

地下街と地下鉄駅の浸水時の避難行動余裕時間に関する事例研究—浅草地下街，渋谷地下街，麻布十番駅，茅場町駅を事例として—

CASE STUDIES OF THE POSSIBILITY OF SAFE EVACUATION FROM THE INUNDATION OF AN UNDERGROUND MALL OR A SUBWAY STATION: ASAKUSA, SHIBUYA, AZABU-JUBAN, AND KAYABACHO

河野 文昭^{1*}・儘田 健太郎²・中村 仁³

Fumiaki KONO^{1*}, Kentaro MAMADA², Hitoshi NAKAMURA³

This paper examined the possibility of safe evacuation from the inundation of an underground mall or a subway station through four case studies: Asakusa underground mall, Shibuya underground mall, Azabu-Juban station, and Kayabacho station in Tokyo. Using the simulation method provided by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism, the possibility of safe evacuation was examined based on possible evacuation time for the most unsafe evacuee. The analysis leads to the following conclusions. Achieving safer evacuation system, Asakusa and Shibuya shopping malls need to promote hardware measures such as with installing movable boards at the entrances to prevent water from flowing in. Azabu-Juban and Kayabacho subway stations need to promote software measures such as with introducing the early warning system to detect flooding on the ground.

Key Words : evacuation, inundation, underground mall, subway station

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

近年の気候変動により，都市部の局地的豪雨による地下空間の浸水被害が増加傾向にある．1993年8月に台風11号による大雨で赤坂見附駅構内が，2004年10月には台風22号による大雨で麻布十番駅がそれぞれ冠水し，それぞれ地下鉄が一時不通となった．また，1999年8月の豪雨では新宿区のビルで水没した地下室に閉じ込められた人が避難できずに亡くなっている．東京以外では，2003年7月に博多駅周辺で地下浸水の被害が発生したほか，2013年9月には栄地下街で店舗が浸水し，2014年9月には名古屋駅で線路が冠水する被害がおきている．このよう

に，地下空間における浸水対策は十分ではないと言える．

地下空間の浸水に関する既往研究を見ると，森兼ら¹⁾は，大規模地下空間を対象として，通路部や店舗部分，鉄道地下駅を考慮した場合の評価を行っている．大西ら²⁾は，地下から地上への一連の避難について，避難困難度を同一の指標を用いて評価することを目的として新たな指標を作成し，適用を試みている．また，寺田ら³⁾は，地下駅の浸水特性を明らかにするとともに地下街浸水との比較を行っている．

地下空間における浸水被害は，滞留者が避難できずに施設内に閉じ込められてそのまま水死してしまう事案も見られ，通常の地上における浸水被害とは異なる災害特性がうかがえる．国土交通省が発表した「地下空間にお

キーワード：避難 浸水 地下街 地下鉄駅

¹ 非会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻 修士課程 Graduate Student, Division of Architecture and Civil Engineering, Graduate School of Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology, (E-mail: me15042@shibaura-it.ac.jp)

² 非会員 芝浦工業大学 システム理工学部 環境システム学科 学生 Under Graduate Student, Department of Architecture and Environment Systems, College of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology.

³ 正会員 芝浦工業大学 システム理工学部 環境システム学科 教授 Professor, Department of Architecture and Environment Systems, College of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology.

ける浸水対策ガイドライン⁴⁾によると、原則として避難方向が地上へ向かう開口部のみに限定されるために避難経路が限定されてしまう、地下空間には地上から隔離されている状況にあるために外界の情報が把握しづらい、一度開口部からの浸水が始まると氾濫水が一気に流れ込んでしまうために時間の猶予が少ない、地下に多くある機械電気設備等の中枢部分が水の浸入と共に様々な機能が停止し、電灯が消えて視界が効かなくなり避難が困難になる恐れがある、などの特性が挙げられている。地下空間における浸水対策は施設の利用用途や規模により様々な方法が取られており、浸水対策においては平常時と浸水時の両面での備えが必要である。それらは情報、浸水からの防御、避難の三つの点を考慮する必要がある。

本論文の目的は、東京都区部の地下街、地下鉄駅を事例として、浸水時の地下空間滞留者の避難における課題を避難行動余裕時間に着目して明らかにすることである。

(2) 研究方法

既存の地下空間における浸水対策や過去の浸水事例を整理し、対象地区を決定する。対象地区は、浸水実績がある渋谷地下街と麻布十番駅、先進的浸水対策がとられている茅場町駅、想定浸水深の高い浅草地下街の地下街2ヶ所、地下鉄駅2ヶ所の計4ヶ所とした。これらの対象地区で現地調査を実施して得られたデータをもとに、地下街等において想定される浸水状況によって避難困難になる時間や避難行動に要する時間を算出して避難安全性の評価を行うことができる、国土交通省が公表している計算シート「地下街等浸水時避難計画策定支援システム⁵⁾」を用いて各地下空間の浸水対策別の避難行動余裕時間を階段使用困難時間と通路歩行困難時間の両方で算出し、安全性評価を行う。それらをもとに対象地区の現状と課題を明らかにする。

