

避難シミュレーション報告

■シミュレーションの目的

大地震を想定し、整然とした避難を前提に避難シミュレーションを行い、避難上の弱点を把握した上で、その回避方法の検討を行うことを目的とする。

- ・ シミュレーションは避難に要する時間や、避難のために階段の前等に集まった避難者の滞留状況などに着目して行う。
- ・ 避難経路のうちビルとの接続部については、地震後のビルの安全が不明なので、避難口としてはカウントせず、地上への直通階段のみ避難経路として見込み算定している。
- ・ パニックについては、地震後の落下物の発生等により一刻も早くその場から退去したいというような状況で、避難者が避難先を目指して殺到するような状況がパニックを誘発するとして検討を行う。

■シミュレーションの前提条件

- **新・建築防災計画指針に定める避難計算法を基本に、避難シミュレーションを実施する。**

室用途別の人員密度，歩行速度（告示1441号，1442号）

	室の種類		人員密度 (人/m ²)	歩行速度 (m/分)
(四)	百貨店，物販店舗等	家具，書籍売場等	0.5	60
		その他		
	飲食店，飲食室等	簡易な食堂	0.7	
		その他の飲食室		
	通路部分		0.3	60
	階段部分(昇り)		—	27

※通路部分の人員密度0.3は想定される最大値(Fruinによる自由歩行可能な最大値)

■シミュレーションの流れ

• 避難時間の算出

避難完了時間は以下の3つの時間をベースに計算する。

- ①避難開始時間 t_{start} 災害が発生してから、在館者が避難を開始するまでの時間

地下街の在館者は避難指示によって一斉に避難開始するとし、揺れが収まってから避難指示が出されるまでの時間を90秒とした。

(東日本大震災時の判断時間のヒアリングデータを参考に決定)

- ②歩行時間 t_{travel} 避難に要する歩行時間 歩行距離／歩行速度

- ③通過時間 t_{queue} 扉や階段等避難経路上の狭小部を通過する時間
通過人数／幅員・流動係数

流動係数は1.3〔人／m・秒〕とした。

※建築設計資料集成10 技術 P8 階段の流動係数

■シミュレーションの流れ 検証結果の比較

- ・ 避難完了時間の評価の参考となる資料

1. 地下駅等の火災対策基準・同解説

(国土交通省監修の地下駅の火災安全対策の基準)

ホームから避難を開始しコンコースへの避難が完了する時間を**7分**以下とする。

2. Guide to Safety at Sports Ground

(英国 文化・メディア・スポーツ省発行のスタジアムの設計基準)

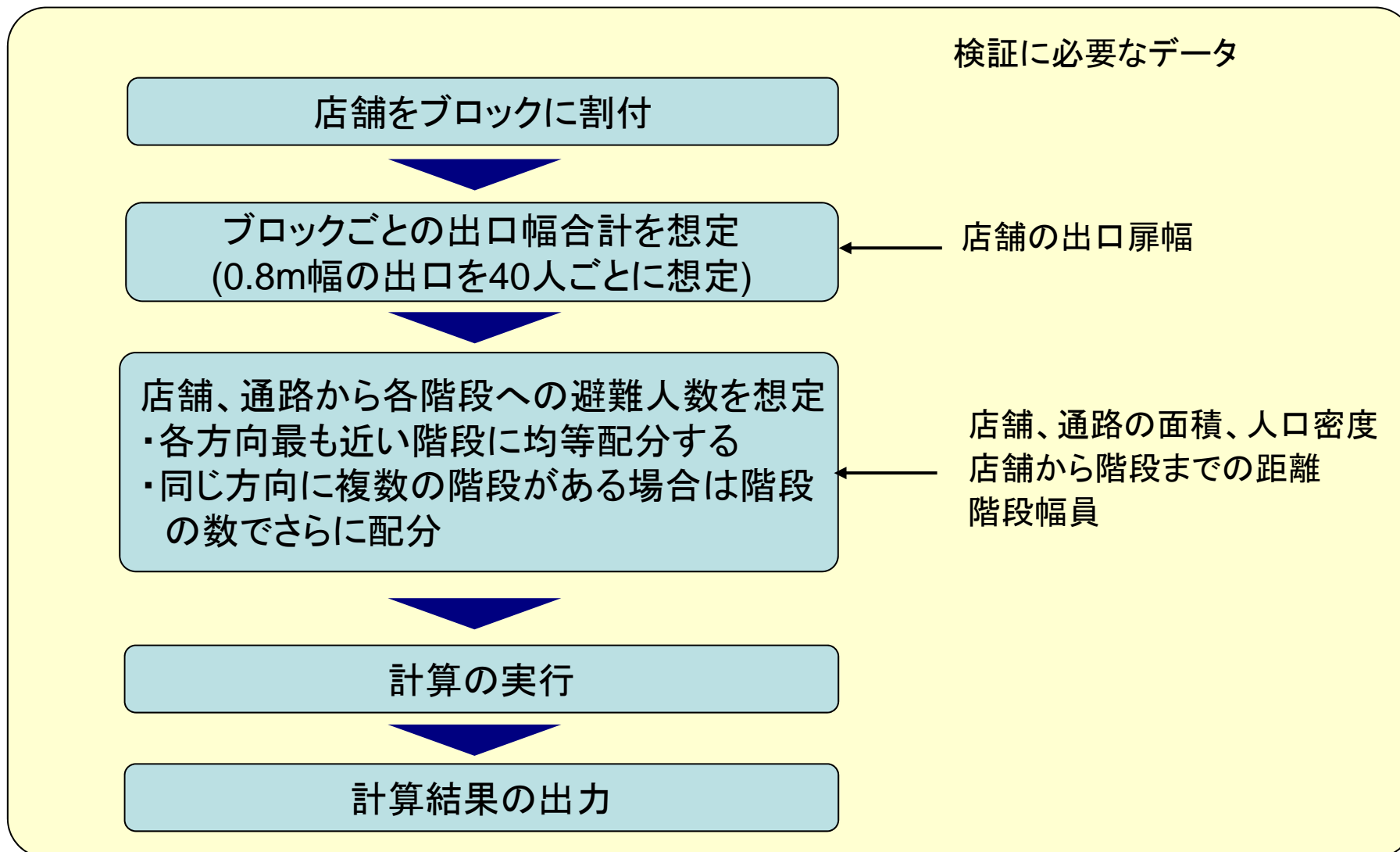
観客席から避難を開始し避難施設への避難が完了する時間を**8分**以下とする。

これは過去の研究や、経験から避難者が**動揺やストレスを感じずに避難できる上限**と解説されている。

これらの時間には、当シミュレーションで見込んでいる避難開始時間90秒を含んでいないので検証結果の参照時間としては **8.5分～9.5分** となる。

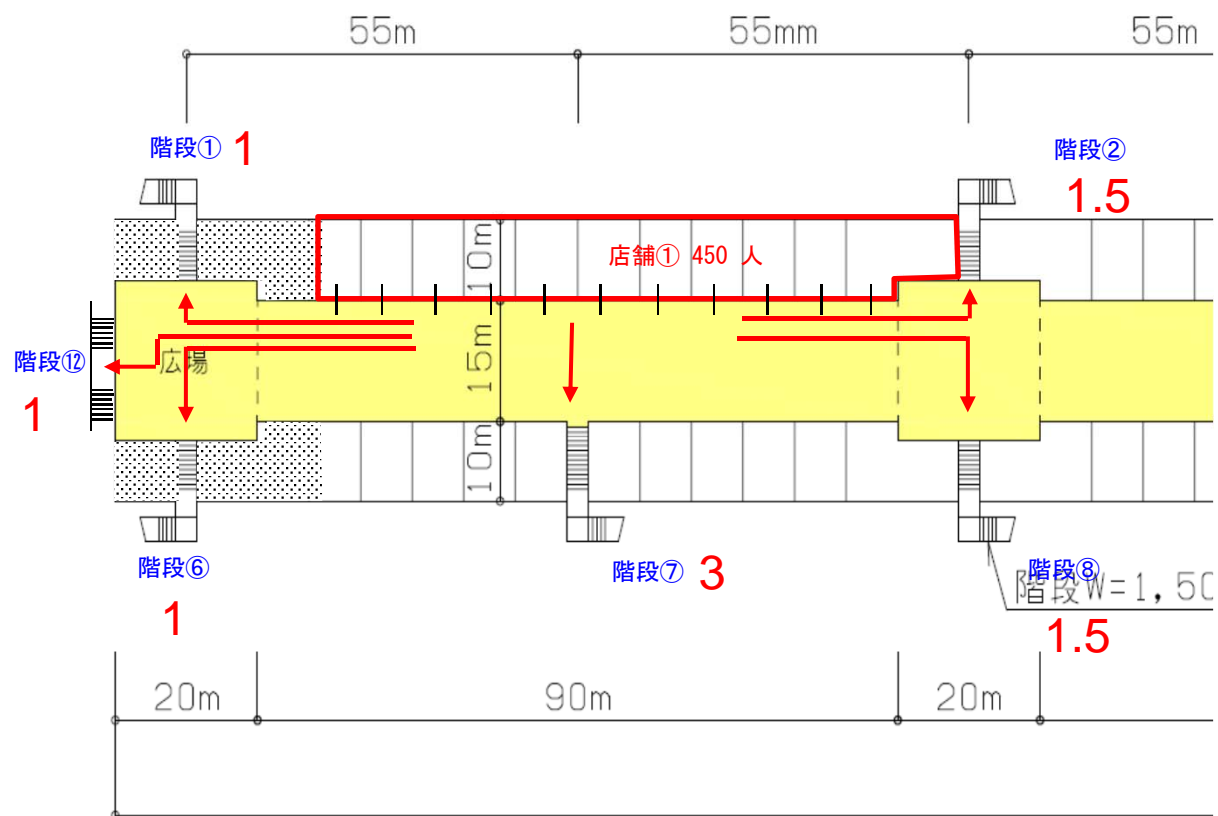
この検討では、これらの絶対的数値を参照しつつも、主に**計算結果の相対的な違い**に着目して検討する。

