

V-14 長大道路トンネルの安全性に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 15～平 17

担当チーム：トンネルチーム

研究担当者：真下 英人，砂金 伸治

【要旨】

近年、海外の長大トンネルにおいて大規模な火災事故が相次いで発生しており、これらの事故からの教訓として火災発生直後におけるトンネル利用者に対する避難環境の確保の重要性が再認識されている。避難環境を確実に確保するには避難通路の設置が必要となるが、一般的な方法である本線と別に避難坑を設ける方法は、建設コストが高いために設置できるトンネルは限定されており、経済的に避難通路を確保する方法が求められている。

本研究では、トンネル本線の断面を通常よりも若干大きく掘削し、側方の余空間と車道との間に隔壁を設けることにより車道から分離される空間を、また、歩道が設置されるトンネルについては歩道と車道との間に隔壁を設けて歩道を避難通路として活用する方策について検討を行った。また、IT 技術などを活用することによるトンネル内火災時における避難誘導等に関する安全対策の検討を行った。

キーワード：トンネル，非常用施設，避難通路，トンネル火災

1. はじめに

近年、海外の長大トンネルにおいて大規模な火災事故が相次いで発生しており、これらの事故からの教訓として火災発生直後におけるトンネル利用者に対する避難環境の確保の重要性が再認識されている。避難環境を確保する方法としては、換気設備の運転による排煙と本線トンネルとは隔離された避難通路の設置が挙げられるが、我が国の長大トンネルの大半で採用されている縦流換気方式の対面通行トンネルの場合は、火災時においては火災発生地点の両側に車が滞留するために初期の避難段階では煙を一方に送り出すことができず、換気設備の運転による排煙を行うことはできない。このため、避難環境を確実に確保するには避難通路の設置が必要となるが、一般的な方法である本線と別に避難坑を設ける方法は、建設コストが高いために設置できるトンネルは限定されており、経済的に避難通路を確保する方法が求められている。また、トンネル内火災時には、避難環境の確保に加えて情報伝達によるトンネル利用者の避難誘導やトンネル内への進入防止も重要な役割を果たしており、最近の IT 技術などの中にはこれらへの活用が期待できる技術が現れていることからトンネルの安全対策への適用性についても検討を行う必要がある。

本研究では、縦流換気方式が採用される対面通行

の長大トンネルに避難通路を経済的に設置する方法として、トンネル本線の断面を通常よりも若干大きく掘削し、側方の余空間と車道との間に隔壁を設けることにより車道から分離される空間を、又、歩道が設置されるトンネルについては歩道と車道との間に隔壁を設けて歩道を避難通路として活用する方策について検討を行った。また、IT 技術などを活用した場合のトンネル内の避難誘導等に関する安全対策の検討を行った。

2. トンネル本線内に設置する避難通路の耐熱対策

2.1 避難通路をトンネル本線内に設置した場合に要求される構造的な性能の検討

本章では、長大道路トンネルの防災施設のうち、特に避難通路をトンネル本線内に設置した場合について、その形状や構造に関して要求される性能を検討した。避難通路の設置については、本線車道との間に隔壁を設けた構造が考えられる。また、トンネルに歩道が設置されている場合は、歩道の機能に避難通路の機能を付与することが考えられる。本検討では、対象トンネルと避難通路の設置方法により分類した以下の 4 ケースに対して、必要とされる性能を整理した。

表-2.1 検討ケース

No.	対象	歩道・避難通路の設置方法
1	新設	避難通路専用の区画設置
2	新設	歩道・避難通路兼用の区画設置
3	既設	避難通路専用の区画設置
4	既設	歩道・避難通路兼用の区画設置

(1) 新設トンネルに設置する場合

1) 幅員・建築限界

新設トンネルに避難通路専用の区画を設置する場合の必要性能は、避難するための幅員を確保することが基本となると考えられる。国内の現行法では「バリアフリー法」による「通路の有効幅：1.4m以上」、「建築物の火災安全設計指針」による「避難能力が劣る利用者がかなり見込まれる空間における避難経路の幅員：1.4m」、および「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説」の「避難連絡坑の幅員：1.5m以上、高さ2.1m以上」が参考となる。

また、非常口扉の開口については、「設計要領 日本道路公団」の「扉の開口は人道用避難連絡坑扉で幅1.35m・高さ2.0mを標準とする」、「トンネル非常用施設設置指針（案）首都高速道路公団」の「非常口扉の開口部は、有効寸法で幅1.2m×高さ1.9mを標準とし、幅0.9m×高さ1.9mを最小とする」が参考となる。

