している。図 3 から、連続空間を設定した部分では浸水到達時間が早くなっていることがわかる。これは、道路を想定した粗度係数を設定したことによる影響だけでなく、連続した空間であることも影響していると考えられる。また、粗度係数を大きく設定するほど、連続した空間の設定の影響は顕著である。これは連続空間と周囲の粗度係数の差に比例しているためであると考えられる。

4. まとめ

本研究では仮想空間における洪水氾濫解析を行った。浸水範囲や浸水到達時間には、洪水氾濫が発生した地域の土地利用が大きく影響する。ハザードマップを作成する際には氾濫の規模だけでなく、氾濫の発生場所を予測し、土地利用を考慮することが必要である。解析を行う際には粗度係数が解析結果に与える影響が非常に大きいことから、適切な値を設定することが精度の向上に直結する。本研究では土地利用を 5 種類に分類し解析を行ったが、より詳細に分類することでさらに精度を向上させることができる。住宅地等を考慮する際にも、住宅地を建物の密度で分類し、適切な粗度係数を設定することで、建物の影響をメッシュ特性としてより現実に近い条件で解析できる。複数箇所で氾濫が発生した際の浸水域を予測する際には、それぞれの氾濫の浸水範囲を導出することで、実際の浸水範囲を予測することができる。また、氾濫発生時の浸水到達時間を考える際には道路等の連続空間を考慮することが重要である。ハザードマップ等で避難経路や避難を開始しなければいけない時間を導出するには、浸水到達時間の導出は必要であり、解析を行うためには連続した空間を考慮できるメッシュサイズの設定が必要になる。

5. 参考文献

- 1) 防災科学技術研究所, 令和 2 年 7 月豪雨による熊本県人吉市および球磨村渡地区の洪水被害の特徴 (2020)
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局, 洪水浸水想定区域図作成マニュアル(2015)
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課水防企画室, 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室, 洪水浸水想定区域図作成マニュアル (2015)