

首都高速横浜環状北線トンネル における避難施設の構造検討

A STUDY OF EVACUATION SYSTEM METHOD IN TUNNEL OF YOKOHAMA CIRCULAR NORTHERN ROUTE METROPORITAN EXPRESSWAY

藤井 健司¹・寺島 善宏²
Kenji FUJII・Yoshihiro TERASHIMA

Yokohama Circular Northern Route of Metropolitan Expressway which connecting between “Kohoku Interchange of Daisan Keihin Road” and “Namamugi Junction of Kanagawa Route No.1 Yokohane Line of Metropolitan Expressway” is under construction. The length of this Route is about 8.2km whose about 70% is structured by tunnel that is constructed by Shield method.

When the disaster occurs in this tunnel people evacuate under space of the road with a slide. The fire exit door to go into the slide has new type shape and opening and shutting method. Therefore, it is necessary to verify the safety of this method by evacuation facility’s actual size model. In addition, because this evacuation space relates to inside diameter of the tunnel, this plan must achieve the balance of safety and the cost. This report is the summary of examination process using a model to settle the evacuation plan

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

1. はじめに

首都高速横浜環状北線（以下：北線という）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施工する。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。

非常口は狭隘空間にて必要機能を充足できる構造として、その形状や開閉方式等に新規性があることから実物大模型により安全性、使用性等について検証する。また、トンネル断面径はすべり台の避難空間が決定要素の一つとなることから、実物大模型による検証のうえで安全性が確保された最適最小な空間とする。

本稿は、実物大模型による検証を踏まえた事業コストと安全性のバランスが取れた避難施設の構造についての検討過程を述べるものである。



図-1 横浜環状北線 平面図

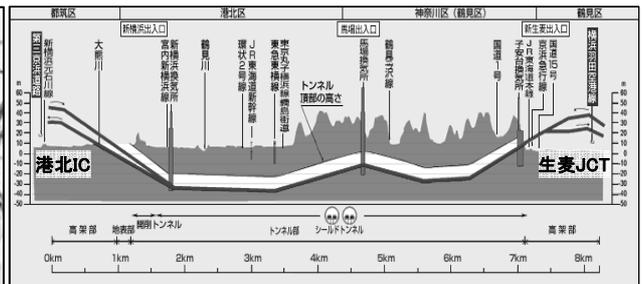


図-2 横浜環状北線 縦断面図

キーワード：道路トンネル、トンネル火災、避難施設、避難すべり台、非常口扉

¹非会員 首都高速道路株式会社 神奈川建設局 設計グループ課長代理

²正会員 首都高速道路株式会社 技術管理室 設計技術グループ 課長代理

2. 基本構造の検討

(1) 検討条件

避難方式は計画路線の土地利用状況，トンネル内の換気方式，トンネル構造への影響等の要因により一般的な「横連絡坑方式」に代えて「床版下避難通路すべり台方式」とする。また，車線幅員及び構成は3.25m×2車線，路肩幅員は2.5m（全路肩）とする。

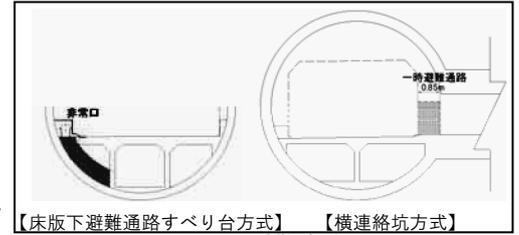


図-3 避難方式

(2) 必要機能

非常口扉の必要機能は「機械的な機構での自動開扉」「一定時間経過後の自動閉扉」「車道と避難通路に気圧差がある状況での開閉」「特定防火設備相当」「閉扉時における躯体防護壁との連続性」とする。また，すべり台は消防法による建物用避難すべり台の寸法および空間確保を基本とする。

