

水害リスクの時空間分布を考慮した統合型洪水氾濫・避難シミュレータの基礎的検討

熊本大学 学生会員 ○山本智和, 三島雅樹, 山本 幸 正会員 田中直樹, 山田文彦, 柿本竜治, 藤見俊夫

1. はじめに

近年の我が国における災害の傾向として、計画規模を超える豪雨が多発している。このような計画規模以上の外力変動に対する事前ソフト対策の一つとして、洪水ハザードマップの作成と公表が挙げられる。しかし、従来の洪水ハザードマップで示される浸水深は、複数のシナリオから得られた最大浸水深を表すものが多いが、浸水深の計算結果に対する確率分布は検討されておらず、最大浸水深の定義が不明確であり、最大浸水深と最大流速間の位相差を考慮していない。そのため、過小または過大評価につながる可能性があり、現状の洪水ハザードマップは、地域水害対策を考える上で十分な情報提示には必ずしも至っていない。そこで本研究では、水害リスクの時空間分布を考慮した統合型洪水氾濫・避難シミュレータの構築を行い、地域で実践し、実効的な防災対策の一助とすることを目的としている。今回はその初段階として、避難時の歩行困難度に関するリスクを評価し、その時空間分布を考慮可能な洪水氾濫・避難シミュレーション手法について基礎的な検討を行う。

2. 水害リスクを考慮した氾濫シミュレーション

本研究では、白川(1級河川)と坪井川(2級河川)が貫流する熊本市中心市街地を対象とする(図1)。従来、平面2次元の洪水氾濫解析では直交(デカルト)格子が用いられてきた。しかし、都市域では土地利用形態が複雑で、直交格子でこれらの影響を考慮するためには、計算格子の細分化が避けられず、計算精度の向上と土地利用データの作成時間・計算時間の増大とのトレードオフが問題となる。そこで、今回は、比較的少ない計算格子で計算精度を確保可能な非構造格子¹⁾を適用する。計算格子は三角形と四角形で構成されており、総格子点数は41,273点、総格子数は42,244個である。基礎方程式や計算手法の詳細は、川池ら(2000)¹⁾と同様である。

計算での氾濫形態は越流とし、越流箇所およびその流量の時系列は、事前に白川の整備計画流量(2,000 m³/sおよび2,300 m³/s)、整備方針流量(3,000 m³/sおよび3,400 m³/s)を上流端で与えた広領域の平面2次元計算(直交格子)を行い、決定した。その後の氾濫計算(非構造格子)では、上記手法で求めた合計146箇所(右岸83箇所、左岸63箇所)での越流量の時系列を計算開始とともに、それ

ぞれの場所で与え、氾濫開始から15時間の計算を行う。

図2は流量3,400 m³/sにおける浸水深の時間変化を示している。計算開始から10時間後のa)図と15時間後のb)図を比較すると、氾濫水が徐々に地盤高の低い場所へ流れ込むことが確認された。



図1 対象領域の航空写真(約5km四方)

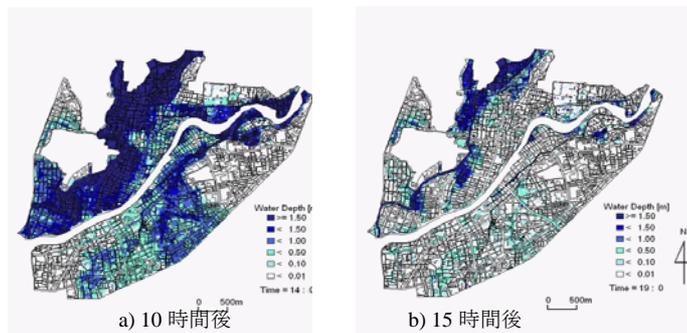


図2 流量 3400m³/sにおける浸水深の時空間変化

3. 水害リスクの時空間分布を考慮した危険度評価

水害リスクについては、避難時の歩行困難度に関する危険度を評価する指標として、大西ら(2005)²⁾による単位幅比力とJonkmanら(2008)³⁾による転倒・滑動モーメントによる危険度評価指標の比較検討を行う。また、各計算格子での浸水深と流速の時系列から歩行困難エリアを算定し、水害リスクの時空間分布を把握する。

Jonkmanら(2008)³⁾は水害に対し、浸水深と流速の両面からの歩行に関する危険度評価指標を検討している。一般成人を対象として、浸水深と流速の関係式は(1)、(2)式で表される。式(1)は流水中を人が歩行する場合、浸水深が大きくなり、転倒することによって歩行困難となる危険度指標、また、式(2)は流速が大きくなることで浸水深が浅い場合でも足元が滑動する危険度指標としてモーメントの概念を用いて提案されたものである。

$$\text{転倒モーメント} : hv_c = \frac{2mg \cos(\alpha)L}{C_D B \rho} \quad (1)$$

$$\text{滑動モーメント} : hv_c^2 = \frac{2\mu g}{C_D B \rho} m \quad (2)$$

また、大西ら(2005)²⁾は、浸水深・流速による単位幅当りの比力という観点から、歩行困難となる値を実験結果より 0.125m²であることを提案している。

$$\text{単位幅比力} = \frac{u^2 h}{g} + \frac{h^2}{2} \quad (3)$$

本研究では、これらを2つの指標を考慮した危険度評価について検討する。まず、上記2つの危険度評価指標について比較してみると、式(3)による単位幅比力による避難歩行時の危険度評価指標は、式(1)および式(2)の転倒・滑動モーメントによる危険度指標に比べてより小さな浸水深・流速の組み合わせを危険領域と判定しており、危険度評価指標としては、より安全側の指標である。

