

横浜環状北線トンネル避難施設 細部構造検討

藤井 健司^{1*}・長田 光正²

¹非会員 首都高速道路株式会社 技術部（〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1）

*E-mail:k.fujii6121@shutoko.co.jp

²正会員 首都高速道路株式会社 技術部（〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1）

首都高速横浜環状北線（以下：北線という）のシールドトンネル部では，構造及び換気方式の特性から，床版下空間を避難通路として計画しており，災害時には本線からすべり台で避難する方式となる．また，非常口扉は，形状や開閉方式等について新規性があることから，過年度の検討において，避難施設を含むトンネル部の実物大模型により，基本構造に関する安全性等の確認実験を実施している．

本稿は，過年度の検討成果を踏まえて改良した実物大模型による細部構造に関する安全性，操作性，使用性等の確認実験および実験で抽出された新たな課題の検討を中心として避難施設の構造を確定するに至った検討過程の概要を報告するものである．

Key Words : road tunnels, tunnel fire disaster, evacuation systems, evacuation slides, fire exit doors

1.はじめに

北線は，第三京浜道路「港北インターチェンジ」から首都高速道路横浜羽田空港線「生麦ジャンクション」を連絡する延長約8.2kmの建設中路線であり，全体の約7割を占めるトンネル構造はその大部分をシールド工法で築造する．本シールドトンネル部では，計画路線の土地利用状況，トンネル内の換気方式，防災面での安全性，トンネル構造への影響等を総合的に判断し，車道の下部空間である床版下を避難通路としており，災害時には車道からすべり台で避難する方式となる．また，非常口は250m間隔を原則としているが，その形態がシールドトンネルの断面径を決定するコントロールポイントとなることから，災害時における避難施設としての安全性と事業コスト（トンネル断面径）のバランスが取れたコンパクトな構造が求められた．

上記の要件を踏まえて考案した非常口扉の形態（形状や開閉方式）は新規性があることから，過年度の検討において実物大模型により，基本構造に関する確認を実施した．今年度は，過年度の検討成果を踏まえて改良した実物大模型により，安全性は基より操作性，使用性等の視点で，細部構造に関する確認を行う．また，新たに抽出された課題について再検討したうえで，避難施設の構造を確定する．（図-1、2、3）

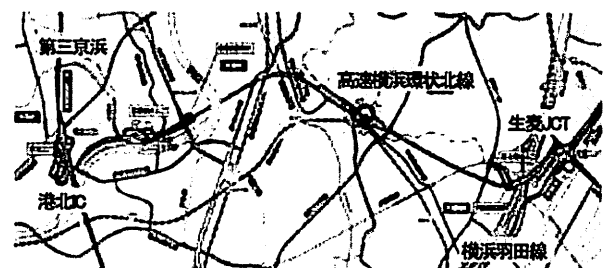


図-1 横浜環状北線平面図

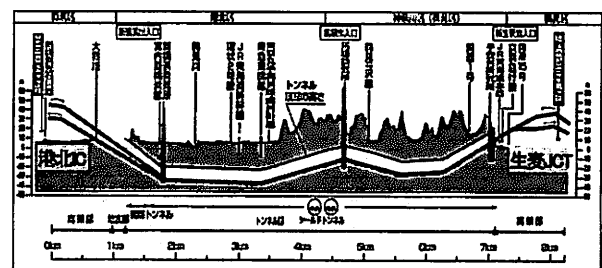


図-2 横浜環状北線 縦断面図

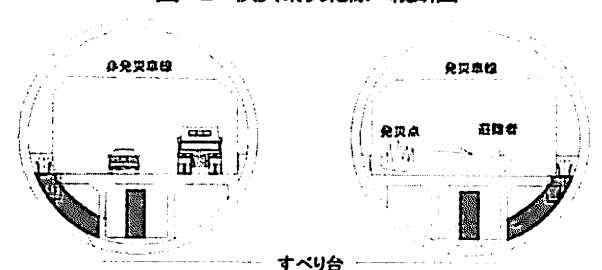


図-3 避難方式（床版下避難通路方式）

2.過年度の検討概要 ～当初計画

(1)構造概要

避難施設には災害時における確実な動作が求められるため、機械的な機構で動作する必要がある。そこで、跳上げ扉はカウンターウェイト方式により操作レバーを引くことで自動で開扉する構造とした。しかし、機械的な機構での自動閉扉は困難であることから、避難通路への熱・煙を遮断するために床スライド扉を設置している。なお、床スライド扉は跳上げ扉の動作を作用力として自動で開扉、その後、10分程度経過すると自動で閉扉する構造であり手動による開閉操作も可能である。

また、跳上げ扉の断面形状は、すべり台における降下の際、空間を最大限に確保できるように地覆部が一体となって跳上るZ形状である(図-4)。

(2)避難方法 ～アクションフロー

避難者が操作レバーを引くと跳上げ扉および床スライド扉が自動で開扉する。その後、車道から20cm段差のあるすべり台への乗込み部から、床版下避難通路へ降下するものである(図-5)。