以上より、避難通路は幅員(1.5m)、建築限界高(2.1m)を確保するものとし、非常口扉の開口部は有効寸法で幅1.2m×高さ1.9mを確保することが望ましいと考えられる。

また、歩道・避難通路兼用の区画を設置する場合は「道路構造令」に規定された歩道の幅員である2.0m以上、また、建築限界高さとして2.5mの確保が必要になると考えられる。

2) 耐熱性

耐熱性に関する必要性能は、日本の建築基準法では、防火戸の耐熱時間と耐熱温度が特定防火設備(60分—945℃；旧甲種防火戸相当)の場合と、防火設備(20分—781℃；旧乙種防火戸相当)の場合とに分類されている。歩行速度を1m/sと仮定した場合、20分の耐熱性が確保できれば、避難距離は1200m以上となるため、防火設備相当の材料を用いれば隔壁が熱による損傷を受ける前に安全な場所まで避難することは可能と考えられる。しかし、避難開始までの時間のロスやトンネル内火災時には坑内が1000℃以上に達する場合もあることなどを考慮すると特定防火設備相当以上の性能を有することが望ましいと

考えられる。

3) 防煙

防煙に関する必要性能は避難者が煙等に巻き込まれない所まで避難するための避難時間内に、避難者の歩行が困難にならないことが望まれる。このため、道路トンネルにおける煙に関する避難環境評価の基準は、避難者の視点(路面から1.5m高)における煙の許容濃度を減光係数 $C_s=0.4$ (Lx/m)とし、実験やシミュレーションにより確認する必要があると考えられる。

4) 付属施設に関する性能

安全な避難を実施するためには、本線のみならず、避難通路における付属施設の設置について検討する必要がある。

避難通路専用の区画として考える場合、換気施設に関しては、避難通路は、通常時には人が通らないので、車道と同程度の環境が確保できれば良いと考えられる。

また、照明施設に関しては、安全な避難ができる照度を確保出来れば良いと考えられる。避難通路として必要な照度は、「トンネル非常用施設設置基準」では避難の安全性の観点から避難連絡坑で平均照度20Lx以上、避難坑・避難連絡で平均照度10Lx以上と規定されている。したがって、平均水平照度10～20Lx以上の確保が必要になると考えられる。

非常口扉は簡易な操作で確実に開くもので、一定時間内に自動的に閉まる構造とし、扉開表示信号を管理所に送信できるものが望ましいと考えられ、さらに必要に応じて換気機(送風機)により加圧し、避難通路内の圧力を本線よりも高くすることも考えられる。

歩道、避難通路兼用の区画として考える場合、換気施設に関しては、歩行者の安全性・歩行時間内に不快にならない程度の快適性を確保する必要がある。また、照明施設に関しては、安全・快適な歩行が確保できる照度を確保する必要があり、「立体横断施設技術基準」の「地下横断歩道の階段および通路」で照度50Lx以上の規定があることから、同程度の照度は必要とされることが考えられる。

(2) 既設トンネルに設置する場合

既設トンネルに避難通路専用の小トンネルを設置する場合の必要性能は、安全な避難が可能な最低限の幅員と建築限界を確保することが基本となると考えられ、安全に避難するための必要な幅員に関する規定などは前節で示したものが必要になると考えら

れる。

また、既設トンネルに歩道・避難通路兼用の区画を設置する場合においても、新設トンネルと同様に現行の道路構造令の歩道幅員を満足することが基本となる。ただし、トンネル供用時点と現在の道路構造令で規定される幅員に違い等がある場合には、最低限現状の歩道幅員と建築限界を確保することで現状のサービスが確保出来ることから、歩道幅員は現状と同じ幅員を確保すれば良いと考えられる。

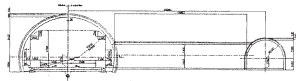
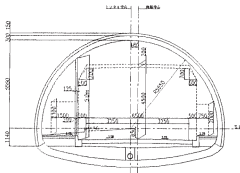
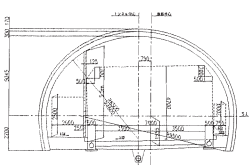
また、上記のいずれの場合においても、耐熱性や防煙、付属施設の性能に関しては(1)で示した内容と同程度の対応が求められると考えられる。

2.2 避難通路の形状や構造に関する検討

(1) 避難通路の緒元の検討

前章までの検討に基づき、避難通路専用の区画をトンネル内に設置する場合には、幅員は道路トンネル非常用施設設置基準で規定する避難連絡坑の1.5m以上を確保するものとする。歩道と避難通路を兼用する場合は、道路構造令で定める最低幅員の2.0mを確保するものとする。表-2.2に各検討ケースでの避難性等について整理したものを示す。