■シミュレーションの流れ 検証のフロー



■シミュレーションの流れ 検証のフロー

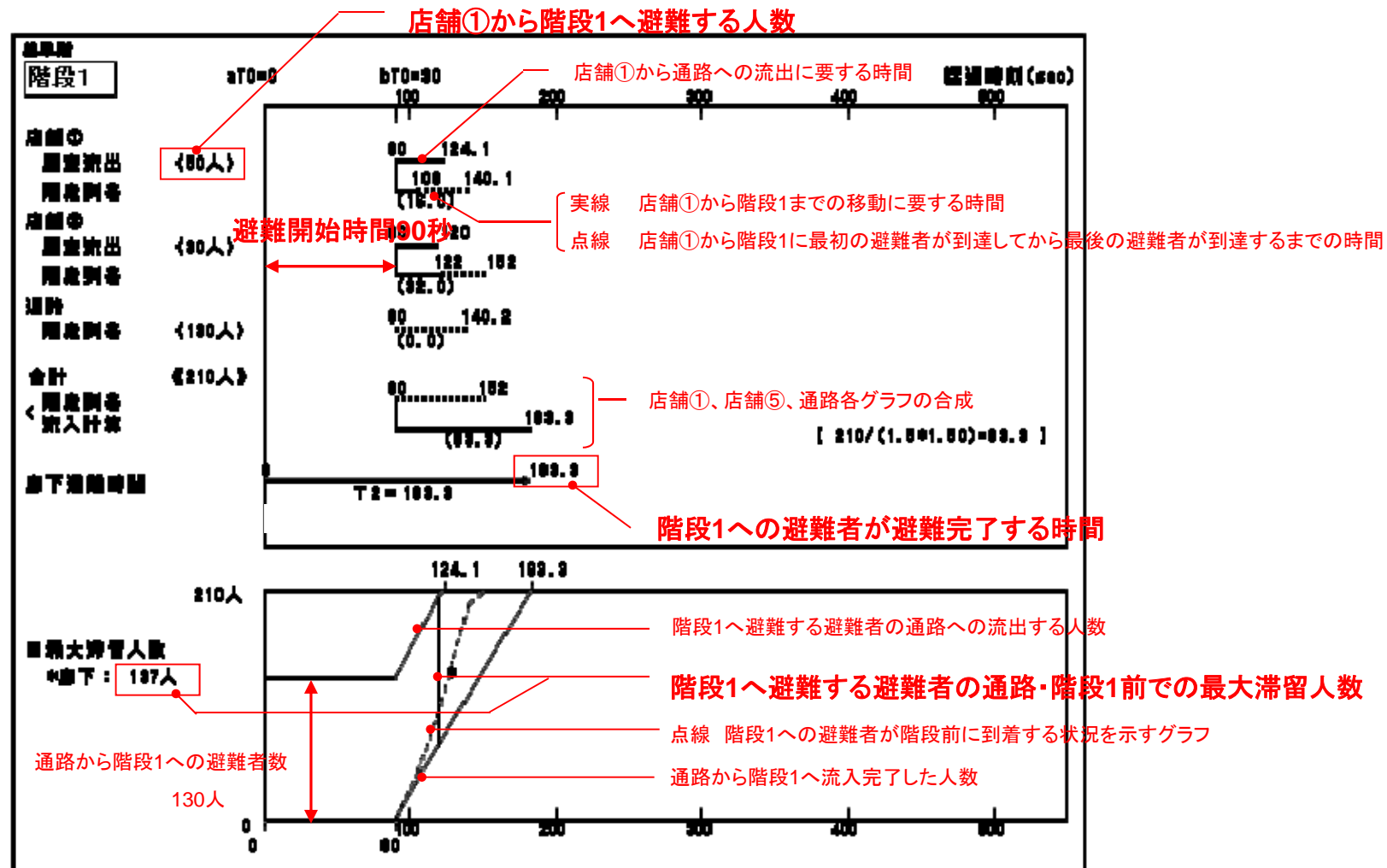
店舗のブロック化と避難者の各階段への配分例



※赤い数字は店舗在館者の各階段への配分を示す

■シミュレーションの流れ 検証のフロー

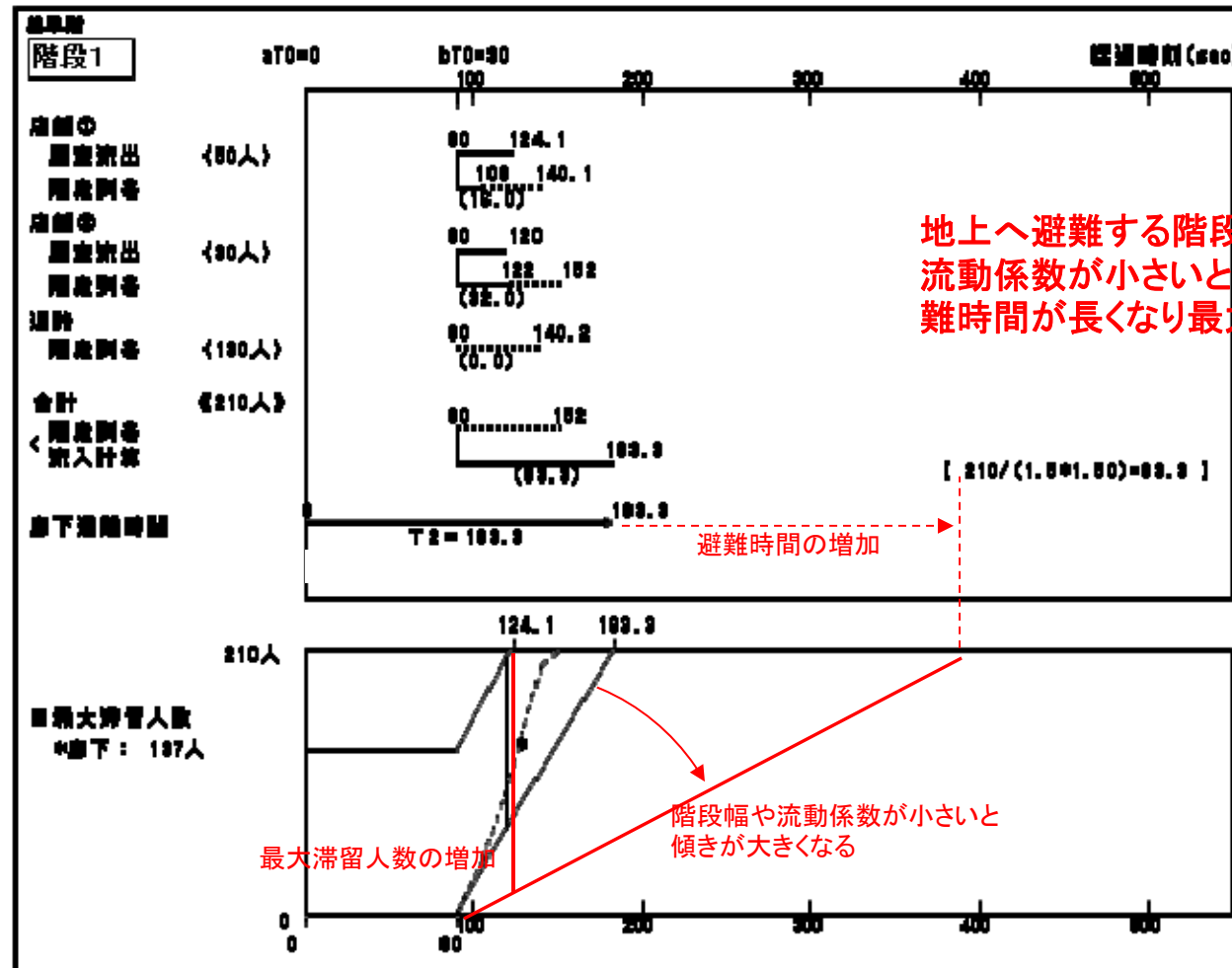
グラフの解説: 各階段への避難者の移動と階段前滞留、流入状況をグラフとして表示



シミュレーションについて

■シミュレーションの流れ 検証のフロー

グラフの解説: 各パラメーターの検証結果への影響



地上へ避難する階段幅が小さかったり、階段の流動係数が小さいと階段通過時間が大きく、避難時間が長くなり最大滞留人数も増える

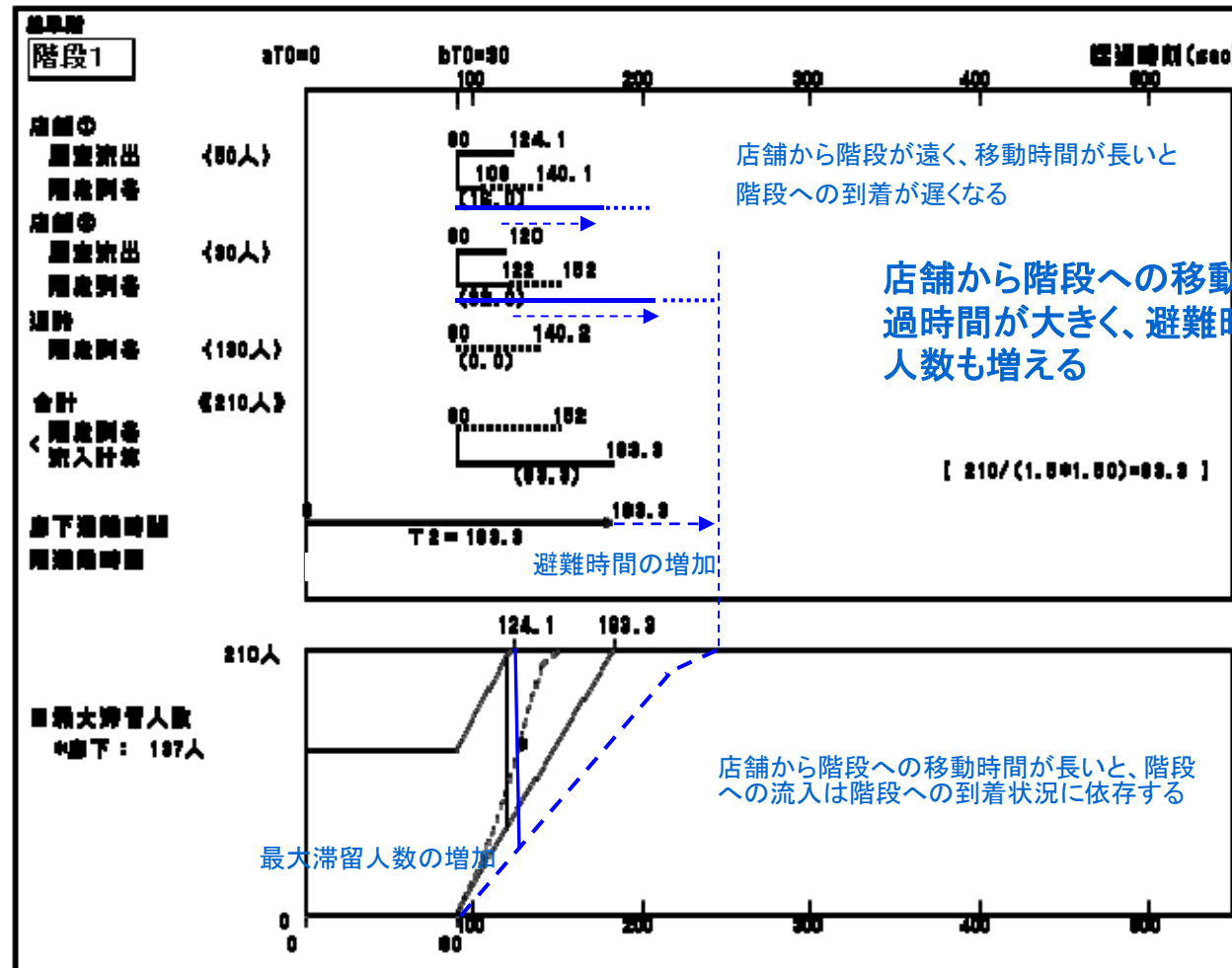
最大滞留人数の増加

階段幅や流動係数が小さいと傾きが大きくなる

シミュレーションについて

■シミュレーションの流れ 検証のフロー

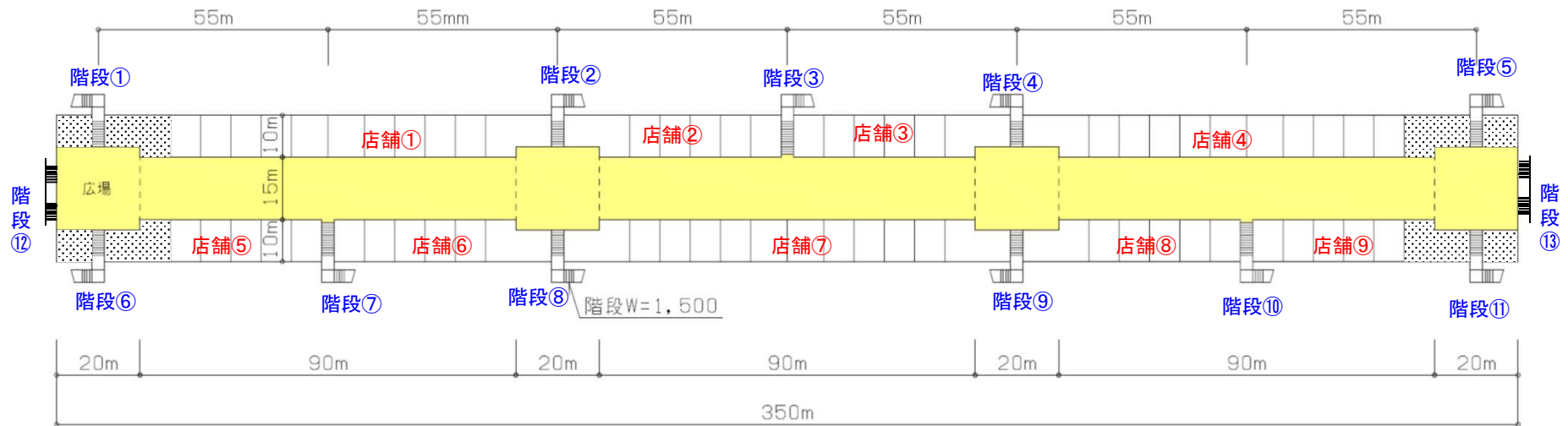
グラフの解説: 各パラメーターの検証結果への影響



店舗から階段への移動距離が大きいと階段通過時間が大きく、避難時間が長くなり最大滞留人数も増える

店舗から階段への移動時間が長いと、階段への流入は階段への到着状況に依存する

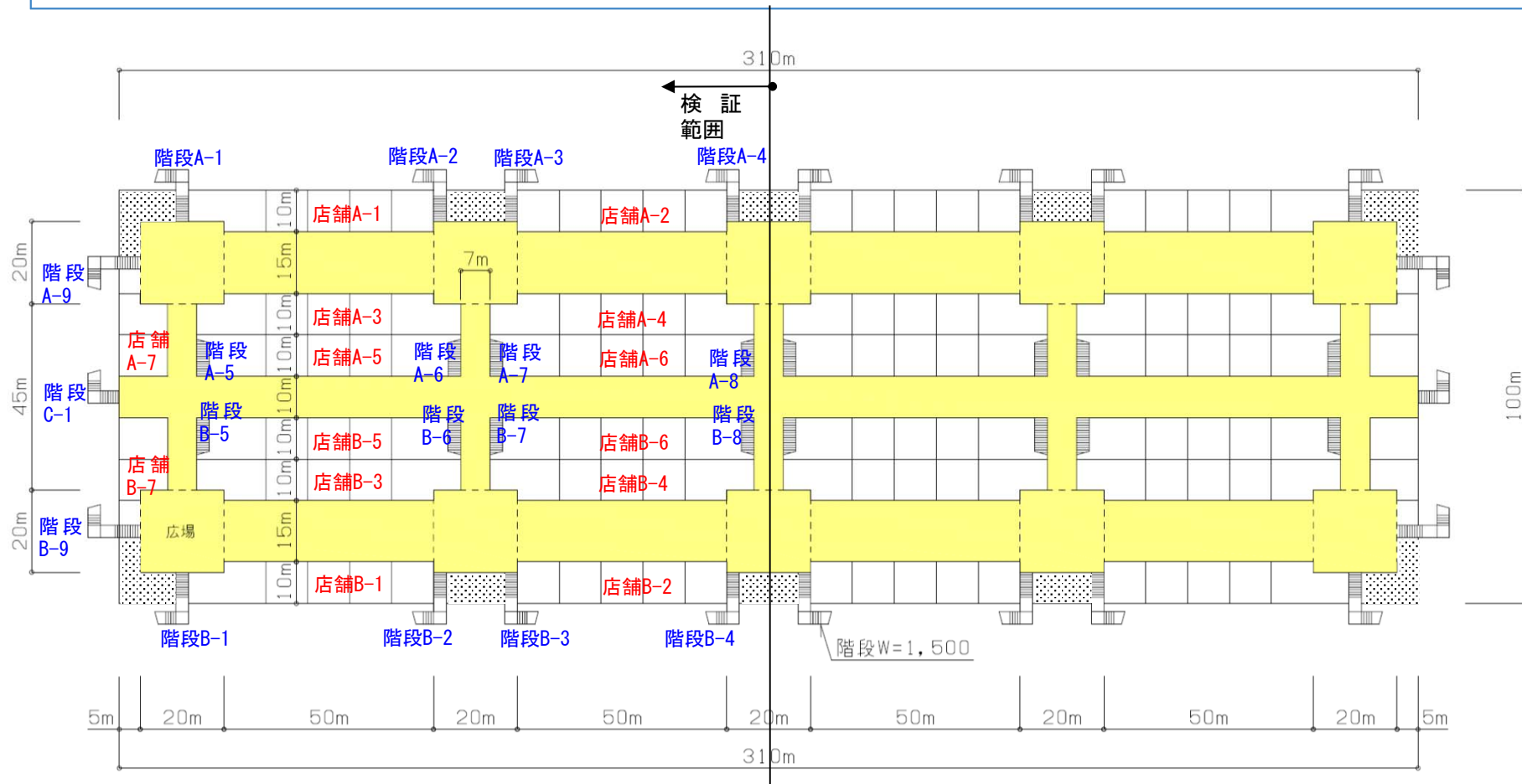
■ モデルプラン(線形パターン, 基準強化以後)検証結果



■ モデルプラン(線形パターン, 基準強化以後)検証結果

階段名・(幅員〔m〕)	避難人数(人)											最大滞留人数(人)	避難完了時間(分秒)	
	店舗①	店舗②	店舗③	店舗④	店舗⑤	店舗⑥	店舗⑦	店舗⑧	店舗⑨	通路	合計			
階段① (1.5)	50				30						130	210	146	3分18秒
階段⑤ (1.5)				50						30	130		146	3分18秒
階段② (1.5)	75	63				63	88				130	419	348	5分05秒
階段④ (1.5)			63	75			88	63			130		348	5分05秒
階段③ (1.5)		125	125				177				130	557	486	6分16秒
階段⑥ (1.5)	50				30						130	210	146	3分18秒
階段⑪ (1.5)				50						30	130		146	3分18秒
階段⑦ (1.5)	150				90	125					130	495	428	5分44秒
階段⑩ (1.5)				150				125	90		130		428	5分44秒
階段⑧ (1.5)	75	63				63	88				130	419	348	5分05秒
階段⑨ (1.5)			63	75			88	63			130		348	5分05秒
階段⑫ (3.0)	50				30						130	210	130	2分39秒
階段⑬ (3.0)				50						30	130		130	2分39秒

