

地下鉄駅コンコース内の広場整備に伴う防災検討

DISASTER PREVENTION EXAMINATION WITH THE OPEN SPACE MAINTENANCE IN THE SUBWAY STATION CONCOURSE

大森 高樹^{1*}、高橋 幹人²、山田 武志³、川田 祐介⁴

Takaki OMORI^{1*}、Mikito TAKAHASHI²、Takeshi YAMADA³、Yusuke KAWADA⁴

In order to improve an underground space as a hub in a subway station, the use situation of a station yard was investigated. The fire evacuation safety accompanying with the change in the station yard use environment due to the new improvement of reservoir space was also examined employing two safety verification methods on fire evacuation, a pedestrian flow simulation and the method assigned by the Building Standard Law, and the safety was consequently verified.

Key Words : subway station, open space under the ground, disaster, fire refuge simulation, refuge security inspection law

1. はじめに

我が国の大都市中心部では、都市インフラとして欠かせない地下鉄駅や地下街、それらを結ぶ地下通路や地下広場などが多く、これらのネットワークを大勢の人が利用している。特に地下街を含む地下空間は気象条件による影響や自動車交通等に対する危険がなく、歩行や滞留時の安心性が確保され、ゆったりとした時間が消費できる憩いの空間となっている。ただし、平常時は快適な空間である地下空間ではあるが、過去には爆発事故、火災事故、水害事故、テロ事件など地下空間で発生した災害によって多くの尊い命が失われているため、地下空間で災害が発生した場合には被害が拡大し易いという問題が指摘されている。

多数の利用者が滞在する駅の地下空間で災害が発生した場合には、利用者が自らの安全確保のために、あるいはより多くの情報を求めて出入口に殺到することで、予期せぬ大きな混乱が発生する危険性が高くなる。このような混乱による災害を低減し、利用者の避難を円滑に進めて被害を最小限に留めるためには、事前に適切で効果のある避難誘導計画を策定するとともに、関係機関が連携して予測等に基づく状況を把握しておくことが重要で

である。

本検討は、某地下鉄駅のコンコース内に人が滞留する空間を新たに設ける際に防災上の安全性を確認したものである。その過程では地下鉄駅構内の出入口位置や利用者の分布などの空間特性と利用者の行動実態を踏まえた調査を新たに行い、それらのデータを避難安全検証法および人流シミュレーションに適用させた。この地下鉄駅コンコース階の安全度合いを確認した結果を受けて新たに設ける地下広場が都市計画決定された。



写真-1 多くの人が利用している地下鉄コンコース状況

キーワード：地下鉄駅、地下広場、防災、火災避難シミュレーション、避難安全検証法

¹正会員 (株)日建設計シビル 施設計画設計部 Urban Facilities Planning & Design Department (oomorita@nikken.jp)

²正会員 (株)日建設計シビル 施設計画設計部 Urban Facilities Planning & Design Department

³正会員 (株)ベクトル総研 都市環境システム部 Space & Human Design System Division

⁴非会員 (株)ベクトル総研 都市環境システム部 Space & Human Design System Division

2. 検討内容の概要

(1) 検討条件の整理

避難シミュレーションを実施するにあたり、自治体の駅所管部局と協議して設定した条件は下記のとおりであり、地下広場実施設計で検討されていたデザイン空間を対象にモデル化した。（図-1、図-2 参照）

a) 建築物としての避難安全検証

対象地下鉄駅としての避難安全性については検証済みであることを踏まえ、今回の避難安全検証は地下鉄コンコース内に設ける地下広場を一つの建築物として見なし、建築基準法に基づく手法で避難安全性を検証した。

b) 検証対象範囲

図-1 に示す地下鉄コンコースとした。（図-2 参照）

c) 準拠基準

今回の検討で準拠する基準は以下の4つである。

- ①建築基準法施行令第129条の2（避難上の安全の検証を行う建築物の階に対する基準の適用）
- ②建築基準法施行令第129条の2の2（避難上の安全の検証を行う建築物に対する基準の適用）
- ③平成12年建設省告示第1441号（階避難安全検証法に関する算出方法を定める件）
- ④平成12年建設省告示第1442号（全館避難安全検証法に関する算出方法を定める件）

