

地下街浸水避難シミュレーション

吉野 攝津子 村岡 宏

Flood Evacuation Simulation for Underground Shopping Center

Setsuko Yoshino Ko Muraoka

Abstract

Flood evacuation simulations assuming a torrential rain were conducted to examine the evacuation safety of typical underground malls across the country. The results showed that approximately 40% of people in a "linear pattern" mall and 30% in an "areal pattern" mall failed to evacuate. These faults were mainly caused by prolonging the time utilized for pre-movement information transmission and evacuation guidance. Prompt evacuation could be expected if underground mall operators detected the danger of the phenomenon as the underlying cause of a disaster and arranged quick responses. In addition, the installation of countermeasures against inundation, such as flood barriers, in the underground space could also be expected to postpone the arrival time of the danger and reduce the flooding rate of the entire underground space.

概要

本報では、全国各地でよく見られる典型的な地下街に共通する避難安全上の課題を検討することを目的に、集中豪雨を想定して浸水避難シミュレーションを試行した。地下街の形状を一本の通路の両側に店舗が面する「線形パターン」と、複数の通路が格子状に広がる「面的パターン」としたところ、防水板の設置がなく、情報伝達を期待しない条件では両者ともに地下空間が避難困難な水深になるまでに避難が完了せず、逃げ遅れが前者で約4割、後者で約3割という結果となった。これらの逃げ遅れは主に、情報伝達や避難誘導等の遅れによる避難開始時間の長大化の影響が大きいことから、地下街を運営する組織が災害をもたらすような危険な現象を感知して、迅速に対応体制を整えることで素早い避難が期待できる。また、地下空間への浸水抑制対策として防水板等の設置により、危険到達時間の遅延化と地下空間全体の浸水速度の低減化も期待できる。

1. はじめに

地下街は、1930年に設置が始まって以降、全国の拠点駅等周辺に78か所あり(2014年4月時点)¹⁾、多くの利用者が通行している。多くの地下街は建設時から半世紀近く経過し、老朽化等による安全性に関わる問題が顕在化している。このような中、近年、都市域では、雨水の排水能力を上回る記録的集中豪雨による内水氾濫が発生しており、1999年の福岡豪雨災害での地下街浸水、2000年の東海豪雨災害での地下鉄浸水、最近では2014年の梅田地下街浸水等、甚大な人的・物的被害を生じている。また、南海トラフ巨大地震によって大規模地下街へ津波が押し寄せる可能性も懸念されており、地下空間の浸水に対する脆弱性と避難安全性について関心が高まっている。津波による浸水の場合、地震発生から地下空間までの津波到達時間にタイムラグがあるため、ある程度避難時間に余裕が見込める。一方、集中豪雨の場合、瞬く間に浸水が始まることから、避難行動余裕時間は長く見込めないため、速やかな情報伝達や浸水抑制対応、避難誘導が求められる。

本報では、全国各地によく見られる典型的な地下街に共通する避難安全上の課題を検討することを目的に、集中豪雨を想定して避難シミュレーションを試行した結果について報告する。

2. 避難シミュレーションモデルの概要

マルチエージェントシステムの概念を取り入れた避難シミュレーション(Multi Agent Simulation, 以後、MAS)は、計算機上で自律的に行動する多数の避難者エージェント達の相互作用として、群衆流や避難性状を再現できる²⁾。このため、在館者が多く、複雑な合流が発生することが懸念される空間や、複雑な避難経路を有する建築物の避難安全計画を評価するツールとして期待されている。筆者らは、既報³⁾で独自に開発した複雑な室形状を考慮した煙拡散モデルとMASの連成により、煙到達時間や他者からの情報伝達を考慮した避難シナリオの付加を可能にした煙拡散・避難シミュレーションモデル(Smoke Diffusion and Multi Agent Simulation Model, 以後、SD-MAS)を開発し、SD-MASが従来の計算法では評価ができなかった事象の評価に有用であることを示した。本検討では避難行動を以下に示すSD-MASの行動モデルを用いて再現した。

2.1 エージェント

エージェント(以後、Agt)とは、意思決定基準や歩行速度等の行動特性に関して個別のパラメータ値を与えられた自律的な判断を行う行動主体である²⁾。避難者Agtはス

ステップ毎に目標地点までの最短経路を選択し、現在の自身の位置、進行方向と速度、他Agtや障害物の位置との関係から次ステップの自身の位置を判断する。1ステップ内のAgtの実行順序はランダムに決定され、空きスペースは先着順で埋まる。Fig. 1にステップ毎の避難者Agtの移動ルールを示す。本モデルは居室と廊下を模した実大規模実験区画における被験者実験⁴⁾の結果との比較により、基本的な流動性状の再現性を確認している³⁾。

Agtの移動速度は、周囲の密度に応じて変動するように戸川の定量流量モデル⁵⁾にならない、単位幅及び単位時間当たりの通過人数である流動係数 $N(\text{人}/\text{m}\cdot\text{s})$ 、すなわち速度 $v(\text{m}/\text{s})$ と密度 $\rho(\text{人}/\text{m}^2)$ の積が一定になるようにした。また、速度 v には任意の上限値 v_{max} を設定できるようにし、密度が流動係数 N 未満でも上限値 v_{max} を超えないようにした。

$$\begin{aligned} \rho < N \text{ の場合,} & \quad v = v_{max} \\ \rho \geq N \text{ の場合,} & \quad v = N/\rho \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 空間

