

大深度トンネル技術検討委員会

第2回 委員会資料 換気・防災に関する検討

平成17年 12月 5日

国土交通省 関東地方整備局 道路部

1. 検討目的

大断面で長距離のシールドトンネルの換気・避難方法について、トンネル内環境、安全性、経済性を考慮し、検討することを目的とする。

2. 検討方法

計画の具体化に向けた検討を行っている「東京外かく環状道路（関越道～東名高速間）」（以下、外環という）を用いたケーススタディを実施する。

2.1 検討条件

2.1.1 ケーススタディする外環のトンネル構造

本線トンネル構造は、3車線を収容するシールドトンネル2本、直径約16m。

道路種級；2種1級

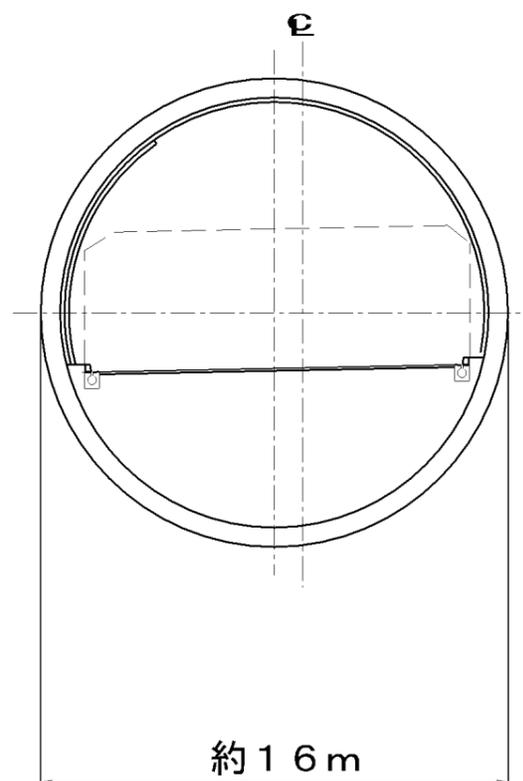
設計速度；80km/h

ランプトンネル構造は、2車線を収容するシールドトンネル、直径約12m。

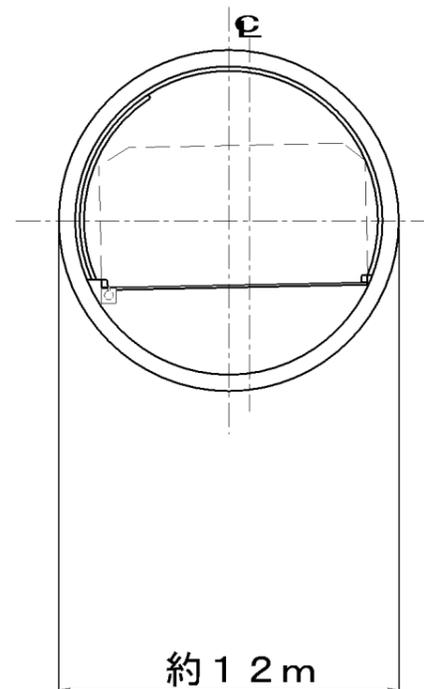
ランプ規格；A規格

設計速度；40km/h

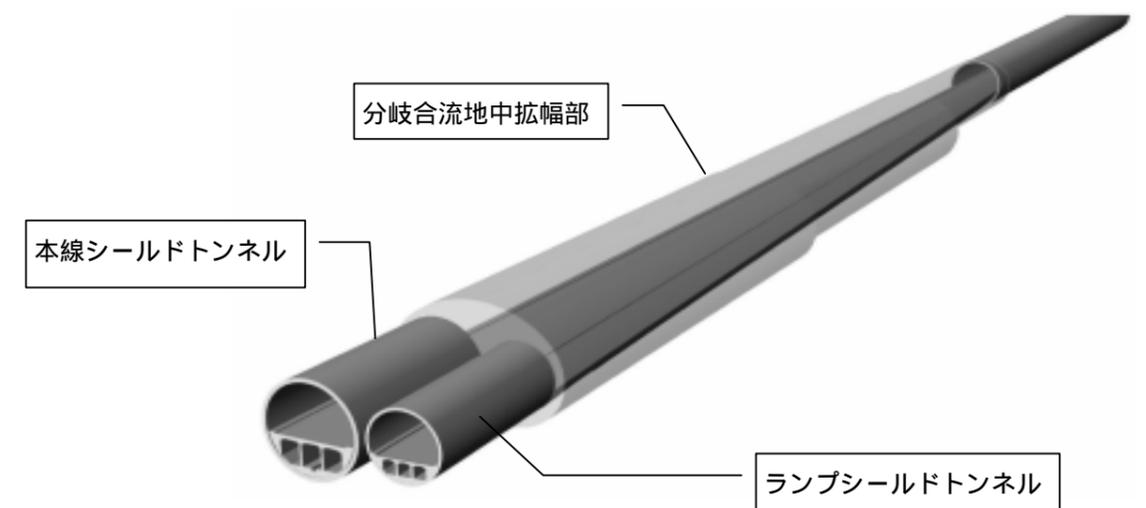
分岐合流部の構造は、本線シールドトンネルおよびランプシールドトンネルを包括する断面を地中拡幅にて施工、幅約30m。



本線シールドトンネル断面（3車線）



ランプシールドトンネル断面（2車線）



分岐合流部イメージ図

2.2 検討項目

本委員会における検討項目のうち、第2回委員会ケーススタディによる換気・防災に関する検討では、以下の[]を検討する。

	検討項目	検討目的	検討方針