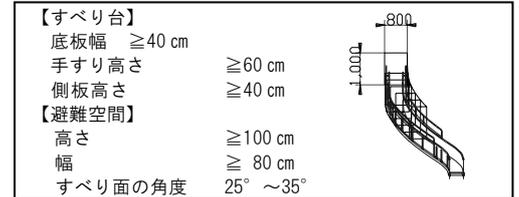


図-4 消防法による寸法と避難空間

(3) 基本構造

検討条件を踏まえて4タイプの開閉方式を考案した。各案は閉扉時において全路肩は確保されるが，必要機能を踏まえた構造の実現性について多角的な視点での確認が必要である。そこで，製造が可能と考えられる複数のメーカーと意見交換を実施した結果，詳細な検討は要するが「横跳上げ+床スライド扉式」が構造的には実現可能であることが判明した。そこで，当案を基本として細部構造について詳細な検討を進める。

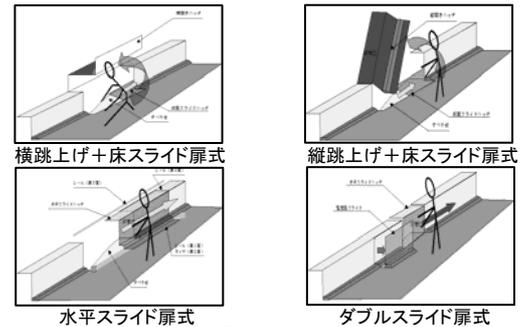


図-5 基本構造

(4) 構造概要

操作レバーを引くことで跳上げ扉がカウンターウェイト方式により自動で開扉する。しかし，機械的な機構ゆえに自動閉扉は困難であることから，避難通路への熱や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，10分程度経過すると自動閉扉する構造であり，手動操作も可能である。乗込み部は床スライド扉を設置するため車道と20cmの段差がある。跳上げ扉は避難空間を確保することができるよう路肩が一体として跳上がるZ断面形である。

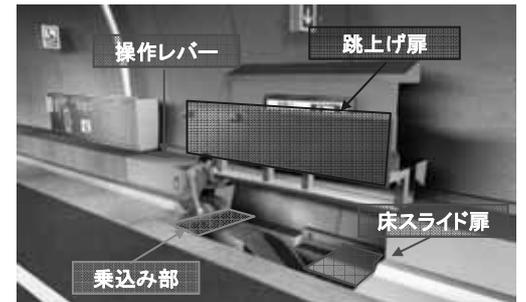


図-6 構造概要

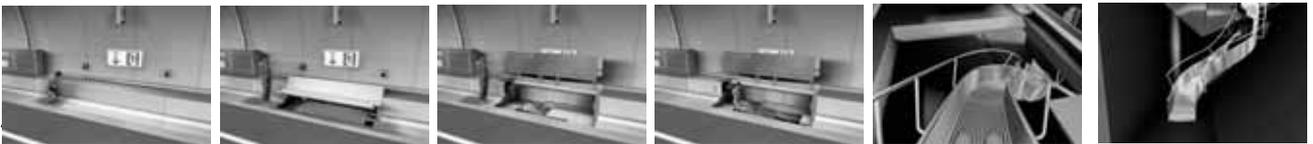


図-7 アクションフロー

(5) 課題抽出

跳上げ扉が路肩と一体として跳上がることで，すべり台の避難空間（高さ100cm，幅90cm）は確保できるが，避難車輛が当該路肩へ停車した場合には開扉できないことになる。

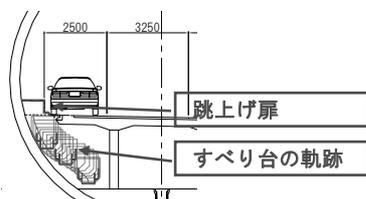


図-8 非常口部 断面図



図-9 扉の一部に組込まれた路肩

(6) 改善方針

避難車輛が非常口部の直近に停車した場合でも開扉が可能となる構造へ改善する。当初計画は避難空間（高さ100cm，幅90cm）を確保するため，路肩を非常口扉の一部として跳上げていたが「避難空間の縮小」または「トンネル断面径の拡大」により改善できる。そこで，実物大模型によりトンネル断面径に応じた避難空間についての安全性を検証する。

