

トンネル非常口扉 耐火検討

Refractory study of tunnel emergency exit door

藤井 健司^{1*}・深山 大介²

Kenji FUJII^{1*}, Daisuke MIYAMA²

The tunnel emergency exit door, an important role in separating the (evacuation passage) safety and space (carriageway area) fire accident occurred when space is required. The performance and the like, it is intended to comply with building codes in the internal standards, which can withstand ISO fire curve is required. On the other hand, the structure inside the tunnel (refractory Engineering), the performance that can withstand fire RABT curve is required in the internal standards, it is assumed that the fire curves are different.

In this paper, it is intended to report the study overview of the measures or the like for By analyzing the applicable law, and to confirm the performance by the fire-resistance test of the tunnel emergency exit door, to improve the evacuation safety of customers accident occurred at the time.

Key Words : road tunnels , tunnel fire disaster , Emergency exit doors , Fire-resistance test , Refractory simulation

1. はじめに

(1) 路線概要 ～ 山手トンネル（湾岸線～渋谷線）

通常，左側通行の道路では，進行方向の右側に反対車線があるが，山手トンネル（湾岸線～渋谷線）では，トンネル左右を逆転させ，進行方向左側に反対車線が築造される．これにより，走行車線側から合流できるようになっただけでなく，緊急時に車を降りて反対側トンネルへ避難連絡坑で避難する際，右側車線（追越車線）を横断することなく，「火災時には左側の避難路へ逃げる」という心理をそのままに，左側車線から路肩スペースを経て反対側トンネルへ避難することが可能となった（図-1）（図-2）．

だが，トンネル両端部では，左側通行となる既存路線と接続させるために，トンネルが上下重複するなど，左右並列しない（＝反対側トンネルへ避難できない）区間が約1,000mある．この区間の避難路については，トンネル内の縦断方向に耐火壁で区画した独立避難通路を設置している（図-3）．

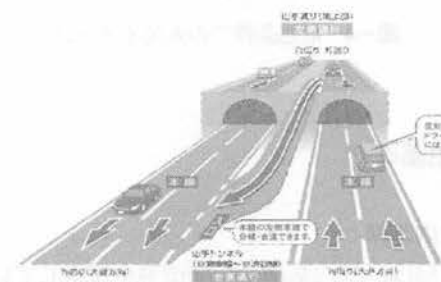


図-1 右側通行 イメージ

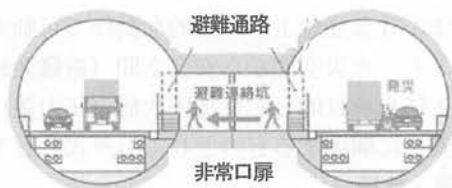


図-2 トンネル右側通行区間 避難イメージ



図-3 独立避難通路部 イメージ（左：全体 右：拡大）

キーワード：道路トンネル，トンネル火災，非常口扉，耐火試験，耐火シミュレーション

¹非会員 首都高速道路株式会社 技術部 Engineering Department, Metropolitan Expressway Company Limited (E-mail:k.fujii6121@shutoko.jp)

¹正会員 首都高速道路株式会社 技術部 Engineering Department, Metropolitan Expressway Company Limited

(2) 課題 ～ 独立避難通路部

トンネル非常口扉（以下：非常口扉）は、独立避難通路壁と同一面に設置されており、火災が非常口部の直近で起きた場合、非常口扉は耐火壁と同じ熱環境に晒されることになる。また、地上への避難階段は独立避難通路の片端部のみ設置されているため、避難距離は約1,000mの一方避難となる。

もし、火災が最悪条件（＝地上への避難階段付近の非常口扉の直近）で起きた場合、最終避難者が当該非常口扉の前を通過するのは火災発生から27分後と想定される（図 - 4）。

そこで、非常口扉の直近での火災時に扉として必要な機能が確保されるか。また、最悪条件をモデルとして、火災で高温となった非常口扉からの熱影響により安全な避難を阻害しないか検証する。

