

# 避難シミュレーション中間報告

---

## ■シミュレーションの方法

- 明確な設計基準のある基準強化以後の地下街については、**モデルプランを作成し**、シミュレーションを実施する。通路幅員等について基本的な設計基準が明らかでない基準強化以前の地下街については、**避難の上で不利な条件を持つもの数か所を選び**(避難階段の間隔が大きい等)シミュレーションを実施する。
- これらのシミュレーションを通じ、地下街の避難安全性の比較と、安全確保の上で留意すべき事項を明らかにする。

基準強化以後 基準強化以前

検証対象：(類型化したモデルプラン 2タイプ) + (事例数例)

- 避難の状況  
地震後に、地下街の利用者の安全確保ために一斉に避難する状況を想定する。
- 避難状況の評価の方法  
**避難に要する時間**や、避難時の**滞留状況**をシミュレーションにより推定して、安全性評価の指標とする。
- 避難時に過度な密集や長時間の滞留など**パニックを起こしやすい状況が起きないか**についても検討する。

## ■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 <sup>2</sup> )	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)

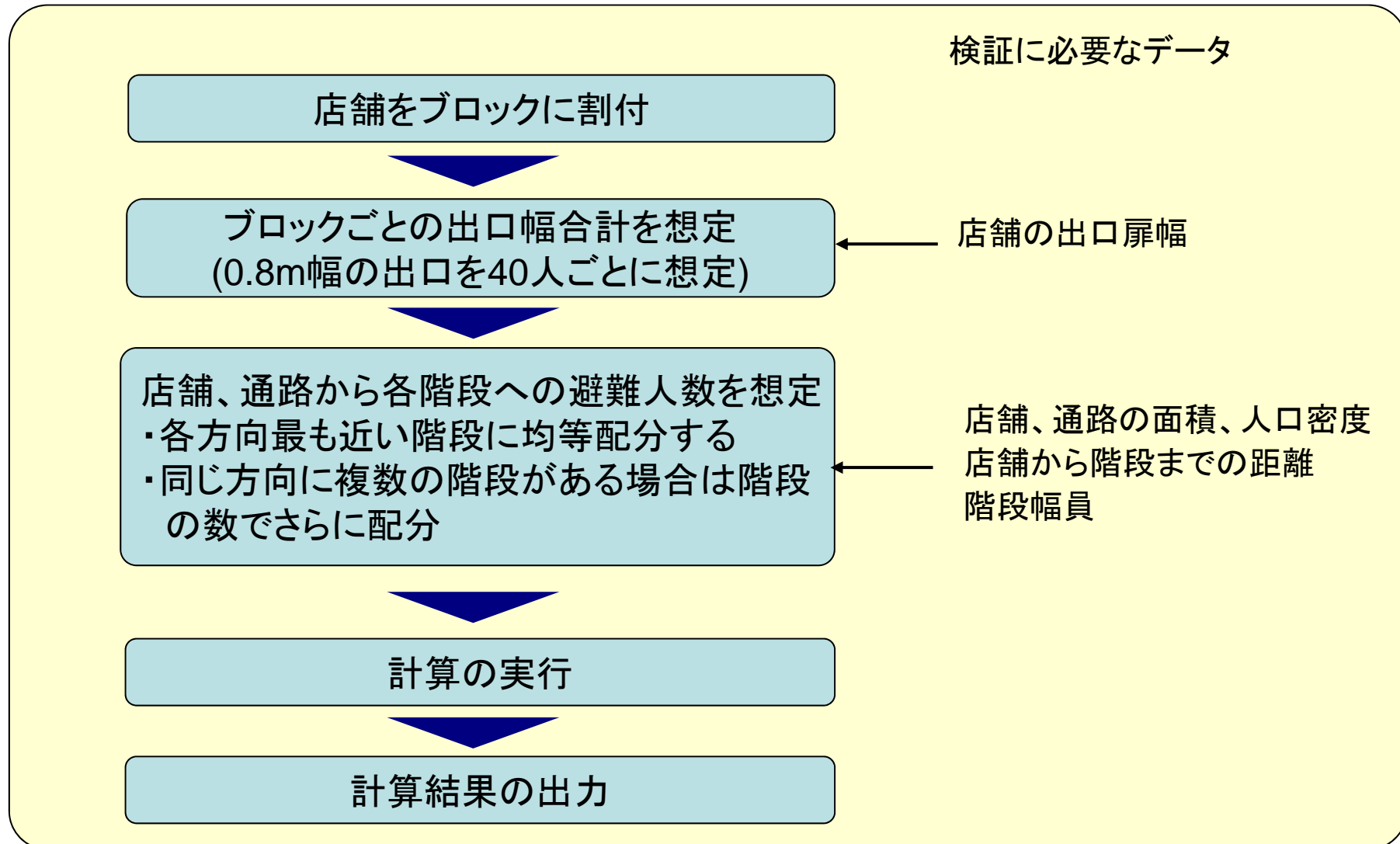
観客席から避難を開始し避難施設への避難が完了する時間を**8分**以下とする。

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。

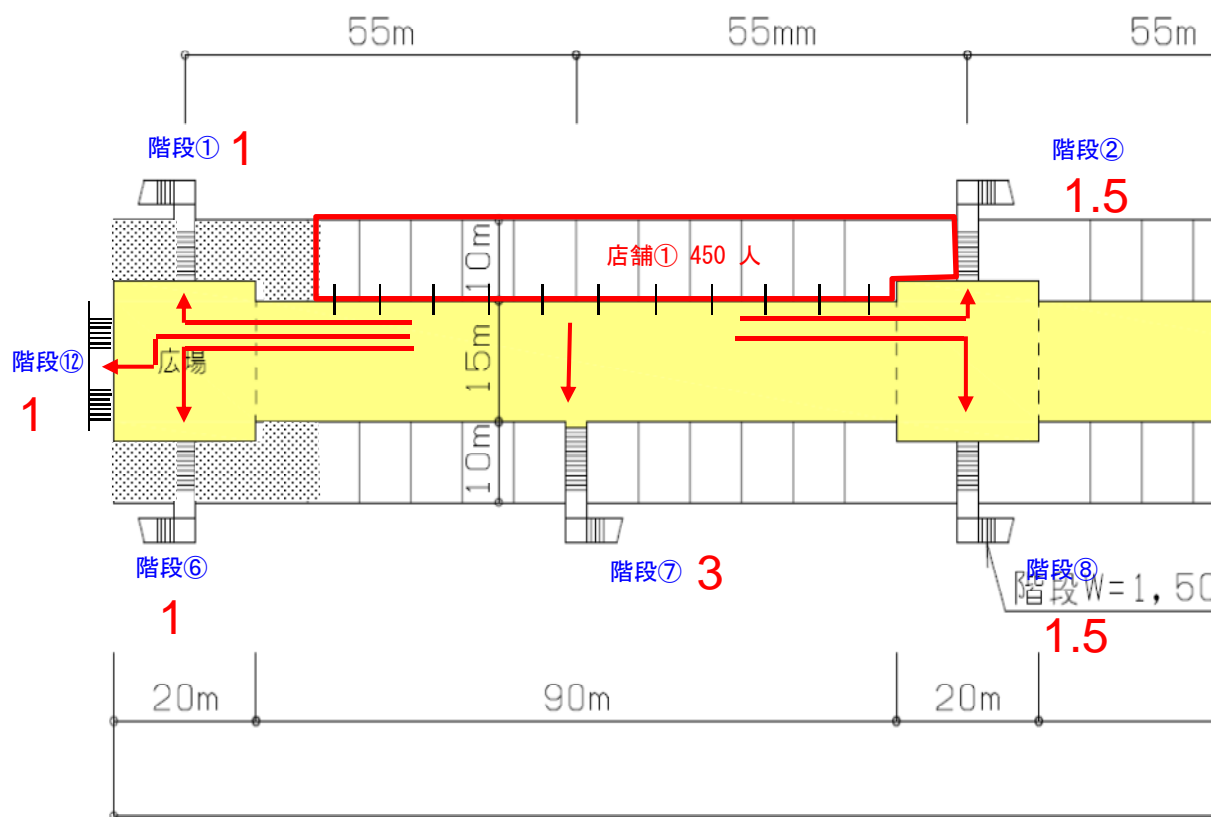
この検討では、これらの絶対的数値を参照しつつも、主に**計算結果の相対的な違い**に着目して検討する。