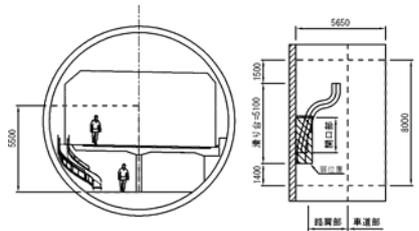
表-1 トンネル断面径と避難空間の関係

検討案	当初計画	避難空間の縮小案	トンネル断面径の拡大案
断面径	11.3m	11.3m (当初計画と同じ)	11.7m (当初計画+40cm)
避難空間	縮小なし	幅:0~25cm / 高さ:0~40cm	縮小なし
イメージ			

3. 実物大模型による構造確認の概要

構造確認は3段階で実施した。第1段階（STEP1）は避難施設を構成する部位毎の部分模型により最適値を求める確認，第2段階（STEP2）は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での安全性・使用性等の確認，第3段階（STEP3）は外部一般者および多様な避難者を思量した要援護者などによる安全性・使用性等の確認である。

なお，STEP2ではトンネル断面形に応じた避難空間について確認する。



「」 模型製作範囲

図-10 実物大模型 製作範囲

4. 構造確認 STEP1 ~ 避難施設を構成する部位毎の確認

(1) 確認概要

「非常口部」と「すべり台」の部分模型により構成要素の形状，寸法等について確認する。

表-2 確認事項 (STEP1)

部位	構成要素	確認事項
非常口部	操作部	操作レバー位置，操作方向
	乗込み部	車道との段差，手すり位置
	床スライド扉	取手形状，端部処理
すべり台	すべり台	断面形（標準/幅広），手すり形状

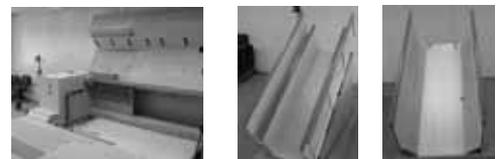


写真-1 左:非常口部 中:標準形 右:幅広形

(2) 結果概要

すべり台形状の選択率は標準形：64%，幅広形：36%である。自由意見としては「災害時に避難者が集中した場合に床版の開口へ落下するのではないか」等があった。

(3) 考察

すべり台は標準形を選択した者から「体格の良い者や身体に障害を持つ者も大丈夫か」という意見があった一方，幅広形を選択した者から「子供や高齢者にとって幅が広すぎるのではないか」という多数の意見があったことから，懸念があるうえでの選択ということが判明した。また，実際は緩い曲線平面であることから多様な避難者にとっての使用性などについて更なる検証が必要である。非常口部については，その他の意見を踏まえて落下防止シートの追加などを行う。

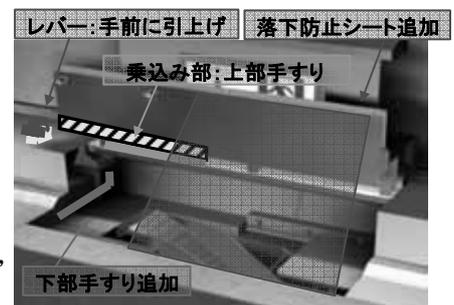


図-11 実物大模型製作イメージ

5. 構造確認 STEP 2 ～ すべり台の避難空間

(1) 確認概要

避難空間は床版付近をすべり降りる際に幅・高さとも連続的に変化することから、実物大模型により実際の火災を想定した速やかな避難行動をとった際における直感的な感覚を確認する。なお、確認では3つのトンネル断面形に応じた避難空間と2タイプのすべり台形状を組合せた4案について5段階で評価を行う。

(2) 結果概要

第1案では25%程度が「やや問題がある」と感じている一方、第2案、第3案では「やや問題がある」は無くなっている。また、第4案は「やや問題がある」「問題がある」が80%程度を占めている。

自由意見としては「意識が足下へ集中したので気にならなかった」「わざと頭をぶつけようとしてもぶつからなかった」「子供や介護者を抱きかかえる場合を考えると広い方が良い」などがあった。