なお、検討に適用した避難安全検証は「2001 年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説」（平成 13 年 3 月）に基づき実施した。

d) 避難経路

解析やシミュレーションに適用する避難経路の基準は以下の5つである。

- ①地下鉄駅で指定されている出入口を避難経路とする。
- ②現在接続している地下通路及び地下街に通じる出口は避難経路としては取り扱わない。
- ③地下広場で新たに設置する滞留空間は、災害時の避難経路としては取り扱わない。
- ④駅の南北に位置している改札口は、災害時の避難経路としては取り扱わない。
- ⑤地下広場を一つの建築物として見なす観点から検証対象範囲に接続する他の地下鉄コンコースについては災害時の避難経路としては取り扱わない。

e) 排煙機能

地下鉄駅で整備されている機械排煙設備の能力から有効排煙量を適切に見込むものとする。

f) 利用状況整理

解析等の検討を行うため対象駅の利用状況を整理・想定した。

- ①地下鉄駅の交通量調査は、出入口部 15 箇所と通路部 4 箇所の計 19 箇所の入場者数及び出場者数を調査した。（調査時間：7:00～9:00 及び 17:00～19:00 の計 4 時間）
- ②交通量調査した結果から得られるピーク時間滞在者は、自治体の駅所管部局から提供を受けた補正係数で対象駅における最大ピーク滞在者数に補正する。
- ③駅コンコース内に地下広場を整備したことによる滞在者の伸び率を想定し、ピーク滞在者数補正する。
- ④コンコース階の直下にあるホーム階で火災が起きた時のことも想定した計画滞在者とする。
- ⑤駅利用者の通過実態を把握するOD調査を出入口部や空間形状を踏まえて 15 のエリアに区分けして調査した。（調査時間：9:00～17:00 の 8 時間）

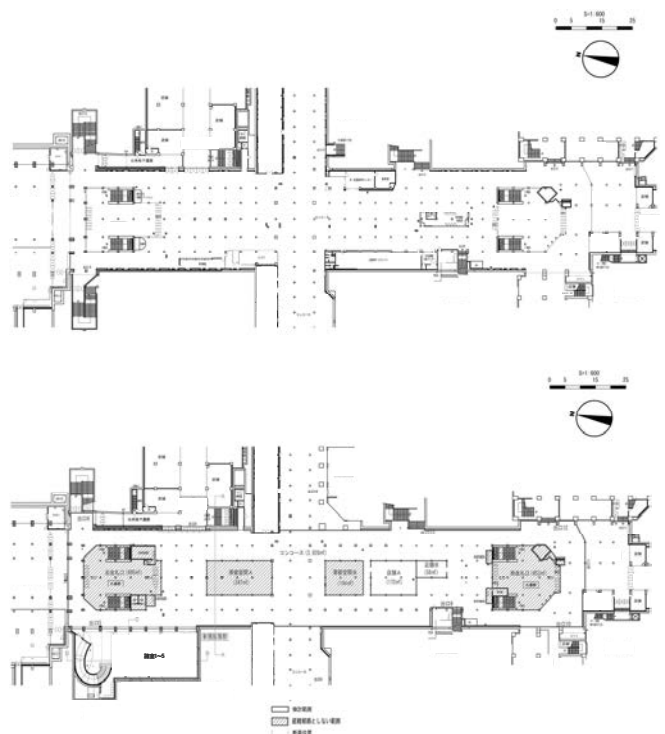


図-1 対象駅の現況空間(上)と新設される滞留空間を含む計画空間(下)

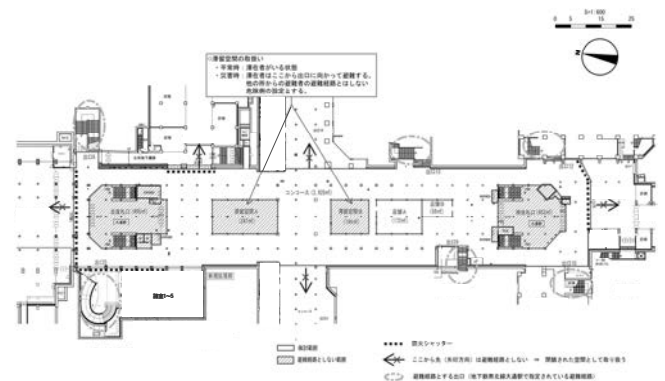


図-2 対象駅の避難シミュレーションの条件整理図

(2) ピーク時計画滞在者の算出

補正ピーク時滞在者数に下記に示す新規拡張部等の空間整備に伴う滞在者を加算して地下広場におけるピーク時計画滞在者とした。(表-1 参照)

