

首都高速道路中央環状新宿線のトンネル防災概要

川田成彦・伊藤崇法・岡野孝司

2007年に部分開通を予定している首都高中央環状新宿線は、トンネル延長が約10kmあり、かつ、トンネル内に複数の分岐合流部を有するとともに、重交通が予想されている。本稿は、わが国において、これまでに前例のない規模の都市内長大トンネルである、中央環状新宿線におけるトンネル防災の基本的な考え方、構造物耐火及び設置する非常用施設の概要、火災初期段階における各設備の運用や交通運用方法、迅速・確実な避難誘導など、首都高速道路のトンネル防災安全への取り組みについて報告するものである。
キーワード：都市内長大トンネル、トンネル防災、耐火対策、非常用施設、換気運用、交通運用

1. はじめに

2007年12月に部分開通を予定している首都高中央環状新宿線は、交通量の多い幹線道路である山手通りの直下に位置し、トンネル延長が約10kmと、わが国の都市内道路トンネルとしては最大級の規模のものである。また、そのトンネル内には出入口やジャンクションなど、複数の分岐合流部を有する複雑な構造となっており、さらに、計画交通量としても約80,000台/日の重交通が予想されている(図-1)。

首都高速道路も多数の都市トンネルを有しているも

の、中央環状新宿線は前例のない大規模な都市内道路トンネルであることから、これまでにない、新しいトンネル防災対策を検討しなければならない状況にある。

本稿では、中央環状新宿線におけるトンネル防災の基本的な考え方についてまず述べ、次に構造物耐火及び設置する非常用施設の概要(ハード面の対応)、火災初期段階における各設備の運用や交通運用方法、迅速・確実な避難誘導(ソフト面の対応)など、首都高速道路におけるトンネル防災安全への取り組みについて報告する。

2. 中央環状新宿線トンネル防災の基本的な考え方

都市内長大トンネルである中央環状新宿線トンネルの特徴としては、①トンネル内に分岐合流部を有すること、縦断勾配の変化が大きいこと(複雑な線形)、②日平均交通量約80,000台の重交通が想定されること(都心部の迂回路であるため)などが挙げられる。

一般に首都高速道路においては、分岐合流部付近や渋滞末尾での事故率が高い傾向にあり、これらの双方の要因をもつ中央環状新宿線トンネルは、防災安全に対する配慮が一層重要となっている。

基本的に、トンネル内で火災が発生しても、負傷者を極力出すことなく火災を処理し、トンネル利用者の安全を確保するためには、過去の教訓からも以下の対応が不可欠である。



図-1 中央環状新宿線位置図

- ①通常時においても、事故防止及び火災拡大防止の観点から、トンネル内渋滞を低減させる交通運用
- ②迅速な火災検知・認知・判定と、換気・交通運用の綿密な連携、迅速・正確な関係機関との連絡体制
- ③避難環境を確保する発災時の換気運用
- ④発災後速やかにトンネル内への車両進入を禁止し、車両を排出するための、迅速な情報提供と交通運用
- ⑤迅速・確実な車外避難誘導

また、これらの前提として、トンネル構造物自体が十分な耐火性能を有することが必要である。

以下、これらの対応について、その概要を述べる。

3. トンネル構造物の耐火対策と設備概要

(1) トンネル構造物の耐火対策

道路トンネルの耐火対策は、大別すると構造物耐火と施設物耐火に分けられる。

一般にシールドトンネルは、一次覆工であるセグメントの防食や防水、施工誤差の修正、特に道路トンネルにおいては耐火などの目的で、二次覆工を施工している。しかし近年、経済性の観点と施工精度の向上から、二次覆工を施さないケースが多くなっている。

中央環状新宿線のシールドトンネルも二次覆工を施していないことから、何も対策を講じなければ、大規模なトンネル火災が発生した場合にセグメントのコンクリートが爆裂し、トンネルの耐力が極端に低下、最悪の場合、トンネルが崩壊する恐れもある。したがって、大規模なトンネル火災が発生した場合においても、トンネルの崩壊を防止し、避難環境と消火活動環境を確保できるよう、所定の耐火性能をトンネル構造物に持たせる必要がある。