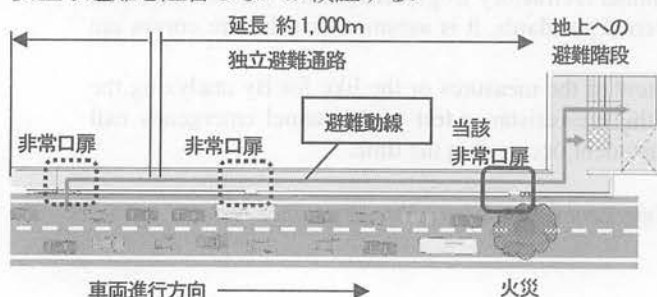


図-4 最悪条件での火災イメージ

2. 適用基準

(1) 社内基準

非常口扉は、社内基準にて構造等を規定している。

a) 構造

開扉方法が社会通念上、常識的な動作で可動する必要があること。火災空間から安全空間（避難通路）への煙の侵入防止を目的とした加圧状態（圧力差）においても、安全に開閉するものとして引戸式としている。

b) 材質・仕様

建築基準法施行令第112条第16項に定める特定防火設備と同等以上の性能としており、材質はステンレスとしている。面材厚は1.5mm、内部には断熱材としてケイ酸カルシウム板（厚25mm）を充填する仕様としている。

c) 要求性能

安全空間の加圧状態を維持するために自動閉扉するものとしている。なお、火災時にも確実に作動するよう外部電源等の動力を要しない、機械的な自動閉扉装置を設置するものとしている。

また、火災時の煙や炎を遮断するだけでなく、熱変形による開閉機能の阻害及び避難通路内の加圧空気が車道側へ漏洩することに対しても配慮するとしている。

(2) 準拠基準 ～ 建築基準法

a) 概要

建築基準法施行令第112条第16項では、防火区画に用いる設備として特定防火設備を規定している。

特定防火設備は、火災による遮煙及び遮炎性能を有しているものであることに加えて、「国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの（仕様規定）」または「国土交通大臣の認定を受けたもの（耐火試験による性能規定）」とされている。

なお、当社の非常口扉は、構造方法（仕様規定）から決定しており、耐火試験による性能確認は未実施である。

b) 構造方法 ～ 仕様規定

建築基準法施行令において、国土交通大臣が定める主な構造方法は、以下①～③である。

なお、当社の非常口扉は①を基本として断熱材を付加充填した高耐火仕様である。

【主な構造方法】

- ①骨組を鉄製とし、両面にそれぞれ厚0.5mm以上の鉄板を張った防火戸
- ②鉄製で鉄板の厚1.5mm以上の防火戸または防火ダンパー
- ③鉄骨コンクリート製または鉄筋コンクリート製で厚3.5cm以上の戸

c) 認定方法 ～ 性能規定

建築基準法施行令において、国土交通大臣から特定防火設備の認定を受けるには、耐火試験にて以下①～③すべての判定基準を満たす必要がある。

【試験方法】

JIS A1311（建築用防火戸の防火試験方法より、壁炉全面に設置した試験体をISOに規定されている標準加熱温度曲線（最高温度945℃）にて60分間の加熱を行う（図 - 5）。

【判定基準】

- ①非加熱側へ10秒を超えて継続する火災の噴出がないこと。
- ②非加熱面で10秒を超えて継続する発炎がないこと。
- ③火災が通る亀裂等の損傷及び隙間を生じないこと。

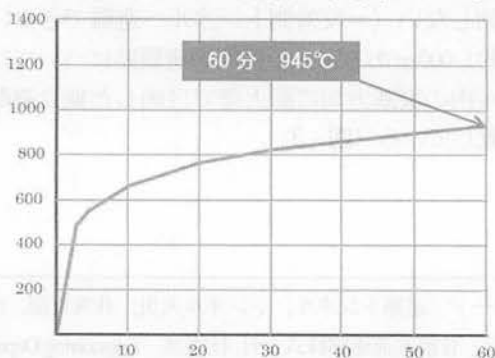


図-5 ISOに規定されている標準加熱温度曲線

(3) 参考基準

トンネル構造体は当社基準にて、火災時及び火災後の主な要求性能として、以下①～③を満たす必要がある。

耐火設計に用いる火災温度曲線は、RABTを採用しており、要求性能の照査は実験により確認することを原則としている(図-6)。

RABTはドイツにおける道路トンネル設備と運用に関する指針²⁾である。発火後5分で1200℃に達し継続時間は60分と定義されている。

【要求性能】

- ①火災時に火災前と同等の部材耐力を有しているか、あるいは火災によって部材耐力が低下したとしてもトンネルが崩壊に至らないこと。
- ②周辺環境に影響を及ぼす損傷等を生じないこと。
- ③利用者避難及び消火活動に支障を及ぼさないこと。