表-2.2 断面形状の検討

トンネル断面	概要	避難性
	別線避難坑を設置	・別線避難坑まで避難できれば、十分な避難通路の幅員が確保され、本線の火災、煙の影響を受けずに、避難が可能となる。
	本線内に避難通路専用小トンネル(幅1.5m)を設置	・避難通路の幅員が人のすれ違える程度の幅員が確保されており、避難通路として支障のない最低限の幅員が確保されている。
	本線内に歩道と避難通路を兼用した小トンネル(幅2.0m)を設置	・避難通路が一般の歩道と同程度の幅員が確保されており、避難通路として支障のない幅員が確保されている。

(2) 避難通路隔壁の材質検討

避難通路の隔壁の材質として、特定防火設備相当以上の耐熱性能を有する材料の特性について検討を行った。

耐熱性については、過去のトンネル火災の事例より、最高1200℃程度に達する場合もあるため、避難者のより高い安全性を確保するためにこれに相当す

る耐熱性が求められる。在来コンクリート壁については、RABT曲線(最高加熱温度1200℃)による加熱試験の実績があり、またALC板についても、JIS規格の4時間耐火により、1093℃まで耐えた試験データがありこれらの材料を用いれば、1200℃程度の過熱についても一定時間は耐えられるものと想定される。

耐衝撃性については、車両用防護柵と同程度の強度を求める場合には、最低限、路面から1m程度の高さまで在来コンクリート壁で計画する必要がある。また、各部材厚については、押出しセメント成型板は1時間耐火の基準を満たす最低厚さ、ALC板は、高さ5m以上を自材のみで支えることが可能な最低厚さ、在来コンクリート壁、PC板については、車両用防護柵標準仕様(日本道路協会)の基準で鉄筋を組む場合に必要となる最低厚さが必要となる。

トンネル避難通路の隔壁への使用を考えた場合、耐熱性、施工性に優れたALC板、または耐熱性、耐衝撃性に優れた在来コンクリートが適していると考えられる。よって、隔壁材料としては路面から1mまでの部分については在来コンクリート壁、路面から1m以上の部分については、在来コンクリート壁またはALC板を基本とするのが望ましいと考えられる。

(3) 避難扉の形式および耐火性

避難扉の形式については、避難性、耐火性より、開き戸、引き戸が考えられる。

開き戸は一般的に避難時の安全性(避難方向に扉が開く)、高温下での気密性を考慮した場合は最も望ましい。しかし、トンネル内の限られた歩行(避難)スペースで開き戸を使用した場合、扉が避難動線を遮ることになるため、幅の小さい扉の採用や、扉周辺の区画化等に配慮する必要がある。

トンネル内の限られた歩行(避難)スペースに配慮した場合、引き戸を使用することも考えられる。この場合、鉄製の扉を容易に開閉できるよう、上吊式の引き戸が前提となるが、開き戸と比較すると、遮煙性能等の気密性に劣る。

以上より、避難性や、避難通路幅の制限から、引き戸の避難扉を前提とすることが望ましいと考えられる。

避難扉の耐火性については、道路関連法令上、特に規定がないため、建築基準法上で防火設備として規定する基準を参考として検討した。

特定防火設備として扉を考える場合は骨組みを鉄

製とし、両面に厚さ 0.5mm 以上の鉄板を貼った防火戸が一般的である。また、防火設備として考える場合は、手製で鉄板の厚さが 0.8mm 以上 1.5mm 未満で、開口部（窓）は鉄と網入りガラスで造られる構造が一般的となる。

(4) 歩道と兼用する場合の一般開口部の形状の検討

避難通路を歩道と兼用する場合、通路の防犯性に配慮する必要があるため、避難通路隔壁に視認性を確保する開口部を設置することが望ましく、開口部の形状、材質等について検討を行う必要がある。

形状としては、耐火性、防煙性を考慮した場合、開口部を、隔壁の腰壁部分または、隔壁の低い部分に限定的に設置することが考えられる。歩行者の防犯性に配慮し、開口部の形状としては、腰壁部を開口とする方法や、一定間隔で、開口部を設置する方法等が考えられる。

材質としては、ポリカーボネート、アクリル、網入り板ガラス、耐火ガラス等が考えられるが、避難通路隔壁と同等の耐熱性能を有する耐火ガラスの使用が望ましいと考えられる。この場合、他の材質と比べ高コストとなるため、一定間隔で開口部を設置する等、設置箇所を制限する必要がある。