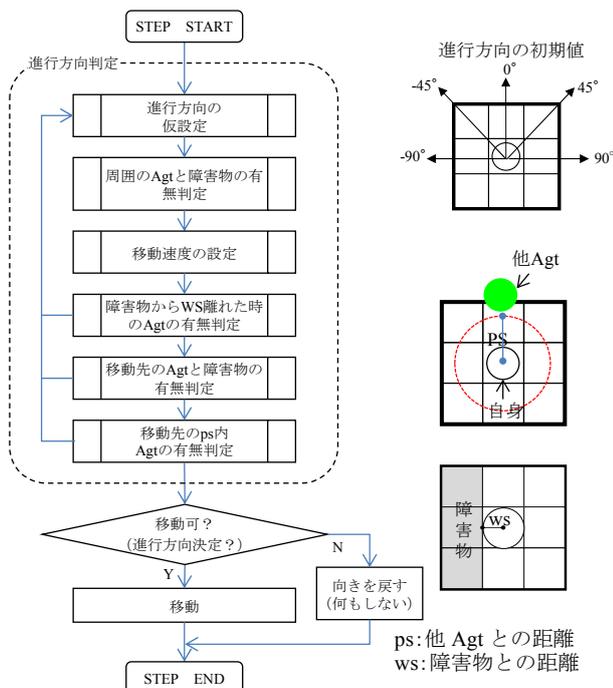


Fig. 1 ステップごとのエージェントの移動ルール
Agents' Behavior Rule of Each Step

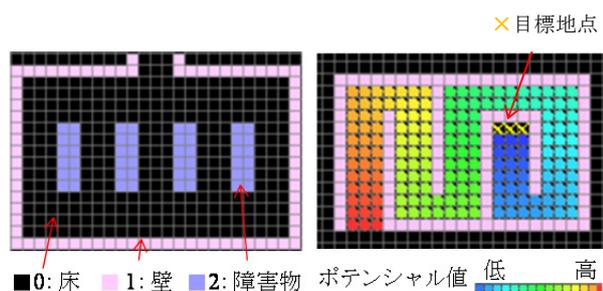


Fig. 2 属性値(左)とポテンシャル値(右)の設定例
Example of Property (Left) and Potential(Right)

Agtが移動する空間は、実数的な二次元座標空間であるが、便宜的に各セルに属性値とポテンシャル値を定義したセル型空間を用いている。Fig. 2に示すように、属性値には壁や障害物等のレイアウト情報を設定し、ポテンシャル値には任意の目標地点までの距離を設定している。Agtは避難シナリオに沿って任意の目標地点までのポテンシャルマップが付与され、最小ポテンシャル値を持つセルを進行方向の初期値に定めることで、目標地点までの最短経路を選択できる。状況に応じて目標地点を更新することも可能であり、例えば、混雑した出口を避けて他の経路に進む等、多様な避難シナリオに対応できる。

3. 浸水モデルの概要

本検討では、国土交通省「地下街等浸水時避難計画策定の手引き (案)⁶⁾」に基づいて、大雨が発生した場合の地下空間への浸水開始から地下空間からの避難が困難になるまでの時間 (避難行動余裕時間) を以下の①～⑤のように算出した。本手法は、内水氾濫時の地下空間への流入条件を出入口からの越流水深から設定し、侵入した水が瞬時に湛水するものとして地下空間の浸水深の時間変化を算出するものである。なお、個別の地下街に対して現状に近い流入条件を設定するには、地上の氾濫状況が地下浸水過程に影響するため、石垣ら⁷⁾の検討のように、雨水排水系統、雨水排水ポンプ容量、道路網とその諸元等、検討対象地区固有の条件を考慮した地上氾濫計算が必要である。本検討では、一般的な地下街に共通する避難安全上の課題を検討することを目的とするため、典型的な地下街形状をモデル化して検討対象とし、固有条件に相当するものは考慮しないこととした。

- ① 地上の氾濫水時間変化の設定
水深 0~0.5m : 想定浸水速度 2.0 cm/min
水深 0.5~2.0m : 想定浸水速度 3.0 cm/min

- ② 地上浸水深の算出
$$HGL(t) = h_g/t \quad (2)$$

$HGL(t)$: 時刻 t の地上浸水深[m]
 t : 経過時間[sec]
 h_g : 地上での想定浸水速度[m/sec]

- ③ 地下空間への流入口からの流量算出

$$Q_i(t) = 1.59B_i H_i(t)^{1.65} \quad (3)$$

$Q_i(t)$: 時刻 t の流入口 i から地下空間への流入量 [m³/s]
 i : 形状や高さで分けられた流入口の種類
 B_i : 開口部 i の流入幅[m]
 $H_i(t)$: 時刻 t の流入口 i 天端高からの水深 [m]

- ④ 地下階への総流入量の算出

$$V(t) = \int_0^t \sum_{i=1}^n Q_i(t) dt \quad (4)$$

$V(t)$: 時刻 t の地下階への総流入量[m³]
 dt : 時間 $t-(t-1)$ [s]

⑤ 地下空間の浸水深時間変化の算出

$$H(t) = V(t)/As \tag{5}$$

$H(t)$: 時刻 t の地下空間浸水深[m]