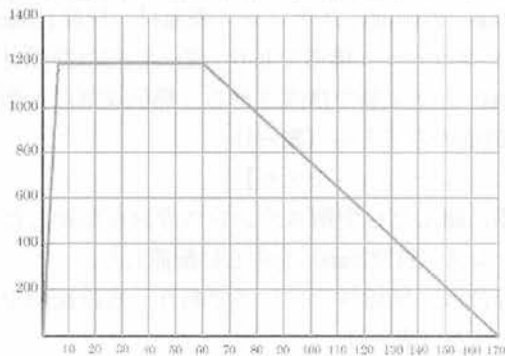


図-6 RABT 火災曲線

3. 耐火試験

(1) 背景

非常口扉は、社内基準より国土交通大臣が定める構造方法を基本とした高耐火仕様としており、ISOに規定される標準加熱温度曲線において、特定防火設備の認定条件を満足するものと考えられるが、その一方、トンネル構造体は、RABTに耐え得る耐火性能が要求されており、同一空間にも係わらず異なる火災曲線で性能評価を行っている。

そこで、より厳しい条件のRABTにて非常口扉を加熱した際にも、特定防火設備の認定条件を満たすか耐火試験にて確認する。

(2) 試験方法

試験では、防火状況を観察するとともに「表面温度」、「炉内温度」及び「炉内圧力」を測定した。

なお、実際の避難通路内は、車道空間に比べて150 Paの正圧状態にあるが、本試験では圧力差を5Paに設定した。(写真-1)

(3) 試験結果 ～ 防火状況

非常口扉は、脱落・崩壊することなく防火区画が維持された。社内基準として要求される性能「発災時における煙、炎の遮断」についても確保された。

また、特定防火設備の認定基準となる3項目についても概ね満足した。

炉内温度はRABTが再現され、炉内圧力は設定通りの圧力差が確保された。

【時間経過による状態観察】

12分～：上下部の“反り”(写真-2)

17分：手すりの脱落(写真-3)(写真-4)

150分～：中心部の“はらみ”(写真-5)

