

首都高中央環状線山手トンネルにおける 避難誘導手法の検討

A STUDY OF EVACUATION GUIDANCE METHOD IN YAMATE TUNNEL OF METROPOLITAN EXPRESSWAY CENTRAL CIRCULAR ROUTE

川田 成彦¹・伊藤 崇法²・岡野 孝司³
Naruhiko KAWADA・Takanori ITO・Takashi OKANO

Yamate tunnel of Metropolitan Expressway Central Circular Route is located just under Yamate-Dori Avenue which is one of a major street of Tokyo. The length of this tunnel is about 10km which is one of the largest tunnel as an urban road tunnel in Japan. The traffic density of the tunnel is estimated about 80,000 per day, and, there are plural junctions for rampways in the tunnel, therefore, preparedness of disaster prevention measures which assume a large-scale tunnel disaster is required. The disaster prevention measures of the tunnel are roughly classified for measures by the hardware (structures, equipments, etc) and measures by the software (operation of equipments, traffic control, etc). The evacuation measures in the case of tunnel disaster are the key factors to prevent the damage from spreading.

This report is the summary of the measures to guide refugees with swiftness and precision, and the studies which confirmed the efficiency of the evacuation signs by the examinees.

Key Words : road tunnels, tunnel fire disaster, evacuation guidance, evacuation signs

1. はじめに

首都高中央環状線山手トンネルは、都内の主要幹線道路である山手通りの直下に位置しており、その延長は約10kmと、都市内の道路トンネルとしては我が国でも最大級の延長を有している。また、計画交通量として1日約8万台もの重交通が予測されており、さらには、出入口・ジャンクションのための分岐合流部が複数箇所トンネル内に存在していることから、大規模なトンネル火災を想定した防災安全対策の充実が求められている。トンネルの防災安全対策は、構造物や施設物に関するハード対策と、施設物や交通運用などに関するソフト対策に大別されるが、その中でも特に発災時の避難誘導に関する対策は、災害の拡大を防ぐためには最も重要な事項の一つである。

本稿は、トンネル火災発生時に避難者を迅速かつ確実に誘導するために行ったハード面とソフト面の対策、さらには、誘導標識等の設置に関して行った被験者を使つての確認実験等について、その概要を報告するものである。

2. 火災時における施設・交通運用等の基本的考え方

トンネル火災発生時に避難者を迅速かつ確実に誘導するためには、その前提として、まず火災を早期に検知し、換気運用によって避難環境を確保、同時に情報提供を行うことでトンネル内外の車両を適切に誘導することが必要となってくる。ここではまず、山手トンネルにおけるこれら火災時の施設・交通運用等

キーワード：道路トンネル、トンネル火災、避難誘導、誘導標識

¹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 上級メンバー

²非会員 首都高速道路株式会社 技術管理室 設計技術グループ 上級メンバー

³非会員 首都高速道路株式会社 保全・交通部 管制技術グループ 上級メンバー

の基本的な考え方について述べる（表-1）。

(1) 火災の早期検知

火災の検知・認知・判定は、火災時に道路管理者が最初に行う施策であり、利用者の早期避難やその後の消火活動に大きく影響する。

従来から首都高のトンネルは、非常用施設（火災検知器、押ボタン式通報装置、非常電話など）や交通管制施設（CCTVカメラなど）によって24時間体制で監視しているが、山手トンネルでは約380台のCCTVカメラが新たに設置される。この膨大な数のカメラから送られる情報を効率的に活用するため、山手トンネルでは、画像処理によって交通の異常な状態を検出する交通異常事象検出システム（図-1）を導入し、交通管制員の負荷軽減に努めている。

表-1 火災の進行段階と道路管理者の対応

火災の進行段階	道路管理者の対応
初期段階 （発災から約10分と想定） ・ 利用者の避難 ・ 初期消火活動	・ 火災の早期検知（検知・認知・判定） ・ 換気による避難環境の確保 ・ 迅速な情報提供と交通運用 ・ 迅速・確実な車外避難誘導
後期段階 ・ 本格消火活動（消防隊）	・ 本格消火活動のための支援体制