As : 流入水が浸水する地下空間の床面積 [m²]

モデルプランでは、主通路幅は基本方針の地下街店舗延べ面積≦公共地下歩道延べ面積を考慮して15mとした。面的パターンでは、他に10m, 7mの通路を設けた。階段の間隔は基本方針の最低値60mを参照し60mとした。階

4. 地下街における浸水避難安全性評価

4.1 検討対象空間

地下街の関係規定は、事故の教訓等から昭和44年の建築基準法の改正から昭和49年の「地下街に関する基本方針（以後、基本方針）」に至る一連の基準強化が行われた。Table 1に基準強化以前以後の避難の状況に大きな影響を及ぼす設計基準の主な相違点¹⁾を示す。

国交省が2014年に発表した「地下街の安心避難対策ガイドライン」¹⁾では、地下街にみられる典型的な平面形を、①一本の通路の両側に店舗が面する「線形パターン」、②複数の通路が格子状に広がる「面的パターン」の2つに類型化した上で、各パターンについて、基準強化前後のモデルプランを作成して地震後火災時の避難安全性を評価している。本検討では、まず、明確な設計基準のある基準強化以後の地下街の浸水避難安全性を評価するため、同ガイドラインで用いられた基準強化以降の2パターンのモデルプランを検討対象空間とした。Fig. 3にモデルプランを示す。

Table 1 基準強化前以後の設計基準の主な相違点¹⁾

Differences of Design Criteria

項目	基準強化以前	基準強化以降
通路幅員	・制限なし ・実際の計画では主通路6m程度 ・面的パターンの奥まった通路は部分的に4m程度の通路が存在	・6m以上 ・実際の計画では主通路で10-20m
階段	・歩行距離40m以下となるように設置 ・幅員1.2m以上	・歩行距離30m以下となるように設置 ・幅員1.5m以上 ・通路端部階段幅員の合計 ≧ 通路幅員
通路天井高	・制限なし ・実際の計画では2.5-3.0m	・3m以上
地下広場	・なし	・歩行距離50m以下となるように設置 ・排煙・採光のための吹抜、2か所以上の階段設置
店舗面積の割合	・制限なし	・地下街店舗延べ面積 ≦ 公共地下歩道延べ面積

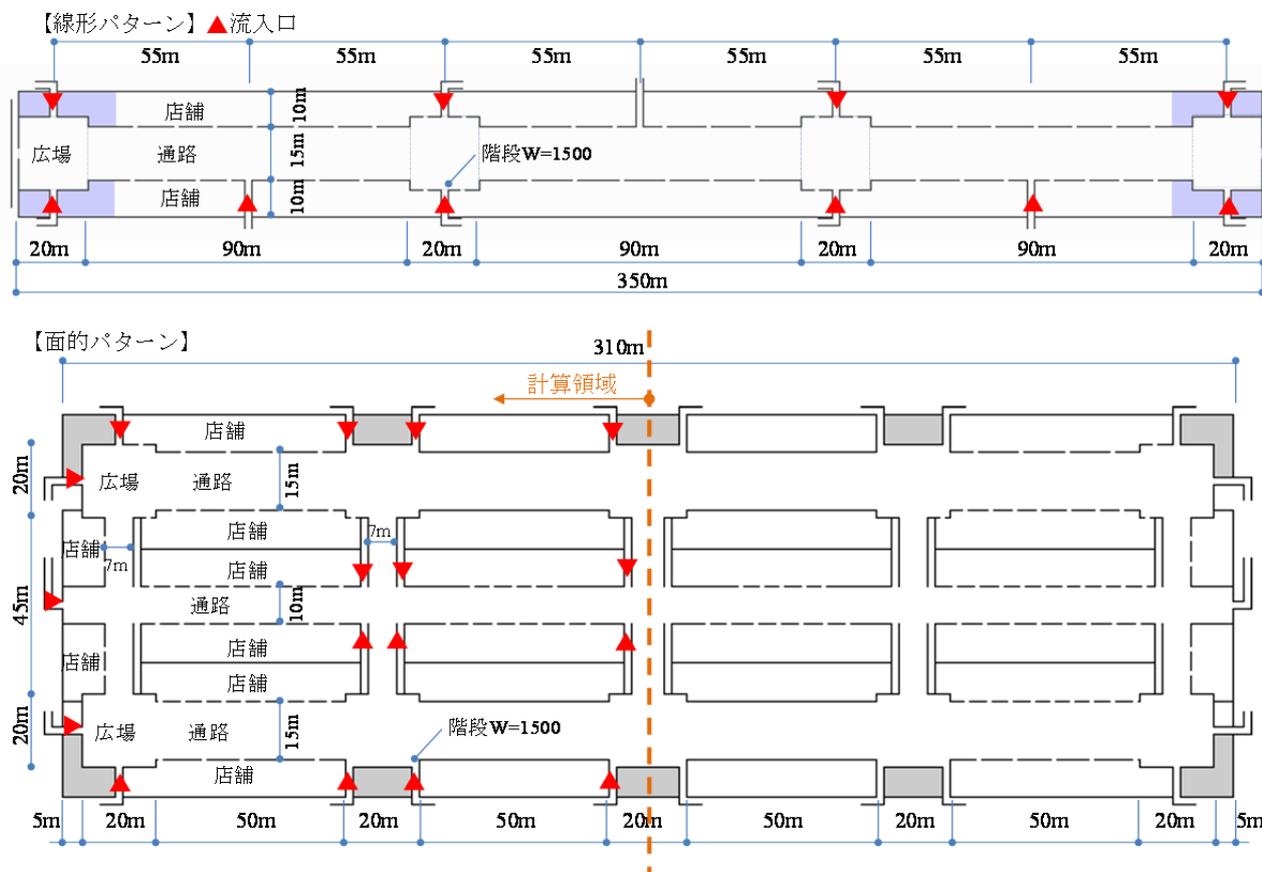


Fig. 3 モデルプラン (上:線形パターン, 下:面的パターン)
Model Plan (Upper : Linier Pattern, Lower : Areal Pattern)