(5) 避難通路の設置コストに関する検討

本節では、歩道の有無別に 10 ケースについて断面と構造に対する検討を行い、概算事業費を比較した。表-2.3 に比較の対象ケースの一覧を示す。

本坑については、2 車線相当規模の通常の道路トンネルを想定した。

ケース 1~4 は、避難通路と歩道を兼用しない場合である。ケース 1 および 2 では、トンネル本線とは別に避難通路を別線で設置しつつ、避難坑の大きさが異なる場合を想定し、ケース 1 は車両が通行可能な場合であり、ケース 2 は人道専用とした場合である。ケース 3 および 4 では本線内に避難通路専用である幅 1.5m の区画を設置した場合である。ケース 3 と 4 の差異は、隔壁の材料を前者は ALC 板と RC 腰壁、後者は RC 壁とした場合である。

ケース 5~10 は、避難通路と歩道を兼用する場合である。ケース 5 および 6 では、歩道付きのトンネル本線とは別に避難通路を別線で設置しつつ、避難坑の大きさが異なる場合を想定し、ケース 5 は車両が通行可能な場合であり、ケース 6 は人道専用とした場合である。ケース 7~10 では本線内に歩道と避難通路兼用の区画を幅 2.0m で設置した場合である。

それぞれのケースの差異は隔壁の材質である。特に歩道の機能をもつことから防犯面での安全性を考え、ケース 7 および 8 では隔壁の一部に耐火ガラスを用いた場合を想定した。

表-2.3 設置コストの検討ケース

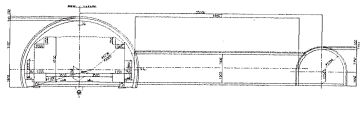
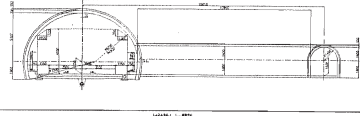
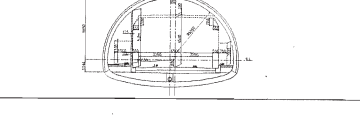
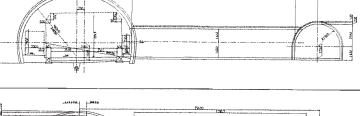
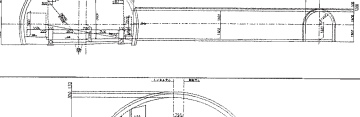
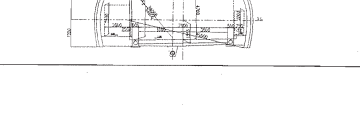
ケース	トンネル断面
1 避難坑車両通行可能	
歩道無 2 避難坑人道専用	
3 隔壁は ALC 板 4 隔壁は RC 壁	
歩道有 5 避難坑車両通行可能	
6 避難坑人道専用	
7 隔壁は ALC 板、耐火ガラス 8 隔壁は RC 壁、耐火ガラス 9 隔壁は ALC 板 10 隔壁は RC 壁	

図-2.1 に歩道なしの場合、図-2.2 に歩道ありの場合の設置コストの比較結果を示す。なお、新設については、本坑と避難設備（避難坑または隔壁付きの避難通路）の合算、既設改築は本坑のみが設置されている場合の避難設備の概算事業費を示している。また、費用の比較は地山等級を B とし当該施工延長が 1000m として仮定して算定した場合の結果を 1m あたりの費用の比として、ケース 1 およびケース 5 の避難坑を別線で設置する場合を 1.0 として示したものである。図-2.1 および図-2.2 の結果より、トンネルを新設する場合で、隔壁付きの避難通路を施工する場合は、避難坑を別に建設する場合よりも建設費が低下することが分かる。また、既設トンネルに避難通路を設置する場合は、避難坑を別に建設するよりも隔壁を設置した方がコストの縮減度合いが大きくなること分かる。また、隔壁の材料の差異を検討したが、コストの縮減には大きな影響を与える結果とはならなかった。