第2回委員会検討項目	基本構造の確認	1) 大断面シールド掘削技術の検討	大断面・長距離シールドトンネルの施工実現性を確認する。
		2) 大深度法適用に係る検討	平成12年5月に制定された、大深度法の適用の判断に資する資料を作成する。
		3) 換気方法の検討	大深度地下を活用した長距離シールドトンネルに適切な換気方式を選定し、換気施設規模を確認する。
	分岐合流部における地中拡幅工法	4) 地中拡幅工法の検討	シールドトンネル分岐合流部における大規模地中拡幅の施工実現性を確認する。
		5) 避難方法の検討	大深度地下を活用した長距離シールドトンネルに適切な避難方法の選定に資する資料を作成する。
その他シールド工法の合理化等	6) シールド工法の合理化検討	大断面・長距離シールドトンネルのコスト縮減、工期短縮の観点から合理化を図る。	
	7) 交通運用の検討	道路管理者が行う火災時交通運用の基本的考え方を確認する。	
	8) 救急消火支援施設の検討	道路管理者が設置する救急・消火支援施設の基本的な考え方を確認する。	

3. 換気方法の検討

長距離トンネルでは、トンネル利用者の安全性や円滑な交通を確保するための換気施設の設置が求められる。特に、都市内トンネルでは重交通量が見込まれるため、交通に配慮した換気施設の運用が必要となる。

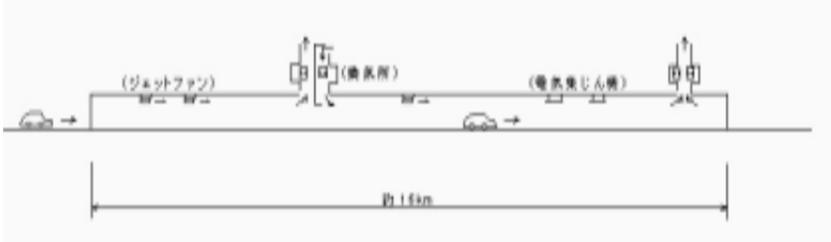
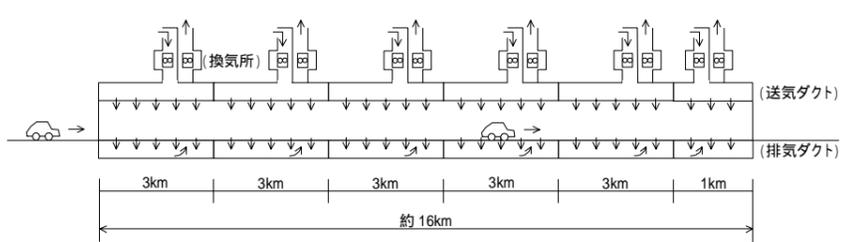
以下に、車道内環境の保全に加え坑口及び路線全体の環境、安全性、経済性を考慮し換気方式を選定する。選定した換気方式に基づき、基本となる換気系統、換気施設規模の計画を立案する。検討フローを右図に示す。