表-3 トンネル断面径とすべり台形状の組合せ

検討案	第1案	第2案	第3案	第4案
断面径	11.3m	11.5m	11.7m	11.3m
避難空間 (幅・高さ)	幅：65～90cm 高：75～100cm	幅：75～90cm 高：85～100cm	幅：90cm, 高：100cm (消防法による空間確保)	幅：65～90cm 高：75～100cm
すべり台	標準形			幅広形
実験結果				



第1案・第4案

第2案

第3案

標準形

幅広形

写真-2 避難空間とすべり台形状

(3) 考察および設計方針

避難空間は第2案で過半数が「問題ない」と回答している。また、同じ避難空間でもすべり台形状により異なる回答となっている(第1案・第4案)。以上より、避難空間は第2案(トンネル内径：11.5m)の空間を確保することとする。なお、避難空間に関する消防法の適用可否については、横浜市安全管理局と協議した結果「道路空間は消防法の適用外であることから事業者として独自に空間を設定することは問題ない」旨の回答を得ている。

6. 構造確認 STEP 2・STEP 3 ～操作性, 安全性等

(1) 確認概要

STEP1により得られた最適値を組合せた実物大模型により操作性, 安全性等について確認する。

表-4 確認事項(STEP 2・STEP 3)

構成要素	確認事項
すべり台	標準形/幅広形, 終点の段差および明るさ
跳上げ扉/操作部	操作レバーと跳上げ扉の距離
乗込み部	手すりの使用性, 段差(20cm)の視認性



写真-3 実物大模型

(2) 結果概要 ～ すべり台形状

すべり台の使用性について 5 段階評価で確認した結果、標準形は「使いやすい」「やや使いやすい」が 90%程度ある一方、幅広形は「使いづらい」「やや使いづらい」が 80%程度となった。また、自由意見としては「衣類の素材に関係なく一定の速さとなるよう工夫はできないか」「すべりが速い」などがあった。

表-5 すべり台の断面形に関する確認

検討案	標準形	幅広形
実験結果	<p>使いやすい(64%) やや使いやすい(30%) どちらでもない(6%) ※使いづらい(0%) ※やや使いづらい(0%)</p>	<p>使いやすい(12%) やや使いやすい(8%) 使いづらい(33%) やや使いづらい(49%) ※使いやすい(0%)</p>

(3) 結果概要 ～ 跳上げ扉・操作部・乗込み部

跳上げ扉などに関する自由意見としては「レバーに埃などが詰まるのではないかな」「車道との 20cm の段差で転倒するのではないかな」「快適性より安全に早く避難できることが大切である」「非常口と分かるデザインが必要である」などがあった。

(4) 結果概要 ～ 要援護者・サービス介助士による確認

すべり台による避難方式は、当社では初事例であり要援護者や被介護者の避難行動に関する知見が無いことから、使用性、安全性等について要援護者、サービス介助士による確認を行った。意見としては「すべり台終点の段差は 20cm が限界である」「すべり台乗込み用の手すりは（現在の設置方法に対して）逆 L 型が良い」などがあった。



写真-4 要援護者による確認

7. 細部構造検討

実物大模型による構造確認の結果、机上の検討では予見できなかった新たな課題が抽出された。そこで細部構造を見直し更なる改良を行う。

(1) すべり台 ～ 一定の降下速度となる仕様について

避難施設として求められる機能（安全性、耐候性等）を満たしたうえで、一定の降下速度となる仕様について検討する。なお、構造確認における意見「すべりが速い」を踏まえて速度を緩和する方策を検討する。なお、検討は 3 段階に分けて行う。

a) 一次選定（降下方式）

降下方式として「一般的方式」と「摩擦軽減方式」に大別し、降下速度、避難時の安全性、確実な操作性を指標として評価した結果、摩擦軽減方式は降下速度が一定となるが、避難時の安全性等が劣るため「一般的方式」を採用する。