## ■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

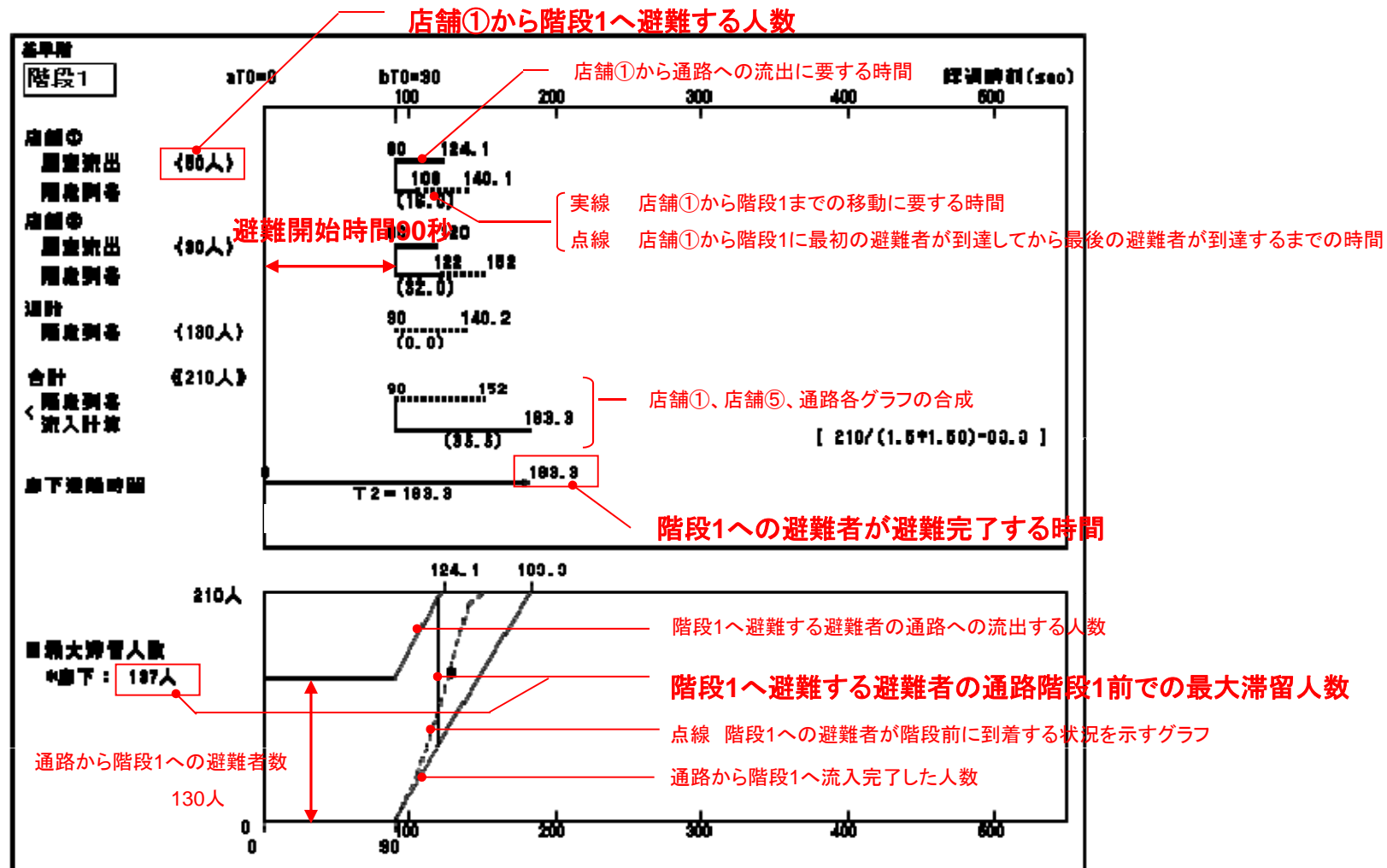


※赤い数字は店舗在館者の各階段への配分を示す

# 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

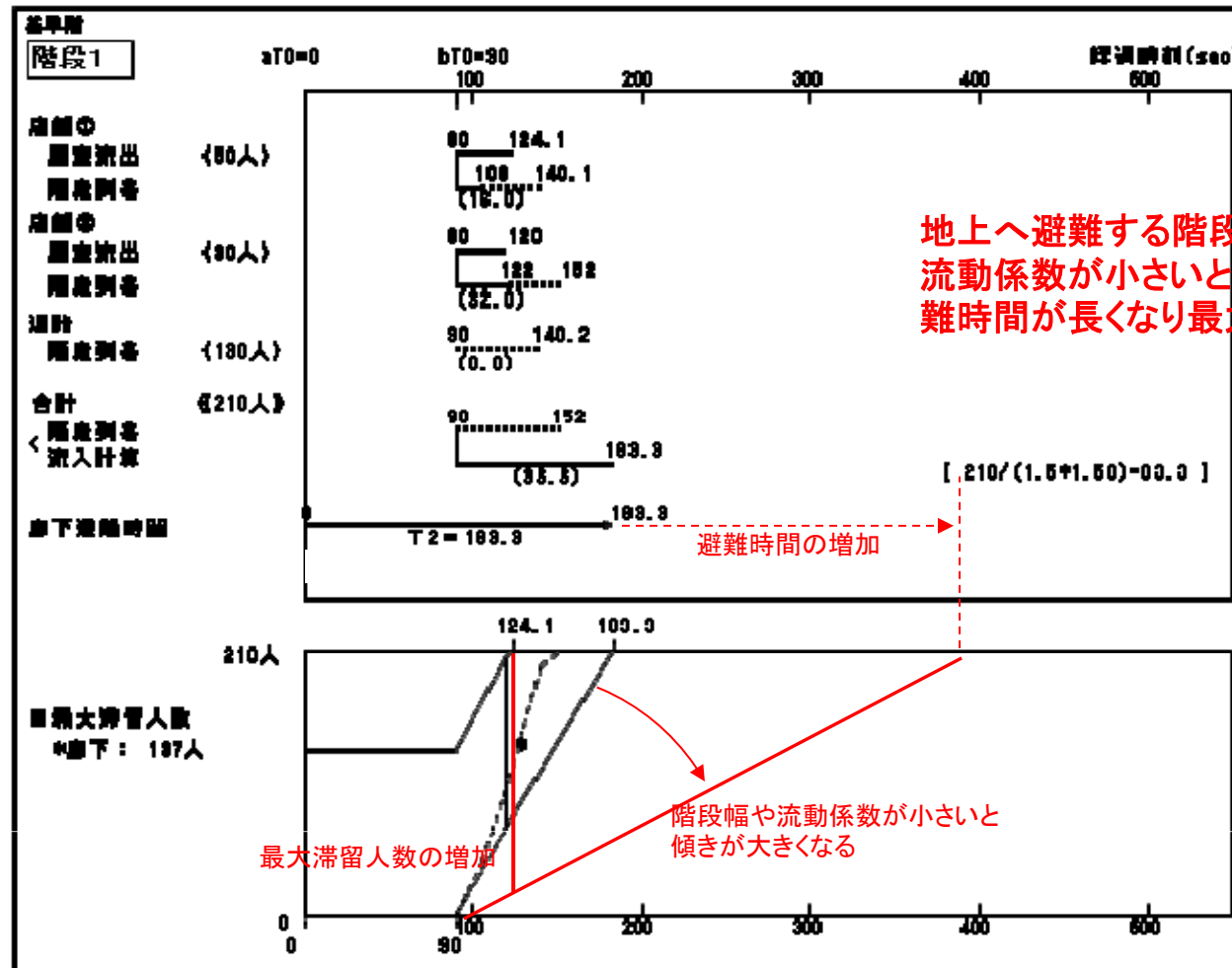




# シミュレーションについて

## ■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

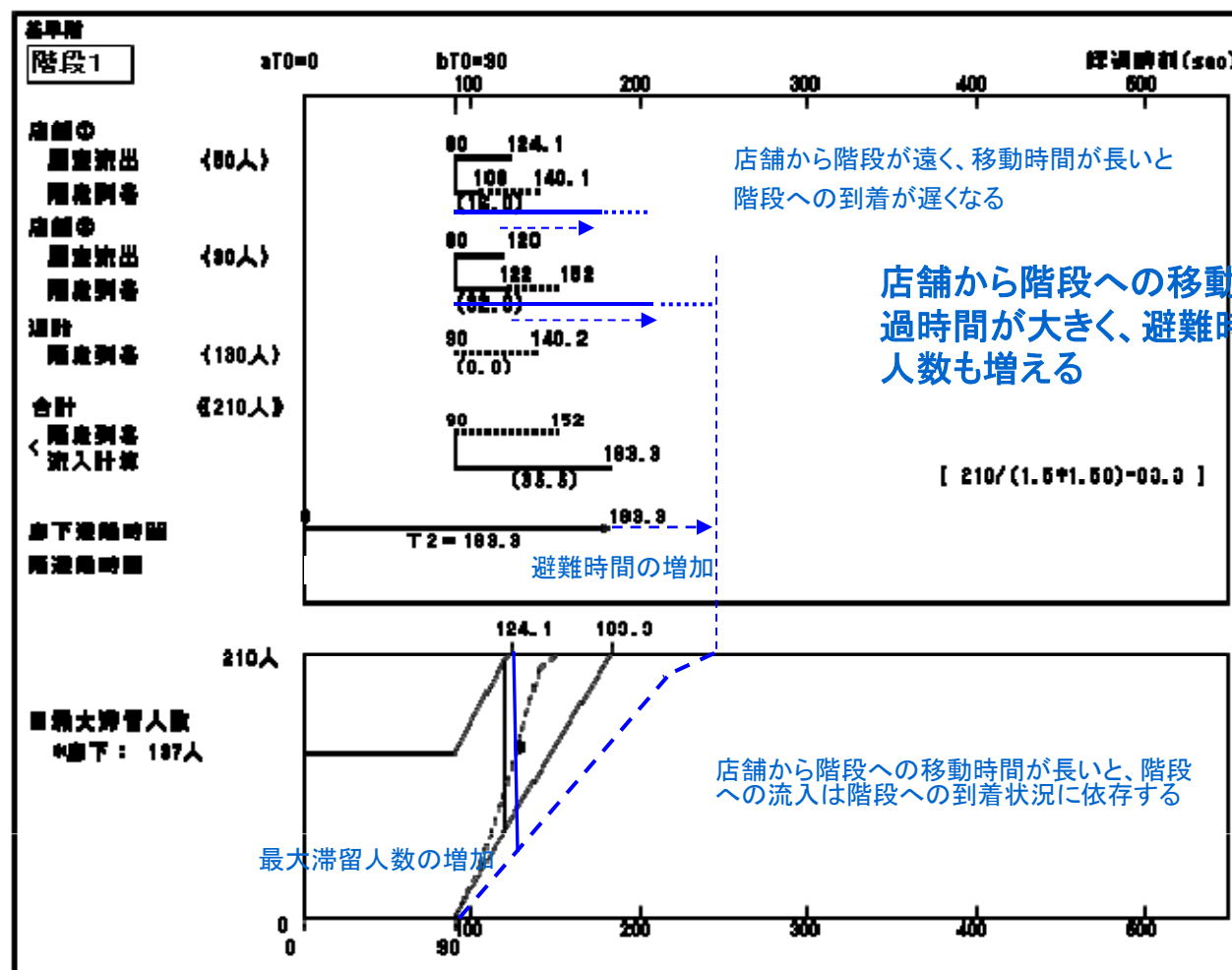


地上へ避難する階段幅が小さかったり、階段の流動係数が小さいと階段通過時間が大きく、避難時間が長くなり最大滞留人数も増える

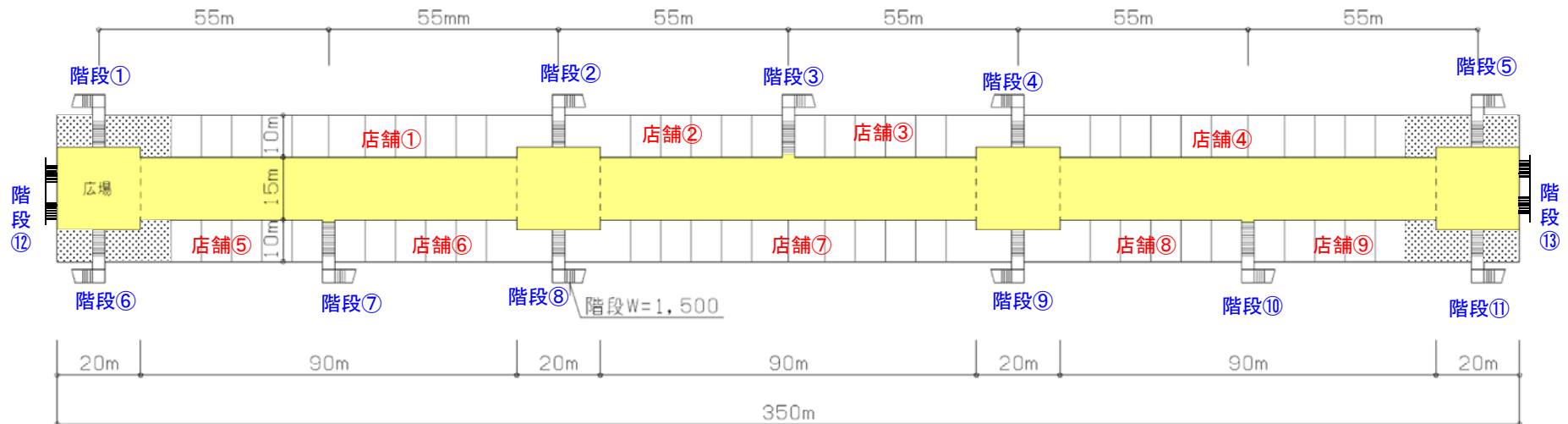
最大滞留人数の増加