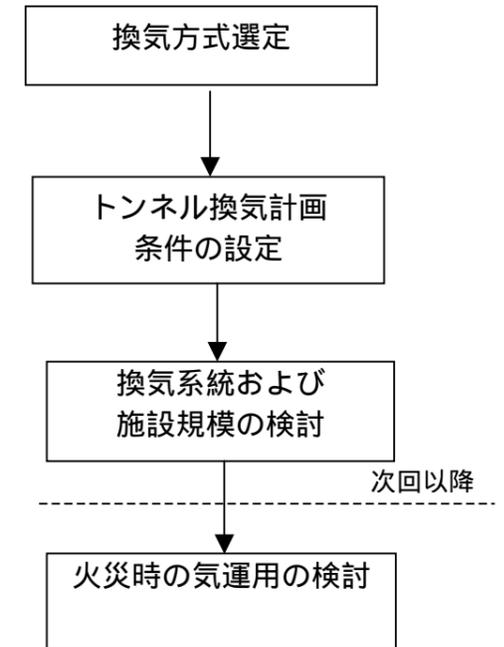
3.1 前提条件

本線のトンネル延長は約16km。(インターチェンジが無い場合)

3.2 外環における換気方式の選定

換気方式の選定にあたり、換気風を縦方向に流し交通による換気風を有効利用する「縦流換気方式」と、換気風を車道の横断方向に入れ替え、交通変動に左右されない「横流換気方式」を対象とする。

	縦流換気方式	横流換気方式
概要	トンネル断面内に換気ダクトを設置せず換気風を車道の縦方向に流す	トンネル断面内に換気ダクトを設置し換気風を車道の横方向に流す
換気の特徴	換気風を縦方向に流し交通による換気風を有効利用する	換気風を車道の横方向に入れ替え交通変動に左右されない
換気概要図	 <p>東名 関越 本線部を対象</p>	 <p>東名 関越 本線部を対象</p>
・換気所数 ・地上部への影響 ・経済性 ・施工性 ・火災時対応 ・通常時対応	<ul style="list-style-type: none"> ・3地点、4箇所(1方向毎に2箇所) ・換気所が少なくJCT部で対応可能であり地上部への影響が少ない。 ・建設費、維持動力費が横流換気方式に比べ経済的である。 ・本坑と換気ダクトの取り合い箇所は横流換気方式に比べ少ない。 ・交通の流れに応じ、風速制御を行うことで対応可能。 ・車道内環境の確保可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・6地点、6箇所(2方向合わせて6箇所) ・換気所が多くJCT部以外にも必要であり地上部への影響がある。 ・建設費、維持動力費が縦流換気方式に比べ2倍程度となり割高である。 ・本坑と換気ダクトの取り合い箇所が多く工事期間が長い。 ・火災地点のダクト位置に応じ、複数換気所の送排気ダクトを組合せて運用することで対応可能。 ・車道内環境の確保可能



検討フロー

縦流換気方式を選定

縦流換気方式および横流換気方式ともに火災時の安全性や車道内環境、快適性の確保が可能である。縦流換気方式は横流換気方式に比べ換気所およびダクトが少なく、建設費、維持管理費などの経済性、施工性に優れ、JCT内に換気施設を集約して設置できるためスペースを有効に活用でき、周辺地域への影響が少ない。したがって、縦流換気方式を採用することとする。

なお、車道内環境の保全のために、空気中の煤じんを除去する電気集じん機、流れの助長を図るジェットファンを付加する。また、坑口周辺へ車道内空気が流出しないよう、坑口付近でダクトに引き込み、換気所で排気する機能を付加する。