段幅員は基本方針の最小1.5mとした。また、基本方針に従い、歩行距離50m以内ごとに広場を配置し階段を2以上設けた。店舗の出口は、0.8m幅の出口の負担人数が40人となるように設定した¹⁾。

4.2 シミュレーション条件

4.2.1 浸水条件 Table 2に浸水想定に関わる空間条件を示す。流入口は、地上より地下に通ずる出入口としてFig. 3に示した階段とした。地下空間の浸水深の時間変化は3章で示した浸水モデルを用いて算出した。地上最大浸水深は0.4mとし、想定浸水速度を2cm/minとした⁶⁾。浸水抑止対策である防水版の高さは20cmとし、流入口への設置率は0%、50%、100%の3パターンとした。

4.2.2 人員密度と歩行速度 避難者の人員密度、歩行速度をTable 3に示す。これらは避難安全検証法(平成12年建設省告示第1441号)に基づき設定した。避難者数は、線形パターンが4,483人、面的パターンが5,418人である。Table 3に示す歩行速度は浸水の影響がない自由歩行時の最大歩行速度 v_{max} であり、浸水時の歩行速度 v_{flood} は、浸水による歩行速度の割引を考慮し、最大歩行速度 v_{max} に浸水時歩行速度割引係数 a を乗じた値と、2章の式(1)で求めた値の最小値とした。

$$v_{flood} = \min(v, v_{max} \cdot a) \quad (6)$$

浸水時歩行速度割引係数 a は、浸水深70cmを平坦部の歩行限界水深(歩行速度=0)とし、平坦部では浸水深30cm時の歩行速度、階段部では浸水深20cm時の歩行速度を直線補間で設定した値とした⁶⁾。

平坦部： $a = 1 - 30/70 \approx 0.57$

階段部： $a = 1 - 20/70 \approx 0.33$ (7)

4.2.3 初期配置と避難経路 Agtの初期配置はランダとした。避難経路は、初期配置から最も近い地上までの直通階段を利用するものとし、避難経路上は目標地点に対して最短距離を選択するものとした。

4.2.4 避難開始時間 避難開始時間 t_{start} は文献6)に基づく一斉避難と、SD-MAS³⁾のアルゴリズムに基づく他者からの情報伝達により順次避難開始する2条件とした。

Table 2 浸水想定に関わる空間条件
Space Condition for Flood Assumption

平面形	流入幅合計[m]	流入高[m]*1	階高[m]	浸水面積[m ²]
線形パターン	22.5	0.1	5.5	11,080
面的パターン	28.5	0.1	5.5	11,572

※1: 流入開口天端高

Table 3 避難者の人員密度と歩行速度の設定
Density and Moving Velocity of Evacuee

用途	部分	密度 [人/m ²]	歩行速度 [m/min]
百貨店、展示場その他	階段以外	0.5	60
	階段(昇り)	-	27
通路部分		0.3	60

(1) 一斉避難 異変(浸水危険性)の認識時間 t_{notice} と地下フロア全員が危険性を認識し避難行動を開始する時間 $t_{recognize}$ の総和とした⁶⁾。

$$t_{start} = t_{notice} + t_{recognize} \quad (8)$$

地上の降雨状況により地下空間が浸水する危険性があると判断するまでの時間 t_{notice} は次式より求めた⁶⁾。

$$t_{notice} = \min(t_1, t_2, t_3) \quad (9)$$

t_1 : 地上が浸水し、地上の者やざわめきによって地下空間利用者が異変に気がつく時間(管理者が地上監視を行っている場合)。本検討では地上の浸水深が10cm以上となる時間とした。

t_2 : 地下に水が流入し、自ら浸水したことを体感して異変に気付く時間。本検討では地下フロアの水深が3cm以上となる時間とした。

t_3 : 浸水センサーが設置されている場合、地上の浸水深が3cmで異変(浸水危険性)に気がつくものとした。本検討では浸水センサーが設置されていないものとした($t_3 = \infty$)。

地下フロア全員が危険性を認識し避難行動を開始する時間 $t_{recognize}$ は、避難安全検証法の「火災が発生してから階に存する者が避難を開始するまでに要する時間」に基づき設定した⁶⁾。

$$t_{recognize} = \frac{\sqrt{A_{floor}}}{30} + 3 \quad [\text{min}] \quad (10)$$

A_{floor} : 当該階の各室及び当該階に設けられた直通階段への出口を通らなければ避難することができない建築物の部分の床面積の合計[m²]

