

大都市圏での大規模水害を想定した地下空間の避難シミュレーション

神戸大学 工学研究科 学生会員 ○井野川 七虹
神戸大学 都市安全研究センター 正会員 小林 健一郎

1. はじめに

再現期間が 100 年や 200 年といった激しい豪雨が頻発するようになり、これまで河川改修によりあまり水害の危険性がなかった都市でも大規模水害が発生する可能性が高まってきた。特に東京都市圏では荒川が氾濫する可能性が示唆されており、荒川が氾濫した際、東京都心の足立区では北千住駅で最大 5m 以上浸水すると予測されている¹⁾。そのような大規模水害では地下空間が深刻な被害に遭うため、地下空間が多い大都市では大勢の避難者を安全に避難させるための対策が非常に重要である。本研究では、地下空間を有する大都市で大規模な河川が氾濫した場合を想定し、都市部の地下空間における浸水避難シミュレーションを実施し、大都市避難の危険性・特徴について検討を行った。

2. 浸水避難シミュレーション

(1)解析対象

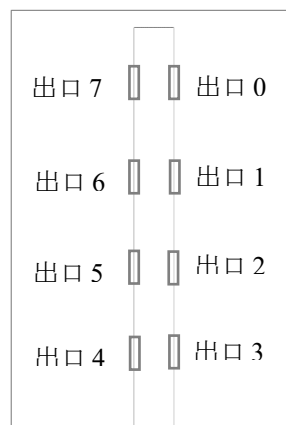
解析対象領域は以下の図-1 に示すような縦 200m 横 20m、出口が計 8 つ、出口幅は全て 2m の長方形領域である。今回の解析対象領域は東京・大阪等の大都市圏の地下空間を参考に設定した。このような地下空間はやや幅が広い地下通路や小規模店舗を有する地下街程度の大きさであり、大勢の人間が通路として使用する性格の強い地下空間である。そのため、異常時に移動のために使用される可能性が高く、大勢の人間が集まりやすい地下空間であるといえる。通常地下空間は出口に階段や連絡通路等を有しているが、今回は簡易化のため階段や連絡通路等は考慮せず、避難者は出口付近（出口から 2m 以内）に到達した段階で避難完了したものとみなす。

(2)浸水シミュレーション

解析対象領域における浸水シミュレーションには小林ら²⁾による分布型降雨流出・洪水氾濫モデル (Distributed Rainfall-Runoff/Flood-Inundation Model, 以

下 DRR/FI) を使用した。通常は階段部や連絡通路等から浸水するが、今回は階段等を考慮しないため、所定の出口に流量を与え、そこから浸水する様子を再現している。浸水シミュレーションは開始 0 秒から避難者が避難完了するまで行う。流量は地上出入口の浸水深から国土技術政策総合研究所の実験式 $Q_i(t) = 1.59BH(t)1.65$ ($Q_i(t)$: t 時刻の地下空間への流入量, B: 出口の流入幅, $H(t)$: t 時刻の地上の浸水深)³⁾を用いて算出している。地上出入口の浸水深は日本建築防災協会が策定した地下街等浸水時避難計画策定の手引き³⁾を参考にし、河川が氾濫した場合を想定して、地上の浸水速度から毎秒ごとに地上の浸水深を更新して算出した。

図-1 解析対象領域



(3)避難シミュレーション

避難シミュレーションはマルチエージェントシステムを用い、エージェント（避難者）ベースでのシミュレーションを行った。避難者は全 2925 人で、避難者の初期位置は避難者同士を互いに 1m 間隔で均等に並べて配置する。避難者は各々の初期位置において水深が 3cm 以上（足の甲が浸水する程度で知覚とする）³⁾となったら避難開始し、使用可能な出口のうち最も近い出口に

キーワード マルチエージェントシステム, 避難, 都市水害, 浸水シミュレーション

連絡先 〒657-0013 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1 丁目 神戸大学工学研究科市民工学専攻

表-2 ケースごとの出口の浸水条件

段階的に全ての出口から浸水するケース			
ケース A-1	流入出口	ケース A-2	流入出口
流入開始時刻 0 秒	出口 3,4 流入開始	流入開始時刻 0 秒	出口 3,4
流入開始時刻 300 秒	出口 2,5 流入開始	流入開始時刻 180 秒	出口 2,5
流入開始時刻 600 秒	出口 1,6 流入開始	流入開始時刻 360 秒	出口 1,6
流入開始時刻 900 秒	出口 0,7 流入開始	流入開始時刻 600 秒	出口 0,7
一部の出口からのみ浸水するケース			
ケース B	出口 4,5,6,7 からのみ流入 (全ての出口が開始 0 秒から流入開始)		