3.3 トンネル換気計画条件の設定

外環の「考え方」に基づき、3箇所のジャンクション、青梅街道インターチェンジに換気所を設置した場合の所要換気量、換気施設規模の検討を行うための条件を表1に示す。

表 1 トンネル換気計画条件

道路構造規格	第2種第1級
交通方式	一方通行
設計速度	Vt = 80 km/h
工法	シールドトンネル
換気方式	縦流換気方式
トンネル延長	約16 km
トンネル内空断面積	本線部[シールド部] : 約100[m ²] ランプ部[シールド部] : 約60[m ²] 約40[m ²]
準拠基準	道路トンネル技術基準(換気編)・同解説

3.4 換気系統および施設規模の検討

1) 所要換気量の算定

換気施設の計画は、煤煙および一酸化炭素を対象として所要換気量を算定し、大きい値となる煤煙の所要換気量を採用する。

なお、所要換気量の算定に用いる交通量は設計交通容量とし、大型車混入率は東名高速道路等接続道路の日平均値とした。

排出ガス規制の進展に伴い排出量に将来予測値を用いた所要換気量は、本線1km・3車線当り約190～175m³/sとなる。

所要換気量算定結果を表2に示す。(参考資料参照)

表 2 所要換気量(煤煙を対象)

東名 関越	関越 東名	備考
約 3,100 m ³ /s	約 2,800 m ³ /s	約 190～175m ³ /s 1km・3車線当り

2) 換気系統と施設規模

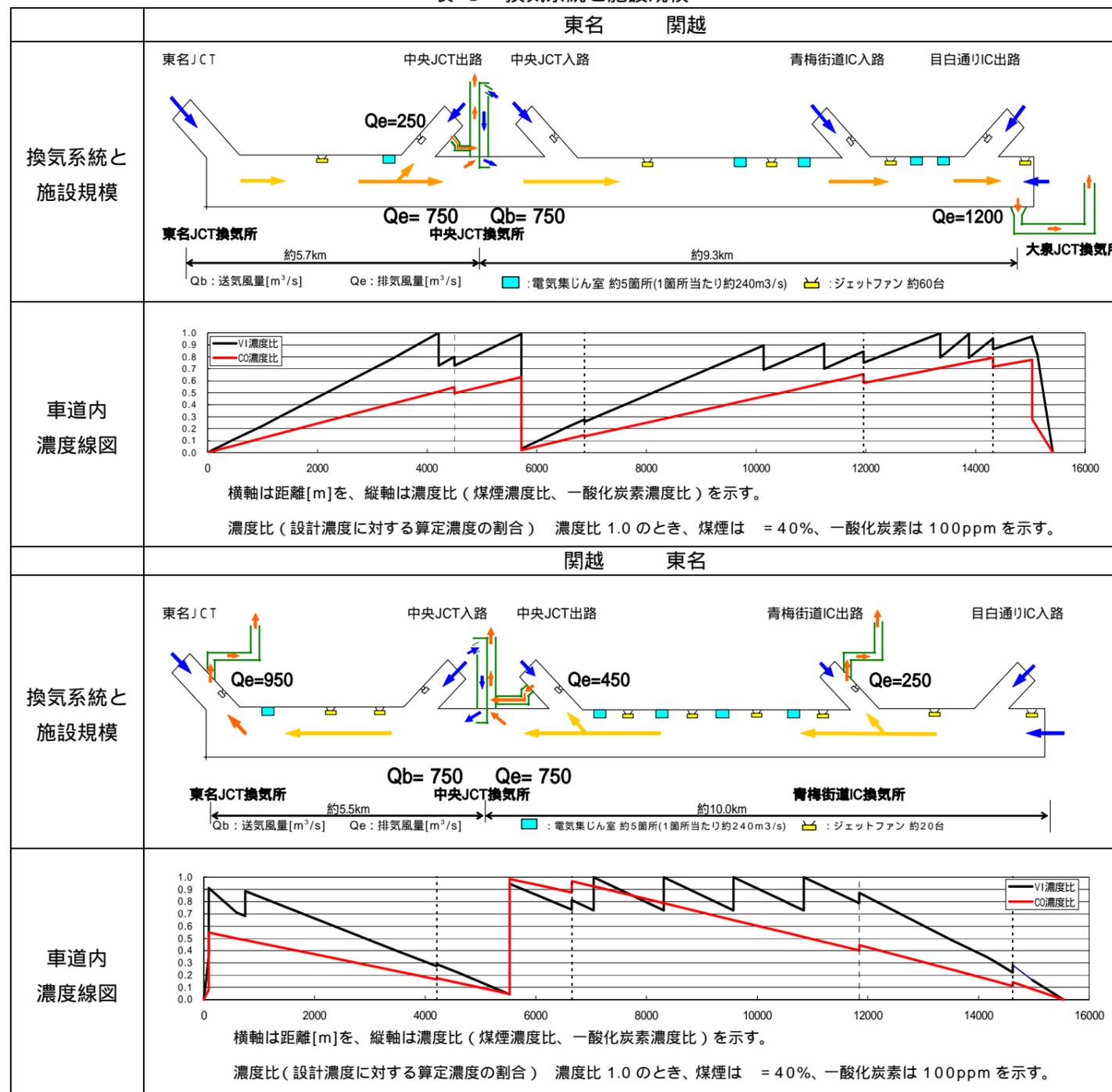
東名から関越方向の換気規模は、中央JCT換気所で排気風量750m³/s、大泉JCT換気所で排気風量1200m³/s、トンネル本線に約240m³/sの処理能力を持つ電気集じん室5箇所設置することにより、設計濃度を満足することができる。