表-6 一次選定

降下方式	一般的方式			摩擦軽減方式		
	金属	人造石	樹脂	ローラー	ベルコン	ホップスレー
材質等						
イメージ						
降下速度	△（衣類の素材により変化）			○（一定）		
避難時の安全性	○（あり）			○（あり）		
器具の実績	○（あり）			×（メーカーと共同開発）		
すべりやすさ	○（問題なし）			△（ローラーの突上げ感）		
空間	○（すべり降りる空間を最大限確保）			×（器具の厚さ等による空間縮小）		
確実な操作性	○			×（ローラー及び器具のメンテナンス）		
評価	○			×		

b) 二次選定（材質等）

一次選定にて決定した「一般的方式」について、材質により大別し、耐候性、施工性、降下速度、速度のばらつきを指標として評価した結果、耐候性、施工性に優れ降下速度が遅い「金属製」を採用する。
 なお、降下速度および速度のばらつきは簡易実験による検証を実施した。

表-7 二次選定

材質	金属	人造石	樹脂
耐候性			
強度	○	○	△
耐熱性	○	○	△
耐薬品性	○	○	×
メンテナンス性	○	○	△
施工性			
	○	△	—
簡易実験			
速度(※リズレル)	遅い (0.85 秒)	速い (0.70 秒)	—
速度ばらつき	△ (0.42 秒)	△ (0.39 秒)	—
評価			
	◎	○	×

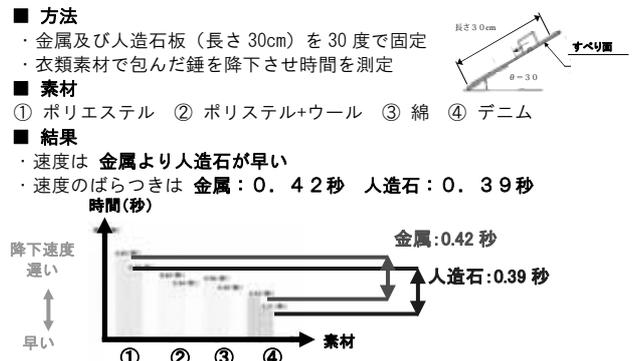


図-12 簡易実験における結果概要

c) 最終選定

二次選定にて決定した「金属製」について、衣類による速度のばらつきを前提として、すべり台終点で停止する勾配について検討する。なお、避難空間を確保するため床版下までは勾配は 30 度で固定する。

建物用避難すべり台における実績値（直線形：30 度、曲線形：25 度）を参考として、床版下までの直線部は 30 度、以降の曲線部は 25 度に勾配を緩和させることで終点にて停止させる。

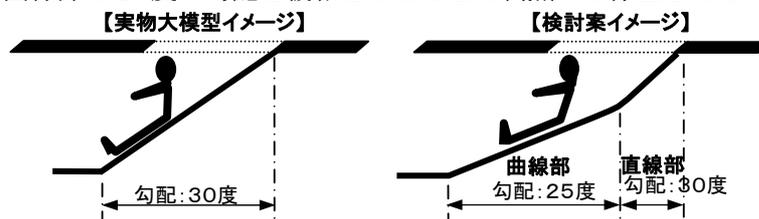


図-13 勾配の見直し

(2) すべり台 ～ 終点の形状について

すべり台終点における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」について検討する。なお、実物大模型における平坦部長さは 100cm、手すり高さは 40cm である。

a) 平坦部長さ

建物用避難すべり台における実績値（直線形：50～120cm、曲線形：35～65cm）を参考とする。すべり台は直線と曲線からなる複合形状なので、実績値が重複する 60cm に設定する。

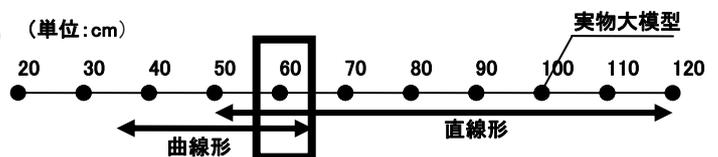


図-14 平坦部長さの実績値

b) 手すり形状

勾配部の手すり高さは 40cm とするが、平坦部では立上りやすさが求められることから、トイレの立上り補助手すりにおける実績値（20～25cm）を参考として 20cm と設定する。また、形状は車椅子の手すりを参考として勾配部と終点部をなだらかに擦り付ける。