Table 4 避難開始時間(一斉避難)
Pre-Movement Time of Simultaneous Evacuation

	線形パターン	面的パターン
浸水危険性認識時間[min]	5.0	5.0
$t_{notice} = \min(t_1, t_2, t_3)$		
t_1 [min]	5.0	5.0
t_2 [min]	13.3	13.0
t_3 [min]	∞	∞
地下フロア全員危険性認識時間[min]	6.5	6.6
$t_{recognize}$		
避難開始時間[min]	11.5	11.6
$t_{start} = t_{notice} + t_{recognize}$		

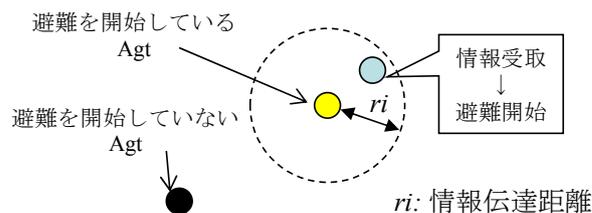


Fig. 4 情報伝達の考え方

Idea of Information Transportation of Evacuation

【線形パターン】

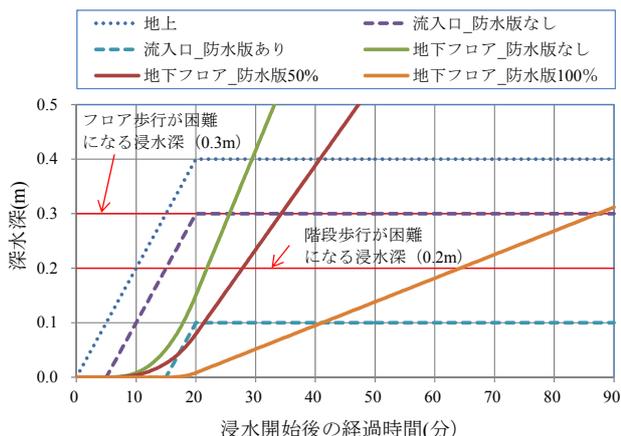


Fig. 5 浸水状況の想定 (線形パターン)
Assumption of Flood Condition (Linier Pattern)

【面的パターン】

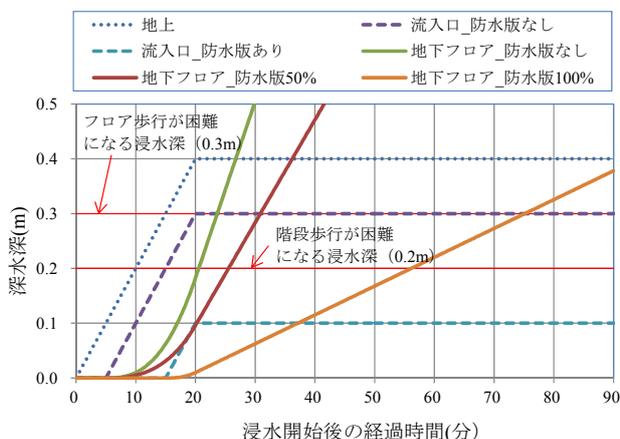


Fig. 6 浸水状況の想定 (面的パターン)
Assumption of Flood Condition (Areal Pattern)

以上の式(8)から式(10)から算出した避難開始時間を Table 4に示す。

(2) 他者からの情報伝達による避難開始 ランダムに抽出した避難者Agtの20%は、地上が浸水し、地上の者やざわめきによって地下空間利用者が異変に気がつく時間 t_I で避難を開始するものとした。それ以外は、すでに避難を開始したAgtが接近して情報伝達を受ける時間 t_{inform} で避難開始するものとした。なお、Fig. 4に示す他のAgtから情報を受けることができる離隔距離(情報伝達距離 r_i)は0.5mとした。

$$t_{start} = \min\{\max(t_I, t_{inform}), (t_{notice} + t_{recognize})\} \quad (11)$$

t_I : 地上が浸水し、地上の者やざわめきによって地下空間利用者が異変に気がつく時間。式(9)の算出方法に従う。

t_{inform} : すでに避難を開始したAgtが接近して情報伝達を受ける時間。

t_{notice} : 異変(浸水危険性)の認識時間。式(9)の算出方

Table 5 危険到達時間

Evacuation Difficulty Time

	線形パターン			面的パターン		
	0	50	100	0	50	100
防水版設置率[%]	0	50	100	0	50	100
階段歩行困難時間 t_{s_step} [min]	15.0	※2	※2	15.0	※2	※2
フロア歩行困難時間 t_{s_floor} [min]	33.5	34.5	87.5	29.5	31.0	75.3
危険到達時間 $t_s = \min(t_{s_step}, t_{s_floor})$ [min]	15.0	34.5	87.5	15.0	31.0	75.3

※2: 防水板が設置された流入口の最大浸水深は10cmとなり階段歩行限界水深20cmに満たない。防水板設置率50%では半数の階段は歩行可能。

Table 6 避難完了時間

Time of Escape Completion

	線形パターン		面的パターン	
	一斉避難	情報伝達	一斉避難	情報伝達
避難開始方法	一斉避難	情報伝達	一斉避難	情報伝達
避難開始時間[min]	11.5	5.0	11.6	5.0
避難行動所要時間[min]	7.5	9.7	9.8	9.9
避難完了時間[min]	19.0	14.2	21.4	14.9