また、関越から東名方向の換気規模は、中央JCT換気所で排気風量750m³/s、東名JCT換気所で排気風量950m³/s、トンネル本線に約240m³/sの処理能力を持つ電気集じん室5箇所設置とすることにより、設計濃度を満足することができる。

算定した煤煙の所要換気量に対する濃度、換気系統および施設規模を表3に示す。

なお、一酸化炭素の所要換気量に対する濃度も併せて示す。

表 3 換気系統と施設規模



3.5 参考資料

<参考：所要換気量の計算（煤煙による）>

道路トンネル技術基準（換気編）・同解説より

所要換気量 Q_{rq} は基準換気量 Q_0 に縦断勾配および走行速度による補正（ k_i ） 標高による補正（ k_h ）を行って次式により求める。

$$Q_{rq} = Q_0 \cdot k_i \cdot k_h$$

基準換気量 Q_0 (m^3/s) は次式から求める。

$$Q_0 = q_0 \cdot N \cdot L_r \cdot \frac{1}{1000}$$

本式における q_0 は単位基準換気量と定義され、トンネル延長（ L_r ）1000m 当り交通量（ N ）1 台/h 当りの換気量である。 q_0 の値は交通量 1 台/h の時の 1km 走行における煤煙の排出量を基に求められ、次式で表される。

$$q_0 = \left\{ \frac{3\sigma + \sqrt{9\sigma^2 + 8\mu \cdot K_{vl} \cdot A_r \cdot 1000}}{60 \times \sqrt{8 \cdot A_r \cdot 1000 \cdot K_{vl}}} \right\}$$

ここに、 q_0 : 延長 1km 当り交通量 1 台/h 当りの換気量 ($m^3/(s \cdot km \cdot 台)$)

μ : 自動車群の煤煙の排出量の平均値 (m^2/km)

σ : 自動車群の煤煙の排出量の標準偏差 (m^2/km)

A_r : 車道断面積 (m^2)

K_{vl} : 設計濃度 ($1/m$)

<参考：ジェットファン設置例>



近畿自動車道（紀勢線）高田山トンネル（延長 1.7km、対面交通）
左：口径 1250mm 型 右：口径 1000mm 型

<参考：電気集じん室設置例>



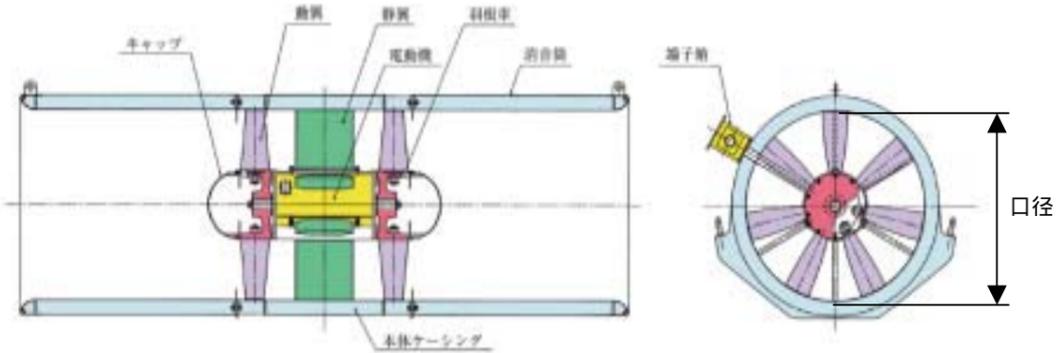
神戸淡路鳴門自動車道 舞子トンネル（延長 3.3km、一方交通 3 車線）
電気集じん室（天井設置型）送気口