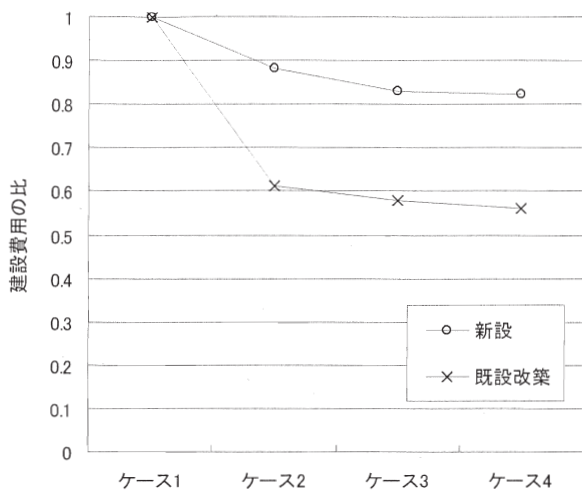


図-2.1 歩道なしの設置コストの比較

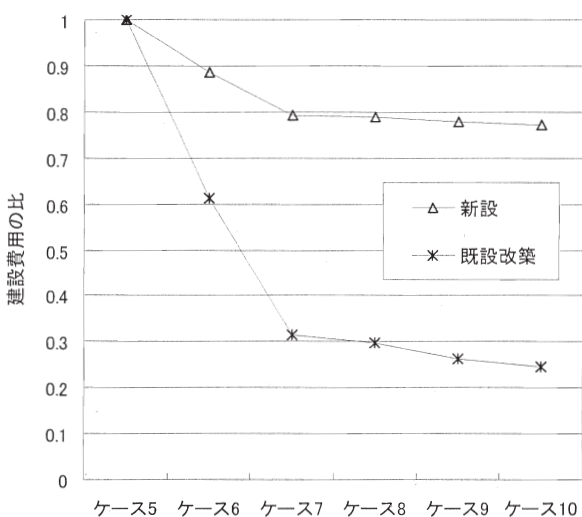


図-2.2 歩道ありの設置コストの比較

3. トンネル本線内に設置する避難通路への煙の遮断対策

3.1 避難通路への煙の遮断対策の検討

火災時の煙は高温となり、トンネル上部に逐次滞留していくことが多いが、避難通路の隔壁近くが発火点となった場合は、避難通路への煙の侵入が十分考えられ、その場合には、トンネル本線部と比較して気積の小さい避難通路部分は急激に煙が充満すると考えられる。このため、避難通路内への煙の進入のおそれがある場合には煙の拡散防止策を検討する必要がある。

煙を避難通路内に拡散させない方策として、一定区間ごとに防煙垂れ壁または防犯スクリーン（常時開放式）を設置し、一時的に煙を区画内で滞留させ

ておく方法が考えられる。

防煙垂れ壁による区画では、垂れ壁で囲う容積分しか煙を滞留できないため、区画内に滞留する煙を機械設備等により排出する必要がある。一方、常時開放式の防煙スクリーンによる方法では、区画エリア内で煙を遮煙することができる。

これらを比較すると、防煙スクリーンの場合は避難者の避難方向への視界の遮断による行き止まりの誤認やスクリーンの維持管理費用が増大することから、防煙垂れ壁の方が適していると考えられる。ただし、防煙垂れ壁の場合は、垂れ壁の容積分しか煙の滞留ができないことに配慮する必要がある。

3.2 避難通路の煙の挙動に関する解析的検討

(1) 解析の目的と諸条件

本節では隔壁を有するトンネル形状で、火災時の熱、煙がどのように挙動するか、非常口扉付近の避難環境はどうかについて把握することを目的としてトンネル火災を模擬した数値解析を実施した。

図-3.1 に隔壁の形状を示す。トンネル延長は1000m程度を想定し、通路幅は1.5m、避難扉の形状は幅1.2m、高さ1.9mとし、避難通路内への煙の進入状況を把握するために設置間隔は50mとした。表-3.1 に検討ケースを示す。解析ケースは合計7ケースである。なお、ケース3および4については、トンネル内を車両が走行し、火災が発生した時点でトンネル内を走行していた車両が停止することにより交通換気力がなくなることを把握するためのものである。また、ケース5～7は開口している避難扉の位置と箇所数が煙の挙動に与える影響を把握するもので、ケース5、6については垂れ壁の効果についても併せて把握するものである。

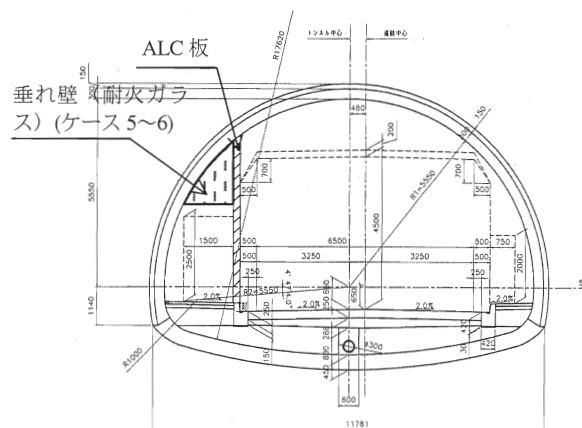


図-3.1 解析対象断面

表-3.1 検討ケース

ケース	縦断勾配	縦流風速	避難扉の開口	垂れ壁
1	0%	0m/s	全開口	無
2	3%	2m/s	全開口	無
3	0%	3.2m/s →0m/s	全開口	無
4	3%	4.4m/s →0m/s	全開口	無
5	3%	2m/s	火点から 650m	有
6	3%	2m/s	火点から 350、 400、450m	有
7	3%	2m/s	火点から 400～ 700m で 50m 間隔	無