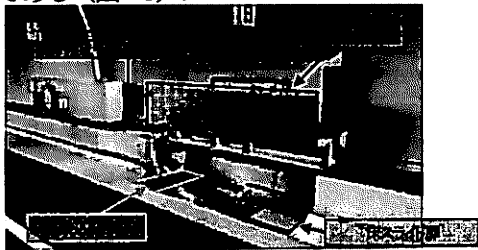
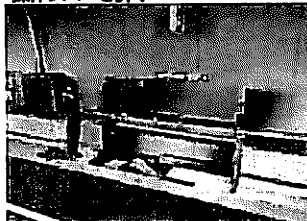


図-4 避難者のアクションフロー

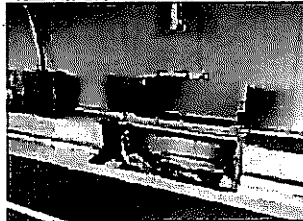


[Action: 1]
操作レバーを引く

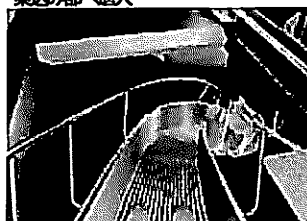
[Action: 2]
跳上げ扉と床スライド扉が自動で開扉



[Action: 3]
乗込み部へ進入



[Action: 4]
乗込み部にすべり台へ着座



[Action: 5]
すべり台の角度は30度で一定



[Action: 6]
床版下の安全空間へ降下

図-5 アクションフロー (当初計画)

(3)構造確認

実物大模型を用いた基本構造に関する確認は3段階に分けて実施した。

【STEP1】

避難施設を構成する部位毎の模型により、トンネル防災関係者による確認を実施した(写真-1、2)。

【STEP2】

STEP1で得られた構成要素の最適値を組合せた実物大模型により、トンネル防災関係者および学識経験者による確認を実施した(図-6)。

【STEP3】

STEP2で得られた知見を踏まえて改良した実物大模型により、外部一般被験者を中心とした確認を実施した。また、要援護者や被介護者については、すべり台避難時の避難行動に関する知見が無いことから、東京都身障運転者協会およびNPO法人日本ケアフィットサービス協会(サービス介助士)による確認を実施した。

(4)基本方針

多様な被験者による確認の結果、トンネル防災関係者および学識経験者による意見交換会での助言を踏まえて基本方針をとりまとめた。なお、抽出された新たな課題については、詳細な検討を実施して解決策を立案することとした。

【基本方針】

- ・すべり台の断面形状は姿勢制御に優れる標準形とする。
- ・すべり台終点における避難通路(床面)との段差は多様な避難者を考慮して20cmとする(写真-3)。

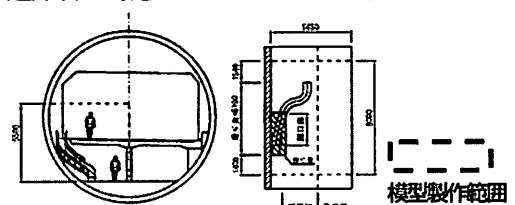


図-6 実物大模型 製作範囲

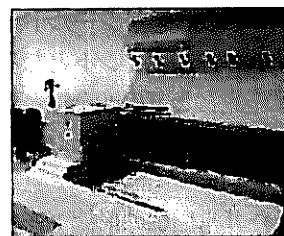


写真-1 (非常口扉)

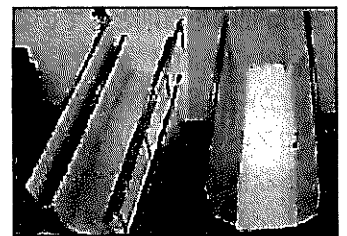


写真-2 すべり台
(左:標準形 右:幅広形)



写真-3 すべり台 断面形状 (左:標準形, 右:幅広形)

(5)課題と解決策

a) すべり台 ～ 降下速度

着衣の素材による降下速度のばらつきを前提として、すべり台終点で程よく停止する仕様として、床版下までの直線部は30度、以降の曲線部は25度に勾配を変化させることで、終点で停止させる（図-7）。

b)すべり台 ～ 終点の形状

すべり台終点にて後続避難者の追突を防止するため、立上りやすい「平坦部長さ」「手すり形状」として、平坦部長さは 60cm、手すり高さは 20cm とする（図-8）。