## ■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



## ■ モデルプラン(線形パターン, 基準強化以後)検証結果

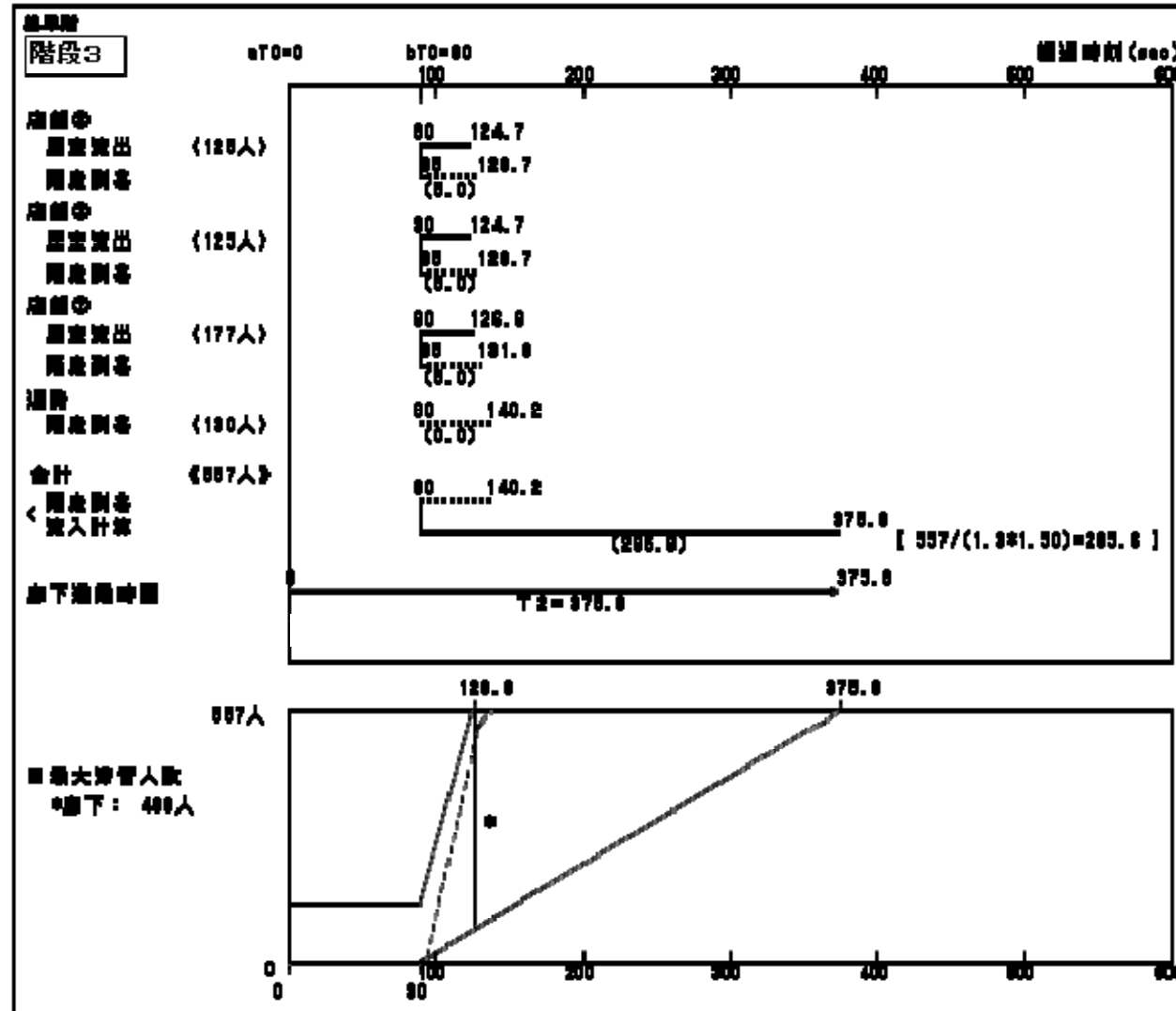


## ■ モデルプラン(線形パターン, 基準強化以後)検証結果

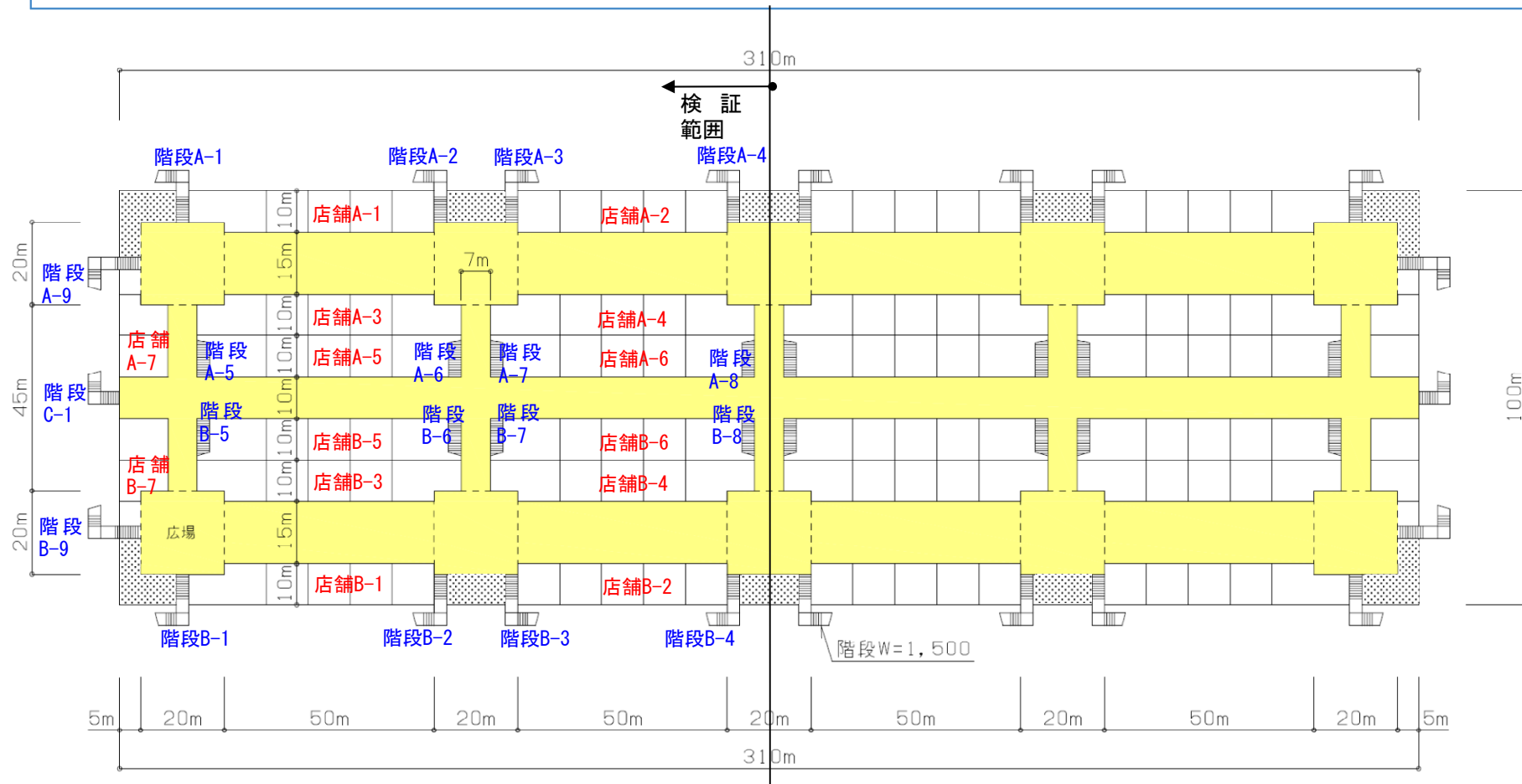
階段名・(幅員〔m〕)	避難人数(人)											最大滞留人数(人)	避難完了時間(分秒)	
	店舗①	店舗②	店舗③	店舗④	店舗⑤	店舗⑥	店舗⑦	店舗⑧	店舗⑨	通路	合計			
階段① (1.5)	50				30						130	210	146	3分18秒
階段⑤ (1.5)				50						30	130		146	3分18秒
階段② (1.5)	75	63				63	88				130	419	348	5分05秒
階段④ (1.5)			63	75			88	63			130		348	5分05秒
階段③ (1.5)		125	125				177				130	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(線形パターン, 基準強化以後)検証結果