Table 7 避難安全性の判定結果

Judge of Evacuation Safety

	線形パターン			面的パターン		
	0	50	100	0	50	100
防水版設置率[%]	0	50	100	0	50	100
一斉避難	NG	OK	OK	NG	OK	OK
逃げ遅れ人数※3	1775	-	-	1522	-	-
情報伝達による避難開始	OK	OK	OK	OK	OK	OK

※3: 危険到達時間までに避難完了しなかった人数

法に従う。

$t_{recognize}$: 地下フロア全員が危険性を認識し避難行動を開始する時間。式(10)の算出方法に従う。

4.2.4 避難安全性判定基準 避難困難水深になる時間(危険到達時間) t_s は、地下空間の居室、廊下の水深が30cmとなる時間 t_{s_floor} と階段の越流水深が20cmとなる時間 t_{s_stp} の最小値とした⁶⁾。

$$t_s = \min(t_{s_floor}, t_{s_stp}) \quad (12)$$

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 浸水状況 浸水状況の想定結果をFig. 5, Fig.6に示す。また、危険到達時間の想定結果をTable 5に示す。避難困難水深になる危険到達時間は、防水板が設置されていない条件では、線形・面的両パターンともに階段が歩行困難水深20cmとなる15分となった。

防水板が設置された条件では、危険到達時間はいずれも地下フロアが歩行困難水深30cmとなる時間であり、線的パターンは防水板設置率50%が34.5分、100%が87.5分、

面的パターンは防水板設置率50%が31.0分、100%が75.3分となった。

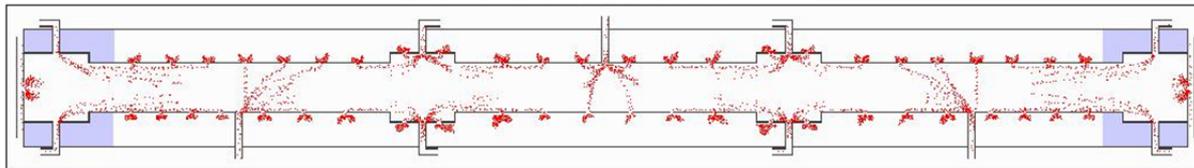
4.3.2 避難完了時間 避難完了時間は、避難開始から避難者全員が地上出口に到達した時間とした。避難完