2. 避難行動余裕時間の推定

地下街等浸水時避難計画策定支援システムを用いて避難行動余裕時間を推定し、地下空間の浸水時における安全性の評価を行う。そのために、地下空間が避難困難水深になる時間（Ts）と避難行動所要時間（Th）の2つの指標を求め、避難行動余裕時間を推定する。

(1) 地下空間が避難困難水深になる時間（Ts）

地上部から地下空間への水の流入が始まり、避難困難となるまでの時間のことである。地下空間が避難困難水深になる時間は、地上の状況、地下フロアの構造、流入口の情報のそれぞれの数値を入力し、階段使用困難時間

および通路歩行困難時間を計算することで求められる。

本論文では、国土交通省が公表している地下空間における浸水対策の技術的基準に基づき、階段と地下空間それぞれが使用困難になる水深を以下の通りに定義する。

- ・階段が使用困難になる水深：0.2m
- ・地下空間が歩行困難になる水深：0.3m

a) 地上の状況

地下空間における地上部の想定浸水深と想定浸水速度を入力する。想定浸水深は、地下空間のある地区の自治体が公表している洪水・内水・高潮ハザードマップに記載されている最大浸水深を使用する。想定浸水速度とは、地上の浸水深の水位上昇速度のことであり、地下街等浸水時避難計画策定支援システムに基づき、水位上昇速度を以下のように定義する。

- ・最大浸水深50cm未満：2cm/分
- ・最大浸水深50cm以上2m未満：3cm/分
- ・最大浸水深2m以上：適宜計算（図-2参照）

b) 地下フロアの構造

地下空間における延床面積、高さ、施設内区画数を入力する。

c) 流入口の情報

地下空間に通じる地上部出入り口や下層階へ通じる階段口など水が流入する恐れのある経路の情報を入力する。入力する内容は、流入経路、流入口幅、対策高（止水板、マウンドアップの高さを反映）の三点である。

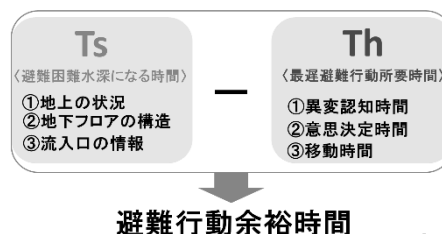


図-1 避難行動余裕時間の推定方法

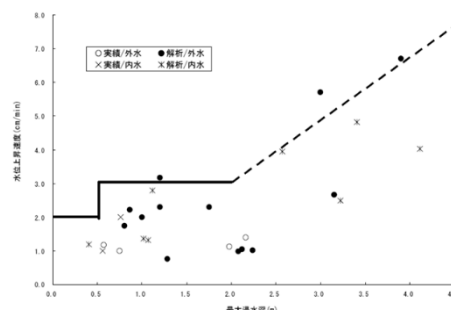


図-2 想定浸水速度と最大浸水速度の関係

対策高の種類として、地上部出入りに段差を設けるマウンドアップ、着脱式で出入口に堰を作るアタッチメント式止水板、布により流入水をせき止めるシート式止水板、防水扉を閉めて地上部出入りを完全に覆い尽くす扉型止水板などがある。本論文では、それぞれの高さを以下の通りに設定した。

- ・マウンドアップ：0.2m
- ・シート式止水板：0.2m
- ・アタッチメント式止水板：0.7m
- ・扉型止水板：完全閉鎖（作動時は浸水しないが避難もできない）

(2) 避難行動所要時間 (Th)

避難行動所要時間とは、地下空間に浸水が開始してから地下空間滞留者が地上に避難するまでの時間のことである。水が流入してから利用者がそれに気づくまでの異変認知時間、異変を認識してから避難行動をおこすまでの意思決定時間、地下空間内から地上部にでるまでの移動時間の3種類に分け、その合計により避難行動所要時間を計算する。なお、異変認知時間および意思決定時間については、「異変感知策なし」、「地上に監視員を配備（以下対策1）」、「地上部に浸水センサーを設置（以下対策2）」の3種類の条件を用いる。

本論文では地下空間滞留者の内、最も地上への避難口から遠い地点にいる人を基準に最遅避難行動所要時間を考える。

a) 異変認知時間

地下に浸水が開始してから地下空間の管理者または、利用者が外部の異変を認知するまでの時間のことである。異変感知策なし、対策1、対策2それぞれの異変認知時間を以下の通りに定義する。