c)乗込み部 ～ 車道面との段差の改善

当初計画では床版下空間の加圧状態を維持するため、床スライド扉が乗込み部に被さる構造としており、乗込み部に車道との段差（約 20cm）が生じていた。

そこで、床スライド扉端部に気密パッキンを設けて、すべり台と緊密に取合うことで加圧状態を維持することにより、乗込み部の段差を不要とした（図-9）。

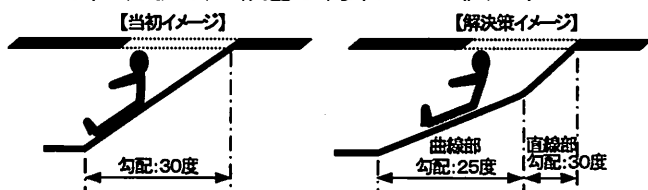


図-7 すべり台 勾配の見直し

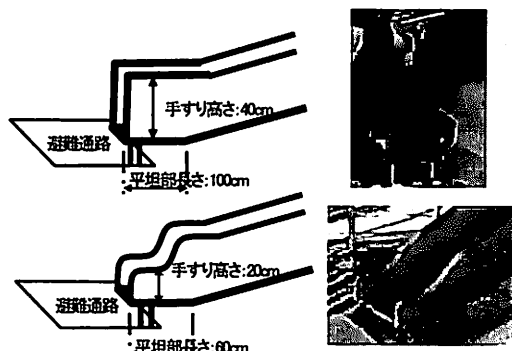


図-8 すべり台 終点形状の見直し（上：当初、下：解決策）

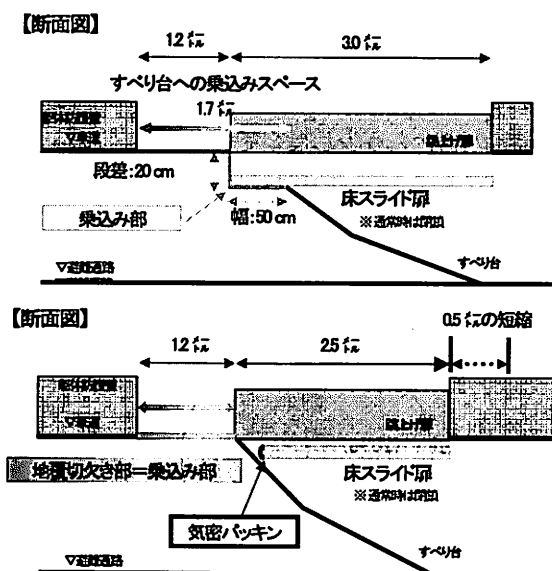


図-9 乗込み部 断面イメージ図（上：当初、下：解決策）

d)落下防止シート

避難者が寄り掛かっても耐えうる強度（引張り／伸び）だけでなく、すべり降りる様子が見えるよう透過性も指標として幾つかのシート素材の中から、アーチェリー用防矢ネットを採用することとした。

e)操作部 ～ 形式

子供や手の不自由な者など多様な避難者が操作できるよう、ユニバーサルデザインの視点で形式、高さ、角度について検討した結果「レバー式」から操作性に優れた「ボタン式」へ変更する。

【ユニバーサルデザイン 7原則】

1. 公平性
2. 単純性と直感性
3. 柔軟性
4. 効率性
5. 安全性
6. 認知性
7. 快適性

f)操作部 ～ 高さ

「加齢対応型住宅の設計マニュアル」（東京都）ではスイッチの高さは 90～120cm である。また「高齢者・障害者に配慮した建築設計マニュアル」ではドアハンドルの高さは 80～100cm である。以上より、高齢者および車椅子利用者はもとより、子供の操作性も考慮して高さは 90cm を基本とする（図-10）。

g)操作部 ～ 角度

日本人女性の標準的な身長（159cm）の被験者による簡易実験により検証した結果、45度を基本として、20度、70度を含む3タイプについて今後の実物大模型実験により確認する。

h)その他 ～迅速な避難、故障等への対応

扉の両側からの避難者があることやボタンが故障した場合にも確実な開扉が必要であることを考慮して、操作ボタンを非常口扉の左右2箇所に設置する（図-11）。

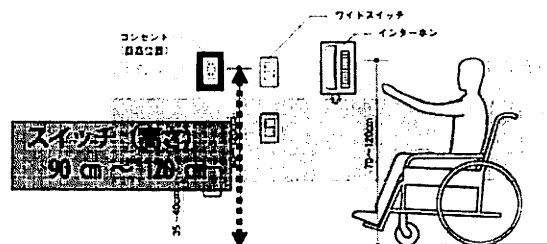


図-10 操作ボタンの高さ
（高齢者・障害者に配慮した建築設計マニュアル）

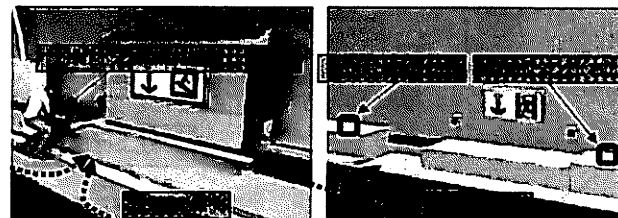


図-11 操作ボタンの見直し（左：当初、右：解決策）

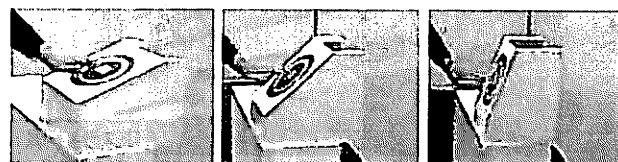


写真-4 操作ボタンの角度（左：20度 中：45度 右：70度）

3.実物大模型による細部構造確認 ～ 概要

(1)確認概要

上記における解決策を踏まえた実物大模型（第1回実験改良版）により確認する。実物大模型は1階を床版下避難通路、2階を車道階と見立て高低差24mをすべり台で降下するものである。なお、寸法は幅：5.5m、長さ：8.0m、高さ：5.5mである（写真-5）（図-12）。