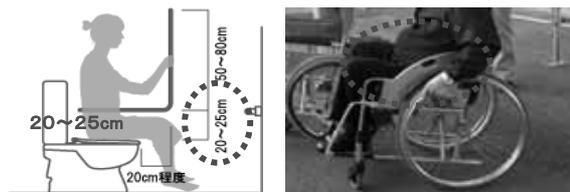


図-15 手すり高さ 写真-5 車椅子手すり

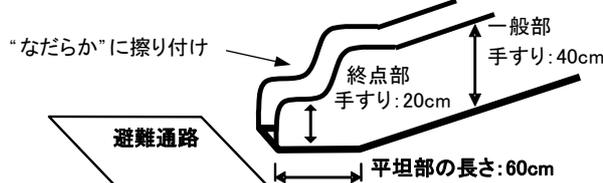


図-16 すべり台終点形状イメージ

(3) 跳上げ扉 ～ 車道空間への張出しの解消について

開扉時における車道空間への張出しを改善する。なお、非常口部の直近に避難車両が停車しないよう地覆の設置を条件とする。現計画はすべり台の避難空間を最大限に確保するため地覆部全体を跳上げていた。ここで、車道空間への張出しは地覆端部だけであることから、地覆を分割して端部を固定し、扉の可動範囲を縮小することで車道空間への張出しを解消する。しかし、固定する地覆端部がすべり台進入時の“つまづき”の原因となる恐れがあることから、更なる検討により改善を図る。

表-8 車道空間への張出し解消

検討案	現計画	解消案(地覆端部固定)
イメージ	<p>車道空間 扉の張出し: 約13cm 約20cm 【拡大図】 約15cm 避難空間に干渉する床版</p>	<p>車道空間 扉の張出し: なし 約23cm 【拡大図】 約18cm 避難空間に干渉する床版</p>
張出し	約13cm	なし
避難空間	幅: 約20cm / 高さ: 約15cm	幅: 約23cm / 高さ: 約18cm
評価	△	○

(4) 乗込み部 ～ 固定する地覆の改善について

乗込み部に固定する地覆による“つまづき”を回避するため非常口部の構造を検討する。そこで、既存路線(山手トンネル)における“地覆を切欠いた非常電話の退避スペース”を参考として跳上げ扉の隣に設ける“地覆切欠き部”からすべり台へ進入することで“つまづき”を回避する。

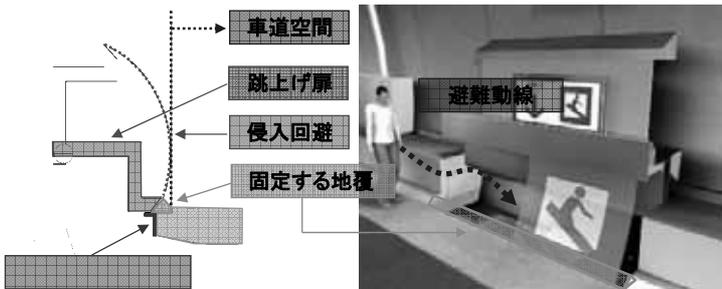


図-17 乗込み部に固定する地覆

車道面とフラットな非常電話退避スペース

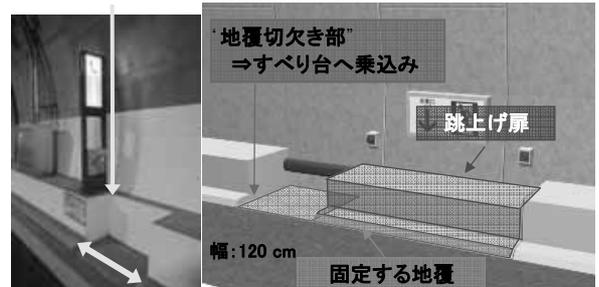


図-18 地覆切欠き部

(5) 乗込み部 ～ 車道面との段差の改善について

構造確認において「車道面との段差により“転倒”するのではないか」という意見が提起された。そこで、上記における改善案を踏まえて、非常口部の構造を再検討する。

ここで、現計画は床スライド扉が乗込み部に被さることで床版下の加圧を確保している。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床版下空間の加圧状態を確保する。これにより、乗込み部の段差は不要となり、地覆切欠き部を乗込み部とすることが可能となる。更に、乗込み空間を兼ねることで跳上げ扉の長さを50cm縮小することが可能となる。