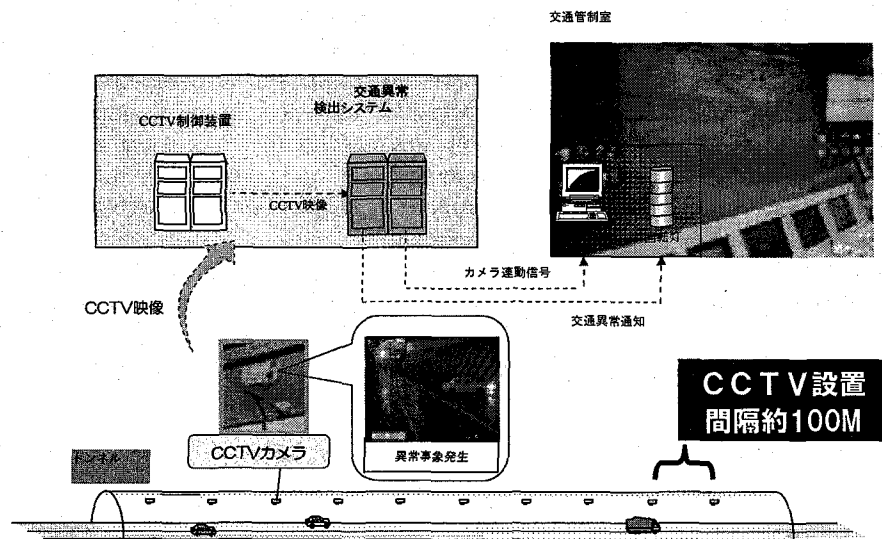


図-1 交通異常検出システム概要図（既設千代田トンネルの例）

(2) 換気による避難環境の確保

トンネル火災時の人的被害を抑えるためには、トンネル利用者の避難が想定される火災初期段階における道路管理者の対応が、非常に重要である。

換気運用に関して言えば、火災初期段階においてはトンネル内の避難環境を確保するために行い、後期段階においては消防隊による本格消火活動を支援するために行う。この目的を達成するための換気運用はトンネルの換気方式や交通状態によって異なるが、横流換気方式を採用している山手トンネルにおいては、以下のような基本的な考え方に基づいて運用することとしている。

a) 火災初期段階

渋滞時に火災が発生した場合、火災地点より前方（下流側）では渋滞により既に車両が滞留しており、火災地点より後方（上流側）では火災により進路を断たれた車両が滞留することとなる。したがって、火災地点の上下流両方に存在する避難者の避難環境を確保することを目的とした換気運用を行う必要がある。

具体的には、火災地点の上下流両方への熱や煙の影響を極力回避するよう、縦流風速を0m/sまで低下させて極力維持するような換気運転を行う。また、火災地点においては排気運転を行い排煙を促す（図-2）。

非渋滞時に火災が発生した場合は、火災地点の下流側では車両はそのまま走行を続けてトンネル外に出る。火災地点より上流側では渋滞時同様、火災により進路を断たれた車両が滞留することとなる。したがって、火災地点の上流側に存在する避難者の避難環境を確保することを目的としつつも、下流側を走行している車両に極力影響を及ぼさないような換気運用を行う必要がある。

具体的には、火災地点上流側への熱や煙の影響を極力回避するとともに、下流側への煙の移動速度が速

くなりすぎて走行車両に追いつかないよう、縦流風速を2～3m/s程度に維持するような換気運転を行う。なお、火災地点において排気運転を行い排煙を促すことは、渋滞時の対応と同様である（図-2）。

b) 火災後期段階

渋滞時・非渋滞時のいずれの場合であっても、消防隊は火災地点上流側からトンネル内に進入して現場に向かうため、上流側における消火活動環境を確保することを目的とした換気運用を行う必要がある。

具体的には、火災地点上流側への熱や煙の影響を極力回避するよう、下流側に煙を流すような換気運転を行う。また、火災地点において排気運転を行い排煙を促すことは、火災初期段階の対応と同様である（図-2）。