①対象とする地下鉄駅コンコースに既存で配置されていた各諸室を移転集約する空間と、出口と一体となった広場の空間を新規に拡張整備する空間(以下、新規拡張部と称す)の滞在者

②コンコース内に新たに整備される滞留空間や店舗 A・店舗Bの滞在者

③改札内の通路の滞在者

新規拡張部及び店舗等の滞在者の算出は、建設省告示第3第4項に規定されている滞在者密度(表-2 参照)から算出した。

表-1 ピーク時計画滞在者の算出

区 分	滞在者 (人)
補正ピーク時滞在者	2,295
新規拡張部の滞在者	197
店舗の滞在者	115
滞留空間の滞在者	587
改札口通路の滞在者	237
ピーク時計画滞在者	3,431

表-2 滞在者密度 (建設省告示第1441号第3第4項)

居室の種類		滞在者密度 (人/㎡)
住宅の居室		0.06
住宅以外の建築物における居室	固定ベッドの場合	ベッド数を床面積で除した数値
	その他の場合	0.16
事務室、会議室その他これらに類するもの		0.125
教室		0.7
百貨店又は物品販売業を営む店舗	売場の部分	0.5
	売場に附属する通路の部分	0.25
飲食室		0.7
劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場その他これらに類する用途に供する室	固定席の場合	座席数を床面積で除した数値
	その他の場合	1.5
展示室その他これに類するもの		0.5

(3) 計画滞在者の配分

駅利用者OD調査によるエリアの通過構成比を配分比としてピーク時計画滞在者を地下広場に配分した。(表-3、図-3参照)

3. 避難安全検証法による検証

(1) 全館避難安全検証の概要

全館避難安全検証法は、建築基準法施行令第129条の2の2及び建設省告示第1442号に示されたもので、階避難安全検証法により階が避難安全性能を有していることを

確認したうえでピーク時計画滞在者の全てが地上へ避難を終了するまでに要する全館避難時間が全館煙降下時間を超えないことを確認するものである。詳細な式等は「2001年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説」を参照されたい。

表-3 ピーク時計画滞在者の配分

エリア		配分した 計画滞在 者数 (人)	エリア 面積 (㎡)	滞在者 密度 (人/㎡)	備考				
					エリア 区分	計画滞在 者数 (人)	エリア 面積 (㎡)	滞在者 密度 (人/㎡)	
コン コ ー ス	A	142	246	0.580					
	B	161	212	0.760					
	C	183	415	0.440					
	D	158	410	0.390					
	E (滞在空間Aの一 部を含む)	314	230	1.370	E	55	57	0.96	
					滞在空間A	259	173	1.50	
	F	197	287	0.690					
	G (滞在空間A、B の一部を含む)	309	333	0.930	G	112	202	0.55	
					滞在空間A	111	74	1.50	
					滞在空間B	86	57	1.50	
	H	199	293	0.680					
	I	186	444	0.420					
	J (滞在空間Bの一 部、店舗A、B を含む)	331	345	0.960	J	85	28	3.04	
					滞在空間B	131	87	1.50	
					店舗A	86	172	0.50	
					店舗B	29	58	0.50	
コンコース 計		2,997	4,549	0.660					
新規 拡 張 部	諸室1	26	206	0.125					
	諸室2	6	46	0.125					
	諸室3	3	20	0.125					
	諸室4	4	33	0.125					
	諸室5	158	105	1.500					
	新規拡張部 小計		197	410	0.480				
改 札	南改札口通路	113	453	0.500					
	北改札口通路	124	495	0.500					
	改札 小計		237	948	0.250				
	合 計		3,431	5,907	—				