- ・異変感知策なし：地下空間の浸水深が3cmとなる時間
- ・対策1：地上浸水深が10cmとなる時間
- ・対策2：地上浸水深が3cmとなる時間

b) 意思決定時間

地下空間の浸水危険性を認識した後、地下空間にいる全員に浸水の情報を伝達し、避難行動を開始するまでの時間のことである。

異変感知策なし、対策1、対策2それぞれの意思決定時間を以下の通りに定義する。

- ・異変感知策なし： $\sqrt{\frac{\text{全体床面積}}{30}} + 3$ 分
- ・対策1：3分
- ・対策2：3分

c) 移動時間

対策の有無に関わらず、避難行動をおこしてから地上まで移動する時間のことである。

移動時間は、「避難行動開始から階段下までの移動時間」、「階段下の通過時間」、「階段移動時間」の三点の合計から計算する。それぞれの算定式は以下の通りである。

$$\text{階段下までの移動時間} = \frac{\text{最長移動距離}}{\text{浸水時歩行速度割引係数} \times \text{歩行速度}}$$

（浸水時歩行速度割引係数は 0.57，歩行速度は平坦地の標準である 60m/分として計算する）

$$\text{階段下の通過時間} = \frac{\text{利用者数}}{\text{有効流動係数} \times \text{階段合計幅}}$$

（利用者数は、全体床面積に在室者密度 0.5 人/m²を乗じて求める。有効流動係数は 90 に設定し、階段合計幅は各階の全ての階段出入口幅の合計値を使用する）

$$\text{階段移動距離} = \frac{\text{最長階段距離}}{\text{浸水時歩行速度割引係数} \times \text{歩行速度}}$$

（浸水時歩行速度割引係数は0.33，歩行速度は階段昇降時の標準である27m/分とする）

(3) 避難行動余裕時間

地下空間が避難困難水深になる時間 (Ts) から、避難行動所要時間 (Th) を引いた値が避難行動余裕時間となる。この値が0以下になってしまった場合はこの地下空間は浸水時に安全に避難しきれないと判断できる。

なお、本論文においては階段使用困難時間と通路歩行困難時間の両方の避難行動余裕時間を算出し、両方が正の値の場合は○、片方のみが正の値の場合は△、両方も負の値の場合は×と表に表して安全性を評価する。

3. 対象地区の避難行動余裕時間の検証

(1) 浅草地下街

a) 概要

東武鉄道浅草駅の南西部に位置しており、近くには隅田川が流れている。日本最古の地下街の一つであり、施設面積は 1,277.3 m²、地上部出入口は3ヶ所のみと本論文における対象地区の中で最も小規模である。3ヶ所の出入口の中で実際に浸水対策が施されているのは3番出口のみであり、他は無対策の状態である。そのため、隅田川の氾濫がおきてしまった際には、浸水の危険性が極めて高い地下空間であると考えられる。



図-3 浅草地下街周辺図

b) 避難行動余裕時間の推定

浅草地下街において、避難行動余裕時間に使用する浸水床面積、高さ、施設内最長移動距離、最長階段距離（以下の項ではこの4点を基本データとする）は表-1、流入口リストは表-2である。

台東区が公表しているハザードマップで地上部想定浸水深が0.5～3.0mであることから、浅草地下街の地上部の想定浸水深を以下の四種類に設定する。

- (I) 想定浸水深：0.5m
- (II) 想定浸水深：0.5～2.0m
- (III) 想定浸水深：2.5m
- (IV) 想定浸水深：3.0m

また、浅草地下街の浸水時における避難行動余裕時間推定の条件は以下の4通りとする。

- (I) 止水板を設置しない場合
- (II) 止水板を設置した場合
- (III) アタッチメント式止水板を全出入りに設置した場合
- (IV) 完全封鎖の出入りを加えた場合

これらの条件と表-1、表-2のデータから算出した避難行動余裕時間は表-3～表-6の通りである。

c) 結果と考察

止水板がない場合、異変感知策なしや対策1では、いずれの想定浸水深の場合でも安全性は十分とは言えない。

止水板がある場合でも、避難行動余裕時間が十分に確保できているのは、想定浸水深が最も低い0.5mの時に対策2を施した時のみである。

アタッチメント式止水板を全出入りに設置した場合、対策1か対策2を行っていればいずれの想定浸水深の場合であっても避難行動余裕時間が十分に確保できるということがわかった。

表-1 浅草地下街の避難行動余裕時間に使用するデータ

浸水床面積	1277.3㎡
高さ	2.6m
施設内最長移動距離	38m
最長階段距離	22m

表-2 浅草地下街の流入口リスト

	浸水対策	流入口幅	想定最低浸水深	想定最高浸水深
1	なし	1.2m	0.5m	3.0m
2	なし	2.0m	0.5m	3.0m
3	アタッチメント式	3.6m	0.5m	3.0m