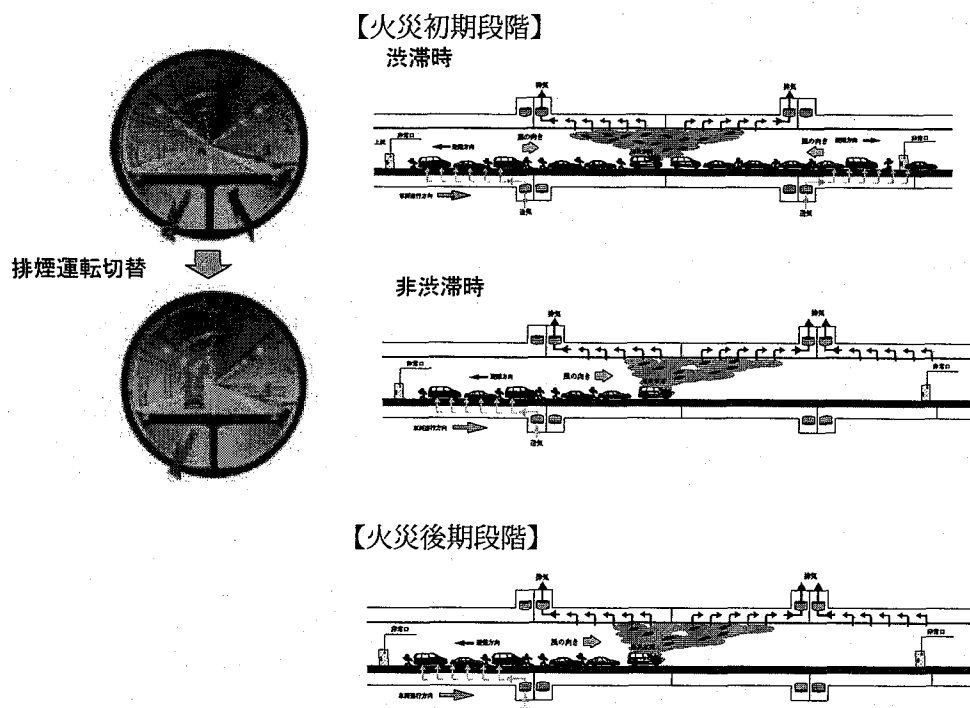


図-2 火災発生時の換気運用イメージ

(3) 情報提供による車両誘導

トンネル内で火災が発生した場合の交通運用は、トンネル内への車両の進入を禁止するとともに、トンネル内の車両を極力早く排出することを目的とする。

発災直後の車両誘導にあたっては、これまでのトンネル内ラジオ放送緊急割込に加えて、従来トンネル坑口のみを設置していた信号機及び情報板をトンネル内分岐部やトンネル内Uターン路部にも設置し、情報提供することにより火災初期段階の車両誘導を行うこととしている。

具体的な情報提供にあたっては、ドライバーに自主的な行動を促すことが重要であることから、ドライビングシミュレータを用いて、効果的な情報板メッセージについての検討を行った。結果は、以下のとおりである。