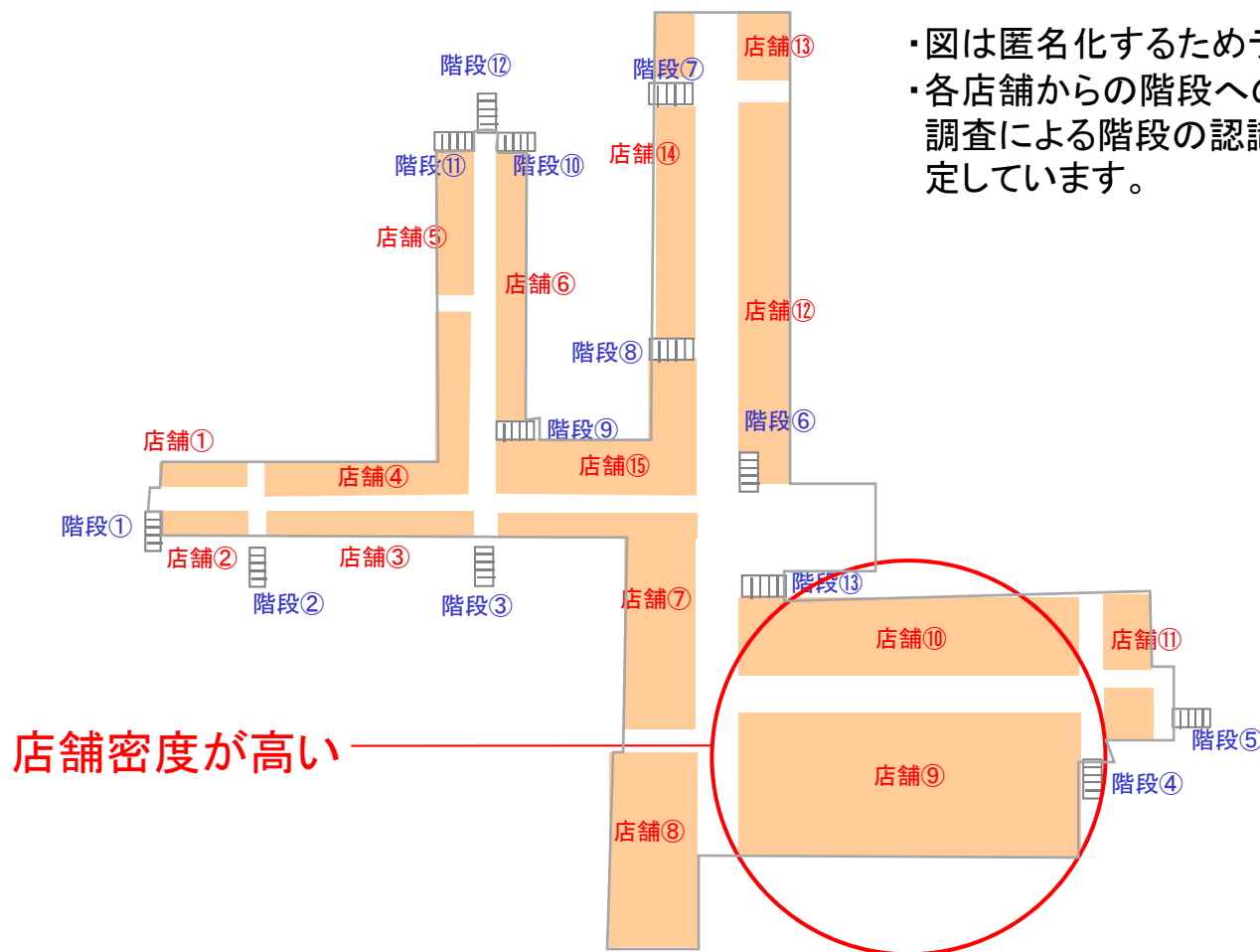
■ モデルプラン (面的パターン, 基準強化以後) 検証結果



■ モデルプラン (面的パターン, 基準強化以後) 検証結果

階段名 (幅員[m])	避難人数(人)																最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間 (分秒)
	舗 店 A1	店 舗 A2	店 舗 A3	店 舗 A4	店 舗 A5	店 舗 A6	店 舗 A7	店 舗 B1	店 舗 B2	店 舗 B3	店 舗 B4	店 舗 B5	店 舗 B6	店 舗 B7	通 路	合 計		
階段A-1 (1.5)	73		79							30					65	217	135	3分23秒
階段B-1 (1.5)								73		79					65	217	135	3分23秒
階段A-2 (1.5)	145		156												129	432	347	5分12秒
階段B-2 (1.5)								145		156					129	432	347	5分12秒
階段A-3 (1.5)			125		158										129	412	327	5分02秒
階段B-3 (1.5)										125		158			129	412	327	5分02秒
階段A-4 (1.5)			125		158										129	412	327	5分02秒
階段B-4 (1.5)										125		158			129	412	327	5分02秒
階段A-5 (1.5)					143		35								43	221	149	3分26秒
階段B-5 (1.5)												143		35	43	221	149	3分26秒
階段A-6 (1.5)					143										86	229	152	3分28秒
階段B-6 (1.5)													143		86	229	152	3分28秒
階段A-7 (1.5)						143									86	229	152	3分28秒
階段B-7 (1.5)													143		86	229	152	3分28秒
階段A-8 (1.5)						143									86	229	152	3分28秒
階段B-8 (1.5)													143		86	229	152	3分28秒
階段A-9 (1.5)	73		79					35							65	252	174	3分43秒
階段B-9 (1.5)									73	79				35	65	252	174	3分43秒
階段C-1 (1.5)								35						35	86	156	99	2分50秒

■ (面的パターン, 基準強化以前) 事例1 検証結果



- ・図は匿名化するためデフォルメされています。
- ・各店舗からの階段への避難者の配分は実地調査による階段の認識しやすさも考慮して決定しています。

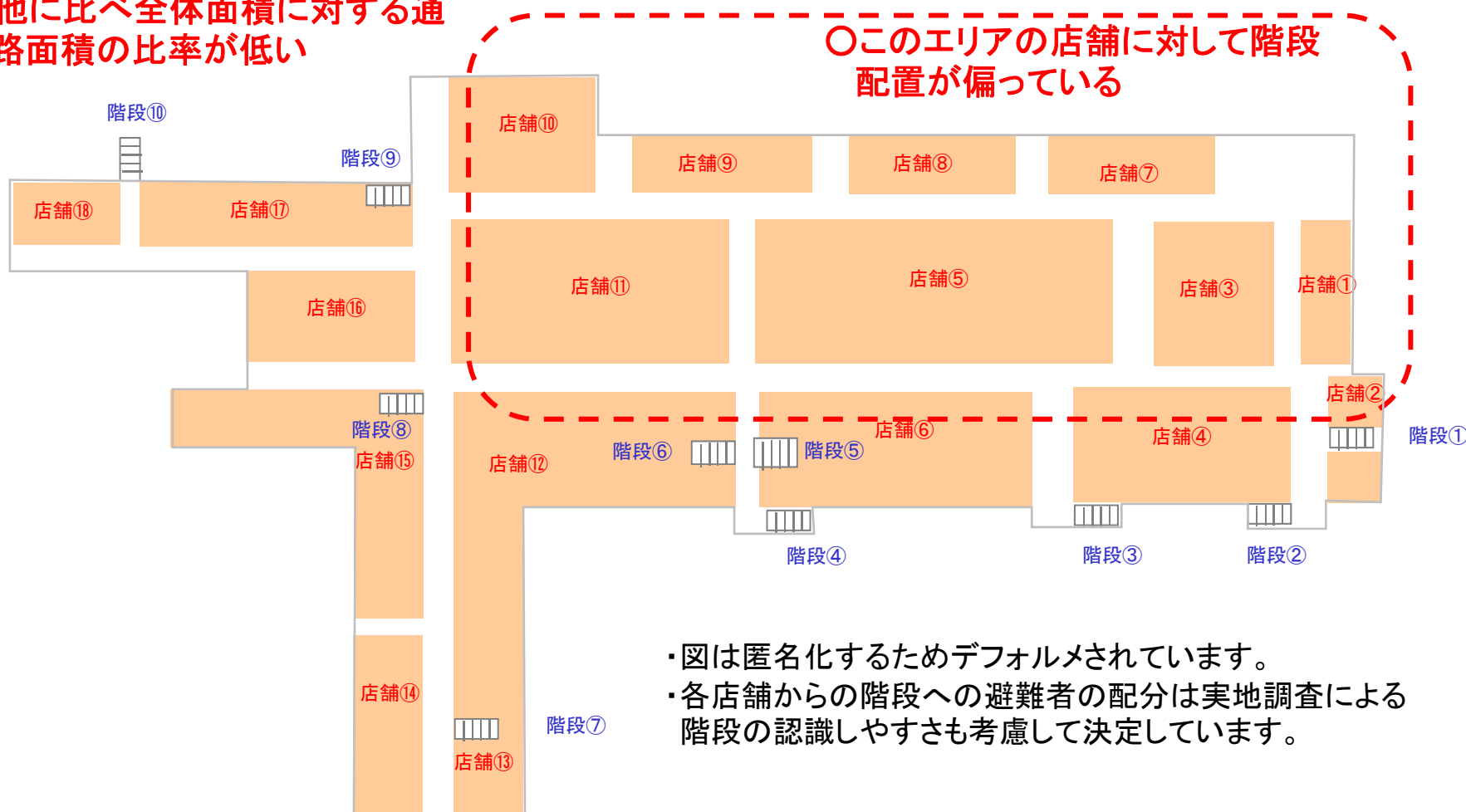
■ (面的パターン, 基準強化以前) 事例1 検証結果

階段名 (幅員[m])	避難人数(人)																	最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間(分秒)
	店舗 ①	店舗 ②	店舗 ③	店舗 ④	店舗 ⑤	店舗 ⑥	店舗 ⑦	店舗 ⑧	店舗 ⑨	店舗 ⑩	店舗 ⑪	店舗 ⑫	店舗 ⑬	店舗 ⑭	店舗 ⑮	通路	合計		
階段① (1.6)	16	14														18	48	22	2分5秒
階段② (2.4)	16	14	45	72												45	192	122	2分38秒
階段③ (4.9)			45	72		69	100								49	98	433	220	2分38秒
階段④ (3.5)								193	750	45	45					90	1123	1013	5分46秒
階段⑤ (4.1)										45	45					90	180	115	3分00秒
階段⑥ (1.8)							100	96	375			66			49	365	1051	971	9分00秒
階段⑦ (1.6)												132	85	150		86	453	379	5分08秒
階段⑧ (1.5)												132		150	98	77	457	388	5分25秒
階段⑨ (1.5)			45			69	100								49	98	361	294	4分36秒
階段⑩ (2.1)			15		30	46										21	112	59	2分21秒
階段⑪ (1.9)			15		30	46										21	112	46	2分18秒
階段⑫ (2.1)			15		30	46										21	112	59	2分21秒
階段⑬ (3.2)							100	96	375			66			49	365	1051	910	5分43秒