### 階段3 結果詳細



## ■ モデルプラン (面的パターン, 基準強化以後) 検証結果

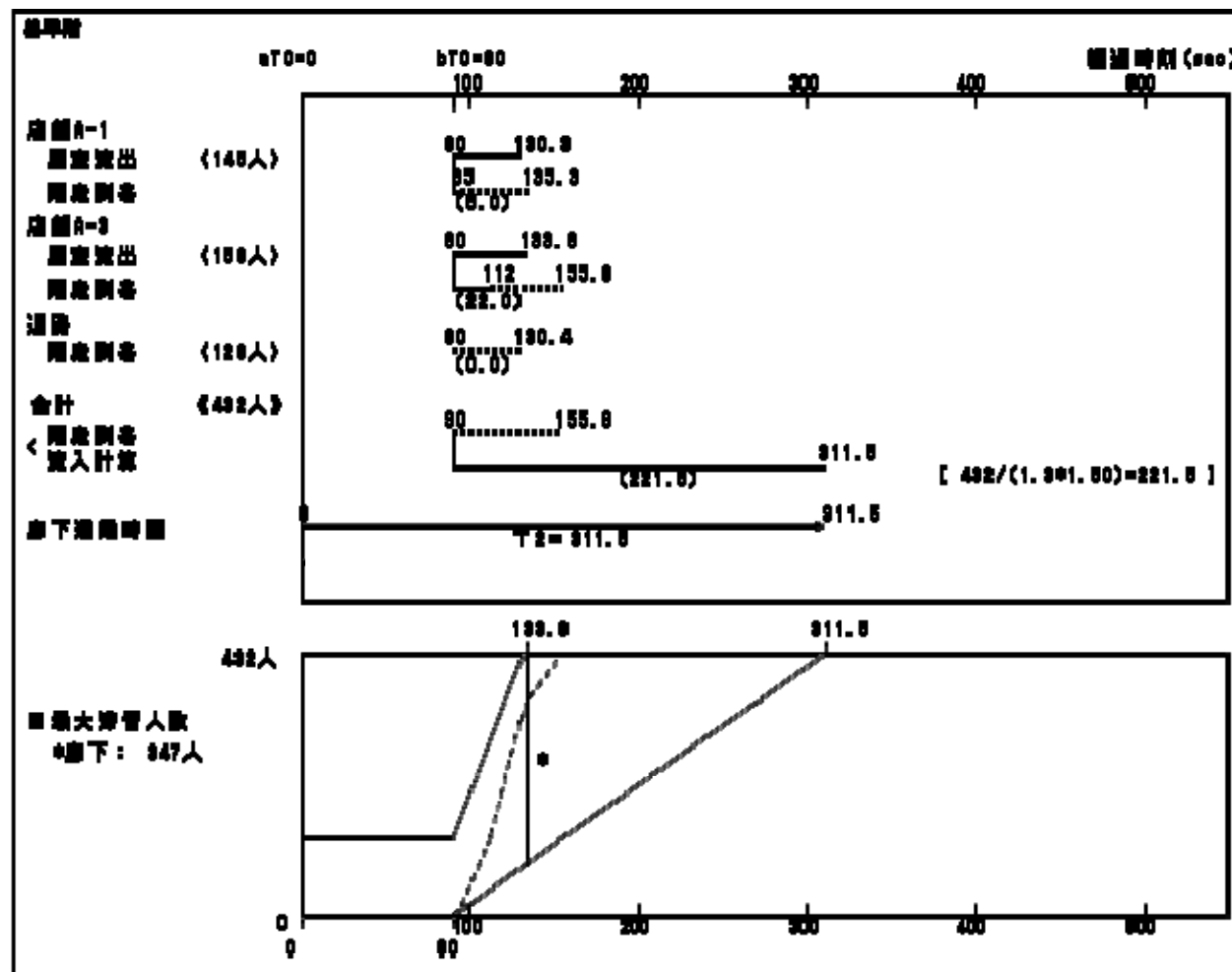


## ■ モデルプラン (面的パターン, 基準強化以後) 検証結果

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

## ■ モデルプラン (面的パターン, 基準強化以後) 検証結果

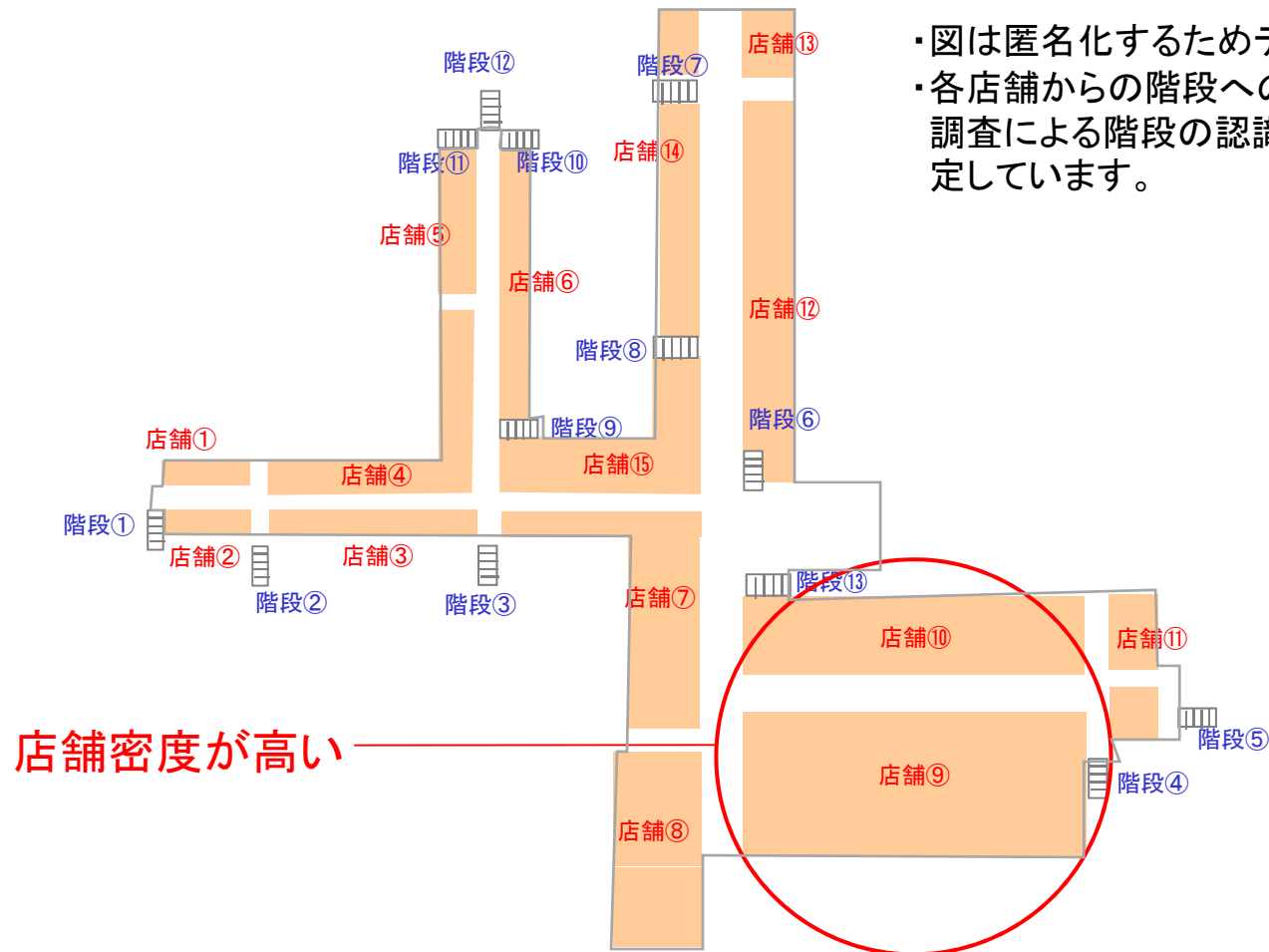
階段A-2 B-2  
結果詳細





## ■ (面的パターン, 基準強化以前) 事例1 検証結果

- ・基準強化以前の地下街で、特に階段間隔が大きい、店舗密度が高い等、避難上不利と想定される条件の地下街について事例に近い形で作成したモデルで検証する。



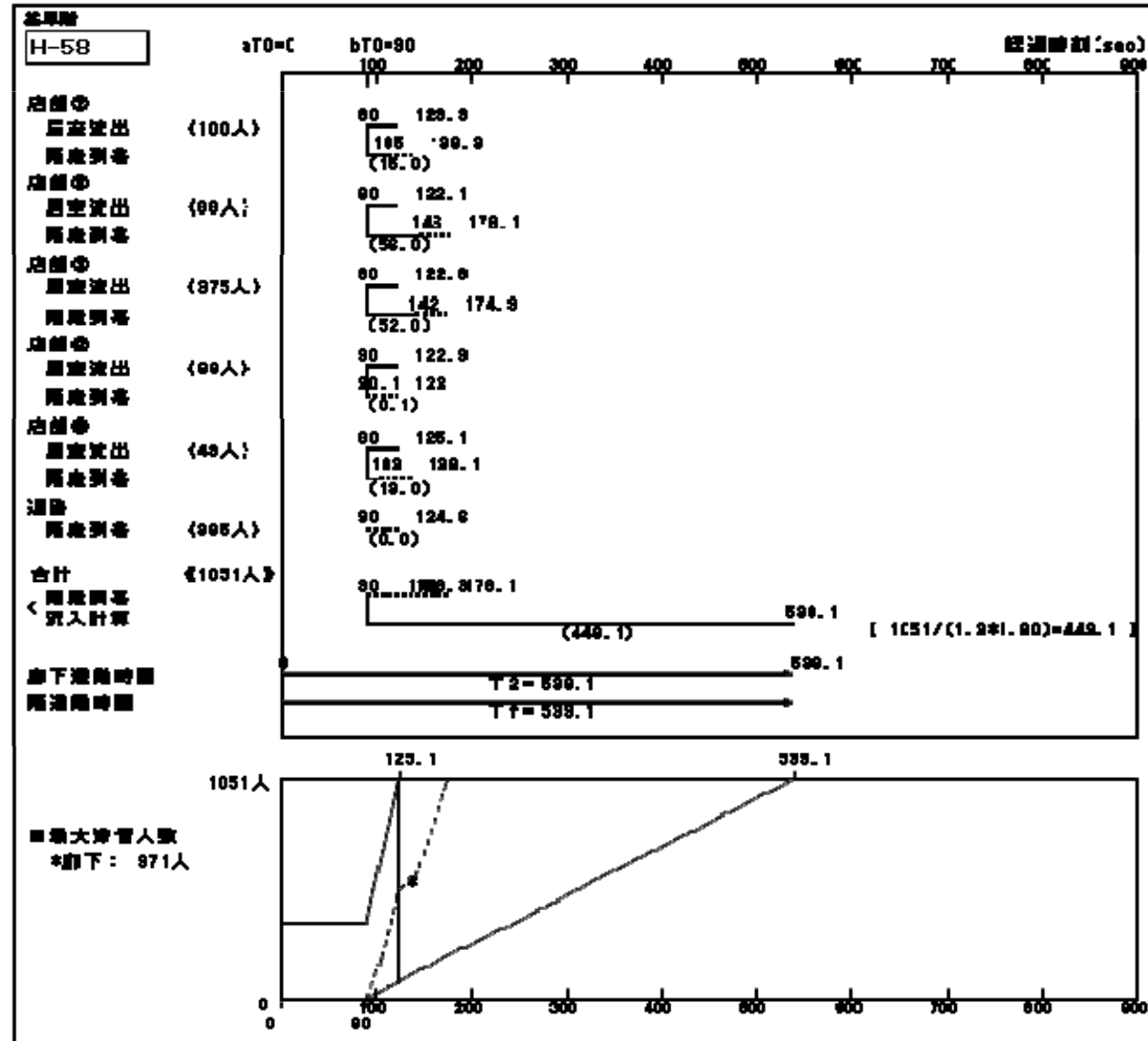
- ・図は匿名化するためデフォルメされています。
