

高松市中心部を対象とした高潮災害時の避難行動シミュレーション

香川大学 学生会員 ○久保栞, 非会員 和田光真, フェロー 吉田秀典
 東京大学地震研究所 フェロー 堀宗朗, 正会員 M.L.L. Wijerathne

1. はじめに

高松市は 2004 年 8 月に発生した台風 16 号の接近により, 高潮によって多大な被害を受けた. このとき, 避難場所の浸水や, 避難勧告発令の遅れによって多くの住民が逃げ遅れた. こうしたことを受け, 高松市では災害別のハザードマップ等を記載した“たかまつ防災マップ”を作成しているが, 本マップには時々刻々と変化する津波や高潮による浸水深等については詳細な記載がない. それゆえ, 任意時刻における浸水深や浸水域が不明であり, これでは適切な避難行動をとることができない可能性がある. そこで本研究では, 高潮時の浸水解析を行い, その結果を反映させた避難行動シミュレーションを行うことで, 浸水の有無による避難行動の相違や避難に要する時間を検討することを目的とする.

2. 解析手法

2. 1 高潮浸水解析

本浸水解析では, 3 次元流体力学ツールの OpenFOAM を用いる. 解析では, interFoam と称される VOF 法を用いた混相流解析ソルバーに造波ソースを追加した ihFoam を使用する. 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, 東京大学地震研究所において開発された避難行動シミュレータを使用する¹⁾. このシミュレータはマルチエージェントシステム (Multi-Agent System) を採用する. 避難行動をとるにあたって, 群集の集中による混雑が予想される. その際, エージェントの歩行速度が遅くなることによって発生する追い越しや停止を表現するため, 歩行速度といった運動能力のデータや, 異なる追い越し・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

本研究では, 高松市中心部において浸水解析を行う. 本解析における対象領域を高潮浸水想定区域図 (図-1) にて黒枠で示す. 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³⁾, 波高が 1.47m の波を周期 11.5 秒で発生させる.

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 1800 秒後, 2400 秒後の浸水状況を図-2 に示す. 浸水の有無は液相の体積率である α 値を基に判断する. 本解析では各メッシュの高さを 1.0m としているため, 1.0m に解析エリアの最下メッシュにおける α 値をかけた値を浸水深とする. なお, 鉛直方向の複数のメッシュにおいて α 値が 1.0 であった場合はそのメッシュの高さの和を浸水深とする.

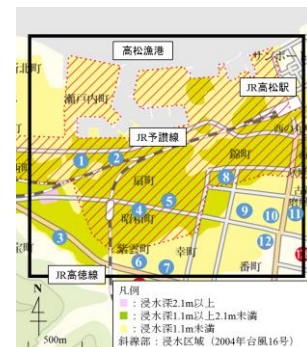


図-1 高潮浸水想定区域図²⁾

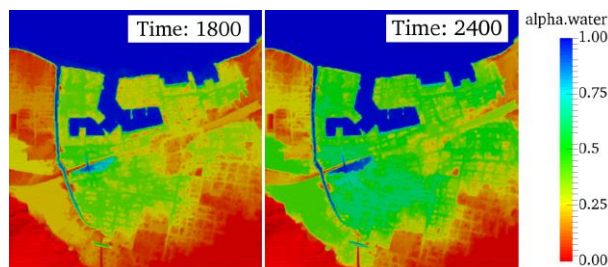


図-2 高潮浸水解析結果

浸水開始から 1800 秒が経過すると, 広範囲にわたって 0.3~0.5m の浸水深となっている. エリア中央部に
 キーワード 避難行動シミュレーション, Multi-Agent System, 浸水解析, OpenFOAM

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

において浸水が顕著な箇所はアンダーパスであり、この時点で 1.0m 近く浸水していることがわかる。浸水開始から 2400 秒が経過すると、エリア北西部や北東部においてはエリア中央部ほど浸水が見られない。この付近は沿岸部に位置するものの周辺に比べると標高が高く、かつ、高潮の場合は浸水の速度は遅いため、水が浸からなかった。本解析結果と高潮浸水想定区域図(図-1)を比較すると、浸水域や浸水深など概ね一致している。