表-3 浅草地下街の避難行動余裕時間（止水板がない場合）

	浸水深 0.5m		浸水深 0.5～2.0m		浸水深 2.5m		浸水深 3.0m	
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1
避難行動余裕時間(階段)	-3.9分	-1.9分	1.6分	-5.9分	-3.7分	-1.2分	-6.9分	-4.4分
避難行動余裕時間(通路)	-0.2分	1.8分	5.2分	-1.9分	0.3分	2.8分	-2.9分	-0.4分
避難安全性	×	△	○	×	△	△	×	△

表-4 浅草地下街の避難行動余裕時間（止水板を設置した場合）

	浸水深 0.5m		浸水深 0.5～2.0m		浸水深 2.5m		浸水深 3.0m	
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1
避難行動余裕時間(階段)	-5.9分	-1.9分	1.6分	-7.4分	-3.7分	-1.2分	-8.1分	-4.4分
避難行動余裕時間(通路)	2.1分	6.1分	9.6分	-0.1分	3.6分	6.1分	-1.4分	2.3分
避難安全性	△	△	○	×	△	△	×	△

表-5 浅草地下街の避難行動余裕時間（アタッチメント式止水板を全出入りに設置した場合）

	浸水深 0.5m		浸水深 0.5～2.0m		浸水深 2.5m		浸水深 3.0m	
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1
避難行動余裕時間(階段)	-5.9分	-1.9分	1.6分	-5.9分	19.6分	22.1分	-6.9分	18.1分
避難行動余裕時間(通路)	-1.9分	23.6分	26.1分	-1.9分	23.6分	26.1分	-2.9分	17.1分
避難安全性	○	○	○	×	○	○	×	○

表-6 浅草地下街の避難行動余裕時間（完全封鎖の出入りを加えた場合）

	1番出口		2番出口		3番出口	
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余裕時間(階段)	-9.1分	-4.7分	-3.2分	-10.4分	-4.7分	-3.2分
避難行動余裕時間(通路)	-0.6分	3.8分	5.3分	0.8分	6.5分	8.0分
避難安全性	×	△	△	△	△	△

表注：避難行動余裕時間の表の「-」は避難行動余裕時間が不足していることを示している。以降の避難行動余裕時間に関する表も同様である。

完全封鎖の出入りを加えた場合、避難行動余裕時間の改善はみられない。このことから、浅草地下街において地上部出入り口の封鎖は効果的でないと考えられる。

以上の結果から、浅草地下街において、現状の浸水対策は目立った効果がないと考えられ、止水板を全地上部出入り口に施せば避難行動余裕時間が十分に確保できるということがわかった。その理由として、施設が比較的小規模で避難行動所要時間が短くて済むことに起因すると考えられる。

(2) 渋谷地下街

a) 概要

JR渋谷駅より北西方向に位置する商業施設が立ち並ぶ地下街である。2002年9月に台風による浸水実績がある。

施設内に関しては、浸水時の漏電対策で床面より高い位置にコンセントを設置するなど、浸水を意識した対策が施されていた。しかし、現地調査を行ったところ、アタッチメント式止水板の設置箇所に自動販売機などの備品が置かれており、止水板の設置の即時性に不安が残る。

b) 避難行動余裕時間の推定

渋谷地下街において、避難行動余裕時間に使用する基本データは表-7、流入口リストは表-8である。

渋谷区が公表しているハザードマップで地上部想定浸水深が1.0～2.0mであることから、渋谷地下街の地上部の想定浸水深を以下の四種類に設定する。

(I) 想定浸水深低

(1～6番出口：1.0m 7番出口：2.0m)

(II) 想定浸水深中

(1～6番出口：1.5m 7番出口：2.5m)

(III) 想定浸水深高

(1～6番出口：2.0m 7番出口：3.0m)

