CIM を用いた地下鉄駅構内の浸水時避難誘導計画に関する考察

名古屋工業大学　学生員　草田健太
大垣消防組合　小林直樹
名古屋工業大学　正会員　秀島栄三

1．はじめに

地下構造物では大量の水が地上から流れ込み、深刻な被害が発生する可能性がある。地上への避難に時間がかかるため、人的な被害が発生することも予想される。こうした地下空間への浸水対策として止水板や排水ポンプなどハード面からの対策が行われている。しかし、ハード面からの対策は、想定された雨量を超えると機能しなくなる。そのため避難誘導計画といったソフト面からの対策も考慮すべきである。地下空間において避難誘導計画を立てるためには避難者の行動を正確に捉える必要がある。実際に地下空間で避難訓練を行うことが望ましいが、地下空間を一時的に封鎖しなければならず、また多くの人員を要するため実際に行うことはほぼ不可能である。そこで本研究では CIM 上で避難解析を行い、解析の結果から適切な避難誘導策について考察する。CIM とは、Construction Information Modeling の略で、建物の形や大きさ、材質といった属性情報を統合した三次元モデルをコンピュータ上で作成し、人や物体の挙動を視覚的に表現する。様々な施設と繋がる地下空間の解析にも適している。本研究では、浸水個所が異なるシミュレーションを行い、避難誘導にどのような違いが出るかを探る。

2．地下空間モデリングの基本方針

ソフトウェア Building exodus を用いて地下街のモデリングを行う。Building exodus の大きな特徴として、階段を表現することに優れている。地下街では、地上に避難するための出口は階段である。エレベーターは水害発生時には通電させることができず動かなくなる可能性がある。そのため、すべての避難者は階段出口を利用することが想定される。また、地下 2 階から地下 1 階への避難も階段しか利用することはできない。地下空間にいる人々を避難させるための出口は多くなく、特定の出口に偏り、滞留が起きる可能性がある。避難誘導計画を策定する上でこのことを的確に捉える必要がある。施設の形状、人の属性などを総合的に考慮した地下空間モデルを作成する。

3．解析範囲の概要

解析範囲は、地下鉄名古屋駅構内と地下鉄東山線のホームを対象とし、次の図で表す。

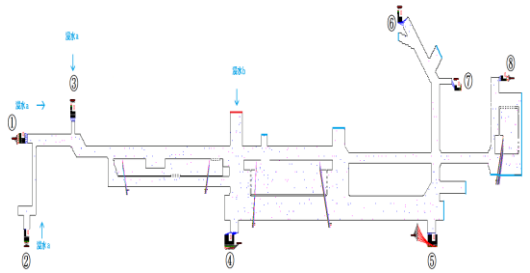

図１　地下１階解析範囲

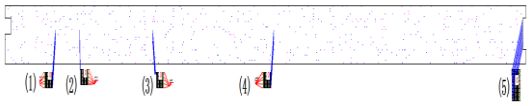

図２　地下２階解析範囲

地下 1 階に駅構内、地下２階に東山線ホームがある。地下１階から地上への出口は８か所あり、図１の①～⑧で表す。地下１階と地下 2 階を繋ぐ階段は 5 か所あり図 2 の(1)～(5)で表す。出口や地下 1 階と地下 2 階を繋ぐ階段についてはそれぞれ表 1,2 に示すようにレーン数、高さ、幅、水平距離を設定する。地下街は買物、通学、通勤など様々な目的で利用される。性別や年齢など地下街利用者の諸特性は表３に示すとおりである。

表１　地下１階の出口の設定

出口	レーン数	高さ(m)	水平距離(m)	幅(m)
①	4	2.942	3.78	3.04
②	4	2.942	3.78	3.04
③	4	2.942	3.78	3.04
④	8	2.942	3.78	6.08
⑤	8	2.942	3.78	6.08
⑥	4	2.942	3.78	3.04
⑦	2	2.942	3.78	1.52
⑧	2	2.942	3.78	1.52

表２　地下２階の階段の設定

階段	レーン数	高さ(m)	水平距離(m)	幅(m)
〔1〕	4	2.942	3.78	3.04
〔2〕	4	2.942	3.78	3.04
〔3〕	4	2.942	3.78	3.04
〔4〕	4	2.942	3.78	3.04
〔5〕	8	2.942	3.78	6.08

表３　避難者特性

性別	年齢	分布(%)	移動速度 (m/s)	階段登り速度 (m/s)	避難意欲
男	17−29	8	1.2−1.5	0.67	5.−15
	30−50	30	1.2−1.5	0.63	5.−15
	51−80	22	1.2−1.5	0.51	5.−15
女	17−29	7	1.2−1.5	0.635	1.−10
	30−50	20	1.2−1.5	0.59	1.−10
	51−80	13	1.2−1.5	0.485	1.−10

４．シミュレーションの概要

解析対象範囲には2000人が均質に分布し、避難開始時に一斉に避難を開始するものとする。避難者はすべての出口の位置を把握しており、開始後に境界面からの流出入は無いものとする。