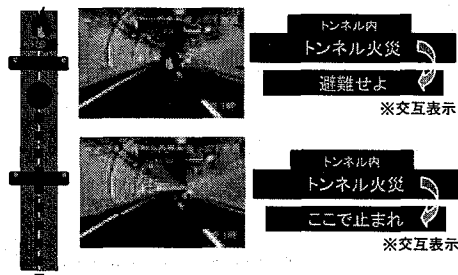


図-4 発災地点付近イメージ

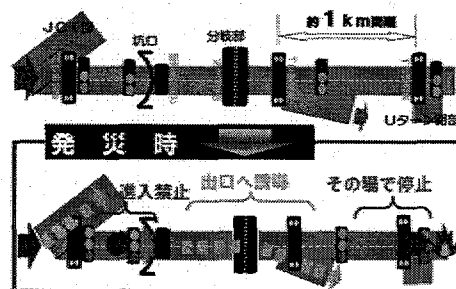


図-3 各種情報板設置・運用イメージ

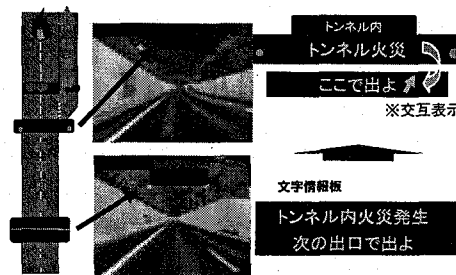


図-5 発災地点上流出口付近イメージ

- ① メッセージの表示方法は、点滅表示などにより誘目性の高いものが多い。
 - ② 「ここで止まれ」「ここで出よ」などドライバーが行うべき行動を直接示すメッセージがよい。
 - ③ 同じ情報を複数箇所で提供することにより、情報の信頼性が高まる。
- (図-3, 4, 5)

(4) 交通巡回体制の強化

火災初期段階における車両誘導は前記のとおり信号機や情報板で行うことを基本とするが、現場状況の確認、避難者及び車両の避難誘導支援、二次災害防止のための初期消火などにも、可能な限り早期に対応できることが被害の拡大を防ぐ上で重要である。

山手トンネルは重交通が予想されていることから、一度事故が発生するとその直後から事故現場上流に急速に渋滞が発生することが懸念されている。したがって、早期に現地到着することを目的として、従来から運用している四輪のパトロールカーを増車するだけでなく、二輪車によるパトロール隊を導入することとしている(図-6)。

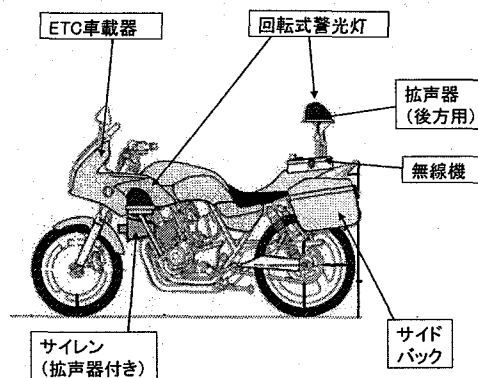


図-6 二輪車 PC イメージ図

3. 迅速・確実な車外避難誘導に関する検討

(1) 基本的な考え方

a) 非常口までの避難

車外避難誘導における最終的な目的は地上までの円滑かつ安全な誘導であるが、まずはトンネル内の非常口から先の安全空間（非発災空間）へできるだけ早期に誘導することが、避難者の安全上最も重要である。

山手トンネルでは、トンネル内の非常口間隔を最大350mとしており、非常口への利用者の避難完了目標を火災発生後10分以内、すなわち火災初期段階内としている。

火災時、トンネル利用者はまず車内でラジオ緊急割込放送やトンネル内の情報板を確認して避難行動を開始。車外に出た後、トンネル内で放送されている拡声放送を聞き、非常口誘導表示灯に従って非常口まで到達する。この際、遠くからでも非常口が視認できるよう、非常口の位置を強調するための設備（非常口強調灯）を設置することとしている(図-7)。

なお、拡声放送の運用にあたって複数のスピーカーを用いると、トンネル内の音場特性から明瞭度の確保が困難であることから、山手トンネルでは、大型スタジアムやコンサートホールの拡声設備などで用いられている連続的時間遅延技術を導入するこ