また、渋谷地下街の浸水時における避難行動余裕時間推定の条件は以下の4通りとする。

(I) 止水板を設置しない場合

(II) 止水板を設置した場合

(III) マウンドアップをアタッチメント式止水板に差し替えた場合

(IV) 特定の出口を完全封鎖した場合

これらの条件と表-7、表-8のデータから算出した避難行動余裕時間は表-9～表-12の通りである。

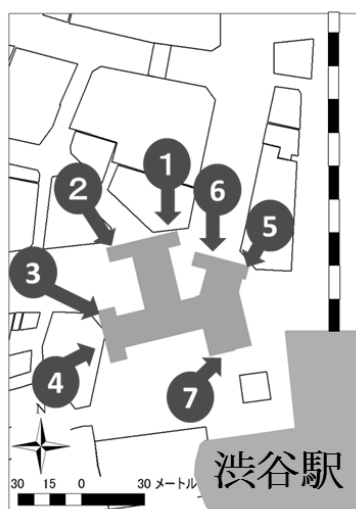


図-4 渋谷地下街周辺図

表-7 渋谷地下街の避難行動余裕時間に使用するデータ

浸水床面積	2967㎡
高さ	3.0m
施設内最長移動距離	39m
最長階段距離	35m

表-8 渋谷地下街の流入口リスト

	浸水対策	流入口幅	想定最低浸水深	想定最高浸水深
1	アタッチメント式	3.0m	1.0m	2.0m
2	アタッチメント式	2.7m	1.0m	2.0m
3	マウンドアップ	3.3m	1.0m	2.0m
4	マウンドアップ	3.0m	1.0m	2.0m
5	アタッチメント式	2.7m	1.0m	2.0m
6	アタッチメント式	3.0m	1.0m	2.0m
7	マウンドアップ	12m	2.0以上	

表-9 渋谷地下街の避難行動余裕時間（止水板がない場合）

	浸水深低			浸水深中			浸水深高		
	(1～6:1.0m 7:2.0m)			(1～6:1.5m 7:2.5m)			(1～6:2.0m 7:3.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余裕時間(階段)	-10.3分	-1.6分	0.1分	-10.3分	-1.6分	0.1分	-10.8分	-3.1分	-1.9分
避難行動余裕時間(通路)	-3.1分	5.6分	7.3分	-3.1分	5.6分	7.3分	-4.6分	3.1分	4.3分
避難安全性	×	△	○	×	△	○	×	△	△

表-10 渋谷地下街の避難行動余裕時間
(止水板を設置した場合)

	浸水深低			浸水深中			浸水深高		
	(1～6:1.0m 7:2.0m)			(1～6:1.5m 7:2.5m)			(1～6:2.0m 7:3.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余裕時間(階段)	-9.3分	0.9分	3.4分	-10.3分	-1.6分	0.1分	-10.8分	-3.1分	-1.9分
避難行動余裕時間(通路)	-0.6分	9.6分	12.1分	-3.1分	5.6分	7.3分	-4.6分	3.1分	4.3分
避難安全性	×	○	○	×	△	○	×	△	△

表-11 渋谷地下街の避難行動余裕時間
(マウンドアップをアタッチメント式止水板に差し替えた場合)

	浸水深低			浸水深中			浸水深高		
	(1～6:1.0m 7:2.0m)			(1～6:1.5m 7:2.5m)			(1～6:2.0m 7:3.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余裕時間(階段)	-9.3分	24.1分	26.6分	-10.3分	15.9分	17.6分	-10.8分	10.9分	12.1分
避難行動余裕時間(通路)	-0.5分	32.9分	35.4分	-3.1分	23.1分	24.8分	-4.6分	17.1分	18.3分
避難安全性	×	○	○	×	○	○	×	○	○

表-12 渋谷地下街の避難行動余裕時間
(完全封鎖の出入り口を加えた場合)

	1～6番出口封鎖			7番出口封鎖		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余裕時間(階段)	-24分	9.4分	11.9分	-13.2分	-9.7分	-7.2分
避難行動余裕時間(通路)	-17.8分	15.6分	18.1分	-5.4分	-1.9分	0.6分
避難安全性	×	○	○	×	×	△

c) 結果と考察

止水板がない場合、想定浸水深低あるいは想定浸水深中の場合には対策2をとっていれば避難行動余裕時間を十分確保することが可能であるとわかった。

止水板がある場合、避難行動余裕時間を止水板がない場合と比較しても、想定浸水深中、想定浸水深高の時は変化がなく、想定浸水深低の時のみ避難行動余裕時間に余裕が出ることがわかった。

マウンドアップの浸水対策が施されている出入り口を全てアタッチメント式止水板に差し替えた場合、現状の浸水対策の場合と比較するといずれの想定浸水深であっても階段使用困難時間は約3倍、通路歩行困難時間は約2倍に上昇し、避難行動余裕時間に関してはいずれの想定浸水深の場合でも対策1か対策2をとっていれば十分に確

保できることがわかった。このことから、マウンドアップに浸水対策効果はあまり発揮されておらず、アタッチメント式止水板を設置することが避難行動余裕時間の確保につながる可能性がある。

地上部出入り口の内一か所を封鎖した場合、1～6番の各出口はどの出入り口を封鎖したとしても、階段使用困難時間、通路歩行困難時間ともに同じ数値である。しかし、7番出口を閉鎖した場合は極めて浸水の危険性が高い。したがって、1～6番出口のどこかを閉鎖するほうが避難行動余裕時間に余裕が出ると考えられる。