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についても、前章の浸水解析と同じ領域を解析対象とする。解析では、図-1にある青丸内の数字 1~12 と南部の山を避難場所として設定する。エージェントは都市モデル内に 3000 人を乱数発生させる⁴⁾。これらは全て住民とするが、国勢調査結果⁵⁾を参考に、表-1に示すように分類し、それぞれ異なる歩行速度と標準偏差を設ける。浸水状況については、解析開始から 1800 秒後、2400 秒後において、それぞれ前章の解析結果を反映させる。このとき、液相の体積率である α 値が 0.5 以上の区域を通行不可とする。

表-1 エージェントの設定

	歩行速度(m/s)	標準偏差(m/s)
男子(15%)	1.351	0.133
女子(14%)	1.239	0.175
成人男性(23%)	1.328	0.098
成人女性(21%)	1.247	0.144
高齢者男性(12%)	1.182	0.154
高齢者女性(15%)	1.113	0.125

4. 2 避難行動シミュレーションの結果と考察

避難行動シミュレーション結果のうち、避難開始から 1800 秒後、5200 秒後の避難場所 8 付近における避難状況を図-3 に、浸水状況を反映した場合とそうでない場合の避難完了率を図-4 に示す。図-4 より、浸水を反映させた場合、2400 秒を境に避難完了率に最大 20% の差がある。これは例として図-3 に示すように、浸水開始から 2400 秒が経過すると、多くのエリアにおいて避難場所や避難経路が複数箇所浸水し、その結果、エージェントが迂回や遠回りをするのが原因であると考えられる。

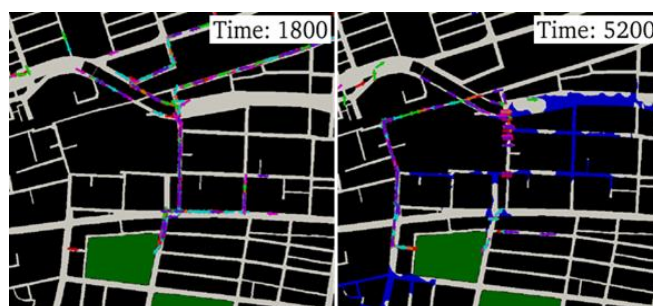


図-3 避難行動シミュレーション結果

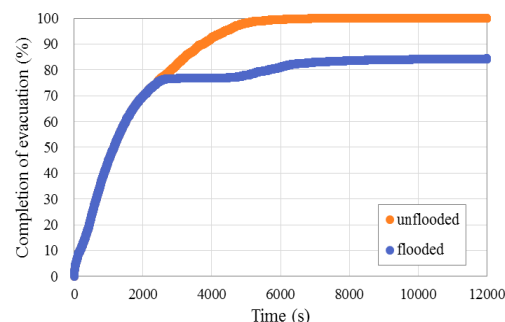


図-4 避難完了率

5. まとめ

高潮発生時に適切な避難行動をとるためには、浸水到達時刻やその範囲を予測する必要がある。そこで本研究では、高松市において高潮浸水解析を行い、その結果を反映させた避難行動シミュレーションを実施した。高潮浸水解析においては、浸水が標高に依存するため、沿岸部よりも標高の低い内陸部の浸水深の方が深くなるということが判明した。避難行動シミュレーションにおいては、時々刻々と変化する浸水状況を反映させることで、通行不可となる場所・時間の把握や、浸水がある場合にエージェントが迂回や遠回りをする様子の表現をすることができた。しかしながら、本解析においては、エージェントを住民のみの設定としているため、土地勘のない観光客などを考慮する必要がある。

参考文献

- 堀宗朗, 犬飼洋平, 小国健二, 市村強: 地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究, 社会技術研究論文集, Vol.3, pp.138-145, 2005
- 高松市高潮想定区域図, <http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/takamatsubosai/pdfmap/takasio.pdf> (平成 29 年 4 月現在閲覧可)。
- 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
- 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
- 香川県高松市: 男女別人口、年齢別人口、世帯数及び世帯人員別世帯数: <https://www.city.takamatsu.kagawa.jp/7729.html> (平成 29 年 4 月現在閲覧可)。