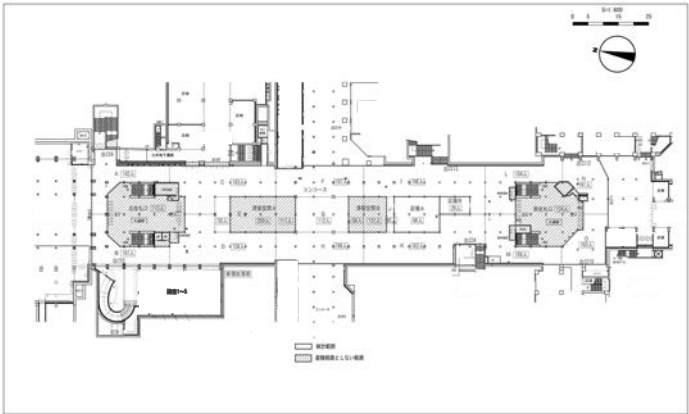


図-3 ピーク時計画滞在者数の配分図

(2) 居室避難安全検証の結果

コンコースの避難安全検証を行うにあたり、コンコースの避難経路はコンコースに面する出入口が6箇所あるため仮想領域を設定して各出入口に対する避難経路を設定した。避難開始時間や出入口に達するまでの歩行時間及び出入口の通過に要する時間の合計(避難時間)は約10.6分となった。一方、コンコースの煙降下時間は約632,040分となり、居室避難所要時間<居室煙降下時間という関係から安全であることを確認できた。

同様な方法で店舗A、店舗B、新規拡張部の各諸室に

についても計算した結果、いずれも場合も居室避難所要時間<居室煙降下時間という関係が確認でき安全であることが判明した。

(3) 階避難安全検証

階の避難経路は階に面する出口が6箇所あるため、仮想領域を設定して各室から各出口に対する避難経路を設定した。また、階の煙降下時間は、火災室から発生した煙は各室に伝搬し階全体に広がることから、火災室から直通階段への出口を有する室に通じる経路ごとの各室の煙降下時間を合計し、そのうち最少の時間を階煙降下時間とした。今回は階の室配置状況を踏まえて、煙降下時間が最少となると予想される2つの伝搬経路の煙降下時間を算出した。

①伝播ケース1：店舗A⇒コンコース⇒広場

②伝播ケース2：コンコース⇒広場

いずれの場合も居室避難所要時間<居室煙降下時間という関係が確認でき安全であることが判明した。

(4) 全館避難安全検証

全館の避難経路は階の避難経路と同様であるとし、計画滞在者(3431人)が地上まで避難経路を利用して避難する最大の時間を歩行時間とした。全館の煙降下時間は、出火室から発生した煙が各室に伝播し全館に広がることから、火災室から直通階段への出入口を有する室に通じる経路ごとの各室の煙降下時間を合計し、そのうち最少時間を階煙降下時間とした。いずれの場合も避難時間が煙降下時間を越えないことが確認され、有効排煙量を考慮しない場合でも同様な結果が得られ、安全性の確認が取れた。

4. 避難シミュレーションによる検証

(1) 避難シミュレーションの概要

a) 解析空間モデル

本検討で解析に用いた空間モデルは、解析対象空間を0.5m四方のセルに分割したメッシュ空間モデルである。各セルには人が入れない地点(壁、障害物など)かどうかを表す属性値や人の避難完了地点かどうかを表す属性値などを設定した。

b) 避難解析

避難解析はマルチエージェントモデルを適用し、経路探索にはポテンシャル法を用いた。ポテンシャルマップは以下の手順で作成している。

- ①メッシュ空間に目的地セルと障害物セルを設定する。
- ②目的地セルから粒子を放出する。
- ③粒子は以下の拡散方程式に従って各セルに拡散する。

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

D : 拡散係数 (= 0.2)

σ : 粒子密度場

④障害物セルに隣接するセルから障害物セルへの粒子の拡散は起こらないものとする。

⑤各セルの密度が設定した閾値に達した時刻を目的地から当該セルまでの距離とする。

⑥各セルの距離を正規化しポテンシャルマップとする。各避難者は、目的地により近い方向に向かって壁や障害物、他の避難者を避けながら移動する。具体的には自身が存在するセルと周囲8セルに対し、以下のルールに従って評価値を算出し、評価値の低いセルを移動先として選択することを繰り返す。