名古屋駅周辺は北から南に行くほど標高が低くなるため、浸水時は北から南の方向に水が流れる。シミュレーションａでは外水による浸水を考慮し、図１左側にある出口①②③からの浸水を想定して避難解析を行う。

平成26年9月、名古屋駅ビルの工事現場で排水管が壊れ、地下鉄名古屋駅構内に水が流れ込む事故が起きた。現在名古屋駅付近では工事が多く行われており、同様な事故が起こる可能性がないとはいえない。シミュレーションｂではこうした内水による浸水を考慮し、現在工事中である図１の中央上部赤線で表される出入口からの浸水を想定して避難解析を行う。避難開始直後に避難誘導は行わず、最も近い出口に避難しようとする場合を無対策ケースとする。ケースそれぞれの結果から得た問題点を見つけだし、その問題点を解決できる対処法を見つけ出していき、最適な避難経路を求める。

５．外水による浸水の解析

無対策ケースでは、避難開始約１分後に出口④、出口⑧で滞留が発生しており、利用されなくなった出口もいくつかある。無対策ケースでは出口④付近に避難者が集中したことと、幅の狭い出口⑧での滞留が問題であった。特に出口④を利用した避難者は1000人を超えていた。そのことから対策ケース①として幅の広い出口⑤に出口④の利用者を分散させることを考える。

対策ケース①では、無対策ケースより大幅に避難完了時間を短縮することができた。しかし、利用されない出口があることや幅の狭い出口⑧での滞留など、問題点があるため最適な避難経路とは言えない。地下１階と地下２階の階段の連結箇所から考えると出口④に避難者が集中するため、出口④の利用者を分かりやすい避難誘導を行うため階段ごとに避難出口を振り分けることを考える。

対策ケース②では、階段(1)からの避難者は出口④に、階段(2)(3)からの避難者は出口⑥⑦に、階段(4)からの避難者は出口⑤に、階段(5)からの避難者は出口⑧に誘導した結果、それぞれの出口での滞留はあまり起こらず、避難完了時間を短縮することができた。また最も早く浸水する出口④の避難完了時間をかなり短縮できており、これが最適な避難経路であると言える。

６．内水による浸水の解析

無対策ケースでは、避難開始約１分後には利用されていない出口が存在し、出口④での滞留が避難完了時間に遅れが生じている。出口④の避難完了時間に遅れが出ると浸水箇所から考えて被害が多く出ると予測される。そのため対策ケース③として出口④をできるだけ利用させずに浸水箇所から遠い出口に誘導してみる。地下２階からの避難者のうち階段(1)(2)を利用した人は出口①②③方面に、階段(3)(4)を利用した人は出口⑤⑥⑦⑧方面に誘導する。対策ケース③では地下２階から上がってきた人をいずれかの方面に誘導するだけである。避難者は最も近い出口を利用しようとする。

対策ケース③では、出口④の避難完了時間を大幅に短縮することができ、全体での避難完了時間も少しではあるが短縮することができた。しかし階段(3)(4)を利用した人は一番近く広い出口⑤を利用するため滞留が起きた。また、出口⑧での滞留も避難完了時間を遅らせる原因といえる。対策ケース④として利用していない出口を利用させるよう地下２階から上がってきた人々を階段ごとに誘導してみる。階段(1)(2)を利用した人は出口①②③方面へ、階段(3)を利用した人は出口⑥⑦方面へ、階段(4)を利用した人は出口⑤へ、階段(5)を利用した人は出口⑧を利用させる。無対策ケースと対策ケース③で出口⑧での滞留が見られたため地下１階の階段(5)付近にいる人々の一部を出口⑦に誘導する。

対策ケース④では、最も早く避難をすることができた。利用されていない出口が１つあるが、他の出口での滞留も少なく、わざわざ遠い出口に誘導する必要はない。以上からこの避難経路が最適であるといえる。

７．まとめ

地下１階と地下２階を繋ぐ階段が１つの出口付近に集まっているため、適切な方策を持たなければ避難者が集中し、滞留が発生することが分かった。また、浸水箇所を変えてシミュレーションを行い比較した結果、必ずしも近い出口や広い出口に避難するのではなく、狭くとも遠い出口に誘導することが望ましい場合があることが明らかとなった。 実際には滞留が発生するため、また誘導される出口がかなり遠い場合、避難者は困惑すると考えられるため、避難者への十分な説明が重要である。

浸水が起き避難誘導が行われる際には、地下空間にいる人々に対して避難勧告が行われるため、地上にいる人々に情報が伝わるまでに時間がかかる。そのため、地上から地下へ行く人々との衝突が想定される。ここでは地上からの人々の流入や流水は無いものとしているため、今後の展開として、より正確に避難行動が行えるように地下空間の水位の上昇を避難者の挙動に反映するモデルに改変することが考えられる。