数値解析の条件を以下に示す。

火災発生後 10 分程度の火災初期段階の火災規模は、EUREKA データおよび国際的なレベルから 30MW 相当の発熱速度曲線として図-3.2 のように設定した。なお、実際のシミュレーションでは、輻射等で失われる熱量を考慮し、熱気流に寄与する発熱速度を完全燃焼時総発熱量の 60%と想定してシミュレーションを行った。

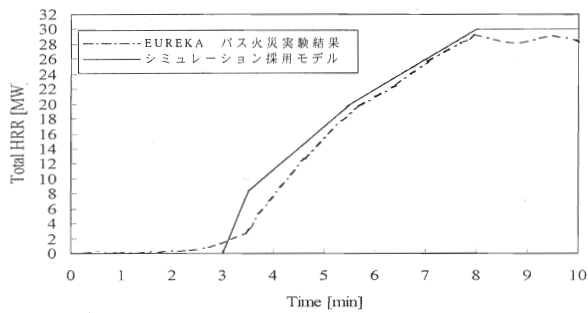


図-3.2 発熱速度曲線

交通条件としては、車両の寸法は、8 トントラック程度の形状を想定して 2.5m×2.7m×7m の直方体として配置し、車頭間隔 10m で直列配置とした。数値解析の条件として、解法として、速度場は 4 次精度中心差分、温度場は 3 次精度風上差分、濃度場は 1 次精度風上差分とした。また、境界条件としては内壁、外壁にそれぞれ熱伝達係数を与えた。また乱流モデルを採用し、モデルとしては LES モデル(スマゴリンスキー定数=0.15~0.2)を採用した。

煙の挙動の評価は、火災初期段階の 10 分間程度を対象に、避難にあたっての指標として煙濃度に着目し、煙濃度は建物内を熟知している者が、火災等により避難する場合の一般的な目安となっている Cs 濃度 0.4 程度を避難するための限界の目安として評価した。

(2) 解析結果

最初にケース 1 として、縦流風速 0m/s、勾配 0% の基本的条件で解析を実施したが、火災発生 10 分以内に Cs 濃度 0.4 の煙は避難者の視点である路面から 1.5m の高さに降下せず、避難通路にも煙はほとんど進入しない結果となった。

次にケース 2 として縦流風速 2m/s、勾配 3% の条件では、火災発生 7 分後以降に火点から 500m 離れた下流側区間において、煙の降下および避難扉からの煙の流入が確認された。図-3.3 にケース 2 の 7 分後の解析結果を示す。このことから、縦断勾配の存在とトンネル内の坑内風速の存在によっては、避難通路側に煙が流入する可能性があることが分かる。

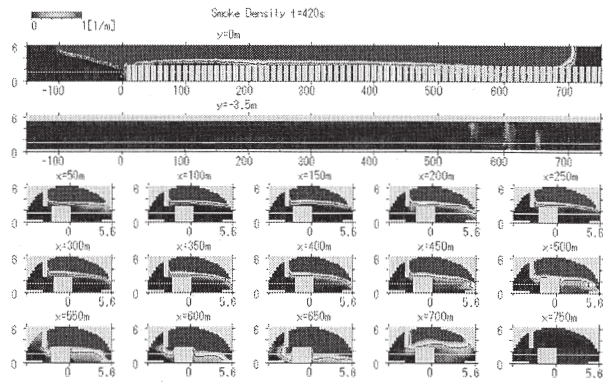


図-3.3 ケース 2・7分後の解析結果

ケース 3 については、ケース 1 と同様に煙の降下は見られなかった。

ケース 4 については、図-3.4 に 6 分後の解析結果を示すが、火災発生 6 分後以降に火点から 350m 離れた下流側区間において、煙の降下および避難扉からの煙の流入が確認された。これらのケースから、縦断勾配の存在により、避難通路側に煙が流入する可能性があることが分かる。