■ (面的パターン, 基準強化以前) 事例2 検証結果

○他に比べ全体面積に対する通路面積の比率が低い

○このエリアの店舗に対して階段配置が偏っている



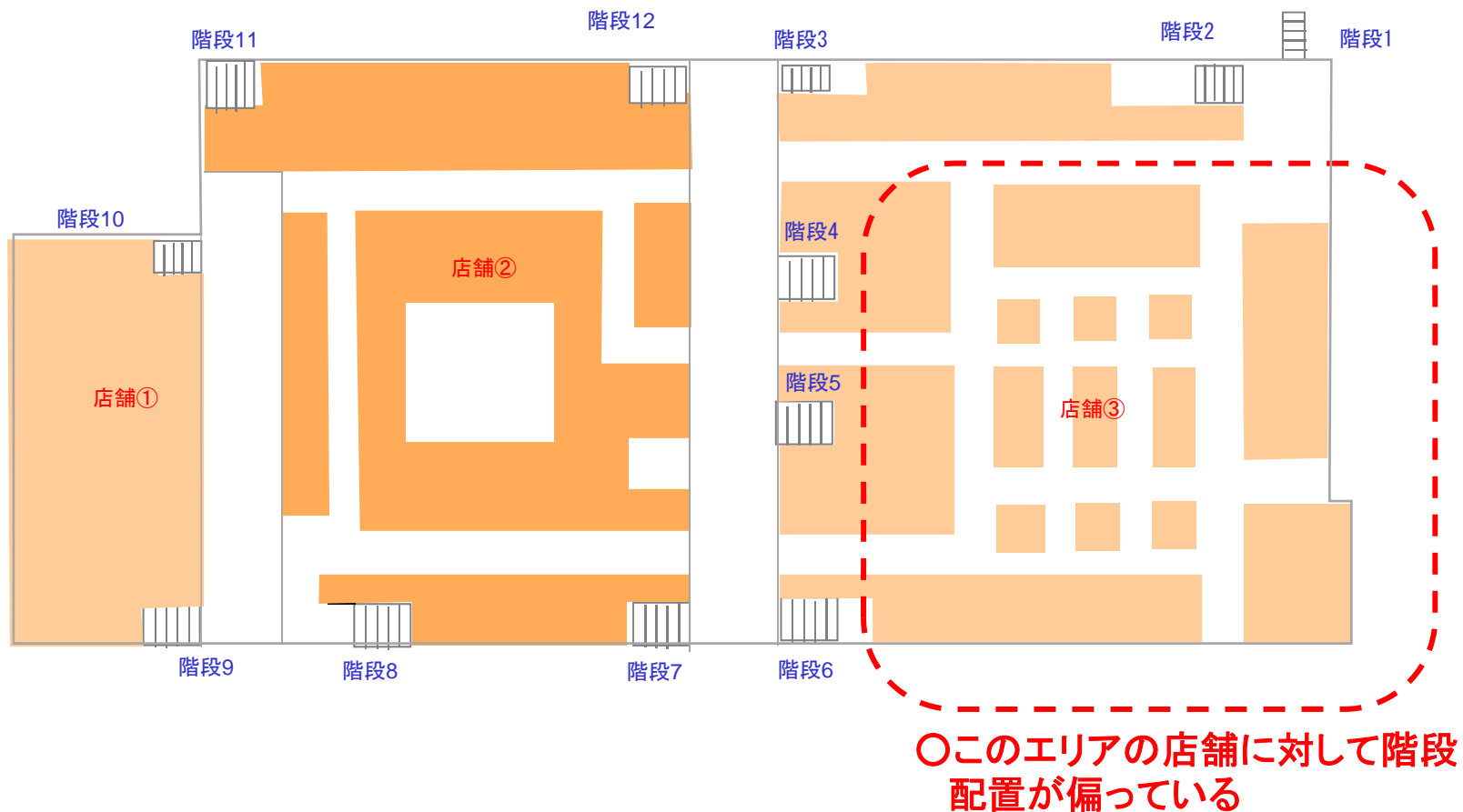
- ・図は匿名化するためデフォルメされています。
- ・各店舗からの階段への避難者の配分は実地調査による階段の認識しやすさも考慮して決定しています。

■ (面的パターン, 基準強化以前) 事例2検証結果

階段名 幅員[m]	避難人数(人)																			最大 滞留 人数 (人)	避難完了時間 (分秒)			
	店舗 ①	店舗 ②	店舗 ③	店舗 ④	店舗 ⑤	店舗 ⑥	店舗 ⑦	店舗 ⑧	店舗 ⑨	店舗 ⑩	店舗 ⑪	店舗 ⑫	店舗 ⑬	店舗 ⑭	店舗 ⑮	店舗 ⑯	店舗 ⑰	店舗 ⑱	通路			合計		
階段1 (1.8)	16	13	24	48																72	173	173	2分45秒	
階段2 (1.6)	16	13	24	48																	72	173	173	2分54秒
階段3 (1.6)			49	96	150	102	54	25													143	619	619	6分28秒
階段4 (1.8)					50	34		8	19		56	54									48	269	269	3分29秒
階段5 (1.9)					50	34		8	19		56	54									48	269	269	3分20秒
階段6 (1.9)					50	34		8	19		56	54									48	269	269	3分19秒
階段7 (2.1)												54	50	42	44						143	333	322	2分32秒
階段8 (1.9)											84	54			44	27					143	352	352	3分53秒
階段9 (2.0)										87	84	54				27	52				143	447	447	4分22秒
階段10 (2.9)															44	27	52	26			143	292	292	2分49秒

■ (面的パターン, 基準強化以前) 事例3 検証結果

- ・図は匿名化するためデフォルメされています。
- ・各店舗からの階段への避難者の配分は実地調査による階段の認識しやすさも考慮して決定しています。



■ (面的パターン, 基準強化以前) 事例3 検証結果

階段名 幅員[m]	避難人数(人)									最大滞留 人数(人)	避難完了時 間(分秒)
	店舗①	店舗②	店舗③	通路①	通路②				合計		
階段 1(1.8)			235						234	164	3分22秒
階段 2(2.4)			235						234	122	2分51秒
階段 3(1.4)		62	64		20				147	73	2分51秒
階段 4(2.9)		62	141		40				243	88	2分35秒
階段 5(2.9)		62	232		40				334	176	2分59秒
階段 6(2.9)		62	110		20				192	47	2分23秒
階段 7(2.9)		62	110		40				212	63	2分27秒
階段 8(3.0)	74	62		29					165	165	2分21秒
階段 9(3.0)	74	62		29					165	165	4分16秒
階段10(2.2)	74	62		29					165	165	2分28秒
階段11(2.2)	74	62		29					165	165	2分28秒
階段12(3.0)		62	65		20				147	147	2分35秒

■ 5例の比較

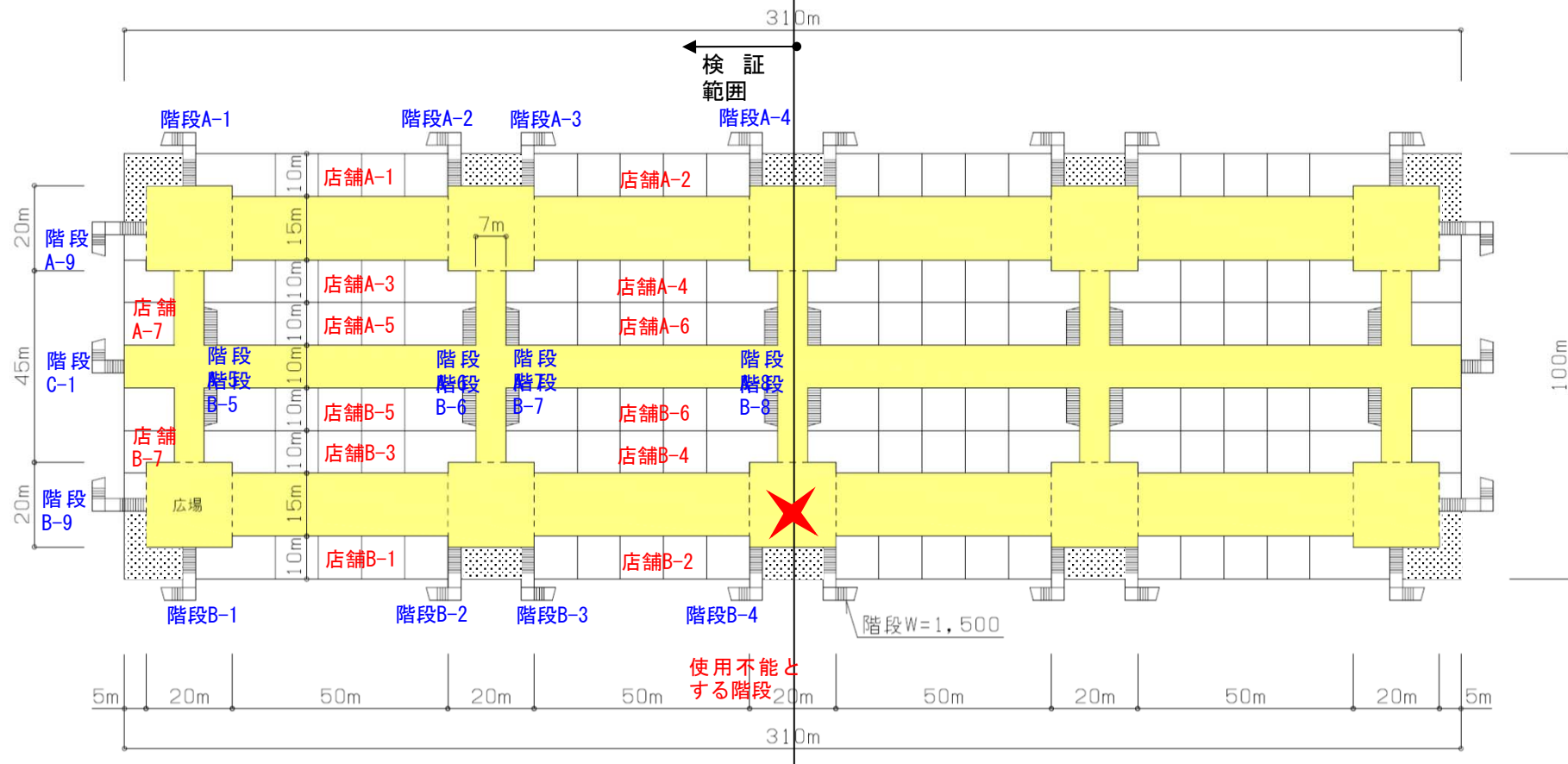
	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
モデルプラン 基準強化以後 線形	4,490人	13	22.5m	6分16秒	486人
モデルプラン 基準強化以後 面的	5,422人	19	28.5m	5分12秒	347人
基準強化以前 面的 事例 1	5,685人	11	32.2m	9分00秒	971人
基準強化以前 面的 事例 2	3,196人	10	19.5m	6分28秒	549人
基準強化以前 面的 事例 3	2,404人	12	30.6m	3分22秒	176人

今回追加検証

- ・ 基準強化以後は線形プランで避難完了時間6分16秒、面的プランで5分12秒となった。
- ・ モデルプランの線形モデルと面的モデルでは、線的モデルの方がやや避難時間大で、滞留者数も多い。
- ・ 基準強化以前のものでは、階段幅や配置の偏りにより、避難完了時間の大きいものもある一方で、階段配置が偏っていても階段幅が十分確保されている場合には短時間で避難完了できる。

■ 落下物などで一部の階段が使えなくなったとした場合の検証

モデルプラン(面的パターン, 基準強化以後)



階段A-4、B-4を使用不可とする

■ 落下物などで一部の階段が使えなくなったとした場合の検証

	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
モデルプラン 基準強化以後 線形	4,490人	13	22.5m	6分16秒	486人
階段一部使用不可	4,490人	11	19.5m	9分31秒	1,041人

モデルプラン 基準強化以後 面的	5,422人	19	28.5m	5分12秒	347人
階段一部使用不可	5,422人	17	25.5m	7分32秒	620人

- ・ モデルプランの線形プランで避難時間が1.5倍、階段前の滞留者数は2.1倍となった。
- ・ モデルプランの面的プランで避難時間が1.4倍、階段前の滞留者数は1.8倍となった。
- ・ 以上より落下物などで一部の階段が使えないと避難完了時間や、最大滞留者数に大きな影響が生ずることが解った。