(2)確認事項

課題として抽出された4部位（すべり台、落下防止シート、乗込み部、操作ボタン）の下記8項目とする。

【すべり台】

降下速度、終点平坦部長さ、終点手すり高さ

【落下防止シート】

設置範囲

【乗込み部】

安全性、手すりの使用性

【操作ボタン】

視認性、操作性

(3)確認者

確認者は第1回実物大模型による確認時と同様にトンネル防災関係者、学識経験者、外部一般被験者、要援護者とするが、前回の確認時に指摘のあった自力で避難が可能な子供（未就学児）を確認者として追加する。なお、確認者数は下記のとおりである。

トンネル防災関係者および学識経験者	：50名
外部一般被験者	：51名
要援護者（東京都身障運転者協会）	：8名
子供（6歳）	：3名

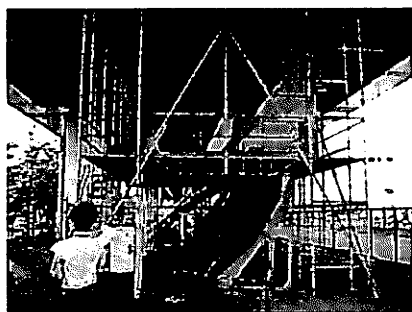


写真-5 実物大模型全景

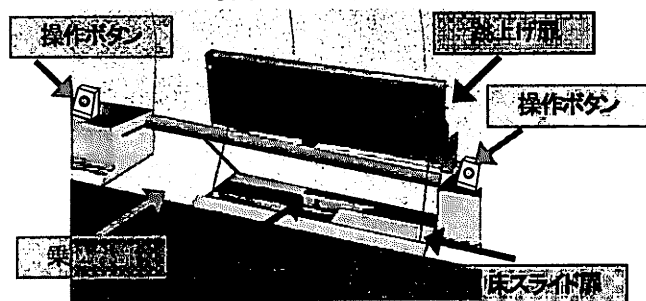


図-12 実物大模型イメージ

4.実物大模型による細部構造確認 ～ 結果

(1)すべり台 ～ 降下速度

すべり台の降下速度について自由意見をいただいた。

a)トンネル防災関係者／一般被験者

【問題ない】

- ・スピードは出ていたが終点で程よく止まることができた（多数）
- ・迅速に避難するという観点からは問題ない

【速い】

- ・速く感じたので手摺りで調整しながら降りた
- ・速度注意看板などで注意を促した方が良い

【その他】

- ・終点部でお尻に突上げ感がある

b)要援護者

- ・平面形状はほぼ直線なので足を曲げられない障害者でもすべり降りることはできる
- ・終点部の床面はクッション性があると良い

c)子供

- ・怖いとは思わなかった

d)今後の方針

終点部における“突上げ感”は終点で程よく停止するよう勾配部から平坦部への勾配変化点を明確にし、すべり抵抗をつけたことによる弊害である。しかし、当該すべり台は災害時に使用する避難施設であることから、快適性には欠けるが、迅速かつ安全に避難できる現計画を採用する。

なお、速度超過により終点で停止できない場合を考慮して、終点部の床面はクッション性のある素材とする。

(2)すべり台 ～ 終点平坦部の長さ

終点平坦部長さについて「長い～短い」の5段階で評価をいただいた（図-13）。

a)トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【ちょうど良い】

- ・スムーズに避難するにはちょうど良い長さである
- ・前回より短くなったことで立上りやすくなっている

【短い／やや短い】

- ・高齢者の場合もう少し長くても良い

【その他】

- ・要援護者の意見を参考に決定すべきである
- ・すべり面のパイプ間に子供の指が挟まらないか

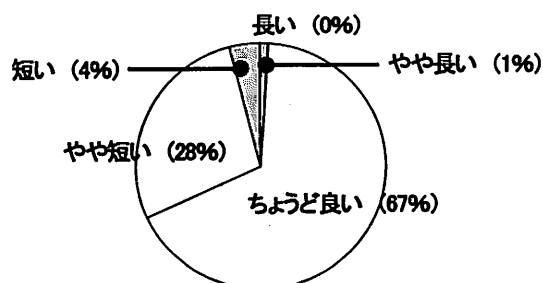


図-13 すべり台 終点平坦部の長さ アンケート結果

b)要援護者による主な意見

- ・改良されており使いやすい

c)子供による主な意見

- ・前回より今回の方が立上りやすい

d)今後の方針

今後の方針としては、2/3程度の方が「ちょうど良い」と回答していることから、現計画を採用する。なお、すべり面の溝について子供による確認の結果、指が挟まることはなかった（写真-6）。