了時間をTable 6に、シミュレーション出力例をFig. 7に、避難完了人数の時系列変化をFig. 8に示す。

避難完了時間は一斉避難の場合、線形パターンが19.0分、面的パターンが21.4分となり、情報伝達による避難

【線形パターン：一斉避難（情報伝達なし）】

地上浸水開始後 5 分 15 秒（避難開始後 15 秒）

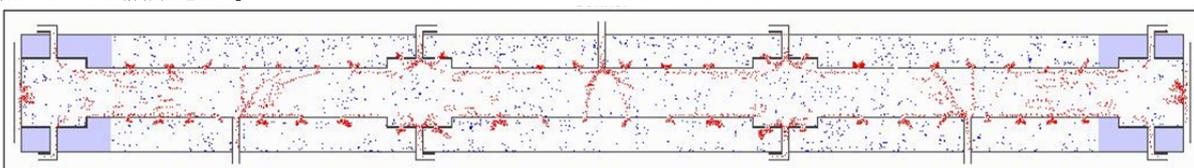


地上浸水開始後 6 分（避難開始後 5 分）

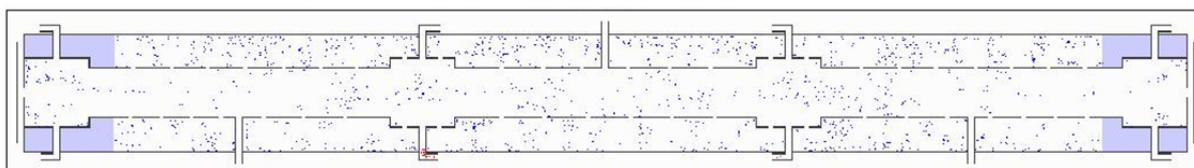


【線形パターン：情報伝達あり】

地上浸水開始後 5 分 15 秒（避難開始後 15 秒）

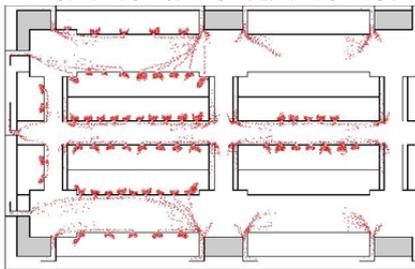


地上浸水開始後 6 分（避難開始後 5 分）

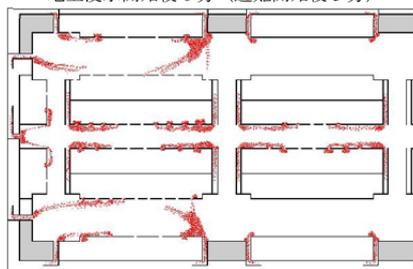


【面的パターン：一斉避難（情報伝達なし）】

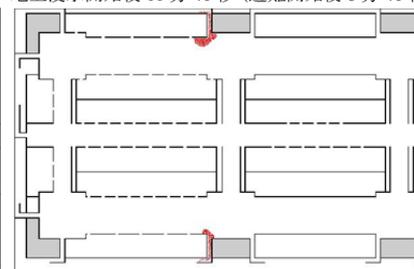
地上浸水開始後 5 分 15 秒（避難開始後 15 秒）



地上浸水開始後 6 分（避難開始後 5 分）

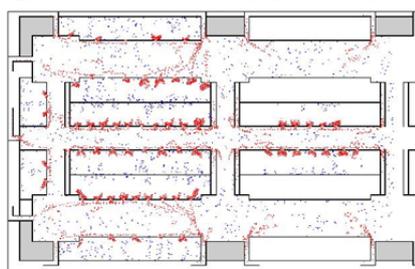


地上浸水開始後 11 分 40 秒（避難開始後 6 分 40 秒）

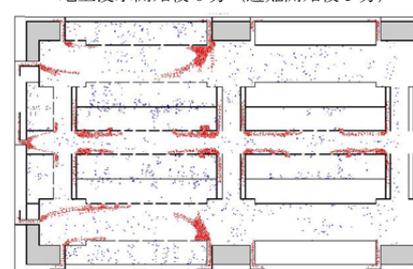


【面的パターン：情報伝達あり】

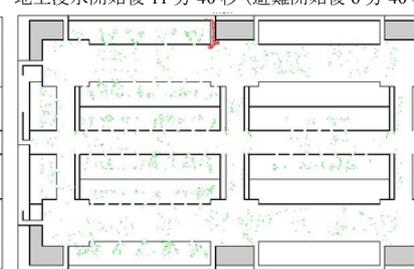
地上浸水開始後 5 分 15 秒（避難開始後 15 秒）



地上浸水開始後 6 分（避難開始後 5 分）



地上浸水開始後 11 分 40 秒（避難開始後 6 分 40 秒）



●避難開始前 Agt ●情報伝達で避難開始した Agt

●全員が危険性認識する時間で避難開始した Agt

Fig. 7 シミュレーション出力例

Example Output of Evacuation Simulation Based on Multi-Agent Models

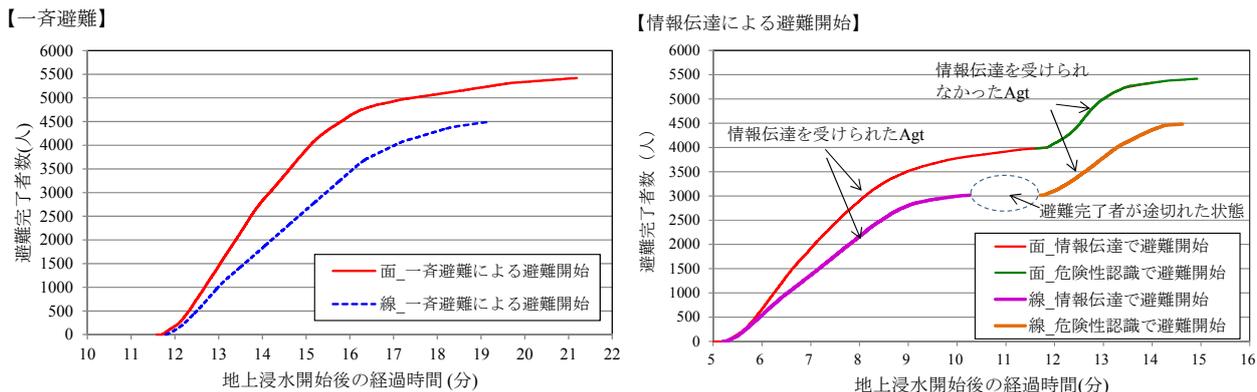


Fig. 8 避難完了者数の時系列変化
Change of Number of Evacuation Completion

開始の場合、前者が14.2分、後者が14.9分となった。いずれも避難完了時間は情報伝達による避難開始の方が短くなった。

4.3.3 避難安全性の判定 避難安全性の判定結果をTable 7に示す。一斉避難は、防水板が設置されていない条件の場合、線形・面的パターンともに危険到達時間までに全員が避難完了とはならなかった。また、危険到達時間までに避難完了しなかった逃げ遅れ人数は、前者が約4割の1,775人、後者が約3割の1,522人であった。一方で、一斉避難は防水板を設置した条件の場合、両パターンともに設置率50%、100%いずれも危険到達時間までに全員の避難が完了した。情報伝達による避難開始の場合、防水板の設置率に係らず、危険到達時間までに全員の避難が完了した。

4.3.4 滞留状況 Fig. 7のシミュレーション出力例をみると、一斉避難の方が情報伝達による避難開始と比較して最終出口につながる階段前の滞留が激しいことが見て取れる。これは、情報伝達を考慮した場合、順次避難を開始するため、結果的に階段前への到達が分散されるためである。Fig. 8で示した避難完了者数の時系列変化をみると、一斉避難の場合、線形・面的パターンとも地上浸水開始後16分以降は、避難完了者数がなだらかに増加しており、階段前が滞留していることを示している。一方、情報伝達を考慮した場合、線形・面的パターンとも地上浸水開始後9分以降と14分以降の2段階で避難完了者数がなだらかに増加している。これは、他者からの情報伝達を受けて避難開始したグループがほぼ避難を完了してから、情報伝達を受けずに危険を認識して避難開始したグループが階段前に集結し、滞留するからである。