首都高速道路では、ヨーロッパにおける大規模火災に対応した時間温度曲線の一つである RABT 曲線を耐火構造の設計に採用し、これに対応した耐火板・耐

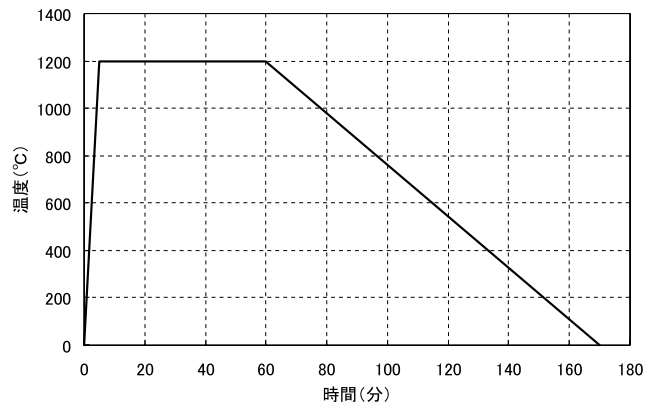


図-3 RABT 曲線

火吹き付けを施工している (図-2, 3) ²)。

なお、施設物耐火についても、非常用施設のケーブルに対する耐火、耐熱対策を使用目的に応じて行い、また重要設備の配線系統はケーブルの断線等を考慮して二系統とするなど、一部の機器が損壊しても他の機器への影響がないような対策を行っている。

(2) トンネル等級と設備概要

中央環状新宿線のトンネルには、トンネル防災安全のため、トンネル等級 AA に規定される施設を設置することとしている。併せて、交通制御及び避難誘導の迅速かつ正確な実施の支援に資する独自の設備を設置することとしている。

また、発災地点への早期到着を図る観点から、道路管理者として初めて、二輪車によるパトロール隊を導入する予定である (表-1)。

表-1 中央環状新宿線トンネルの防火施設等

トンネル非常用施設 (AA)	<ul style="list-style-type: none"> ・非常電話 ・押ボタン式通報装置 ・火災検知器 ・非常警報装置 ・信号機 ・消火器 ・泡消火栓 ・避難通路等 ・誘導表示板 ・排煙設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・給水栓 ・水噴霧設備 ・無線通信補助設備 ・ラジオ再放送設備 ・拡声放送設備 ・監視用テレビ装置 ・無停電電源設備 ・非常用予備発電設備 ・緊急車出入口 ・Uターン路
首都高速独自	<ul style="list-style-type: none"> ・非常口強調灯 ・トンネル内警報板 ・トンネル内信号機 ・交通異常事象検出装置 ・遮断機 ・バイク隊の導入 	

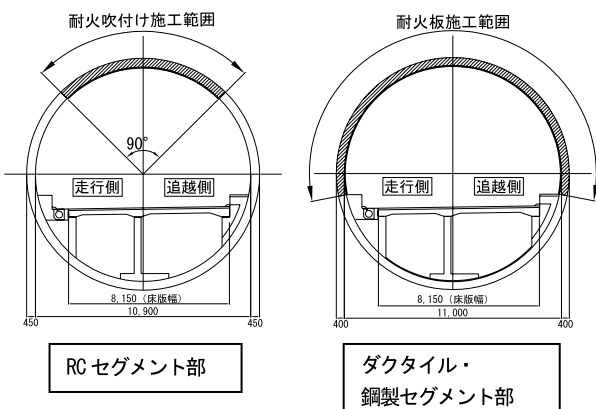


図-2 耐火材設置範囲

4. 火災の進行段階と初期における対応の基本的考え方

最近のトンネル火災の事例からの教訓として、どのような大規模火災であっても初期段階が存在する、ということが判明している。したがって、火災の初期段階において適切な対応をとることが、利用者を安全に避難させる上で重要である（表—2）。