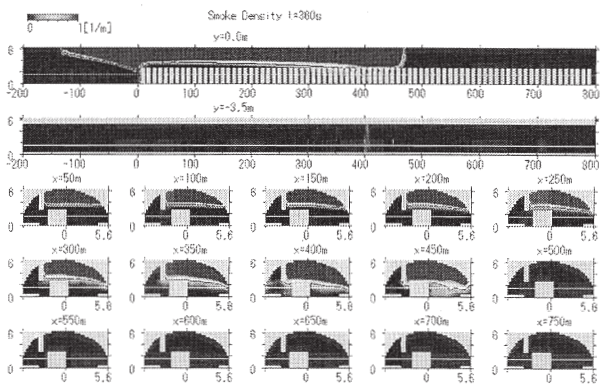


図-3.4 ケース 4・6分後の解析結果

また、ケース5では、ケース2の結果より、煙の降下が500m付近で見られたことから、扉開口位置を火点から650mの1箇所のみとして解析を実施するとともに、垂れ壁の効果を検討するために、避難通路内に垂れ壁を設置した。その結果、熱や煙の移動に伴う車道内圧力の低下により、相対的に避難通路の圧力が高くなると考えられ、避難通路内に煙の流入は見られなかった。ただし、避難通路内に煙の流入が見られなかったため、垂れ壁の効果は確認できなかった。

ケース5の結果を踏まえ、ケース6として、煙の降下が見られた火点から350・400・450mの3箇所の扉を開いた解析を実施した。図-3.5にケース6の6分後の解析結果を示す。これより、火災発生から6分後に避難通路内に煙の流入が確認された。

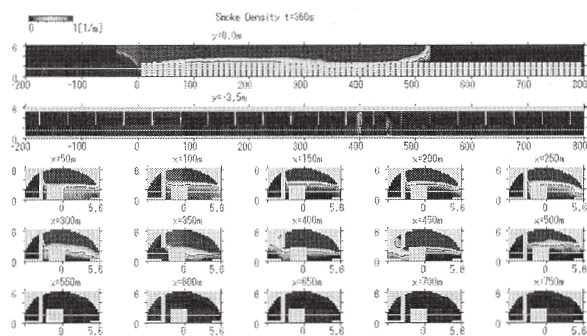


図-3.5 ケース6・6分後の解析結果

しかし、図-3.6に示すように8分後からは逆に車道内に煙が逆流する現象が見られた。これは車道内の熱の移動により圧力が低下し、相対的に避難通路の圧力が高くなったため煙が逆流したものと考えられる。なお、垂れ壁の効果については、多少煙の降下は見られたものの扉から避難通路内に流入した煙の拡散を抑制していることが確認された。

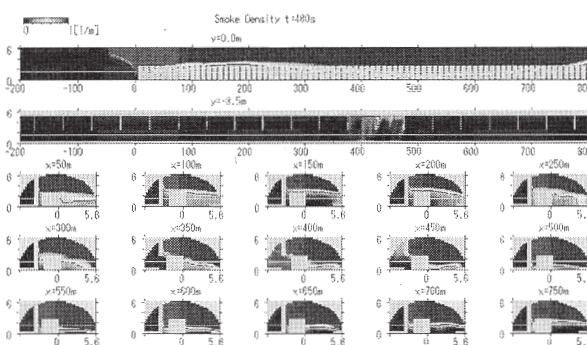


図-3.6 ケース6・8分後の解析結果

さらに、ケース7として、ケース6よりも開口している避難扉の箇所数を多くし、400~700mで50m間隔で開口した解析を実施した。図-3.7にケース7の10分後の解析結果を示す。その結果、ケース6と同様に火災発生から6分後に避難通路内に煙が流入し、一部の区間で避難環境が阻害される現象が見られたが、10分後から車道側に煙が逆流する現象が見られた。

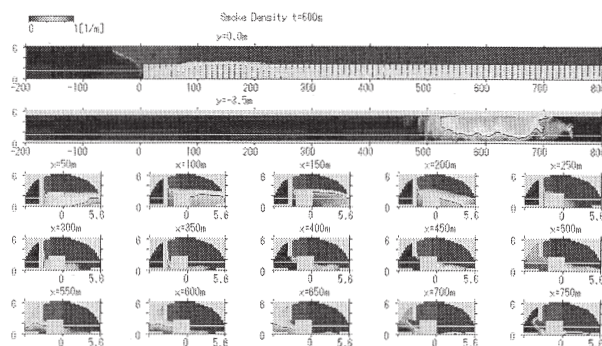


図-3.7 ケース7・10分後の解析結果

以上の結果より、縦断勾配がない場合は避難通路への煙の流入はほとんど認められなかったが、縦断勾配が3%程度で煙の降下が見られる区間においてすべての避難扉が開いた状態の場合には、避難通路内に流入する現象が発生した。しかし、縦断勾配が3%の場合でも開いている避難扉が限定されていれば煙が連続的に避難通路内に進入する可能性は低いことが明らかとなった。したがって、避難扉に短時間で自動的に閉鎖できる構造を採用すれば、煙の避難通路内への進入は避難行動の障害にならない程度に抑えることは可能になるものと考えられる。