一斉避難、情報伝達による避難開始ともに階段前で滞留が生じているが、後者の方が滞留人数や規模は小さい。出口前の狭い空間内で過度な滞留が生じると、将棋倒しやパニックの発生が危惧されるため、適切な情報伝達及び避難誘導が重要である。

4.4 考察

避難行動時間に余裕をもたせ、避難安全性を向上させ

る方法として、(1)避難開始時間の短縮化、(2)避難困難水深になる危険到達時間の遅延化が考えられる。

(1) 避難開始時間の短縮化 一斉避難の場合、防水板を設置しない条件では、線形・面的パターンともに危険到達時間までに避難完了とならなかった。本報で採用した文献6)に基づく一斉避難の避難開始時間の設定方法は、避難安全検証法における「火災が発生してから階に存する者が避難を開始するまでに要する時間」に、浸水危険性認識時間を加算した、地上の状況を把握しづらく逃げ遅れが生じやすい地下空間の特性に考慮したものである。試行結果は本報で設定した試行条件下のものではあるが、一方で、地上の状況を早く把握した他者からの情報伝達を受けて避難開始するケースでは、避難完了時間は一斉避難よりも相対的に短い結果となり、定性的ではあるが、避難開始時間の短縮化に情報伝達が有効であることが示された。本試行で想定した情報伝達は、当初ランダムに抽出した20%のAgtが危険を認識し、最寄りの階段に向かう経路上に存在する他Agtに情報伝達しながら避難するというものであり、情報伝達に特段の戦略は設定していない。このような条件下ではFig. 8に示すように最終的には線形パターンで67%、面的パターンで75%が情報伝達により避難開始に至るが、経路から外れたAgtは取残される結果となった。避難開始時間の短縮化を図るためには適切な情報伝達や避難誘導が求められるが、人的対応に期待せざるを得ないため、実効性を確保すべく教育・訓練を含めた運用方法の検討が必要である。

(2) 避難困難水深になる時間の遅延化 地下空間への浸水抑止対策として本試行では、高さ20cmの防水板の設置を想定した。20cmの高低差を得ることで、防水板を設置した流入口の越流水深は、歩行困難水深20cmに至らず、同時に、流入量が減ることで地下空間全体の浸水速度も低減し、危険到達時間も長くなった。本試行では防水板設置率50%という条件を設定したが、これは、半数の階段には防水板が設置されておらず、階段を昇る最中で当該階段が歩行困難水深に至ることを意味しており、混乱やパニックが生じる恐れがある。防水板の設置は浸水抑止対策として有効な手段ではあるが、円滑な避難の

ためには地下街を運営・管理する組織や店舗従業員等、避難誘導を担う者が予め防水板の設置場所を把握した上で、安全な避難経路に誘導する必要がある。

今回の検討では、地下街によくみられる典型的な形状のモデルプランを検討対象とし、固有の条件を浸水想定に組み込まなかった。地上の氾濫状況が地下浸水過程に影響するため、現状に近い流入条件を設定するには、雨水排水系統、雨水排水ポンプ容量、道路網とその諸元、あるいは隣接するビルからの浸水等、検討対象地区固有の条件を考慮した地上氾濫計算が必要である。今後はより具体的な対策を吟味するために浸水想定的高度化を図るとともに、避難行動に影響を与えるアナウンス誘導や、デマ、パニックといった多様性や不確実性をモデルに組み込む等、更なる検討を進める予定である。

5. まとめ

本報では、全国に多数ある一般的な地下街に共通する避難安全上の課題を検討することを目的に、集中豪雨を想定して避難シミュレーションを試行した。地下街の形状を一本の通路の両側に店舗が面する「線形パターン」と、複数の通路が格子状に広がる「面的パターン」とした試行から得られた結果を以下に示す。

- 1) 防水板を設置せず、他者からの情報伝達を期待しない条件では、両者ともに地下空間が避難困難な水深になるまでに避難が完了せず、逃げ遅れが前者で約4割、後者で約3割という結果となった。
- 2) 地上の状況を一早く把握した他者からの情報伝達を受けて避難開始するケースでは、避難完了時間は一斉避難よりも短い結果となり、定性的では

あるが、避難開始時間の短縮化に情報伝達が有効であることが示された。

- 3) 人的被害は、地下街を運営する組織が災害をもたらすような危険な現象を感知して、迅速に対応体制を整えることで回避が期待できる。
- 4) 地下空間への浸水抑止対策として防水板の設置により、危険到達時間の遅延化と地下空間全体の浸水速度の低減化も期待できる。

参考文献

- 1) 国土交通省都市局街路交通施設課：地下街の安心避難対策ガイドライン，2014.4
- 2) 山影進：人工社会構築指南 artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門，書籍工房早山，2007.1
- 3) 吉野攝津子他：マルチエージェントモデルによる火災時避難安全性能評価技術の開発，大林組技術研究所報，No. 77，2013.12
- 4) 佐野友紀他：避難安全検証における滞留解消時間に関する検討(その1)～(その5)，平成23年度日本火災学会研究発表概要集，pp.140-149，2011.5
- 5) 戸川喜久二：群集流の観測に基づく避難施設の研究，建築研究所報告，p.16，1955.2
- 6) (財)日本建築防災協会：地下街等浸水時避難計画策定の手引き(案)，2004.5
- 7) 石垣泰輔他：内水氾濫時における大規模地下空間浸水と避難，京都大学防災研究所年報，第54号B，pp.471-476，2011.6