- 1) 当該セルが障害物セルならば評価値は浮動小数の最大値とする。
- 2) 当該セルに他の避難者がいるならば評価値は浮動小数の最大値とする。
- 3) 上記に当てはまらない場合は以下の手順で評価値を定める。

1 : 当該セルの周辺8セルを心理空間と考え、心理空間への他者や壁の干渉度合いによって0から1までの値の評価値(干渉評価値)を決定する。つまり心理空間が壁や他者と干渉しない地点に移動しやすくする。

2 : 当該セルのポテンシャル値と現在値のポテンシャル値の差に応じて評価値に0から1までの値を加算する。つまり目的地に近い地点を選択しやすくする。

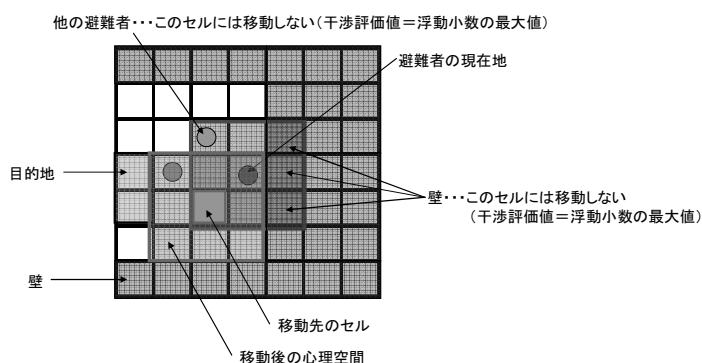


図-4 移動先の選択イメージ

(2) 避難シミュレーションでの検証

a) 人流動状況の可視化

対象駅コンコースで行われた利用者実態調査(利用者OD調査)結果に基づき、現状の駅におけるピーク時の

滞在者（1,765 人）をランダムに配置して可視化した。
また、2. (2), (3)に示したピーク時計画滞在者数についても同様にエリア内にランダムに人を配置して可視化した。（図-5、図-6 参照）さらに、ピーク時計画滞在者の避難条件（滞在者の初期配置、避難開始条件、避難目的地、避難経路）を b) に示すとおり設定して避難シミュレーションを行った。

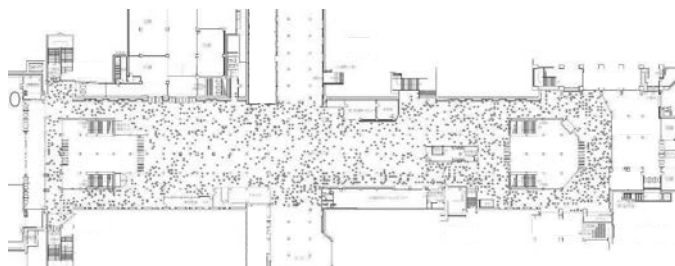


図-5 現状の駅におけるピーク時滞In者数の配分結果の可視化

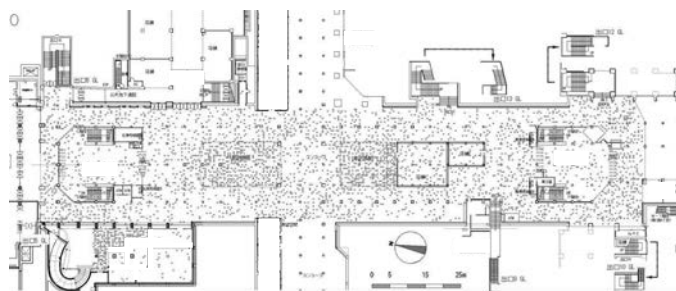


図-6 ピーク時計画滞In者数の配分結果の可視化

b) 避難シミュレーションの条件設定

- ・解析対象範囲 避難安全検証法の対象範囲（地下鉄駅コンコース）とする
- ・ピーク時計画滞In者 3,431 人（図-6 参照）
- ・避難開始条件 解析対象範囲の滞In者（要避難者）が全員一斉に避難開始する
- ・避難完了地点 6 箇所の階段上部
- ・避難経路 避難者が向かう出入口は、避難安全検証法による検証で設定した仮想領域ごとに設定し、避難経路は人や壁にぶつからないように出入口までの最短経路を選ぶ
- ・歩行速度 建設省告示 1441 号第 2 第 2 項における「百貨店、展示場その他これらに類する用途」における歩行速度とする。水平路：分速 60m（1.00m/s）階段(上り)：分速 27m（0.45m/s）※階段距離は斜路の長さではなく平面に投影された水平距離で計算する