表—2 火災の進行段階と対応

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

以下、火災の初期段階における対応について述べる。

(1) 火災の早期検知（検知・認知・判定）

火災の検知・認知・判定は、火災時対応の最初の施策であり、利用者の早期避難やその後の消防活動に大きく影響する。利用者が早期に避難を完了するためにはできるだけ避難時間を確保することが重要であり、そのためにはできるだけ迅速に火災の判定を行うことが重要である。

従来から首都高速道路のトンネルは、非常用施設（火災検知器、非常電話など）や交通管制施設（CCTV画像など）により24時間の監視体制を行っているが、中央環状新宿線では、当該トンネル区間だけで約380台のCCTVカメラが新しく設置される。



図—4 画像処理に用いるCCTV画像の例

この膨大な数のカメラから送られてくる情報を効率的にかつ安全に活用するために、中央環状新宿線では、交通の異常な状態（停止、低速、避走）をCCTV映像の画像処理によって自動検出する交通異常事象検出システムを導入し、交通管制員の負荷を軽減することとしている（図—4）。

なお、CCTV画像の画像処理によって交通異常事象を検出するシステムは以前から存在したが、都市高速道路トンネル特有の条件（①渋滞が頻発する、②分合流がある、③トンネル内空高さが低いなど、画角が制限されている既存CCTVカメラの利用）の下では、渋滞内や分合流部で誤報が頻発していた。そこで、2002年より首都高千代田トンネルにて新しいシステムのフィールド実験に着手し、新たなアルゴリズムの導入とパラメータの改良を行うことで画像判定精度を向上させるとともに、実際の交通管制業務を行う管制員との、マン・マシンインターフェースを改良することにより、交通異常事象を早期検出するシステムとして十分な精度を確保することができた。

(2) 換気による避難環境の確保

トンネル火災には、前述のように比較的規模が小さく避難行動が可能な火災初期段階と、火災の規模が大きく発達した火災後期段階があることがわかっている。

火災の初期段階の換気運用は、利用者の避難環境を向上させるために行い、火災後期段階の換気運用は、消防活動支援のために行なう。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、交通状態により異なる。

横流換気方式を採用している中央環状新宿線では、交通状態、火災段階に応じた火災時の効果的な換気運用の基本的な考え方を以下のように整理している。

(a) 火災初期段階

①先詰まり交通時（一方向交通）

先詰まり交通状態においてトンネル内火災が発生した場合、火災地点より下流側（前方）では、既に車両の滞留が生じており、火災地点より上流側（後方）では、火災により進路を断たれた車両が、火災地点を先頭に滞留することとなる。

したがって、火災地点上流側と下流側の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、火災地点上流側と下流側の両方への熱や煙の影響を極力回避するよう、縦流風速を低風速化し、極力0m/sを維持するよう横流換気をアンバランスに運転を

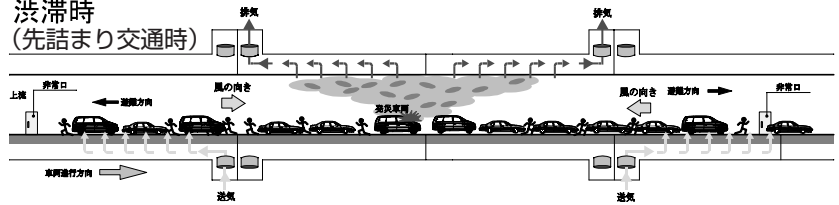


排煙運転切替

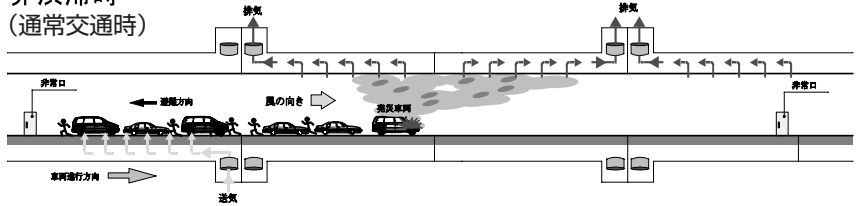


【火災初期段階】

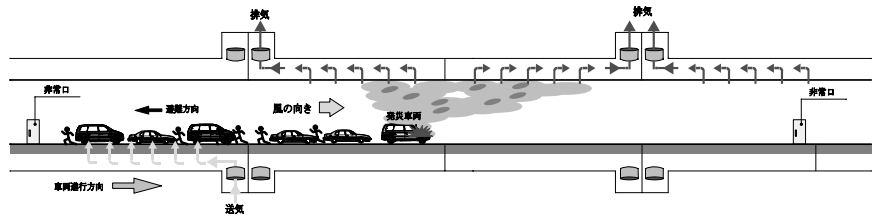
渋滞時
(先詰まり交通時)