■ 天井からの落下物による散乱物の影響で歩行速度が低下した場合

落下物や停電の影響については、火災学会誌に、実験の報告例がある。それによると落下物がある場合は歩行速度が約半分に低下、停電(非常照明下での避難)では歩行速度の低下はほとんどなかった。

文献:地震直後の物品散乱を想定した歩行実験(その1)

大岩大祐(東京大学), 劉唱(神戸大学), 北後明彦(神戸大学), 野竹宏彰(清水建設), 関漂愛(東京大学), 廣井悠(東京大学), 村井裕樹(広島工業大学)

<散乱物の効果>

散乱物密度が大きくなるにしたがって、歩行速度は低下する傾向が把握できる。ただし平均歩行速度を自由歩行時と比較した場合、平均速度が1.61m/sから0.69m/sとなり、**速度が一気に55%以上低下している**ことがわかる。(この実験は、オフィスビルを想定してしつらえた空間で行われており地下街を再現したものではない)

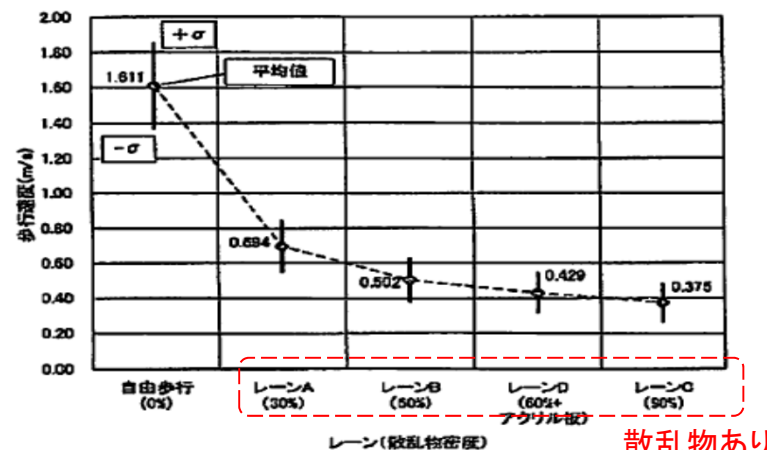


図2 各レーンにおける平均歩行速度

文献:地震直後の停電と物品散乱を想定した歩行実験(その1)

大岩大祐(東京大学), 劉唱(神戸大学), 北後明彦(神戸大学), 野竹宏彰(清水建設), 関漂愛(東京大学), 廣井悠(東京大学), 村井裕樹(広島工業大学)

<非常照明の効果>

散乱物のある状況で通常照明が停電し、非常照明となった時の歩行速度は、通常照明で散乱物のある状態での歩行速度より5~10パーセント程度しか低下していない。さらに、暗闇に馴れた状況では、**非常照明があれば、ほとんど速度は低下していない**。非常照明が半分程度であっても、速度低下は少ない。以上のことから、地震発生後、散乱物のある中で停電となった状況での、非常照明の点灯はかなり有効であることがわかった。

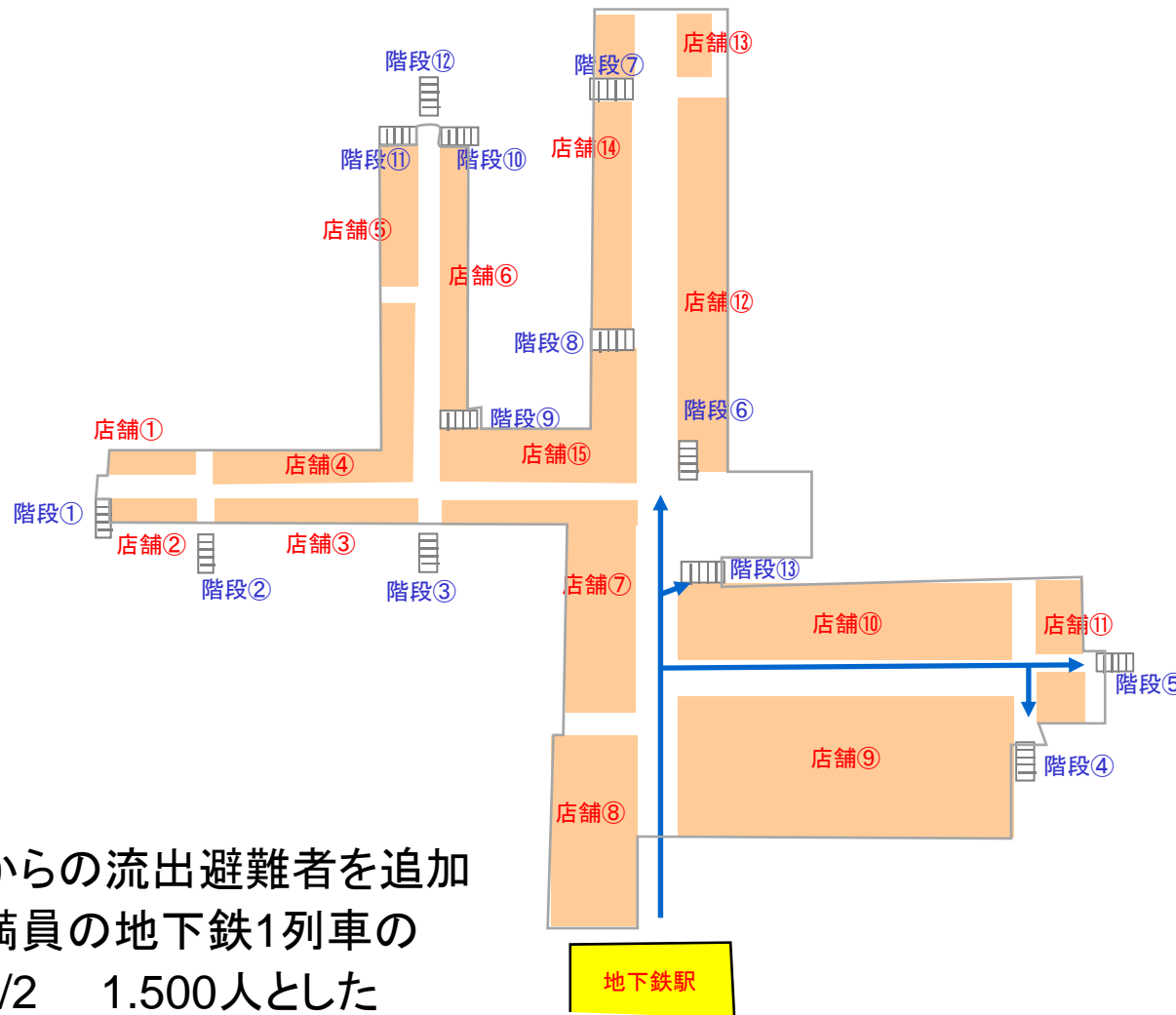
■ 天井からの落下物による散乱物の影響で歩行速度が低下した場合

以上の資料を参考とし、歩行速度が1/2となった場合の検証を行った。

	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
モデルプラン 基準強化以後 線形	4,490人	13	22.5m	6分16秒	486人
歩行速度 1/2	4,490人	13	22.5m	6分16秒	460人

- ・ 地下街内で、落下物により避難速度低下を見込んだ場合でも、避難時間は変わらない。
- ・ 階段前に避難開始と同時に、通路の避難者が滞留を始めるので、階段までの歩行速度は避難時間に影響しない。
- ・ 但し、地下街から地上へ通ずる階段内で落下物などにより速度低下が生じると、避難時間が著しく大きくなる。

■ 地下鉄駅などから大量の避難者が流入した場合



地下駅からの流出避難者を追加
人数は満員の地下鉄1列車の
旅客の1/2 1,500人とした

■ 地下鉄駅などから大量の避難者が流入した場合

階段名 (幅員 [m])	避難人数(人)																	最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間(分 秒)		
	店舗 ①	店舗 ②	店舗 ③	店舗 ④	店舗 ⑤	店舗 ⑥	店舗 ⑦	店舗 ⑧	店舗 ⑨	店舗 ⑩	店舗 ⑪	店舗 ⑫	店舗 ⑬	店舗 ⑭	店舗 ⑮	地下 鉄	通路			合計	
階段① (1.6)	16	14															18	48	22	2分5秒	
階段② (2.4)	16	14	45	72													45	192	122	2分38秒	
階段③ (4.9)			45	72		69	100								49		98	433	220	2分38秒	
階段④ (3.5)								193	750	45	45						375	90	1498	1040	7分00秒
階段⑤ (4.1)										45	45						375	90	555	115	4分36秒
階段⑥ (1.8)								100	96	375			66		49	375	365	1426	1040	11分40秒	
階段⑦ (1.6)												132	85	150			86	453	379	5分08秒	
階段⑧ (1.5)												132		150	98		77	457	388	5分25秒	
階段⑨ (1.5)			45			69	100								49		98	361	294	4分36秒	
階段⑩ (2.1)			15		30	46											21	112	59	2分21秒	
階段⑪ (1.9)			15		30	46											21	112	46	2分18秒	
階段⑫ (2.1)			15		30	46											21	112	59	2分21秒	
階段⑬ (3.2)								100	96	375			66		49	375	365	1426	978	7分13秒	

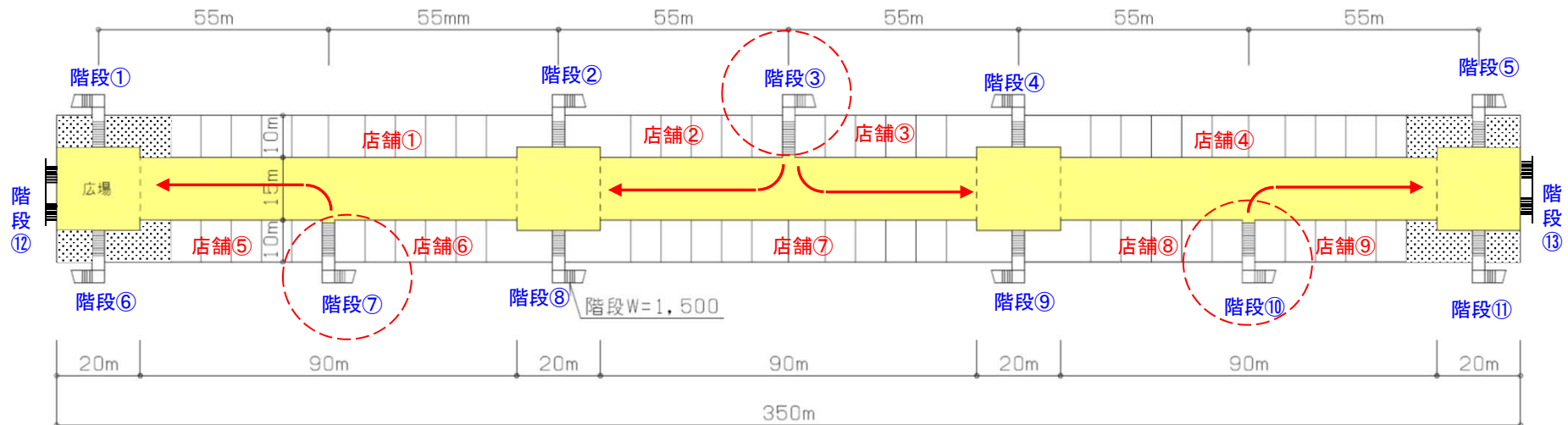
■ 地下鉄駅などから大量の避難者が流入した場合

	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
(面的パターン, 基準強化以前) 事例1	5,685人	11	32.2m	9分00秒	971人
地下駅の避難者1,500人を追加	7,185人	11	32.2m	11分40秒	1040人