(3) 麻布十番駅

a) 概要

東京都港区の中央部に位置する東京地下鉄（東京メトロ）、東京都交通局（都営地下鉄）の地下鉄駅で、施設全体が細長い造りとなっている。2004年10月に台風による浸水実績がある。避難に関しては、施設の延床面積に対し出入り口の数が少ないために避難のための最長移動距離が88mと長い。また、階段自体の長さも長いことから、避難時における移動時間が長時間かかり、逃げ遅れる人が出るのが懸念される。

b) 避難行動余裕時間の推定

麻布十番駅において、避難行動余裕時間に使用する基本データは表-13、流入口リストは表-14である。

港区が公表しているハザードマップで地上部想定浸水深が0.2～0.5mの場所や1.0～2.0mの場所があることから、麻布十番駅の地上部の想定浸水深を以下の二種類に設定する。

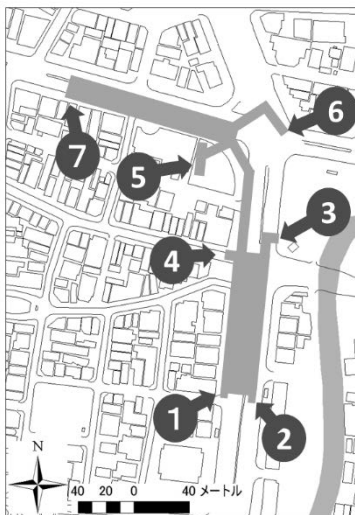


図-5 麻布十番駅周辺図

(I) 想定浸水深低

(1.2.6.7番出口：0.2m 4番出口：0.5m
3.5番出口：1.0m)

(II) 想定浸水深高

(1.2.6.7番出口：0.5m 4番出口：1.0m
3.5番出口：2.0m)

また、麻布十番駅の浸水時における避難行動余裕時間推定の条件は以下の2通りとする。

(I) 止水板がない場合

(II) 止水板を設置した場合

これらの条件と表-13、表-14のデータから算出した避難行動余裕時間は表-15、表-16の通りである。

c) 結果と考察

止水板がない場合、想定浸水深低の場合は対策1か対策2をとっていけば安全に避難が完了する。しかし、想定浸水深高の場合は対策1や対策2をとったとしても階段が使用困難になる前に避難が完了しないということがわかった。

止水板がある場合、いずれの想定浸水深でも対策1か対策2をとっていけば避難行動余裕時間が十分に確保できると考えられる。

表-13 麻布十番駅の避難行動余裕時間に使用するデータ

浸水床面積	3168㎡
高さ	3.0m
施設内最長移動距離	88m
最長階段距離	58m

表-14 麻布十番駅の流入口リスト

	浸水対策	流入口幅	想定最低浸水深	想定最高浸水深
1	アタッチメント式	2.0m	0.2m	0.5m
2	アタッチメント式	2.8m	0.2m	0.5m
3	アタッチメント式	3.2m	1.0m	2.0m
4	アタッチメント式	2.8m	0.5m	1.0m
5-a	アタッチメント式	2.4m	1.0m	2.0m
5-b	アタッチメント式	2.4m	1.0m	2.0m
6	シート式	1.7m	0.2m	0.5m
7	シート式	1.8m	0.2m	0.5m

表-15 麻布十番駅の避難行動余裕時間（止水板がない場合）

	浸水深低 (1.2.6.7:0.2m 4:0.5m 3.5:1.0m)			浸水深高 (1.2.6.7:0.5m 4:1.0m 3.5:2.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余裕時間(階段)	-15.3分	23.4分	25.9分	-15.3分	-10.1分	-7.6分
避難行動余裕時間(通路)	-4.5分	34.2分	36.7分	-4.3分	0.9分	3.4分
避難安全性	×	○	○	×	△	△

表-16 麻布十番駅の避難行動余裕時間
(止水板を設置した場合)

	浸水深低 (1.2.6.7:0.2m 4:0.5m 3.5:1.0m)			浸水深高 (1.2.6.7:0.5m 4:1.0m 3.5:2.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余裕時間(階段)	-15.2分	46.7分	49.2分	-15.5分	13.2分	15.7分
避難行動余裕時間(通路)	-4.3分	24.4分	26.9分	-4.3分	24.4分	26.9分
避難安全性	△	○	○	×	○	○

(4) 茅場町駅

a) 概要

東京都中央区に位置する、東京地下鉄（東京メトロ）の駅であり、地上部出入口が広域に亘って点在しているのが特徴である。過去に豪雨や河川氾濫などによる浸水実績はないが、扉型止水板による先進的浸水対策をとっており、その有用性を計るために選定した。避難に関しては、5.6.7番出口の扉型止水板を作動させてしまうと、その出入口を完全に封鎖してしまう。そのため、浸水を防ぐことは可能だが、同時に地上への避難経路として使用することが不可能となってしまう。5.6.7番出口は施設の中央に位置しているため、封鎖してしまうと浸水時に避難者がほかの出口までの移動を余儀なくされてしまうため、移動時間が増加することが予想される。

b) 避難行動余剰時間の推定

茅場町駅において、避難行動余剰時間に使用する基本データは表-17、流入口リストは表-18である。

中央区が公表しているハザードマップで地上部想定浸水深が0.2～0.5mの場所や1.0～2.0mの場所があることから、茅場町駅の地上部の想定浸水深を以下の二種類に設定する。