- ・各店舗からの階段への避難者の配分は実地調査による階段の認識しやすさも考慮して決定しています。

## ■ (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1 検証結果

階段⑥  
結果詳細



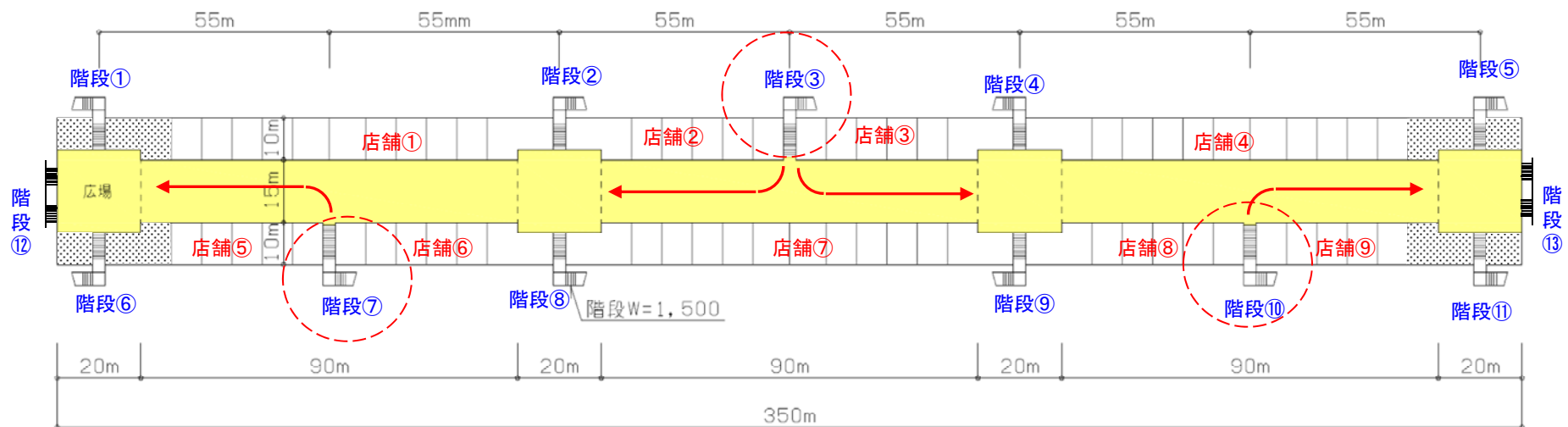
## ■ 上記3例の比較

	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

- ・ 基準強化以後は線形プランで6分16秒、面的プランで5分12秒となった。
- ・ 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。
- ・ 基準強化以前事例は、以後のモデルに比べ最大避難時間、滞留者とも多く、スタジアムや地下駅の設計に用いられる許容避難完了時間と比較すると、上限に近い結果となっている。これは、階段配置の不均等が主な原因である。