- 地下駅などからの避難者が大量に流入すると階段前の滞留はさらに大きくなり、避難時間も増大する。

■ 誘導の効果の検証 1

モデルプラン(線形パターン, 基準強化以後)



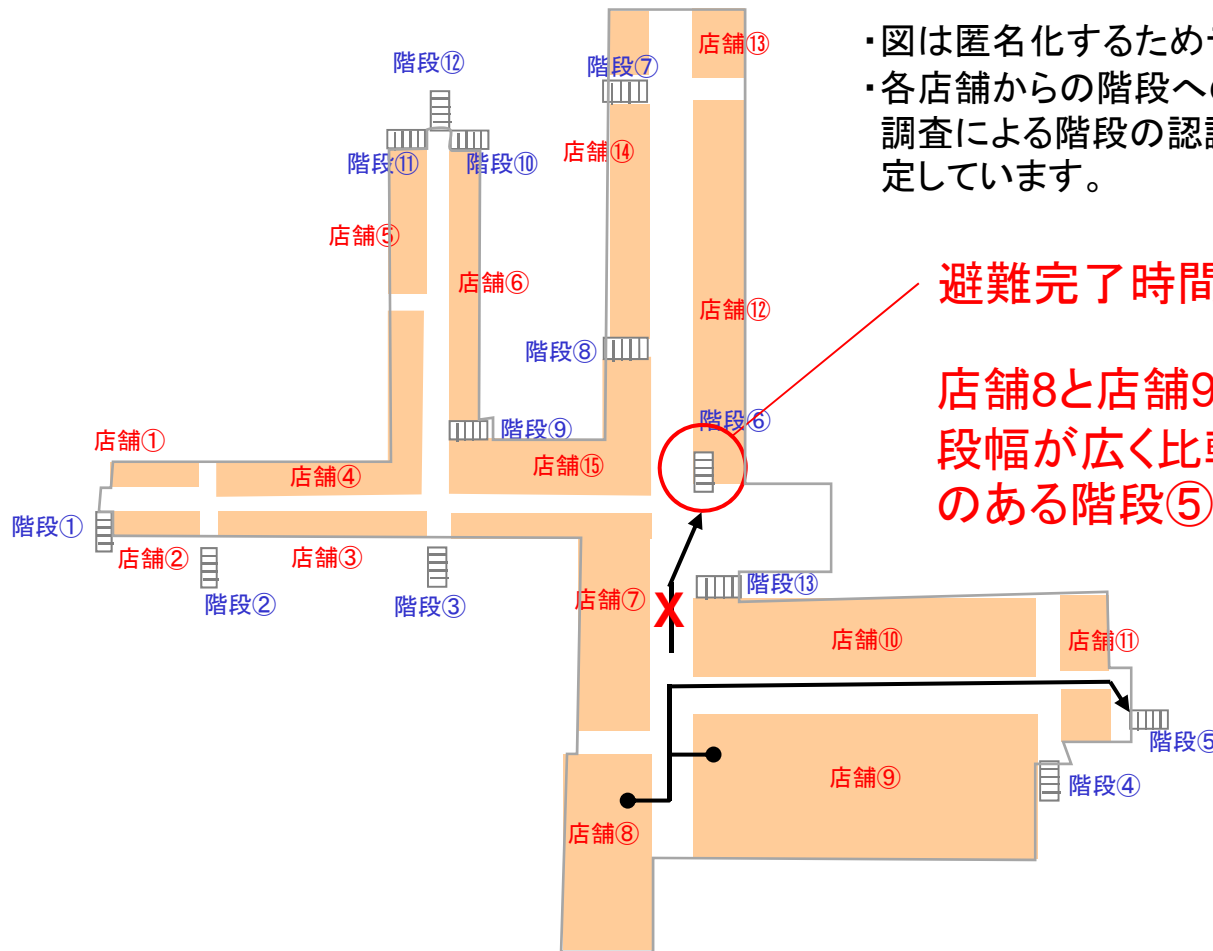
滞留の大きい階段③、⑦、⑩の避難者を他の階段へ誘導

■ 誘導の効果の検証 1

均等になるように誘導

階段名・(幅員〔m〕)	避難人数(人)											最大滞留人数(人)	避難完了時間(分秒)	
	店舗①	店舗②	店舗③	店舗④	店舗⑤	店舗⑥	店舗⑦	店舗⑧	店舗⑨	通路	合計			
階段① (1.5)	150				30	35					130	345	278	4分27秒
階段⑤ (1.5)				150				35	30		130	345	278	4分27秒
階段② (1.5)		63				11	132				130	336	265	4分23秒
階段④ (1.5)			63				132	11			130	336	265	4分23秒
階段③ (1.5)		125	125								130	380	313	4分45秒
階段⑥ (1.5)	150				30	35					130	345	278	4分27秒
階段⑪ (1.5)				150				35	30		130	345	278	4分27秒
階段⑦ (1.5)					90	125					130	345	278	4分27秒
階段⑩ (1.5)								125	90		130	345	278	4分27秒
階段⑧ (1.5)		63				10	132				130	335	264	4分22秒
階段⑨ (1.5)			63				132	10			130	335	264	4分22秒
階段⑫ (3.0)	150				30	35					130	345	212	2分59秒
階段⑬ (3.0)				150				35	30		130	345	212	2分59秒

■ 誘導の効果の検証 2



- ・図は匿名化するためデフォルメされています。
- ・各店舗からの階段への避難者の配分は実地調査による階段の認識しやすさも考慮して決定しています。

避難完了時間の長い階段

店舗⑧と店舗⑨の避難者を階段幅が広く比較的時的余裕のある階段⑤へ誘導する

■ 誘導の効果の検証 2

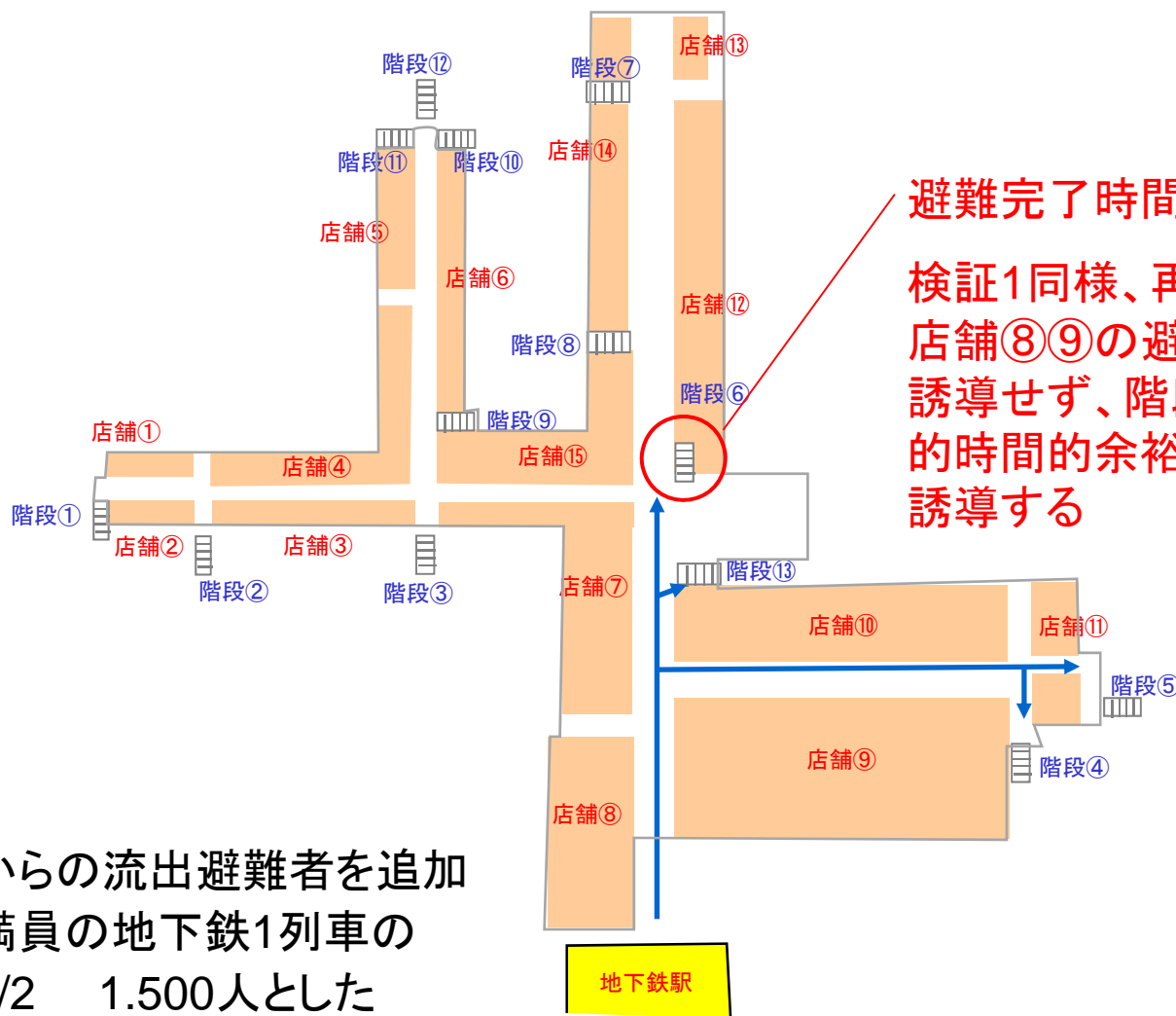
階段名 (幅員[m])	避難人数(人)																	最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間(分秒)
	店舗 ①	店舗 ②	店舗 ③	店舗 ④	店舗 ⑤	店舗 ⑥	店舗 ⑦	店舗 ⑧	店舗 ⑨	店舗 ⑩	店舗 ⑪	店舗 ⑫	店舗 ⑬	店舗 ⑭	店舗 ⑮	通路	合計		
階段① (1.6)	16	14														18	48	22	2分5秒
階段② (2.4)	16	14	45	72												45	192	122	2分38秒
階段③ (4.9)			45	72		69	100								49	98	433	220	2分38秒
階段④ (3.5)								193	750	45	45					90	1123	1013	5分46秒
階段⑤ (4.1)										45	45					90	180	115	3分00秒
階段⑥ (1.8)							100	96	375			66			49	365	1051	971	9分00秒
階段⑦ (1.6)												132	85	150		86	453	379	5分08秒
階段⑧ (1.5)												132		150	98	77	457	388	5分25秒
階段⑨ (1.5)			45			69	100								49	98	361	294	4分36秒
階段⑩ (2.1)			15		30	46										21	112	59	2分21秒
階段⑪ (1.9)			15		30	46										21	112	46	2分18秒
階段⑫ (2.1)			15		30	46										21	112	59	2分21秒
階段⑬ (3.2)							100	96	375			66			49	365	1051	910	5分43秒