(I) 想定浸水深低

(1～3.10番出口：0.2m 4～9番出口：0.5m)

(II) 想定浸水深高

(1～3.10番出口：0.5m 4～9番出口：1.0m)

また、茅場町駅の浸水時における避難行動余剰時間推定の条件は以下の3通りとする。

(I) 止水板がない場合

(II) 止水板を設置した場合

(III) 扉型止水板のみ設置した場合

これらの条件と表-17、表-18のデータから算出した避難行動余剰時間は表-19～表-21の通りである。

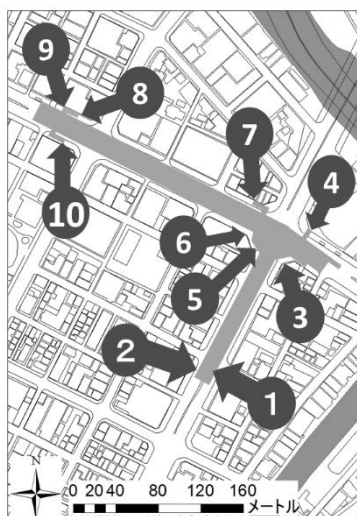


図-6 茅場町駅周辺図

表-17 茅場町駅の避難行動余剰時間に使用するデータ

浸水床面積	3513.8㎡
高さ	2.6m
施設内最長移動距離	117m
最長階段距離	52m

表-18 茅場町駅の流入口リスト

	浸水対策	流入口幅	想定最低浸水深	想定最高浸水深
1	アタッチメント式	1.4m	0.2m	0.5m
2	アタッチメント式	1.4m	0.2m	0.5m
3	アタッチメント式	1.4m	0.2m	0.5m
4-a	アタッチメント式	2.8m	0.5m	1.0m
4-b	アタッチメント式	2.8m	0.5m	1.0m
5	扉型止水板	1.5m	0.5m	1.0m
6	扉型止水板	1.5m	0.5m	1.0m
7	扉型止水板	1.5m	0.5m	1.0m
8	アタッチメント式	1.5m	0.5m	1.0m
9	アタッチメント式	3.0m	0.5m	1.0m
10	アタッチメント式	1.5m	0.2m	0.5m

表-19 茅場町駅の避難行動余剰時間（止水板がない場合）

	浸水深低 (1.2.3.10:0.2m 4.5.6.7.8.9:0.5m)			浸水深高 (1.2.3.10:0.5m 4.5.6.7.8.9:1.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余剰時間(階段)	-11.2分	-7.9分	-4.4分	-10.8分	-3.1分	-1.9分
避難行動余剰時間(通路)	-2.2分	1.1分	4.6分	-4.6分	3.1分	4.3分
避難安全性	×	△	△	×	△	△

表-20 茅場町駅の避難行動余剰時間
(止水板を設置した場合)

	浸水深低 (1.2.3.10:0.2m 4.5.6.7.8.9:0.5m)			浸水深高 (1.2.3.10:0.5m 4.5.6.7.8.9:1.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余剰時間(階段)				-13.4分	13.6分	16.1分
避難行動余剰時間(通路)				41.1分	68.1分	70.6分
避難安全性	○	○	○	△	○	○

表-21 茅場町駅の避難行動余剰時間
(扉型止水板のみ設置した場合)

	浸水深低 (1.2.3.10:0.2m 4.5.6.7.8.9:0.5m)			浸水深高 (1.2.3.10:0.5m 4.5.6.7.8.9:1.0m)		
	感知策なし	対策1	対策2	感知策なし	対策1	対策2
避難行動余剰時間(階段)	-12.4分	-7.9分	-4.4分	-14分	-9.7分	-7.2分
避難行動余剰時間(通路)	1.1分	5.6分	9.1分	-3.5分	0.8分	3.3分
避難安全性	△	△	△	×	△	△

c) 結果と考察

止水板がない場合、想定浸水深低の場合と想定浸水深高のいずれの想定浸水深の場合でも、避難行動余剰時間は対策1や対策2をとったとしても、通路が使用困難になる前に避難が完了するが、階段が使用困難になる前には避難が間に合わないということがわかった。

止水板がある場合、想定浸水深低の場合は、止水板の高さを想定浸水深が超過しないため施設内が全く浸水しない。想定浸水深高の場合は、対策1か対策2をとっていれば、避難行動余剰時間が十分に確保することが可能である。また、感知策が全くない場合であっても、通路が使用困難になる前には避難が完了することがわかった。ただし、扉型止水板のみ設置した場合の階段使用困難時間は止水板を設置していない場合と全く同じであり、通路歩行困難時間もさほど大きな変化は生じなかった。避