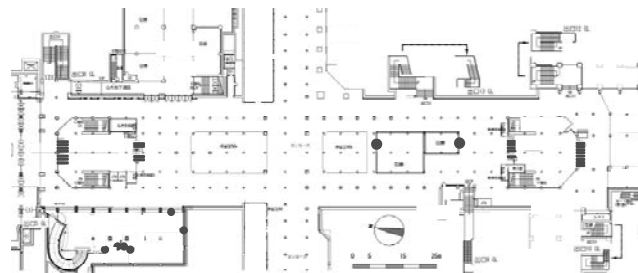


図-7 仮想領域と避難完了地点

- ・開口部の通過条件 特に狭隘な出入口を開口部とし、以下の地点に設定した（図-8 参照）
- ・開口部の流出係数（1 分間に 1m の幅の開口部を通過できる人数の上限）を 90 人/分・m とした。（1 秒間に換算すると 1.5 人/秒・m）

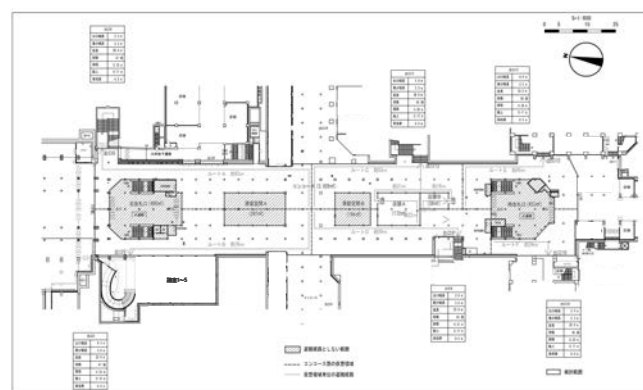


図-8 開口部の設定地点（赤で示された地点）

c) 避難シミュレーションの実施結果

今までの検討条件からシミュレーションした結果、避難開始から完了までの所要時間は 6 分 51 秒（411 秒）であった。図-9 に避難状況の時系列表示を示す。

避難シミュレーションで算出されたピーク時計画滞In者が地上部までの避難に要する時間（6 分 51 秒（411 秒））をコンコースの居室の煙降下時間、階煙降下時間及び全館煙降下時間と比較した結果、全ての煙降下時間を超えないことが確認された。（表-4 参照）

表-4 避難シミュレーションの検討結果

区分	避難シミュレーション (分) t_{escape}	煙降下時間 (分) t_d	判定	備考 (煙降下時間の算出表)
居室の煙降下時間 (コンコース)	<	632.040.0	○ K	31頁 表7-29より
階の煙降下時間	6.9	644.640.0	○ K	53頁 表7-181より
全館煙降下時間	<	805.800.0	○ K	59頁 表7-225より

避難安全検証法と避難シミュレーションの検討結果については、防災関連の有識者 2 名（名古屋大学廣井准教授、東京理科大学西田工学博士）に内容を説明した際に得た意見を反映した。

5. 検証のまとめ

今回、自治体の駅所管部局によって地下鉄駅としての避難安全性は検証済みであることを踏まえ、新規にコンコースにつくる地下広場を一つの建築物として見なし、建築基準法に基づく手法で避難安全性を駅で整備されている機械排煙設備の能力から有効排煙量を適切に見込んで検証した。また、詳細な駅利用実態調査や新たに接続された地下通路の影響を避難シミュレーションに反映（計画滞在者数はかなり多きめの数字を見込んだもの）して安全性を検証した。（表-5 参照）

表-5 避難安全検証法による検証結果

居室	避難時間 (分)		煙降下時間 (分)	判定
居室の避難安全検証				
コンコース	10.6	<	632,040.0	OK
店舗A	1.7	<	41.3	OK
店舗B	0.7	<	6,960.0	OK
諸室1	1.4	<	1.7	OK
諸室2	0.5	<	1.3	OK
諸室3	0.3	<	7.8	OK
諸室4	0.7	<	0.8	OK
諸室5	1.1	<	12,600.0	OK
階の避難安全検証	15.8	<	644,640.0	OK
全館避難安全検証	19.4	<	805,800.0	OK