4. トンネルの安全対策

道路トンネルでは、従来より、道路トンネル非常用施設設置基準に基づき、通報・警報設備、消火設備、避難誘導設備等が、交通量とトンネルの延長に応じて設置することが定められている。しかしながら、トンネル内での事故や火災の発生時には、トンネル利用者が早期に避難行動をとることや、二次的災害の防止が重要となるため、避難行動開始、トンネル内への自動車等の進入防止のための情報伝達手段の高度化が望まれている。

情報提供の手段としては、近年、IT技術を用いた道路交通の高度化に対する取り組みが進みつつあるため、本章では、VICSなどの最新技術の動向を調査し、道路トンネルへの活用方法と実際に導入する

に当たっての課題について検討を行った。

その結果、道路トンネルの防災に対してIT技術を活用した場合は以下のような活用方法が考えられることが明らかとなった。

- ① トンネル内での事故発生時の二次的災害の防止手段として、CCTVカメラによるトンネル内の状況監視や画像認識技術による事故の検知を行い、これらから得られた事故発生に関する情報を坑口表示板やVICS車載器に向けて流す等の対応が考えられる。
- ② トンネル内での火災発生など、避難が必要となる状況下で、トンネル内に複数設置するアンテナ等から車の位置を把握し、車の位置に応じて避難すべき方向などを利用者に伝達する対応が考えられる。

一方、これらの導入を実現化するためには、以下の課題の解決が望まれる。

- ① 現状では交通渋滞情報については、5分間隔で更新されるが、トンネル防災に対しては、これらの間隔を極めて小さくする必要がある。
- ② 現在のVICSシステムでは、緊急メッセージ情報や注意警戒情報が準備されているが、トンネルに対応した情報が用意されていないため、トンネル内での火災発生などを示すシンボルを規定するとともに表示ができるようにする必要がある。
- ③ トンネル内の異常発生地点と相対的位置に対して最適情報を提供するため、トンネルを複数の区域に分割し、各区域で情報発信手段を備える必要がある。また、対面通行の長大トンネルでは、電波情報の発信を車線毎に区切って実施する必要がある。

現時点では、トンネルの非常時における情報伝達手段としてIT技術を即座に適用するためには課題も多いが、適用のためには実証実験を含めて検討を行う必要がある。

5. 本研究により得られた成果

本研究より、以下の結果が得られた。

- 1) 避難通路をトンネル本線内に隔壁を用いることにより設置する場合、隔壁の材質としては、耐熱性、施工性に優れたALC材または耐熱性、耐衝撃性に優れた在来コンクリートが適していると考えられる。
- 2) 避難扉の形式については、避難性や避難通路幅

の制限から、引き戸の避難扉を前提とすることが望ましいと考えられる。

- 3) トンネルを新設する場合で、隔壁付きの避難通路を施工する場合は、避難坑を別に建設する場合よりも建設費が低下することが分かった。また、既設トンネルを改築して避難通路を設置する場合は、避難坑を別に建設するよりも隔壁を設置した方がコストの縮減度合いが大きくなることが分かった。
- 4) 煙の挙動に関する数値解析の結果、火災発生時における初期の避難段階では縦断勾配がない場合は避難通路への煙の流入は認められなかったが、縦断勾配が3%程度で煙の降下が見られる区間においてすべての開口部が開いた状態の場合には、避難通路内に流入する現象が発生した。しかし、縦断勾配が3%の場合でも開いている開口部が限定されていれば煙が連続的に避難通路内に進入する可能性は低いことが明らかとなった。したがって、避難扉に短時間で自動的に閉鎖できる構造を採用することにより避難扉の開口時間の短縮化を図ることができれば、避難行動の障害にならない程度に煙の進入を抑えることは可能になるものと考えられる。
- 5) IT技術の適用については、VICSなどをトンネル内における事故発生に関する情報やトンネル内火災時における避難誘導のための情報の提供に活用できる可能性が高いことが分かった。

今後の課題としては、煙の挙動については、実大規模の実験等によりシミュレーション結果の検証を行うとともに、避難扉の開口時間を極力短くするための方法とその効果について検討する必要がある。また、避難通路とする区画に歩道の機能を付与する場合は、煙の挙動といったトンネル火災に対する安全性のみならず、通路の防犯性についても検討する必要がある。さらに、VICSなどのIT技術をトンネルの非常時における情報提供手段として適用する場合、情報提供までの時間の短縮化、複数の区域に分割されたトンネル内での情報発信手段に関する検討などを行う必要があるとともに、適用にあたっては実証実験などによる検討を行う必要がある。