<参考：換気所内送風機・排風機設置例、換気塔イメージ図>



関越トンネル（延長 11km、一方交通）万太郎地下換気所
手前：排風機（クリーム色） 奥：送風機（水色）

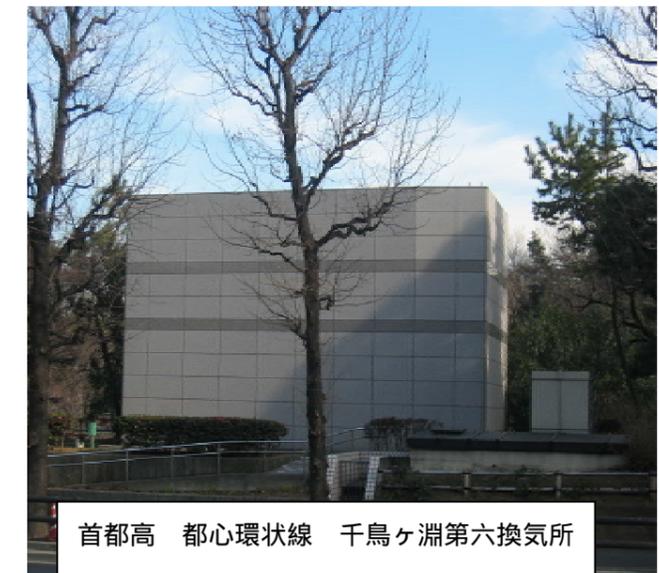
換気塔を分離した事例
（主な換気施設は地下へ埋設）



ジェットファン断面図（参考例）

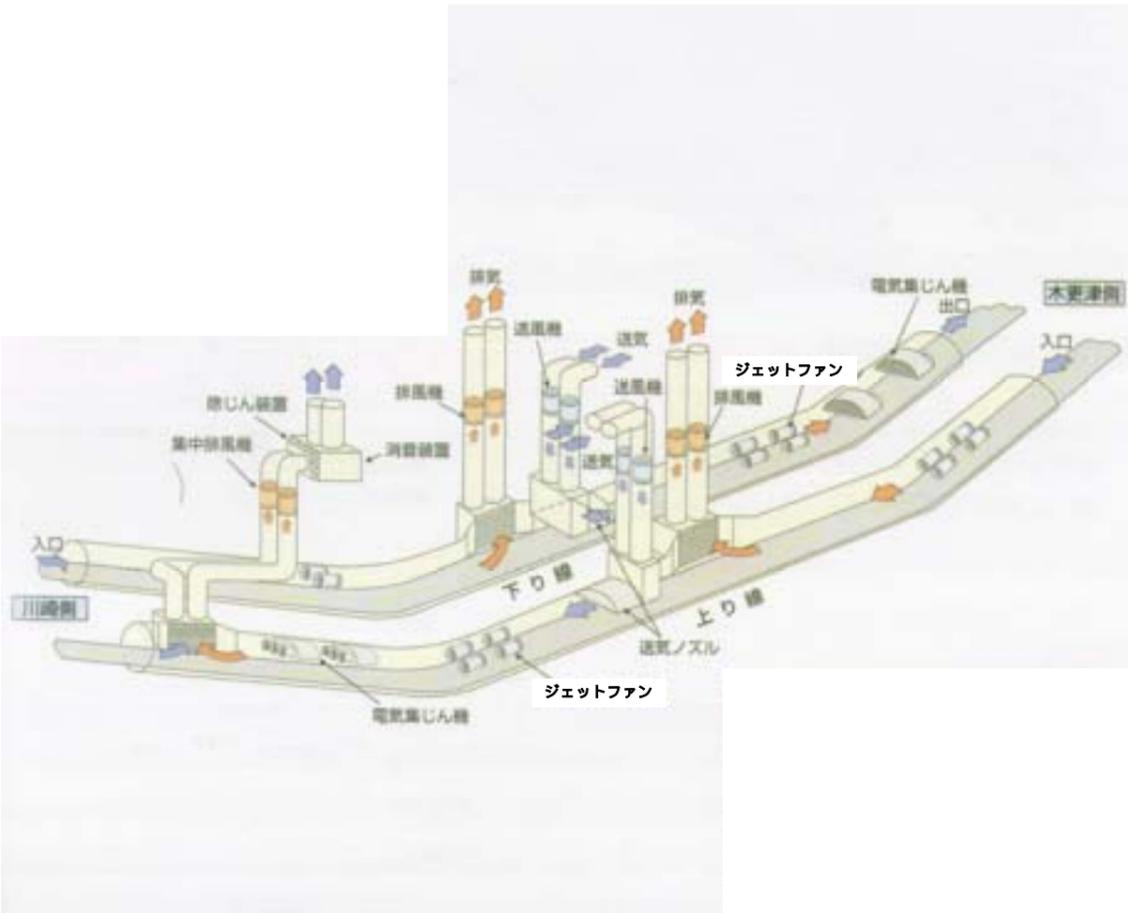