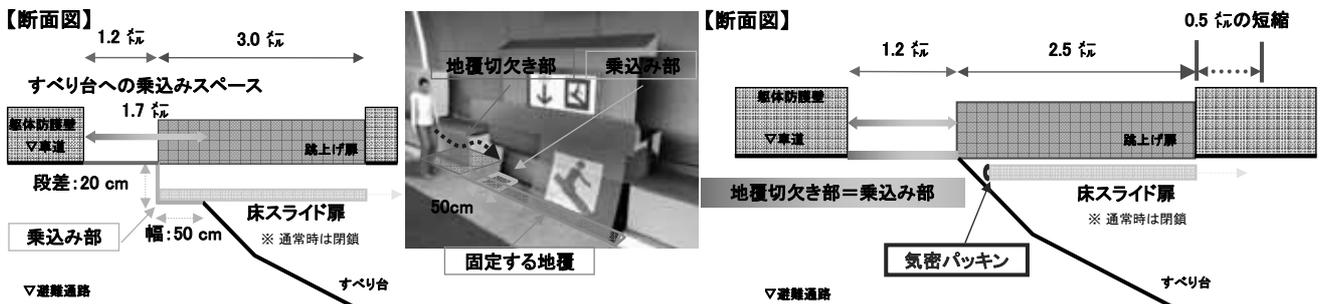


図-19 段差の改善

8. まとめ

実物大模型による構造確認の結果を踏まえた改善後の避難施設計画を下記に示す。

表-9 当初計画と改善後の計画

構成要素	当初計画	改善後の計画
1. 操作部	レバー式, 1箇所	ボタン式, 2箇所
2. 乗込み部	段差: 車道面と20cm, 幅: 50cm	段差: なし (地覆切欠き部) 幅: 120cm
3. 跳上げ扉	地覆一体型	地覆端部固定
4. 落下防止シート	透過性なし	透過性あり (アーチェリー用防矢ネット)
5. 手すり	車道面と水平に設置	すべり台手すりの延長となるように設置
6. すべり台	勾配: 30度 (一定) 手すり高さ: 40cm, 終点長さ: 100cm	勾配: 30度→25度 手すり高さ: 20cm, 終点長さ: 60cm

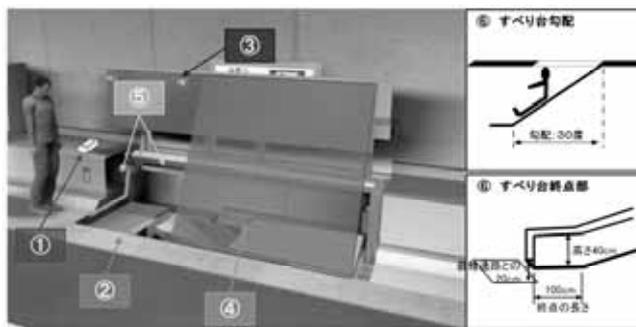


図-20 当初計画

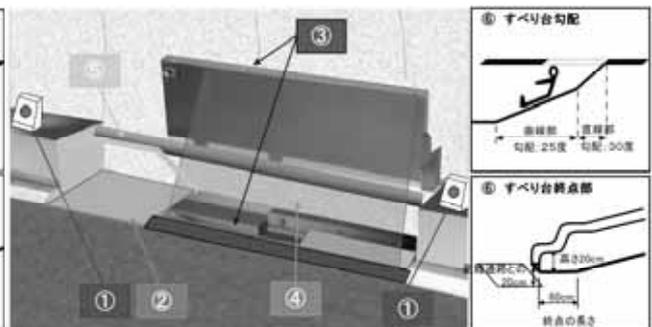


図-21 改善後の計画

9. 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、更に詳細な検討を行いたいと思う。

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、NPO法人日本ケアフィットサービス協会、社内外の実験確認者の皆様方に感謝の意を表します。