■ 誘導の効果の検証 2

階段名 (幅員[m])	避難人数(人)																	最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間(分秒)	
	店舗 ①	店舗 ②	店舗 ③	店舗 ④	店舗 ⑤	店舗 ⑥	店舗 ⑦	店舗 ⑧	店舗 ⑨	店舗 ⑩	店舗 ⑪	店舗 ⑫	店舗 ⑬	店舗 ⑭	店舗 ⑮	通路	合計			
階段① (1.6)	16	14														18	48	22	2分5秒	
階段② (2.4)	16	14	45	72												45	192	122	2分38秒	
階段③ (4.9)			45	72		69	100									49	98	433	220	2分38秒
階段④ (3.5)								193	750	45	45					90	1123	1013	5分46秒	
階段⑤ (4.1)								96	375	45	45					90	651	504	3分39秒	
階段⑥ (1.8)							100					66			49	365	580	499	5分38秒	
階段⑦ (1.6)												132	85	150		86	453	379	5分08秒	
階段⑧ (1.5)												132		150	98	77	457	388	5分25秒	
階段⑨ (1.5)			45			69	100								49	98	361	294	4分36秒	
階段⑩ (2.1)			15													21	112	59	2分21秒	
階段⑪ (1.9)			15													21	112	46	2分18秒	
階段⑫ (2.1)			15													21	112	59	2分21秒	
階段⑬ (3.2)							100	96	375			66			49	365	1051	910	5分43秒	

誘導前 9分00秒
 階段⑤は店舗8から視認性が良くないが、
 誘導することで、避難の際のリスク回避が
 可能となる。

■ 誘導の効果の検証 3



地下駅からの流出避難者を追加
人数は満員の地下鉄1列車の
旅客の1/2 1,500人とした

■ 誘導の効果の検証 3

階段名 (幅員 [m])	避難人数(人)																	最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間(分 秒)		
	店 舗 ①	店 舗 ②	店 舗 ③	店 舗 ④	店 舗 ⑤	店 舗 ⑥	店 舗 ⑦	店 舗 ⑧	店 舗 ⑨	店 舗 ⑩	店 舗 ⑪	店 舗 ⑫	店 舗 ⑬	店 舗 ⑭	店 舗 ⑮	地 下 鉄	通 路			合 計	
階段① (1.6)	16	14															18	48	22	2分5秒	
階段② (2.4)	16	14	45	72													45	192	122	2分38秒	
階段③ (4.9)			45	72		69	100								49		98	433	220	2分38秒	
階段④ (3.5)								193	750	45	45						375	90	1498	1040	7分00秒
階段⑤ (4.1)										45	45						375	90	555	115	4分36秒
階段⑥ (1.8)							100	96	375			66			49	375	365	1426	1040	11分40秒	
階段⑦ (1.6)												132	85	150			86	453	379	5分08秒	
階段⑧ (1.5)												132		150	98		77	457	388	5分25秒	
階段⑨ (1.5)			45			69	100								49		98	361	294	4分36秒	
階段⑩ (2.1)			15		30	46											21	112	59	2分21秒	
階段⑪ (1.9)			15		30	46											21	112	46	2分18秒	
階段⑫ (2.1)			15		30	46											21	112	59	2分21秒	
階段⑬ (3.2)							100	96	375			66			49	375	365	1426	978	7分13秒	

■ 誘導の効果の検証 3

階段名 (幅員 [m])	避難人数(人)																		最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間(分 秒)	
	店 舗 ①	店 舗 ②	店 舗 ③	店 舗 ④	店 舗 ⑤	店 舗 ⑥	店 舗 ⑦	店 舗 ⑧	店 舗 ⑨	店 舗 ⑩	店 舗 ⑪	店 舗 ⑫	店 舗 ⑬	店 舗 ⑭	店 舗 ⑮	地 下 鉄	通 路	合 計			
階段① (1.6)	16	14															18	48	22	2分5秒	
階段② (2.4)	16	14	45	72													45	192	122	2分38秒	
階段③ (4.9)			45	72		69	100								49		98	433	220	2分38秒	
階段④ (3.5)								193	750	45	45						375	90	1498	1040	7分00秒
階段⑤ (4.1)								96	375	45	45						375	90	1026	547	4分45秒
階段⑥ (1.8)							100					66			49	375	365	955	569	8分19秒	
階段⑦ (1.6)												132	85	150			86	453	379	5分08秒	
階段⑧ (1.5)												132		150	98		77	457	388	5分25秒	
階段⑨ (1.5)			45			69	100								49		98	361	294	4分36秒	
階段⑩ (2.1)			15		30												21	112	59	2分21秒	
階段⑪ (1.9)			15		30												21	112	46	2分18秒	
階段⑫ (2.1)			15		30												21	112	59	2分21秒	
階段⑬ (3.2)							100	96	375			66			49	375	365	1426	978	7分13秒	

誘導前 11分40秒
 階段⑤は店舗8から視認性が良くないが、誘導することで、避難の際のリスク回避が可能となる。

■ 誘導の効果の検証 まとめ

	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
モデルプラン 基準強化以後 線形	4,490人	13	22.5m	6分16秒	486人
誘導により各階段の避難人数を均等化	4,490人	13	22.5m	4分45秒	313人

	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
事例 1	5,685人	11	32.2m	9分00秒	971人
避難完了時間大の階段から小の階段へ誘導	5,685人	11	32.2m	5分38秒	499人

	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
事例1 駅から流入	5,685人	13	32.2m	11分40秒	1,040人
避難完了時間大の階段から小の階段へ誘導	5,685人	11	32.2m	8分19秒	569人

- 避難者数が多い階段から避難者数の少ない階段へ避難者を誘導することで、最大避難時間や、最大滞留人数を小さくすることができる。

■ パニックの原因となりそうな事象の考察

■ パニックの原因となりそうな事象

- ・ 今回のシミュレーションは、利用可能な階段は、すべて避難に使えるという前提で行っている。しかし、実際の災害時には、地上部が混乱している等で、階段で上に上がってはみたものの、地上に出れず、階段が詰まってしまうことも考えられる。
- ・ こうした場合、「逃げられる」と思ったにも関わらず、逃げられず、しかも止まってしまうため、心理的に不安を助長させ、群衆殺到事故につながる事が十分予想される。

■ パニックを起こさないための対策

- ・ 地下街管理者等が、地上の状況を把握した上で落ち着いた避難誘導を行うことが求められる。
- ・ また、ただちに地上へ避難誘導することがかえって危険な場合には、地下街で一時滞留(退避)することも考えられる。このためにも、地下街の安全確保策が有効である。

■ シミュレーション結果のまとめ

■ 避難時間について

- ・ どのような地下街でも、各階段幅員に見合った人数が避難すれば、地下街全体として安全な避難が可能。階段の配置や幅員のばらつきで避難人数のバランスが悪いと避難時間が長くなる。

■ 避難完了時間の決定要因について

- ・ 避難時には、階段前に避難者の滞留が起こり、滞留解消前に避難者の階段前までの移動が完了するので、避難完了時間は歩行速度には依存せず滞留者が階段に入り込むまでの待ち時間にほとんど依存する。
- ・ 階段の配置や幅員が均等でない場合、一つの階段にたくさんの方が避難する状況が発生し、その階段の避難時間や滞留が大きくなる。

■ シミュレーション結果のまとめ

■ 落下物や停電による歩行速度の低下について

- ・ 落下物が散乱した状態では歩行速度は概ね1/2になる。
- ・ 歩行速度が1/2になっても、階段前の避難者の滞留解消前に避難者が到達できるので、地下街の避難完了時間にはほとんど影響しない。ただし、地上に出る階段での歩行速度の低下は、避難完了時間に直接影響する。
- ・ 停電による照度低下(非常照明のみ)でも歩行速度の低下はほとんどない。

■ パニックの原因となりそうな事象の影響について

- ・ 落下物や地上の混雑などで階段が使えない状況が起こるとその階段から避難しようとした人が避難できず過密な状態となる。
- ・ 接続している施設から多くの避難者が流入すると、その近くの階段に避難者が集中し、避難時間や滞留の増加が起こる。
- ・ 以上のような状況が発生すると心理的不安がまし、パニックになりやすい。

■ シミュレーション結果のまとめ

■ 過度の滞留やパニックの原因の解消策

- ・ 滞留の大きな階段から周囲の階段に誘導することで滞留の解消や避難時間の短縮が図れる。
- ・ あらかじめ店舗ごとの避難先や避難の順番を決めておき、階段前に過度の滞留が生じないように避難者を誘導することも考えられる。
- ・ 地上の状況を把握し、落ち着いた避難誘導を行うことで、パニックとなる要因の一つの解消が図られる。

たとえば各階段に近い店舗の従業員が、階段の状況及び階段地上部の状況を確認し、地下街管理者に伝えることで迅速な状況把握が可能になる。

■ 今後のシミュレーションの活用法

今後各地下街において、下記のような目的でシミュレーションを実施することで、シミュレーションの有効な活用が可能。

- ・ 現状の地下街の各階段の避難に要する時間を把握し、その階段ごとのばらつきを把握する。
- ・ 落下物や地上の被災状況によって階段が使用できない状況や、地下街に接続した別の施設からの避難者の流入などを想定して、避難にどのような影響が出るかを見極めるために実施する。
- ・ さまざまな状況を想定し、それらに応じて避難誘導の方法を検討し、その効果を検証する。

シミュレーションについて 動画による検討