## ■ 滞留の大きい階段の避難者を少ない階段に誘導した場合

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

## ■ 滞留の大きい階段の避難者を少ない階段に誘導した場合

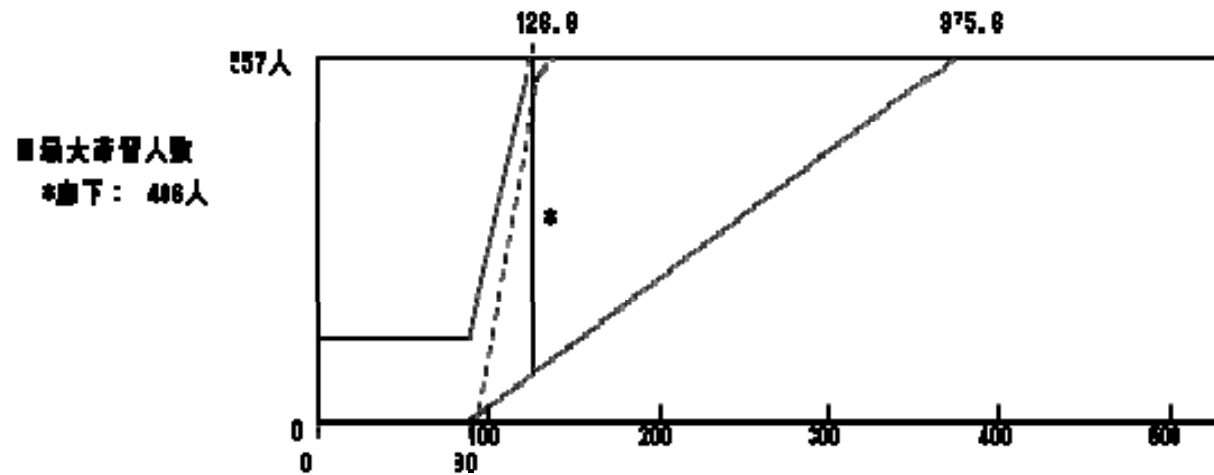
均等になるように誘導

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

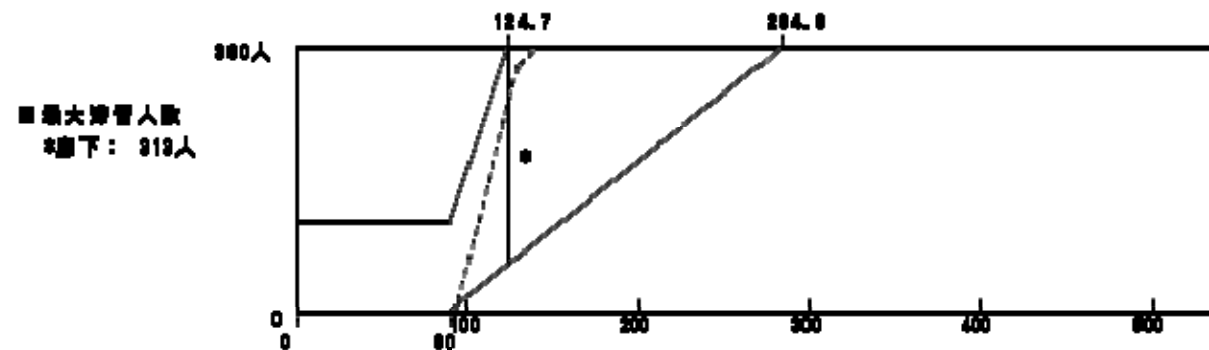
## ■ 滞留の大きい階段の避難者を少ない階段に誘導した場合

### 階段3 結果詳細

誘導前



誘導後



## ■ 滞留の大きい階段の避難者を少ない階段に誘導した場合

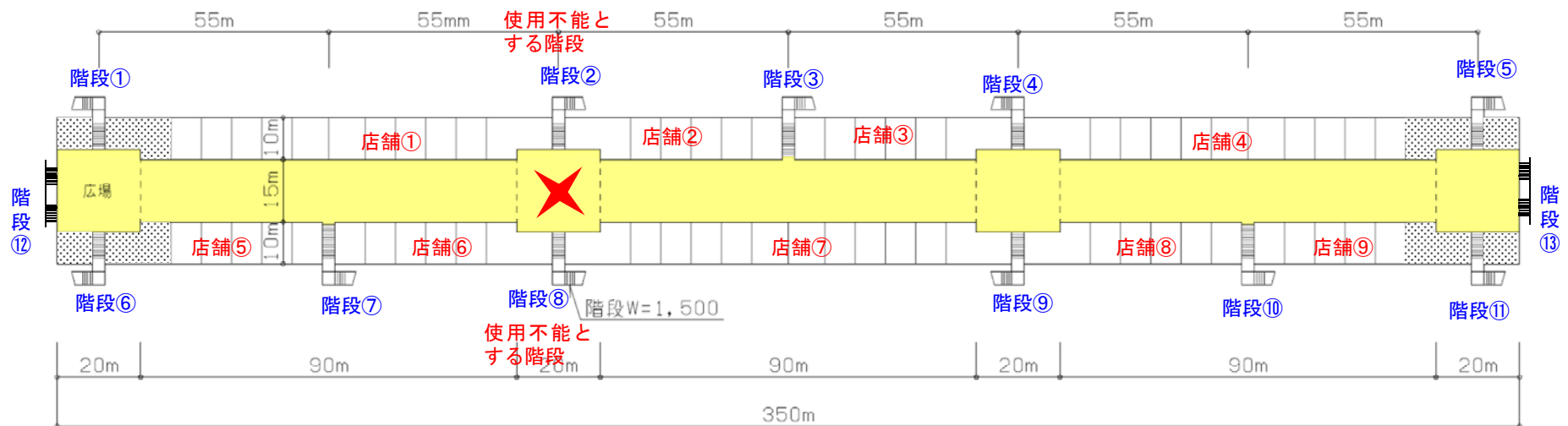
	総避難人数	避難階段数	合計避難階段幅員	最大避難時間 (階段ごと)	最大滞留人数 (階段ごと)
モデルプラン 基準強化以後 線形	4,490人	13	22.5m	6分16秒	486人
誘導により各階段の避難人数を均等化	4,490人	13	22.5m	4分45秒	313人