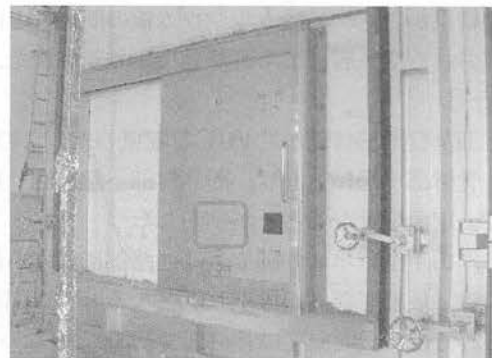


写真-1 試験体



写真-2 上下部の反り

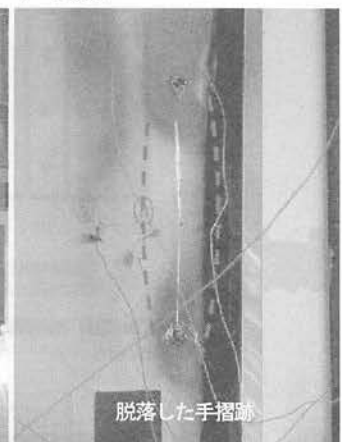


写真-3 手すりの脱落

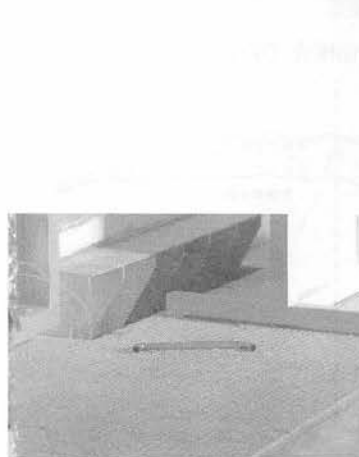


写真-4 脱落した手すり

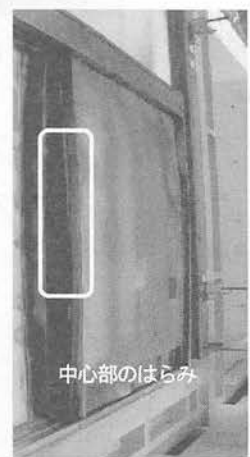


写真-5 中心部のはらみ

(4) 試験結果 ～ 表面温度

非常口扉に充填される断熱材性能を確認するため、ステンレス骨材部（1～6）と断熱材部（7～12）の表面に熱電対を設置し温度を計測した（図 - 7）。

【～25分】

RABTによる急激な加熱に伴い、熱伝導率の高いステンレス骨材部は直線的に急上昇した。断熱材部は約100℃まで骨材部と同様に上昇したものの、若干の平衡を保った後、骨材部と同様に直線的に上昇した。

【25～40分】

炉内は1,200℃で維持された状態となり、骨材部及び断熱材部も概ね一定温度で維持された（骨材部：約500℃、断熱材部：約430℃）。

この結果から、ケイ酸カルシウム板の断熱性と内部に形成される空気層による遮熱効果が確認された。

【40分～】

骨材部及び断熱材部が約460℃で収束した。この結果から、骨材部が熱橋となり、断熱材部へ熱が回り込み全体が一定温度となることが判明した。

なお、山手トンネルの独立避難通路部における最悪条件では、最終避難者が火点直近となる非常口部を通する27分後の表面温度は骨材部で約500℃となった

（図 - 8）（図 - 9）。

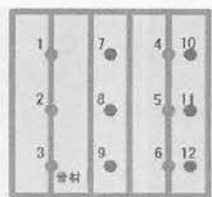


図-7 表面の熱電対

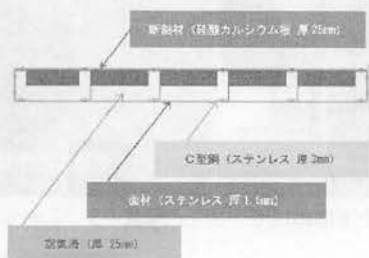


図-8 断面構成（平面）

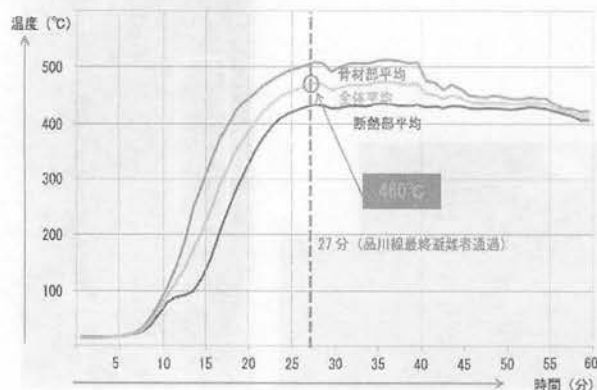


図-9 表面温度（60分間）

4. 耐火シミュレーション

(1) 背景

耐火試験の結果、非常口扉の表面温度は約500℃となることから、火点直近となる扉は、熱影響によりお客様の安全な避難を阻害する可能性のあることが判明した。また、避難通路内は加圧換気（一定風速：4.0m/S）されているが、耐火試験では加圧換気による冷却効果を踏まえた表面温度は計測できなかった。

そこで、加圧換気による冷却効果を考慮した耐火シミュレーションにより扉表面からの熱影響を検証する。

(2) 耐火シミュレーション

モデルは安全側となるよう設定した。

【標準仕様】

縦横に組んだC型鋼ステンレス骨材（材厚3mm、間隔250mm）の両面にステンレス表面材（材厚1.5mm）を貼ったフラッシュ構造であり、その内部は断熱材（材厚25mm）と空気層で構成される。熱伝達部はC型鋼骨材の底面のみである（表-1）。

