

高潮浸水を考慮した避難行動シミュレーションに基づく避難場所の有効性に関する研究

香川大学大学院 学生会員 ○久保栞, フェロー 吉田秀典
 海洋研究開発機構・数理科学・先端技術研究開発センター フェロー 堀宗朗
 東京大学地震研究所 正会員 市村強, M.L.L. Wijerathne

1. はじめに

近年、日本においては豪雨・高潮災害が多発しており、それらによる甚大な被害が生じている。香川県高松市において水災害時に使用可能とされる避難場所は、学校やコミュニティセンターといった既存の建物が大半を占めているが、避難場所として指定されるにあたっては、過去の水災害に関する記録や地形というようなデータを基にしていない。そのため、2004 年台風 16 号の接近時には、指定されている避難場所が浸水し、多くの住民が避難行動を制限された。そこで本研究では、高潮発生時における浸水解析を行い、得られた浸水状況を考慮した避難行動シミュレーションを行う。その際、避難場所の配置に着目し、複数の避難場所を新たに設けたシミュレーションを行うことで、現行の避難場所ならびに新たに追加した避難場所の有効性について評価する。

2. 解析手法

2. 1 高潮浸水解析

本研究では、3 次元流体力学ツールの OpenFOAM を用いて、高潮発生時の浸水解析を行う。解析では、VOF 法を用いた混相流解析ソルバーを用い、海側の境界面において、一定周期・波高の波を常時発生させる。このソルバーは非圧縮性・非定常・等温の流体を対象としており、基礎方程式は Navier-Stokes 方程式、連続式、そして移流方程式である。

2. 2 避難行動シミュレーション

避難行動シミュレーションを行うにあたっては、著者ら一部が開発した避難行動シミュレータを使用する。本シミュレータはマルチエージェントシステムを採用しており、避難時に発生する追い越しや停止といった複雑な行動を表現することが可能である。また、これらの行動を表現するにあたって、歩行速度といった運動能力のデータや、異追い越し・停止の判断基準といった知性のデータを有するエージェントを用いる。

3. 高潮浸水解析

3. 1 解析対象エリアと解析条件

高潮浸水解析では、高潮浸水想定区域図（図-1）にて黒枠で示す高松市木太町北部を解析対象とする。ここで、図中の青丸数字は避難場所を示す。解析メッシュの下面（地表面）については、国土地理院が提供する 5m 間隔の数値標高データを採用し、解析メッシュの北側面において、2004 年に発生した台風 16 号接近時の状況を参考に、波高が 1.47m の波を周期 11.5 秒で発生させる²⁾。

3. 2 高潮浸水解析の結果と考察

解析エリアにおける浸水解析結果のうち、浸水開始から 2100 秒後、2700 秒後の浸水状況を図-2 に示す。なお、浸水の有無は個々のメッシュにおける液相の体積率である α 値を基に判断する。本解析では、最下面を形成するメッシュの高さが 1.0m であることから、 α 値が 0.5 である場合、浸水深は 0.5m に相当する。

浸水解析開始から 2100 秒が経過すると、浸水想定区域図（図 1）にて 2.1m 以上浸水するとされている避難場所 1, 2 付近が広範囲にわたって浸水している。浸

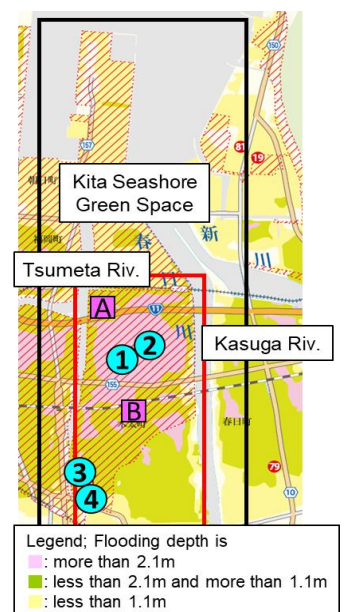


図-1 浸水想定区域図¹⁾

キーワード 避難行動シミュレーション, マルチエージェントシステム, 浸水解析, OpenFOAM

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 TEL: 087-864-2000

水深は約 0.4~0.5m 程度であるが、浸水解析開始から 2700 秒が経過すると、その領域は 0.7m 以上となっており、成人男性でも歩行が困難な状態となっている。このような状況から、避難場所 1, 2 への避難は困難であると考えられる。また、浸水想定区域図と本解析結果を比較すると、浸水の深いエリア等において、おおむね一致していることが読み取れる。