- 誘導等により、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。



## ■ 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(線形パターン, 基準強化以後)



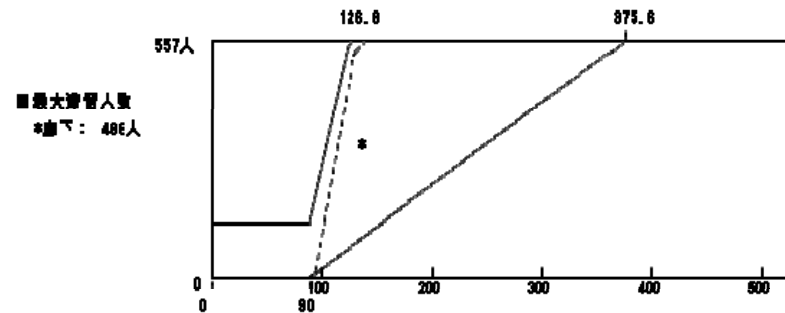
階段②、⑧を使用不可とする

## ■ 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

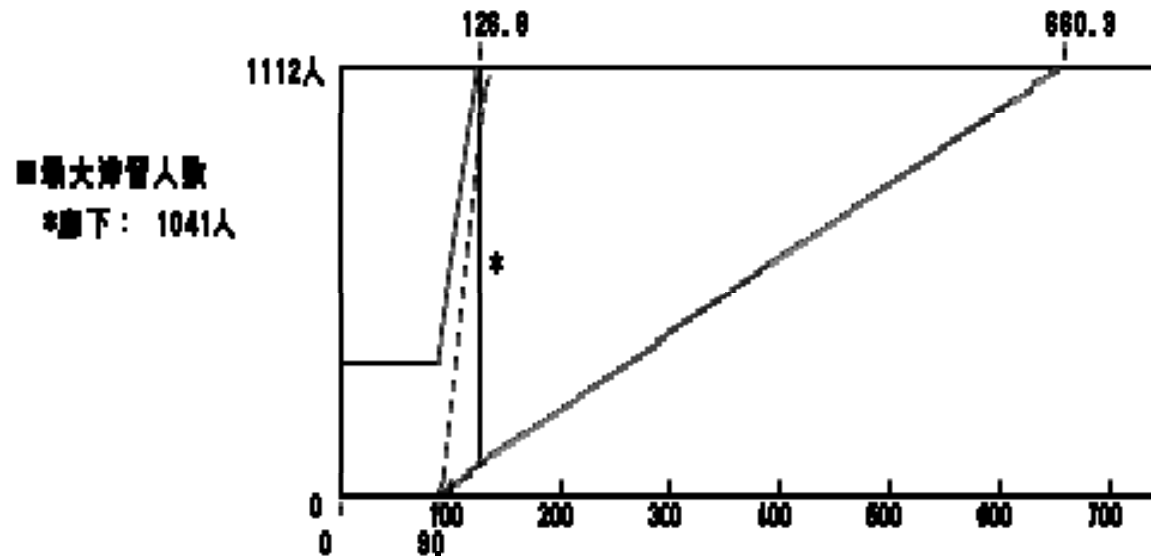
### 階段3 結果詳細

モデルプラン(線形パターン, 基準強化以後)

落下物なし

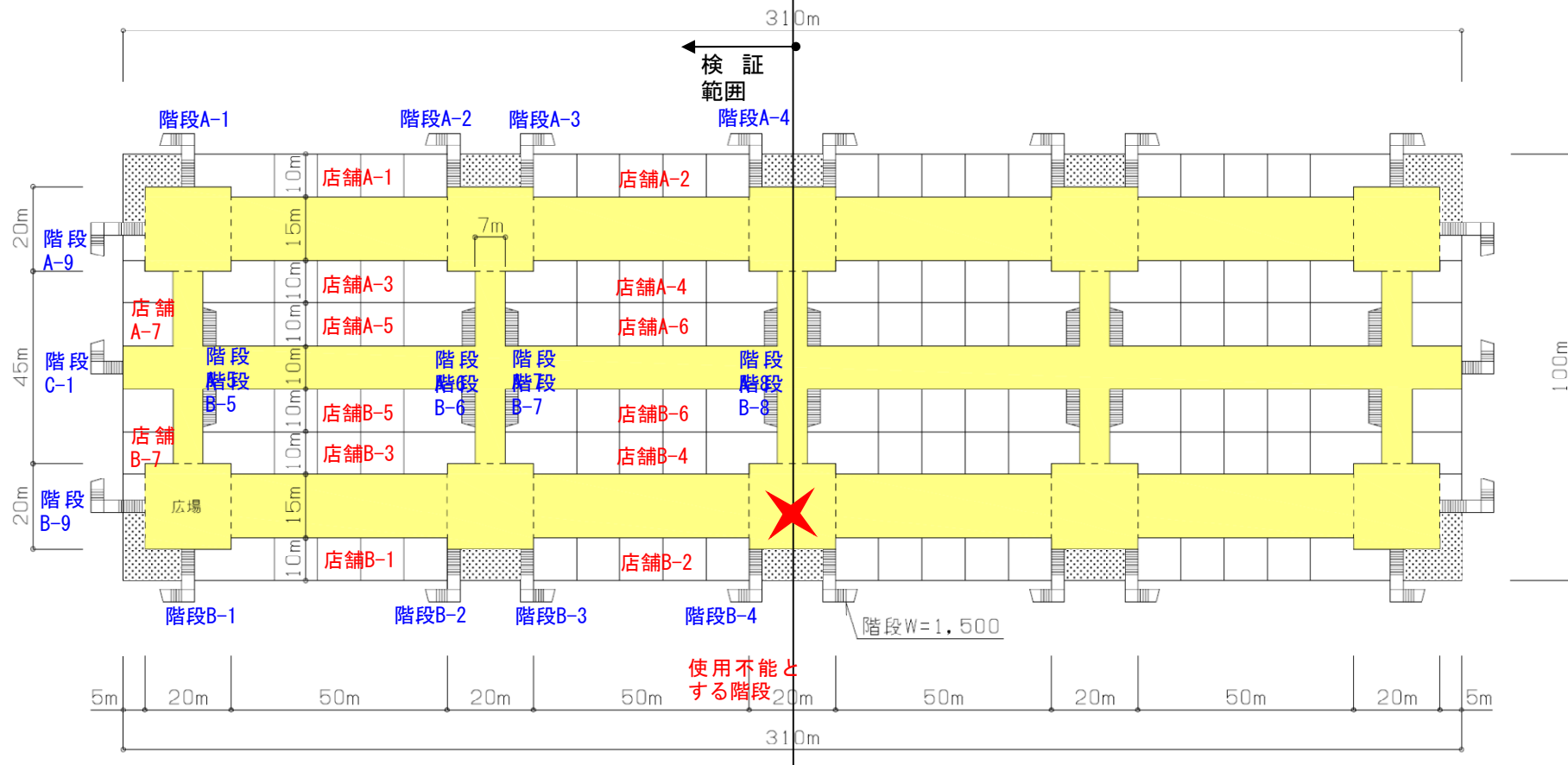


落下物あり



## ■ 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)



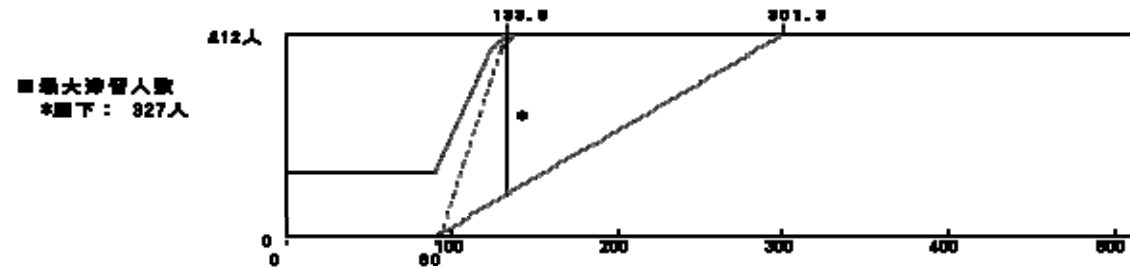
階段A-4、B-4を使用不可とする

## ■ 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

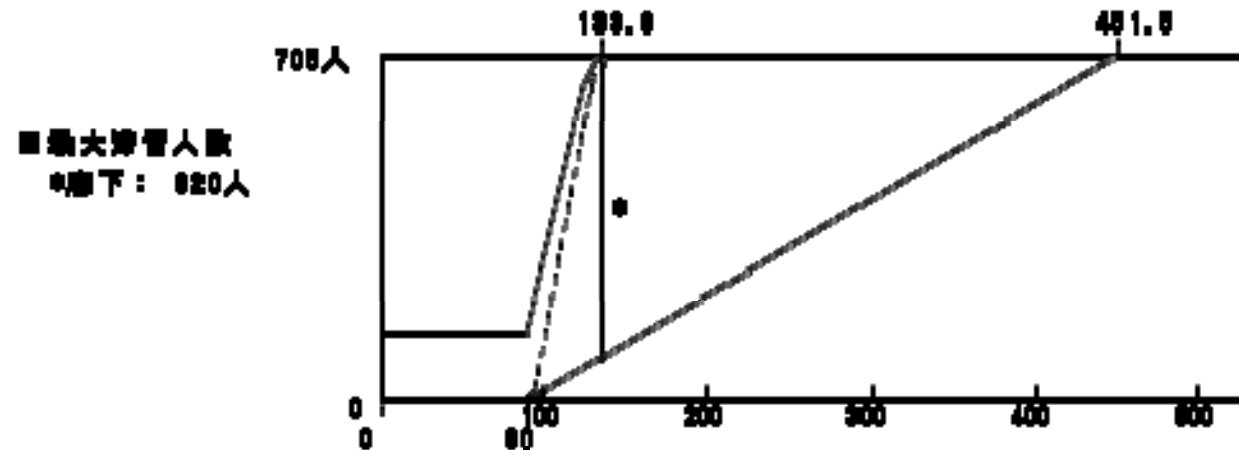
階段 B-3  
結果詳細

モデルプラン(面的パターン, 基準強化以後)