図3は、式(1),(2)についての歩行困難に関するハザード曲線に加え、流量 3,400m³/s の氾濫解析結果から得られた全格子・全時間における単位幅比力の値をプロットしたものである。これより、単位幅比力、転倒・滑動モーメントの視点から見たそれぞれの歩行困難エリアに数多くの点が存在することが確認される。

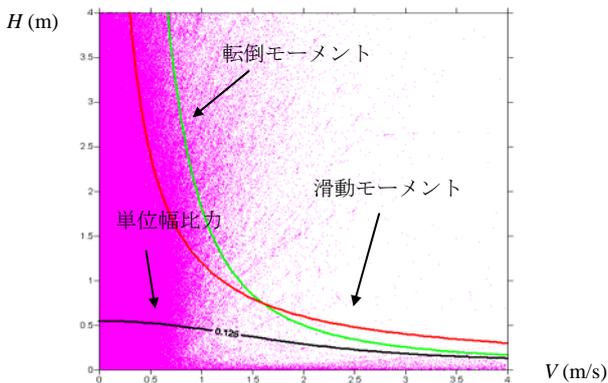


図3 歩行困難エリアの危険度評価

前節で述べた単位幅比力から推定された避難時歩行の危険度評価結果と転倒・滑動モーメントによる指標から推定された危険度評価結果を地図上に表現することは、最大浸水深のみを考慮して描かれた既存のハザードマップを改良するためにも非常に重要であることが考えられる。その初段階として、最大浸水深・単位幅比力・転倒・滑動モーメントによる危険度評価の比較検討を行った。この結果、最大浸水深図では、避難困難エリアが最も広く、実際には避難可能な範囲も含まれているということが示唆された。よって、実際に避難シミュレータ⁴⁾と連動した洪水氾濫・避難シミュレータを構築する場合、浸水深・流速の位相差を取り入れた単位幅比力、あるいは転倒・滑動モーメントによる危険地域の表示法は、有効な手段であると考えられる。

図4は危険度評価指標において、より安全側の指標である単位幅比力を用いて、河川氾濫に伴う歩行困難エリアを時間毎に示した図である。両者を比較すると、時間の変化に伴い、歩行困難エリアも大きく変化していることが確認された。つまり避難開始のタイミングが異なることで、避難歩行に関するリスクも大きく変化するというを示している。

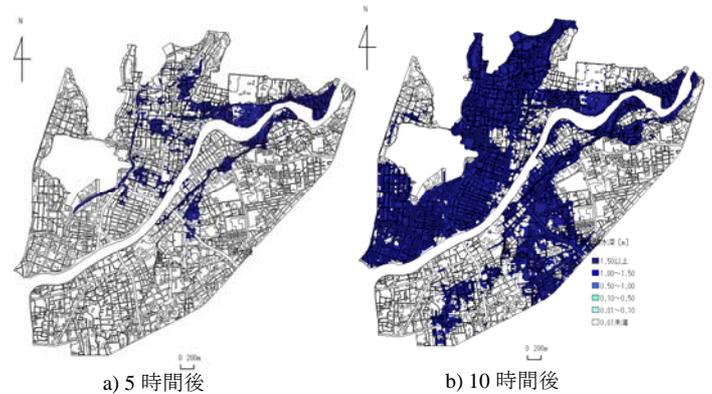


図4 歩行困難エリアの時空間分布

5. まとめと今後の課題

本研究では、水害リスクの時空間分布を考慮した統合型洪水氾濫・避難シミュレータの構築に向けて、水害リスクの時空間分布の計算方法について基礎的な検討を行った。浸水深・流速の位相差を考慮した危険度評価については、単位幅比力、転倒・滑動モーメントによる歩行困難エリアが最大浸水深のみを表示したものと異なる結果を示すということが明らかとなった。また、単位幅比力、あるいは転倒・滑動モーメントによる空間分布は最大浸水深図と比較して範囲が狭くなることから、住民の避難を考える際には、既存の洪水ハザードマップにあるような最大浸水深のみを表示するのではなく、浸水深・流速の位相差を考慮した地図へと改良することが望ましいことが確認された。これと同時に、最適避難経路や避難時間を判断する際には、マルチエージェントによる避難シミュレーションを適用することが可能であることが確認された。今後は統合型洪水氾濫・避難シミュレータの構築とともに、水害リスクの表現方法として、被害対象物や被害関数などを考慮した水害リスクマップについても検討する予定である。

参考文献

- 1) 川池健司ら：水工学論文集，44，pp.461-466，2000.
- 2) 大西良純ら：水工学論文集，52，pp. 841846，2008.
- 3) Jonkman, S.N and E. Penning, Human instability in flood flows: Journal of the American water resources association, Vol.44, pp.1208-1218, 2008.
- 4) 柿本竜治ら：土木計画学研究・論文集，26，pp. 113-122，2009.