(3)すべり台 ～ 終点手すりの高さ

終点手すり高さについて「立上りやすい ～ 立上りにくい」の5段階で評価をいただいた（図-14）。

a)トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【立上がりやすい～どちらでもない】

- ・スムーズに立上がることができた

【立上がりにくい／やや立上がりにくい】

- ・手すり形状が急に変化しすぎている

【その他】

- ・要援護者の意見を参考に決定すべきである

b)要援護者による主な意見

- ・改良されており使いやすい

c)子供による主な意見

- ・前回より今回の方が立上りやすい

d)今後の方針

今後の方針としては、2/3程度の方が「立上りやすい」と回答していることから、現計画を採用する（写真-7）。

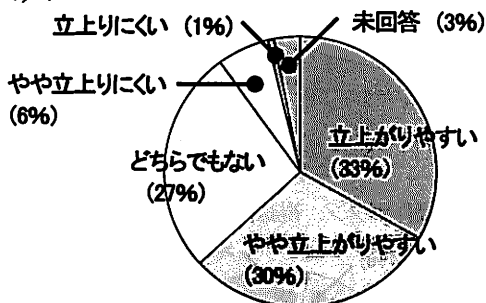


図-14 すべり台 終点手すりの高さ アンケート結果



写真-6 子供による確認

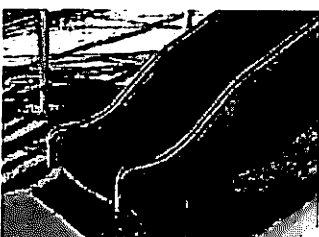


写真-7 すべり台終点部の形状

(4)落下防止シート ～ 設置範囲

落下防止シートの設置範囲について「広い～狭い」の3段階で評価をいただいた（図-15）。

a)トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【広い】

- ・すべり降りるときにシートが視界に入る

【ちょうど良い】

- ・特に気にならない

【狭い】

- ・安全性を考えると扉の全範囲に設置した方が良い

b)今後の方針

構造確認時の挙動ではシートが頭に引掛かる者はなかったことから、現計画（頭部が引掛かることのない範囲）を基本とする（写真-8）。

(5)乗込み部 ～ 安全性

乗込み部の安全性について「安全と感じる～危険と感じる」の5段階で評価をいただいた（図-16）。

a)トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【安全／やや安全／どちらでもない】

- ・前回と比較して段差（20cm）が無ないので良い

- ・迅速に避難すると考えた場合、特に問題はない

【やや危険／危険】

- ・扉の端部に頭がぶつかりそうで危険である（多数）

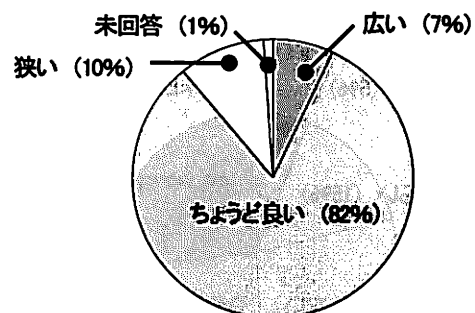


図-15 落下防止シート 設置範囲 アンケート結果

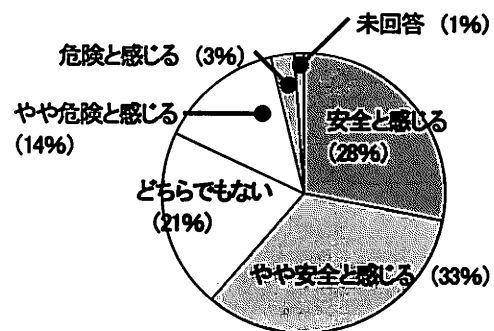


図-16 乗込み部 安全性 アンケート結果

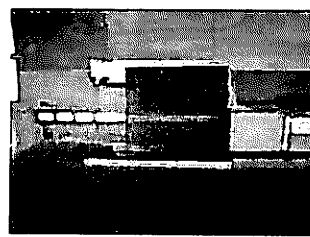


写真-8 落下防止シートの設置範囲

b) 要援護者による主な意見

- ・路面との段差が解消されたので避難しやすくなった

c) 子供による主な意見

- ・危ないとは思わなかった

d) 今後の方針

やや危険、危険と回答した者の大部分が扉端部への接触による怪我を懸念するものであったことから、扉形状について更なる検討を行う（写真-9）。

(6) 乗込み部 ～ 手すりの使用性

乗込み部の手すりの使用性について「使いやすい ～ 使いづらい」の5段階で評価をいただいた（図-17）。

a) トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【使いやすい／やや使いやすい／どちらでもない】

- ・ 無いよりあった方が良い

【使いづらい／やや使いづらい】

- ・ 高さが低い

【その他】

- ・ 要援護者を考慮した設定が必要ではないか

b) 要援護者による主な意見

- ・ 「車椅子からの降車」「すべり台への移動」を補助する手すりがあると良い

c) 今後の方針

構造確認の際における挙動では、手すりを使いすべり台へ着座する者が多数あったことから、現計画を基本として要援護者等の動作を補助する手すり（端部の垂直手すり、中段手すり）を設置する（写真-10）。