【シミュレーションモデル】

縦横に組んだC型鋼ステンレス骨材を集約した無垢ステンレス（材厚25mm）を中心に配置した。

熱伝達部は、無垢ステンレスであり、当該箇所を検証対象とする（表-1）。

表-1 シミュレーションモデル

		標準仕様	シミュレーションモデル
縦断面	構成	断熱材(25mm)+空気層	ステンレス材(25mm) =全体(25mm)
	イメージ		
	断熱	○ (空気層による熱効果あり)	× (空気層による断熱効果なし)
横断面	構成	骨材:C型鋼ステンレス 縦横 250mm間隔	骨材:無垢ステンレス 中心集約
	イメージ		
	断熱	○ (熱伝達部:C型骨材底部)	× (熱伝達部:ステンレス全体)

(3) シミュレーション結果

表面温度は1,200℃となり、RABTによる加熱がそのまま扉の表面に伝達した。しかし、加圧換気の冷却効果により、温度は扉からの距離に応じて大きく減衰し、4cmの離隔で避難通路内の全体平均温度となる40℃以下となることが判明した。この現象は、焚火に手をかざしても風が吹いたときには暖かさを感じられないことと同様の現象である（図 - 10）（図 - 11）（図 - 12）。

6. 今後の方針

(1) 方針

耐火試験では、非常口扉が脱落・崩壊することなく安全空間として区画し、遮煙・遮炎性能が確保されたことを確認した。

耐火シミュレーションでは、非常口扉から4cm離れると避難通路内の全体平均温度となる40℃以下となることを検証。

建築物の総合防火設計法では、計算結果が安全基準値を満足することを算出した。

以上より、扉直近での火災時にも、熱影響による避難阻害は生じないことが確認されたが、お客様が高温となる非常口扉に誤って触れることのないようサイン等を表示し、更なる安全性の向上を図るものとする。

(2) サイン案

火災時にお客様が非常口扉に触れないようにする「分かりやすい表示」とすること。最高500℃となる非常口扉に表示しても溶けることなく判読できる「耐熱性」が求められる。

なお、サインに関しては今後の検討事項である。

また、建築物の特定防火設備の製造メーカーに非常口扉の断熱性能をヒアリングしたところ「火災により避難する際、高温となった非常口扉に触れる可能性はあるが、触れた場合に火傷はしても生命にかかることはないので、火災で数百度となる非常口扉に触っても怪我のないような過剰な仕様の設定はない」とのことである。

本検討では、非常口扉本体の断熱性能向上などのハード面での対応も一案としてあったが、耐火試験、耐火シミュレーション、総合防火設計法という多角的な検討により、サインなどのソフト面での対応とできたことは、発生確率の低い事項に対する有効策となったと考えている。なお、検討の成果は、今後の新規建設路線での導入だけでなく、既存路線への水平展開も必要と考えられる。

謝辞：本検討にあたり、有益なご助言・ご指導いただいた、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、耐火試験に協力いただいた三和シャッター工業株式会社諸氏他にこの場を借りて感謝すると共に御礼を申し上げたい。

7. おわりに

今回の耐火試験のような非常口扉の表面温度となるには、同時に以下事象が発生する必要がある。

- ・非常口扉の直近でRABT規模の火災が生じること。
- ・非常口扉が火炎で直接（水平に向けて）炙られること。
- ・非常口扉が消火設備（水噴霧設備）の故障等により冷却されないこと。

これらが同時発生する確率は低いと思われるが、想定できる事象には対策が必要だろう。

参考文献

- 1) ZIV-TUNNEL : Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien fuer den Bau von Strassentunneln 1995, pp.15-17
- 2) 土開発技術研究センター：建築物の総合防火設計法，第3巻，pp.72-73
- 3) 玉越孝一，根本昌平，富田功：消防活動時における輻射熱と温度に関する調査研究 東京消防庁 消防科学研究所報 41号（平成16年），pp.8-15