向かって避難する。使用可能な出口とは水が流れ込まず浸水してこない出口という意味であり、今回は大勢が避難するため、浸水してくる出口は危険とし使用しないものとした。避難者は最大歩行速度 1m/s とし、以下の中央防災会議の混雑度と歩行速度の関係式⁴⁾と水深による速度の割引率³⁾により歩行速度を調整した。

(4)シミュレーション条件

シミュレーションは流入流量の設定と出口の浸水条件を変えて行った。表 2 に出口の浸水条件を示す。A-1,A-2 は全ての出口から時間をあけて段階的に浸水し、最終的には全ての出口が使用不可となるケースであり、A-1 は 15 分(900 秒)で、A-2 は 10 分(600 秒)で全ての出口が使用不可になる。B は左側の出口 4,5,6,7 からのみ浸水するケースである。A-1,A-2,B 全てのケースについて流入流量を変えながらシミュレーションを行った。流入流量は地上の浸水速度を 3,5,10cm/min と、各々の速度について流量を計算し、所定の出口に流量を与えた。浸水速度は地下街等浸水時避難計画策定の手引き³⁾を参考にし、最大浸水深が 2m 以上のような大規模な浸水での浸水速度としている。

3. シミュレーション結果

シミュレーション結果を以下の表-3 に示す。各々のケースでの避難完了時刻(秒)を記載しているが、避難者全員の避難が完了できなかった場合には「(避難完了できた人数)」を記載している。

ケース A-1 では地上の浸水速度 3cm/min のときのみ、全員が避難完了できず、また浸水速度が遅い方が早く避難完了した。これは、地上の浸水速度が遅いほど、上端の出口 0,7 付近の避難者は浸水に気が付かず、避難開始が遅れたからと考えられる。A-2 ではどの場合も全員が避難完了できず、また、地上の浸水

表-3 各々のケースの避難完了時刻

浸水速度	A-1	A-2	B
3cm/min	-(2913 人)	-(1456 人)	460 秒
5cm/min	751 秒	-(2284 人)	348 秒
10cm/min	621 秒	-(2872 人)	254 秒

速度が速いほど多くの避難者が避難完了しており、この理由は A-1 と同様である。A-1 と A-2 を比較すると、全ての出口が使用不可になるまで 5 分程度の差しかないが、A-2 では数多くの避難者が避難できず、数分程度の出口の浸水状況の違いが避難に大きな影響がある。

ケース B についてはどの浸水速度でも早く 5 分以内、遅くとも 8 分以内に避難完了している。これは、ケース B では左側から浸水するため、横幅 20m の地下空間ではどの位置にいる避難者も早く浸水に気が付くことができたためと予測される。

4. まとめ

今回のシミュレーションでは地上の浸水速度が速く、流入流量が多い方が早く浸水に気が付き、より多くの避難者が避難できるという通常の認識とは逆の結果になった。ただし、実際の避難では流量が多いと、負傷や移動できない可能性もあり、負傷等も含めて考える必要がある。また、早い段階で全ての出口から浸水した場合、大勢の避難者が避難することは非常に困難であることがわかったため、今後は階段部分や連絡通路等も含めて考慮した避難誘導について検討を深めたい。

参考文献

- 1) 足立区ハザードマップ
URL:<https://www.city.adachi.tokyo.jp/documents/2808/05-08.pdf>
(参照日: 2022/03/31)
- 2) Kobayashi, K. and Takara, K. : Development of a Distributed Rainfall-Runoff/Flood Inundation Simulation and Economic Risk Assessment Model, Journal of Flood Risk Management, pp. 85-98, Volume 6, Issue 2, June 2013 (available online since 18 July 2012), DOI:10.1111/j.1753-318X.2012.01157.x
- 3) 国土交通省 「地下街等浸水時避難計画策定の手引き (案) 【例編】 I. 避難安全性の検討例」財団法人 日本建築防災協会 平成 16 年 5 月
- 4) 中央防災会議「首都直下地震避難対策等専門調査会」(第 9 回), 帰宅行動シミュレーション手法について(案),平成 19 年 12 月 4 日,内閣府(防災担当)