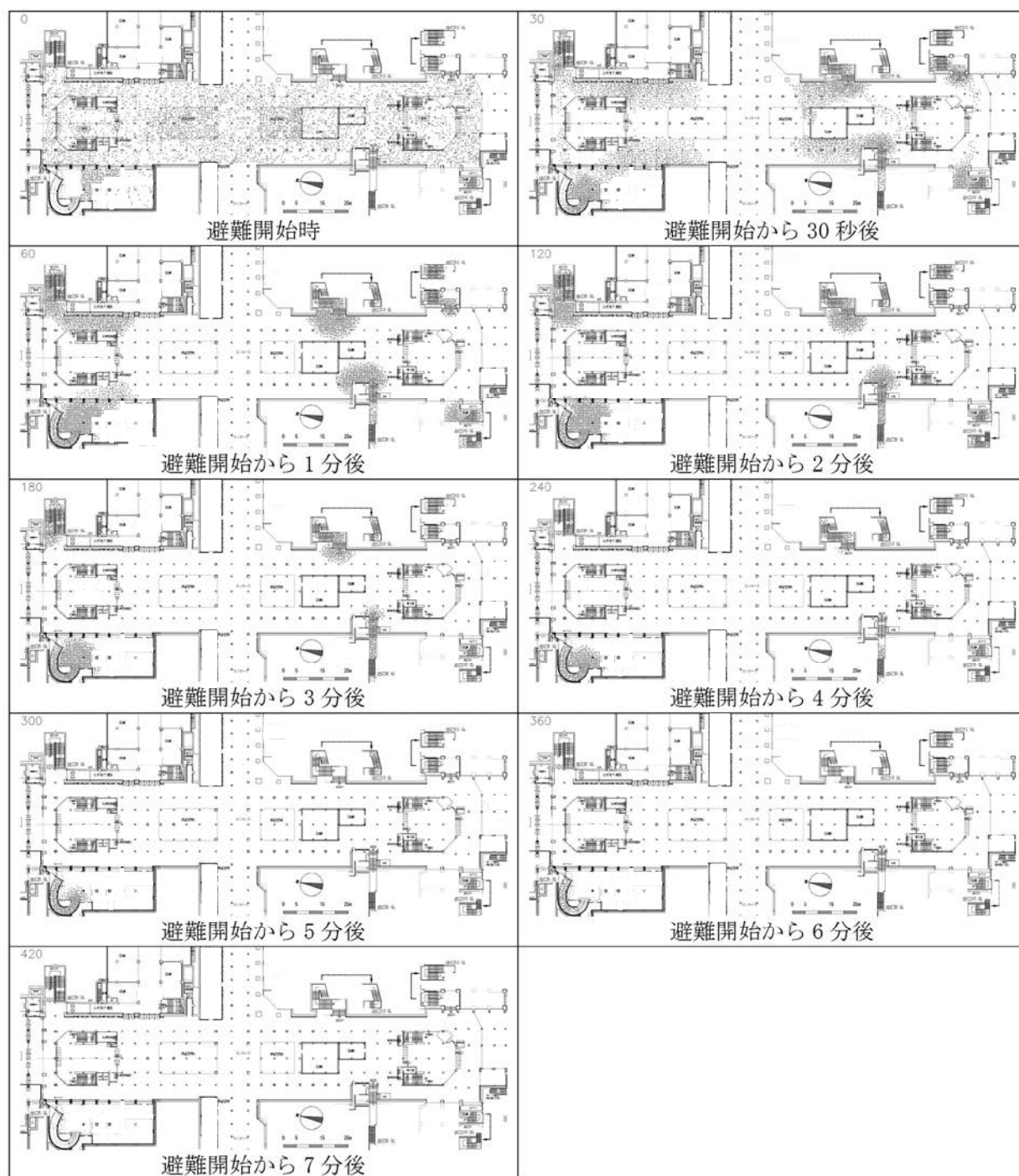


図-9 避難状況の時系列表示