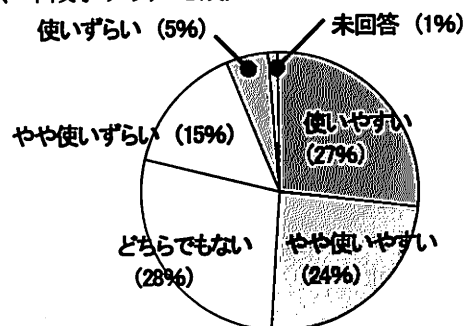


図-17 乗込み部 手すりの使用性 アンケート結果

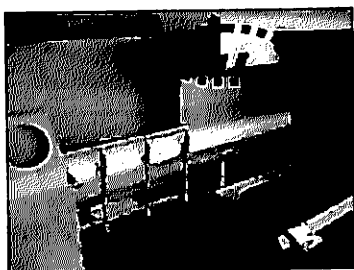


写真-9 危険性を指摘された乗込み部の端部

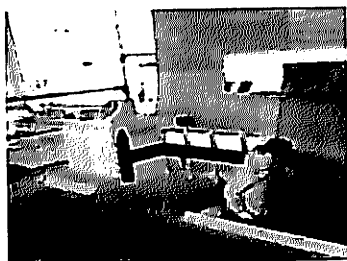


写真-10 要援護者の動作補助手すり

(7) 操作ボタン ～ 視認性

操作ボタンの視認性について20度、45度、70度の3段階で評価をいただいた（図-18）。

a) トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【20度】

- ・ 車椅子利用者や子供は目線が低く見えづらいのではないか

【45度】

- ・ 遠くからは45度、70度が見やすい

【70度】

- ・ 車の中から見たときに見やすいと思う

b) 要援護者による主な意見

- ・ 車椅子利用者にとって操作性は45度が良い。公共施設の設計段階で壁面（90度）に設置する予定のボタンを45度に変更してもらったことがある（写真-11）。

(8) 操作ボタン ～ 操作性

操作ボタンの操作性について20度、45度、70度の3段階で評価をいただいた（図-19）。

a) トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【20度】

- ・ 体重をかけて押すことができる

【45度】

- ・ 身長によると思うが中間の45度が良い

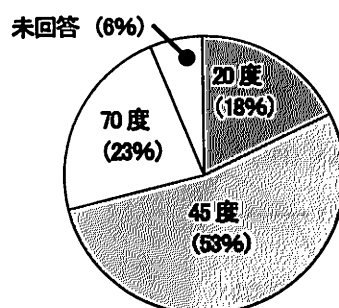


図-18 操作ボタン 視認性 アンケート結果

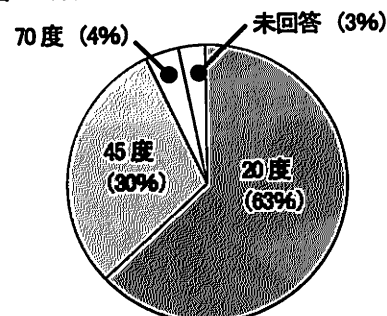


図-19 操作ボタン 操作性 アンケート結果



写真-11 要援護者による確認

【70度】

- ・ちょうど良く感じた

【その他】

- ・車椅子利用者の意見も参考とした方が良い

b) 今後の方針

操作ボタンに関する考察としては、ボタンまでの距離に応じて視認性が異なることから中間値の 45 度を選択したと考えられる。また、2/3 程度の方が 20 度を選択されたが何れの角度も「操作できない」という意見はなかったことから、災害時に速やかに発見できること、多様な避難者（健常者・要援護者など）が操作できる視認性に優れ、操作性に不備のない 45 度を採用する。