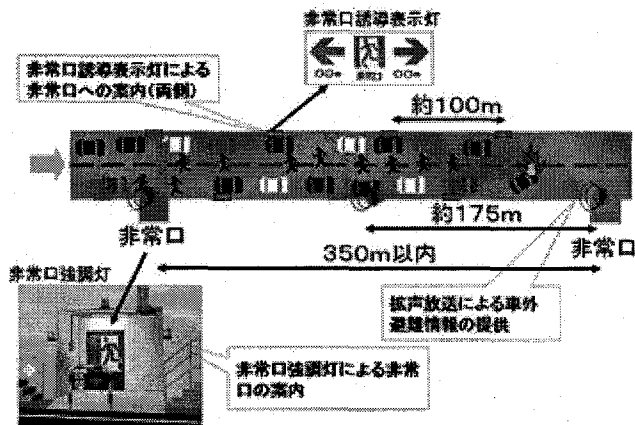


図-7 非常口までの誘導イメージ

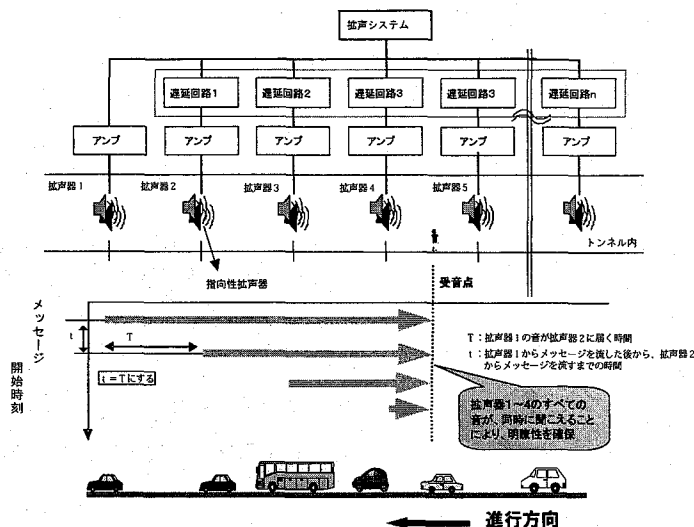


図-8 時間遅延技術を用いた拡声放送

とにより、音の明瞭性を確保することとしている（図-8）。

b) 地上までの避難

前述のように、非常口から先は安全空間（非発災空間）であることから、ここに誘導された避難者は、あとは誘導標識等にしがたい地上まで避難するだけである。この非発災空間から地上出口に至る避難形態は、山手トンネルの構造や地上の街路条件などから、以下の3タイプに分類される。

①直上階段型：

非常口を開けると地上出口に至る階段があるタイプ。

②避難通路経由型：

非常口を開けると避難通路があり、避難通路を移動した先に地上出口に至る階段があるタイプ。

③横断連絡坑経由型：

非常口を開けると反対側トンネル（非発災側トンネル）の一次避難通路があり、一時避難通路を移動した先に、直上階段型の非常口があるタイプ。（図-9）

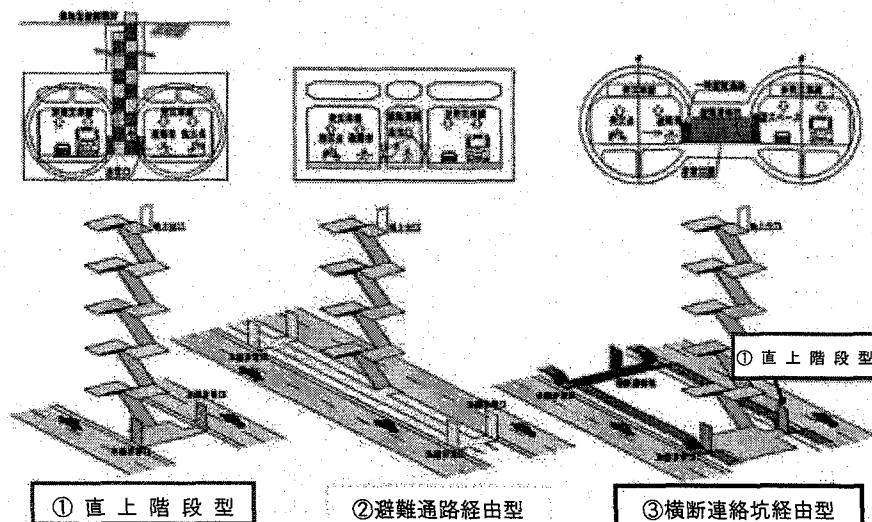


図-9 避難通路形態

避難通路経由型や横断連絡坑経由型の避難形態は、直上階段型に比べると避難経路が長くなることから、避難者に不安感を抱かせることなく確実に誘導するために、誘導標識等の有効性（レイアウト、設置位置等）について確認を行い、最終的なサイン計画の確定を行うこととした。