難行動余裕時間に関しても、いずれの対策をとったとしても、階段が使用困難になる前に避難は完了しない。以上のことから、扉型止水板のみを設置した場合は目立った効果がみられないが、茅場町駅における現状の浸水対策は非常に効果的であると考えられる。

4. 結論

本論文では、対象地区4ヶ所の避難行動余裕時間を推定して避難安全性を評価した。

浅草地下街は、想定最大浸水深が3.0mと非常に高く、現在の浸水対策も不十分であった。しかし、施設そのものは比較的小規模であるため、避難時の移動時間は短時間で済むという特徴がある。そのため、全ての地上部出入口に浸水対策を施せば、避難行動余裕時間が十分に確保できるという結果になった。

渋谷地下街は、現在なされている対策ではあまり避難行動余裕時間に変化はなかった。しかし、マウンドアップの対策がとられている地上部出入口を全てアタッチメント式止水板に差し替えた場合は、避難行動余裕時間が十分に確保できるということがわかった。

麻布十番駅は、施設内での移動距離が長いこと、避難時に移動が長時間かかってしまうことが課題であるが、現在なされている浸水対策でも、避難行動余裕時間が十分に確保することが可能であるとわかった。また、設置されているシート式止水板は設置個所と一体となっているため、外界の異変の早期察知が可能であるならばシート式止水板の設置にはさほど時間がかからないことが予想される。そのため、出入口の止水板等の改善よりも滞留者へ地上の洪水の状況を装置に察知するなどの早期認知策が重要であると考えられる。

茅場町駅は、浸水対策を施した場合では、たとえ想定最大浸水深の場合でも避難行動余裕時間が十分に確保することが可能であることがわかった。これは扉型止水板による効果によるものだと考えられる。

以上を総括すると、対象地区において、麻布十番駅と茅場町駅は現在なされている浸水対策でも避難行動余裕時間が十分に確保することが可能であったことから、ハード面での浸水対策に加え、地上の洪水の状況を装置に察知するなどのソフト面の対策が重要であると考えられる。また、浅草地下街と渋谷地下街は、現在なされている浸水対策では避難行動余裕時間が十分に確保できていないため、止水板の増設などのハード面の対策が必要であると考えられる。

今後の課題として、今回は、現地調査や現在なされている浸水対策の効果性の検証に傾倒していたので、止水

板の差し替えなど現在の浸水対策で不十分な点を補うための新たな対策の提案やその費用対効果の検証などを行っていききたい。

謝辞：本論文作成にあたり、地下空間利・活用研究所所長の粕谷太郎氏に多大なるご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

なお、本論文は芝浦工業大学システム理工学部環境システム学科の2015年度卒業生である細渕勝氏の総合研究をもとに、新たな分析を加えて本シンポジウムに投稿したものである。

参考文献

- 1) 森兼政行, 井上知美, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一：地下駅を考慮した大規模地下空間での浸水特性と浸水対応策の効果に関する検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, I_1003-I_1008, 2012.
- 2) 大西良純, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一：地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用, 土木学会水工学論文集, 第52巻, pp.841-846, 2008.
- 3) 寺田光宏, 石垣泰輔, 島田広昭：密集市街地における地下駅浸水について, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第20巻, pp.117-122, 2015.
- 4) 国土交通省：「地下空間における浸水対策ガイドライン」, 2007年度
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/sai-gai/tisiki/chika/honpen.html (2016/9/28参照)
- 5) 国土交通省：「地下街等浸水時避難計画等策定支援システム」, 2015年度
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bou-sai/chikagai_system/ (2016/9/28参照)
- 6) 粕谷太郎氏 提供資料：「地下空間利用と防災対策」, 「地下空間と防災」, 2015年度
- 7) 国土交通省：「ハザードマップポータルサイト」
<http://disaportal.gsi.go.jp/> (2016/9/28参照)
- 8) 渋谷地下街 しぶちかショッピングロード：「渋谷地下街構内図」
<http://www.shibuchika.jp/link.html> (2016/9/28参照)
- 9) 東京メトロ ホームページ：「麻布十番駅周辺図」
<http://www.tokyometro.jp/station/azabu-juban/map/index.html> (2016/9/28参照)
- 10) 東京メトロ ホームページ：「茅場町駅周辺図」
<http://www.tokyometro.jp/station/kayabacho/map/index.html> (2016/9/28参照)
- 11) 東京メトロ ホームページ：「大規模災害への備え編」
http://www.tokyometro.jp/corporate/newsletter/article_pdf/metroNews%2020141105_46.pdf (2016/9/28参照)
- 12) 内閣府：「防災情報のページ」
http://www.bousai.go.jp/kohou/kouhou-bousai/h20/03/news_03.html (2016/9/28参照)