非渋滞時
(通常交通時)



【火災後期段階】



図—5 火災発生時の換気運用イメージ

行う。

なお、火災地点における換気運転は必ず排気運転を行う(図—5)。

②通常交通時(一方向交通)

通常交通状態においてトンネル内火災が発生した場合、火災地点より下流側では、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、火災により進路を断たれた車両が、火災地点を先頭に滞留することとなる。

したがって、火災地点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するとともに、火災地点下流側を走行している車両に極力影響を及ぼさない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、火災地点下流側への煙の移動速度が早くなり過ぎないように、縦流風速を2~3m/s程度に維持するように横流換気をアンバランスに運転を行う。

なお、火災地点における換気運転は必ず排気運転を行う(図—5)。

(b) 火災後期段階

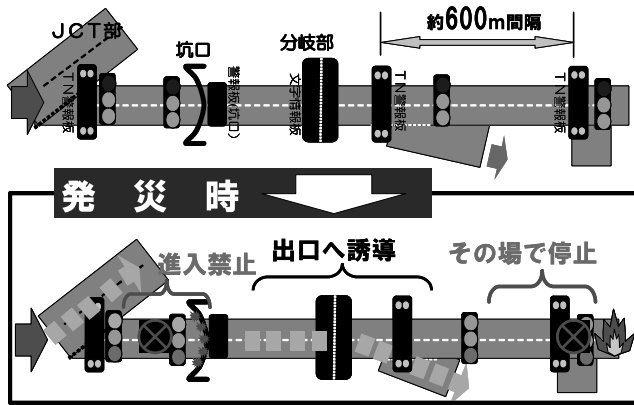
先詰まり交通、通常交通のいずれの場合であっても、消防隊は、火災地点上流側からトンネル内に進入して火災現場に向かうため、火災地点上流側からの消防活動環境を確保することを目的とした換気運用を行う必要がある。具体的には、火災地点上流側への熱や煙の影響を極力回避するため、火災地点下流側に煙を流すよう、火災地点上下流の横流換気をアンバランスに運転する。

なお、火災地点における換気運転は必ず排気運転を行う(図—5)。

(3) 迅速な情報提供と交通運用

前述したとおり、トンネル内で発災した場合、トンネル内への車両の進入を禁止し、併せてトンネル内の車両をできるだけ早く排出するような交通運用を行う。

発災直後の車両誘導にあつては、これまでのトンネル内ラジオ放送緊急割込方法に加え、従来、トンネル



図一六 各種情報板設置・運用イメージ

坑口のみを設置している信号機及び情報板を、トンネル内分岐部，トンネル内Uターン路部，他路線JCT分岐部にも設置して情報提供することにより，火災発生初期段階の車両誘導を行うことを計画中である（図一六）。

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。

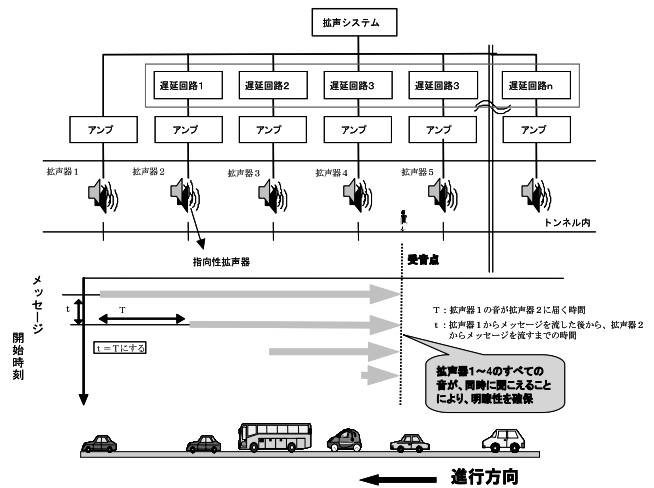
- ①メッセージの表示方法は，点滅表示などにより誘目性の高いものがよい。
- ②「ここで止まれ」「ここで出よ」などドライバーが行うべき行動を直接示すメッセージがよい。
- ③同じ情報を複数箇所で提供することにより，情報の信頼性が高まる。