次節に、この確認に当たって実施した実験の概要とその結果について述べる。

(2) 誘導標識等に関する実験

a) 実験概要

前述の避難通路形態毎に、避難通路内に設置された誘導標識等のレイアウト・設置位置等について、以下の3グループの被験者に体験してもらい、その有効性についてそれぞれの観点から意見をいただき、結果を集約して実際に設置する最終的なサイン計画を策定した。

- ・専門家グループ：サイン計画、防災計画等の専門家の観点からの意見を聴取
- ・警察・消防グループ：発災トンネルで活動する者の観点からの意見を聴取
- ・利用者グループ：一般ドライバーの観点からの意見を聴取

実験時に使用した誘導標識等のうち、主なものを以下に示す。

- ①避難誘導板（一般部）（40cm×15cm）・・・避難通路内に50m間隔で側壁に設置。避難方向と地上出口までの距離を表示することで、避難者の不安感を軽減することが目的である。
- ②避難誘導板（階段部）（40cm×15cm）・・・避難通路内の階段部始点の側壁に設置。避難通路内で階段を昇降することに対する不安感を軽減することが目的である。
- ③避難誘導及び地下階案内板（100cm×45cm）・・・避難通路内の階段部踊場に設置。避難方向と地下階数を表示することで、避難者の不安感を軽減することが目的である。
- ④避難経路案内図（90cm×90cm）・・・非常口内側および階段部付近の壁面に設置。避難経路全体を示すことにより避難者の不安感を軽減することが目的である。
- ⑤内照式誘導灯（40cm×40cm、20cm×20cm）・・・避難経路合流部において天井より懸垂。避難方向に対する避難者の不安感を軽減することが目的である。

⑥路面矢印表示…避難通路内の曲がり部や階段部などの手前床面に表示。避難方向に対する避難者の不安感を軽減することが目的である。

b) 実験結果

実験に参加した前述の3グループのうち、専門家グループおよび警察・消防グループからは、避難誘導板の種類やデザイン、大きさ、設置高さなどについて詳細な意見が得られた。