(9) その他の意見

a) トンネル防災関係者／一般被験者の主な意見

【サイン計画などに関する意見】

- ・操作方法などを早く認知させることが重要である
- ・トンネル内が暗い状況でも遠くから目立つと良い

【避難者の心理に関する意見】

- ・火災時の心理状態を踏まえた検討をした方が良い
- ・入口に滞留しないようすべり台終点を明るくするなどの検討が必要である

【広報に関する意見】

- ・すべり台の機能について十分な広報が必要だと思う

b) 要援護者による主な意見

- ・避難施設の広報、相互扶助の啓発 をして欲しい
- ・設計の初期段階から意見交換会や実験をしてきたことで誰にとっても使いやすい計画になった

c) 今後の方針

円滑な避難が可能となるよう非常口部のデザインや照明計画、更には、トンネル防災計画の広報、相互扶助の啓発などソフト面での対策を図るものとする（図-20）。

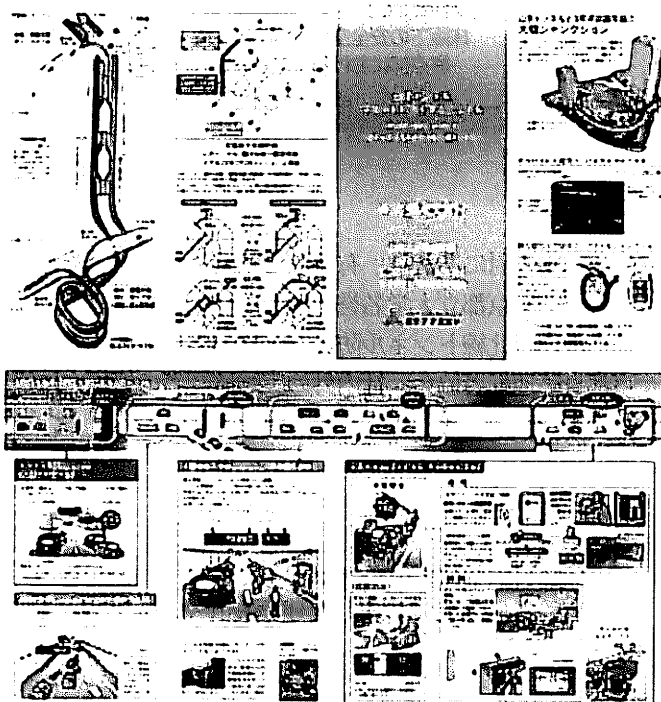


図-20 参考 山手トンネルスマートドライブマニュアル

5. 細部構造の再検討 ～ 乗込み部

実物大模型による構造確認で抽出された課題である乗込み部の安全性について更なる検討を行う。

(1) 検討条件

乗込み空間の拡大については開扉時に扉先端が車道へ侵入することを回避するため、軌跡中心となる跳上げ扉の回転軸は現計画の高さとする（図-21）。

(2) 検討結果

当初計画における跳上げ扉の天板は路面に水平とし、開扉時には約 100 度回転させ乗込み空間は約 37cm となっていたが、機械的な開閉装置の機構を再検討した結果、跳上げ扉の天板を傾斜させ、開扉時には約 120 度回転させることで、乗込み空間を約 68cm 確保した。

なお、避難行動時に支障ないか部分的な実物大模型により空間確認を行ったうえで、天板を傾斜させた跳上げ扉を採用することを決定した（図-22）（写真-12、13）。

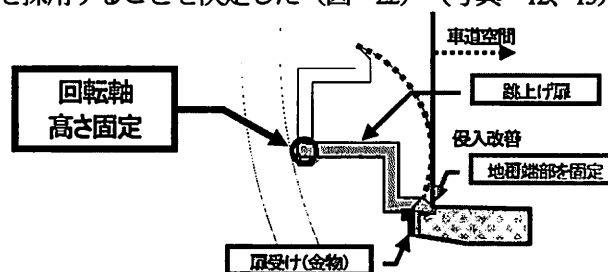
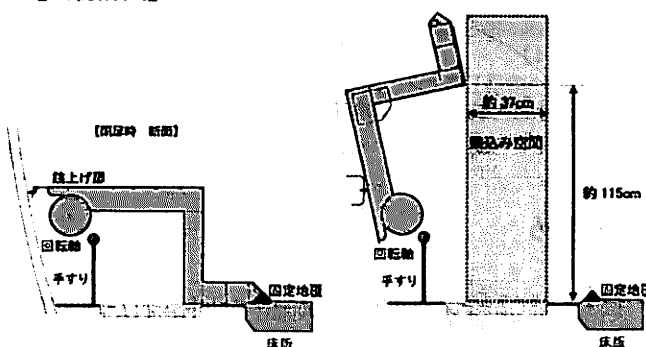


図-21 跳上げ扉 検討条件

【当初計画】



【変更計画】

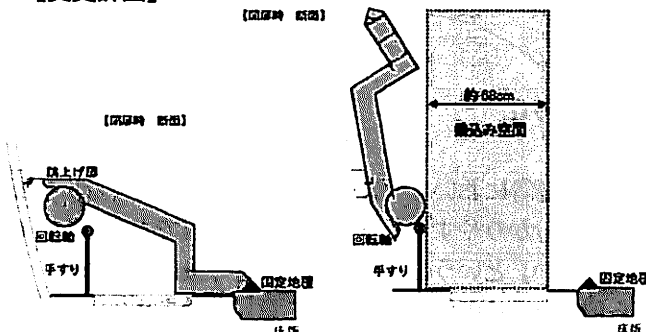


図-22 跳上げ扉 開扉時断面イメージ図

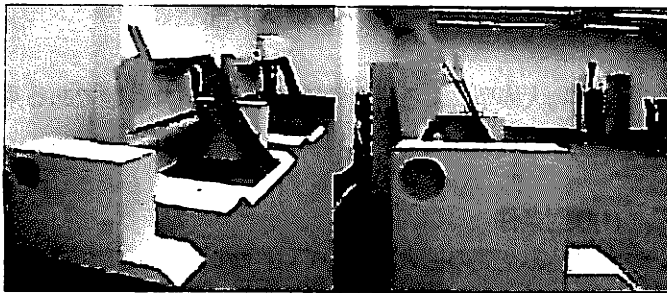


写真-12 部分模型 (手前:変更, 奥:当初)