落下物なし



落下物あり



## ■ 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)

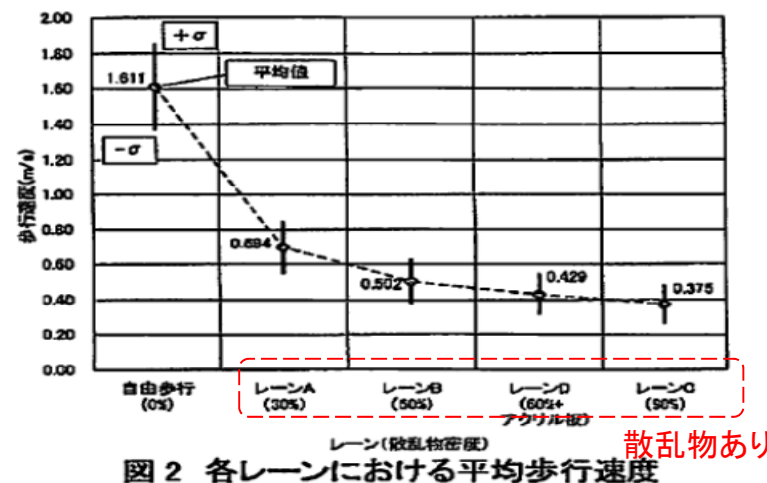


図2 各レーンにおける平均歩行速度

### 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

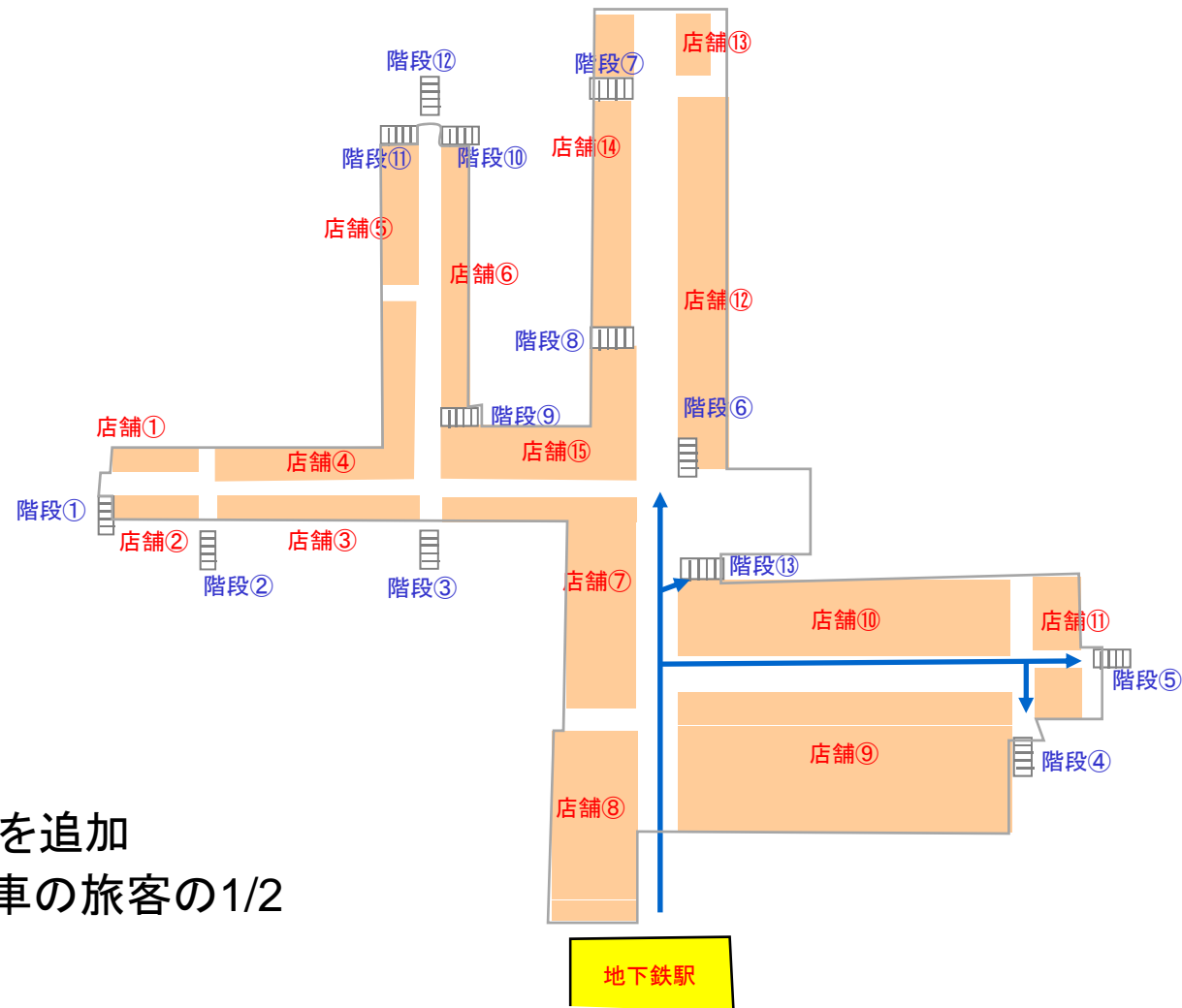
以上の資料を参考とし、歩行速度が1/2となった場合の検証を行った。

	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

(面的パターン, 基準強化以前) 事例1



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

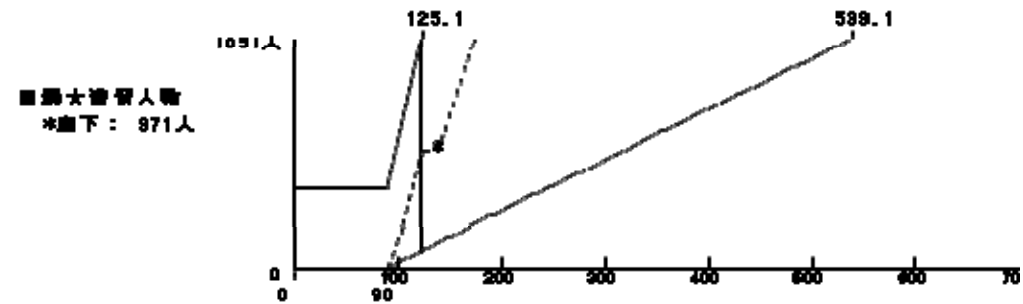
階段名 (幅員 [ m ])	避難人数(人)																		最大 滞留 人数 (人)	避難完了 時間(分 秒)			
	店 舗 ①	店 舗 ②	店 舗 ③	店 舗 ④	店 舗 ⑤	店 舗 ⑥	店 舗 ⑦	店 舗 ⑧	店 舗 ⑨	店 舗 ⑩	店 舗 ⑪	店 舗 ⑫	店 舗 ⑬	店 舗 ⑭	店 舗 ⑮	地 下 鉄	通 路	合 計					
階段① (1.6)	16	14															18	48	22	2分5秒			
階段② (2.4)	16	14	45	72													45	192	122	2分38秒			
階段③ (4.9)			45	72		69	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

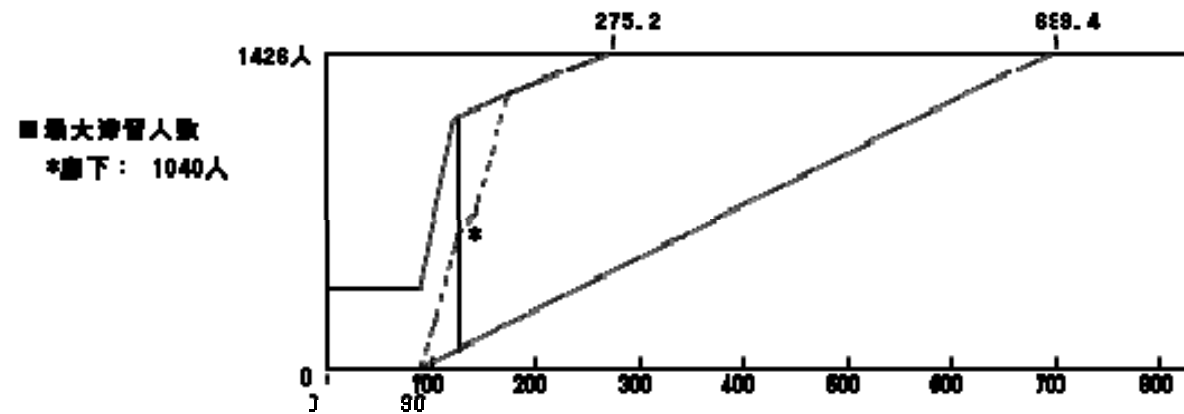
階段 ⑥  
結果詳細

### 事例 1

流入物なし



流入あり



## ■ 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。

## ■ 今後の予定

- 基準強化以前のものについては、さらに2事例を検証し、結果を比較検討する。
- 典型的なケース数例については、検証の状況を示す動画を作成する予定。