また、利用者グループは、トンネルの避難通路を初めて体験する方々であることから、実際のトンネル火災時における避難者の行動に近い意見が得られるものと推量された。

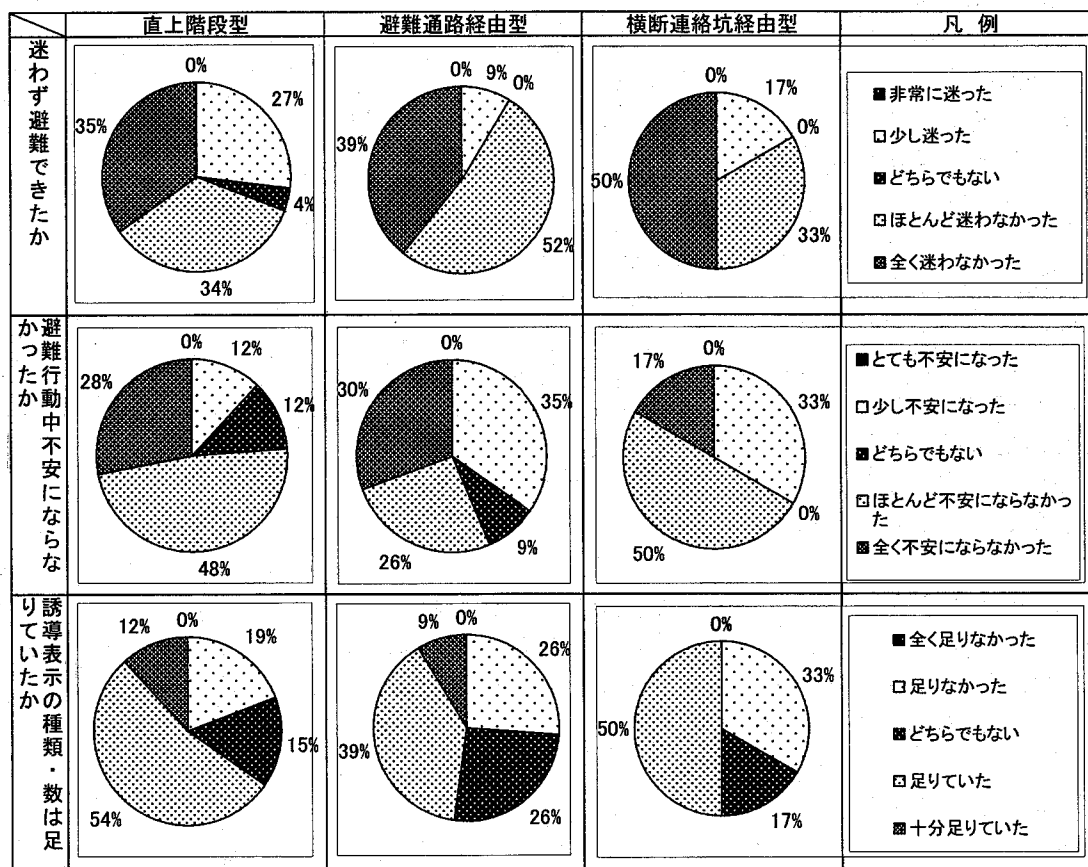


図-10 避難実験アンケート結果（抜粋）

実験後、利用者グループに行ったアンケートの結果、全体として80%程度の被験者が避難通路にて迷うことなく、また不安になることもなく避難できたとの回答があった。しかしながら、「少し迷った」「少し不安になった」との意見が20%程度あったことから、ここに着目した誘導表示の改良を行う必要があることがわかった（図-10）。

なお、避難形態のタイプでいえば、避難経路が短い「直上階段型」よりも避難経路が比較的長い「避難通路経由型」および「横断連絡坑経由型」において、避難中の不安感等に関する意見が多かった。

主な意見を以下に示す。

- ・避難誘導板について…小さい、側壁にあっても気づきにくい、地下階数表示は不要、など（写真-1, 2）
- ・避難経路案内図について…文字・図が小さい、現在地と避難方向の位置関係がわかりにくい、など（写真-3, 4）
- ・内照式誘導灯について…位置が高い、など（写真-3, 4）
- ・路面矢印表示について…少ない、距離表示が必要、など（写真-4）