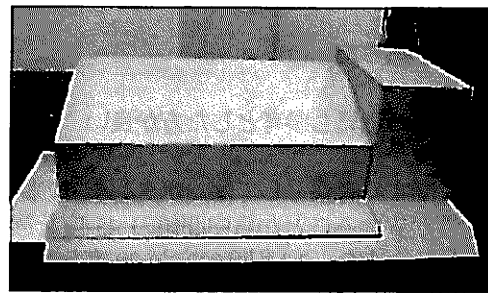
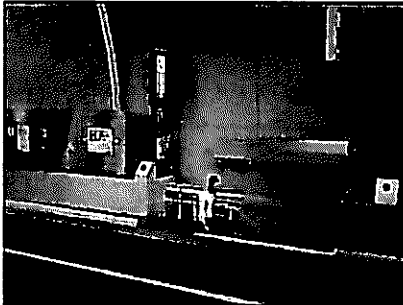
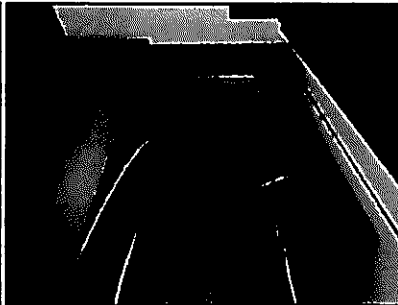


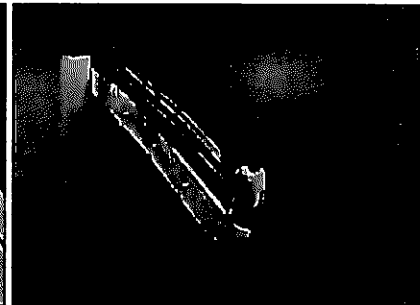
写真-13 跳上げ扉 閉扉時



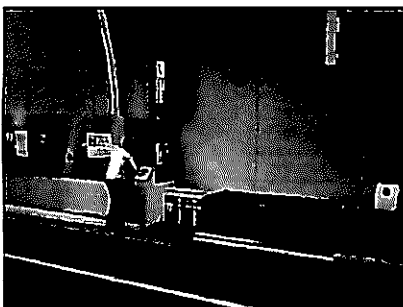
【Action: 1】
操作ボタンを押す
非常口の左右2箇所



【Action: 2】
跳上げ扉と床スライド扉が自動で開扉
跳上げ扉
: 機械的な機構で自動開扉
床スライド扉
: 跳上げ扉と連動して自動開扉



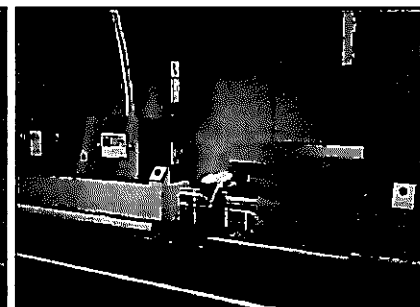
【Action: 3】
乗込み部からすべり台へ着座
段差のない地覆切欠き部
すべり台側板の延長となるよう



【Action: 4】
床版開口への落下防止シートが展開
シートにより床版開口への落下防



【Action: 5】
勾配が30度から25度へ
変化するすべり台



【Action: 6】
床版下の安全空間へ降下
終点部における手すり高さ20cm
平坦部長さ60cm

図-23 避難者のアクションフロー

6.まとめ

実物大模型による細部構造の確認で抽出された課題等を検討した結果を踏まえて確定した避難施設におけるアクションフローを示す(図-23)。

謝辞: 本検討にあたり、有益なご助言・ご指導いただきました、東京都立大学名誉教授今田徹先生をはじめ「高速横浜環状北線トンネル防災安全検討委員会」委員、東京都身障運転者協会、社内外の実験確認者の皆様方に感謝の意を表します。

7.おわりに

構造確認等において「万に一つも使って欲しくない施設だが、分かりやすく、安全に、早く避難できるものとして欲しい」というご意見があった。今後は、多数の方から頂いた、このような貴重なご意見を踏まえて、サイン計画や色彩等のソフト面での検討を行いたいと思う。

参考文献

- 1) 加齢対応型住宅の設計マニュアル(東京都)
- 2) 高齢者・障害者に配慮した建築設計マニュアル