これらの結果を踏まえ，今後効果的なメッセージを検討していく予定である。

(4) 迅速・確実な車外避難誘導

車外避難誘導では，最終的な目的地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へできるだけ早期に誘導することが，利用者の避難安全上最も重要である。中央環状新宿線トンネルでは，トンネル内の非常口を最大350m間隔で設置し，非常口への利用者の避難完了目標を火災発生後10分以内としている。

まず利用者は，車内でラジオ緊急割込放送や情報板を確認して避難行動を起こし，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を確認できるよう，非常口位置を強調する設備（非常口強調灯）を設置する予定である。



図一七 拡声放送（時間遅延の原理）

拡声放送設備の運用においては，トンネル内の音場特性（残響音が非常に長いこと，距離減衰が小さい）により，複数のスピーカーを用いると明瞭度の確保が困難であることから，中央環状新宿線では，大型スタジアム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とにより，音の明瞭性を確保することとしている（図一七）。

(5) その他

事故や火災が発生した際，トンネル利用者自身に率先して避難行動を起こしてもらうことが，トンネル防災安全性の向上に非常に大きな役割を占めるというまでもない。

したがって，中央環状新宿線の供用に向けて，首都高速道路の利用者の約3割を占めるプロドライバーをターゲットとした広報活動の強化など効果的なトンネル防災安全に関する広報・啓発活動を行っていく予定である。

5. おわりに

国内外のトンネル火災事故から得られた教訓をもとに，中央環状新宿線という都市内長大トンネルの防災安全について検討してきた結果を紹介した。

中央環状新宿線は，2007年から段階的な供用を予定しているところであり，工事も最終段階となっている。トンネル内に設置した防災設備の機能を十分に生かせるシステムを構築するとともに，発災時に十分に使いこなせるよう，今後供用に向けて必要な実験及び訓練を行うとともに，ドライバーへの啓発活動を実施していきたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 岡野孝司・川田成彦：中央環状新宿線のトンネル防災安全の取り組み，自動車技術，vol.61，No.5，pp.70-77，2007.5
- 2) 小西由人・濱野裕巳・近藤由也・屋代 勉：道路シールドトンネルにおける耐火工について～首都高速中央環状新宿線～，地下空間シンポジウム論文・報告集，第12巻，土木学会 地下空間研究委員会，pp.259-266，2007.1



[筆者紹介]

川田 成彦（かわだ なるひこ）
首都高速道路(株) 技術管理室 設計技術グループ



伊藤 崇法（いとう たかのり）
首都高速道路(株) 技術管理室 設計技術グループ



岡野 孝司（おかの たかし）
首都高速道路(株) 保全・交通部 管制技術グループ

建設の施工企画 2006年バックナンバー

平成18年1月号（第671号）～平成18年12月号（第682号）

1月号（第671号）
夢特集

5月号（第675号）
施工現場の安全特集

10月号（第680号）
情報化施工とIT特集

2月号（第672号）
環境特集 温暖化防止に向けて（大気汚染防止・軽減）特集

6月号（第676号）
リサイクル特集

11月号（第681号）
ロボット・無人化施工特集

3月号（第673号）
環境特集 環境改善（水質浄化・土壌浄化）

7月号（第677号）
防災特集

12月号（第682号）
基礎工事特集

4月号（第674号）
特集 品確法 公共工事の品質確保

8月号（第678号）
標準化特集

■体裁 A4判
■定価 各1部840円
(本体800円)

9月号（第679号）
維持管理・延命化・長寿命化特集

■送料 100円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>