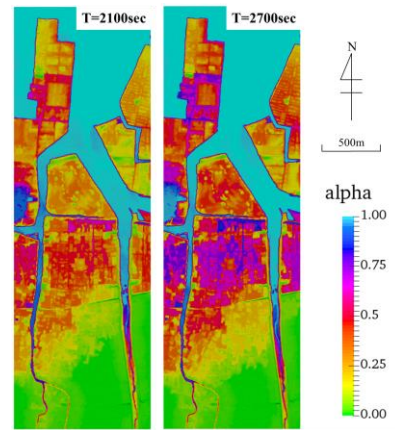


図-2 浸水解析結果

4. 避難行動シミュレーション

4. 1 解析対象エリアと解析条件

避難行動シミュレーションは、高潮浸水想定区域図（図-1）における赤枠内の領域にて実施する。本シミュレーションでは、図-1 に示す青丸内の数字 1~4 の位置に避難場所を設定し、エージェントを都市モデル内に 1500 人配置する³⁾。これらのエージェントは年齢・性別によって分類されており、それぞれに異なる歩行速度と標準偏差を与える。なお、成人が歩行困難となる浸水深は 0.5m 程度であるため⁴⁾、前章の浸水解析において、最下面におけるメッシュの α 値が 0.5 以上となった場合を本解析では浸水による通行不可能区域として設定する。

4. 2 避難行動シミュレーションの結果と考察

本節においては、既存の避難場所のみを配置した使用した場合（以降、ケース 1）と、浸水解析結果ならびにケース 1 のシミュレーション結果を踏まえ、新たな避難場所 A, B（図-1 に示す赤い四角数字）を配置した場合（以降、ケース 2）の避難行動シミュレーションを行う。ケース 1, 2 のシミュレーション結果のうち、避難開始から 3600 秒後の避難場所 1,

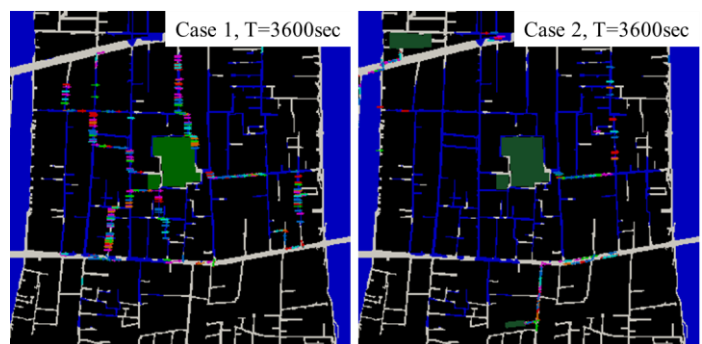


図-3 避難行動シミュレーション結果

2 付近の避難状況を図-3 に示す。さらに、両ケースにおける時間経過にともなう避難完了率の推移を図-4 に示す。図-3 より、避難開始から 3600 秒が経過した時点で、ケース 1 においては、避難場所 1, 2 へ避難しようとしたエージェントの多くが浸水に巻き込まれているが、ケース 2 においては、エージェントの大半が浸水に巻き込まれることなく、避難を終えていることがわかる。また、図-4 より、避難場所の追加によって避難完了率は約 20%増加していることが読み取れ、想定した場所への避難場所の配置は有効であるといえる。

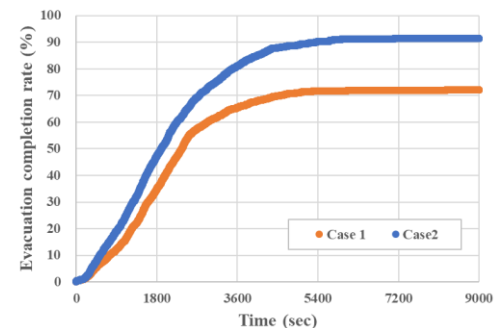


図-4 時間経過にともなう避難完了率

5. まとめ

避難場所配置という観点から高潮浸水解析ならびに避難行動シミュレーションを実施した結果、現行の避難場所のみでは多くの避難者が浸水に巻き込まれる結果となったが、避難場所を新たに配置して同様のシミュレーションを行った結果、避難完了率は大幅に増加したため、避難者は適切な行動をとることが可能となったといえる。このような避難場所の数や場所を変化させたシミュレーションを通じた検討は、減災の観点から有用であり、また、こうした検討を実施して、より効率よく、かつ安全な避難行動の議論が可能になると考える。

参考文献

- 1) 高松市高潮想定区域図, <http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/takamatsubosai/pdfmap/takasio.pdf> (平成 30 年現在閲覧可)。
- 2) 加藤史訓, 稲垣茂樹, 野口賢二, 福濱方哉: 2004 年の高潮・高波被害, 第 273 号国土技術政策総合研究所資料, p.10, 2005
- 3) 香川県高松市: 第 2 期高松市中心市街地活性化基本計画, p.114, 2013
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部: 内水浸水想定区域図作成の手引き, pp.11-12, 2015.