これらの意見は、専門家や警察・消防グループからいただいた意見

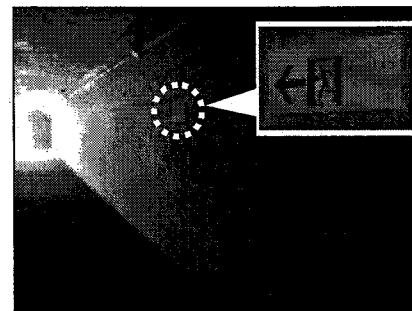


写真-1 避難誘導板（一般部）

とも共通する部分が多く、これらを踏まえて最終的なサイン計画を策定した。



写真-2 避難誘導及び
地下階案内板

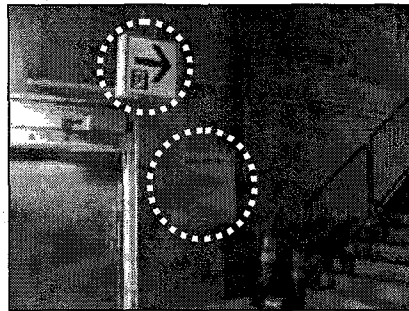


写真-3 避難経路案内図および
内照式誘導灯

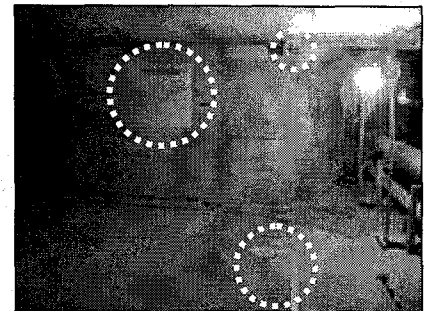


写真-4 避難経路案内図、内照式
誘導灯および路面矢印表示

具体的には、誘導標識板のサイズを大きくし（40cm×15cm → 80cm×30cm）、地下階表示を省略、また、内照式誘導灯については、建築限界の関係から高さを下げられないところについては、路面矢印表示を多用し、誘導標識板と併用することで、より分かりやすい誘導表示となるようにした（図-11～14）。

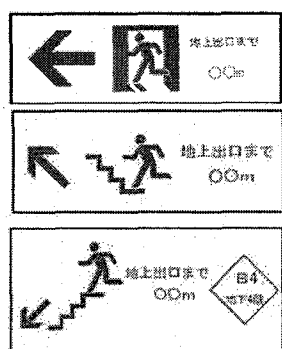


図-11 避難誘導板の例（当初案）

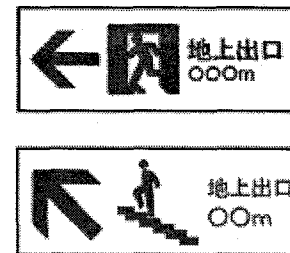


図-12 避難誘導板の例（最終案）

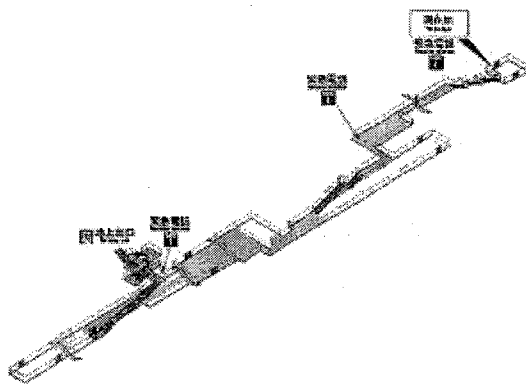


図-13 避難経路案内図（当初案）

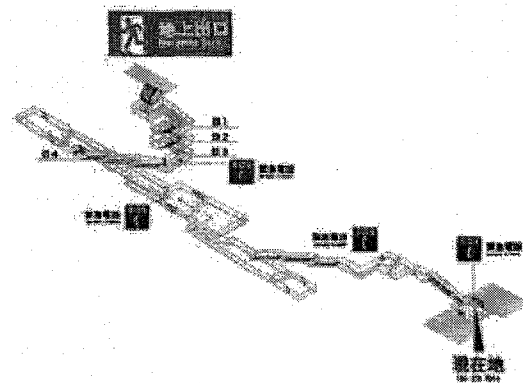


図-14 避難経路案内図（最終案）

4. おわりに

山手トンネルは平成19年12月に首都高5号池袋線から4号新宿線間の部分について供用開始したが、今後供用する3号渋谷線までの区間、さらにはその延伸区間である中央環状品川線まで含めると、総延長約19kmの超長大都市内道路トンネルとなる。このトンネルを安全かつ快適に運用できるよう、今回供用した区間の運用実績を踏まえ、今後も更なる防災安全対策について検討していきたい。

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「首都高速道路における都市内長大トンネルの防災安全に関する調査研究委員会」委員の皆様方に，感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡田知朗，岡野孝司，長谷川勉：首都高速中央環状新宿線トンネル防災安全に向けた交通運用方針，地下空間シンポジウム論文・報告集，第12巻，土木学会，pp.169-176，2007.1
- 2) 川田成彦，伊藤崇法，岡野孝司：首都高速中央環状新宿線のトンネル防災概要，建設の施工企画，No.690，pp.54-59，2007.8
- 3) 川田成彦，伊藤崇法，岡野孝司：首都高速道路におけるトンネル防災技術，土木施工，Vol. 48，No. 10，pp. 96-101，2007.10