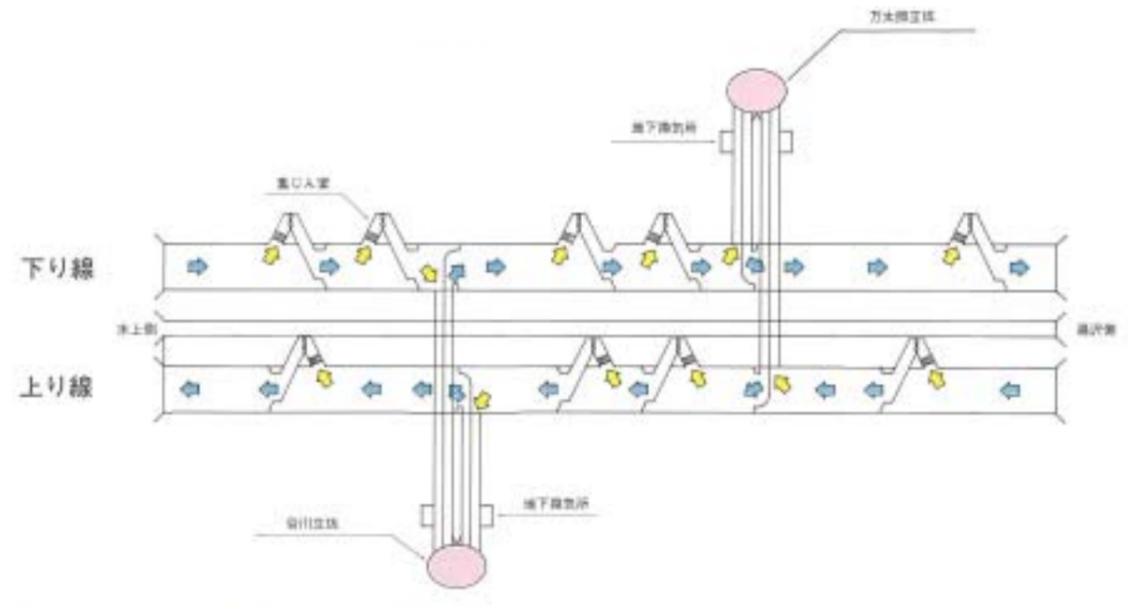


神戸淡路鳴門自動車道 舞子トンネル（延長 3.3km、一方交通 3 車線）
電気集じん室（天井設置型）電気集じん機



換気塔イメージ図

<参考：長距離トンネルの事例（縦流換気方式を採用）>

	アクアライン（延長約 9.5km）	関越トンネル（延長約 11km）
換気方式	電気集じん機付立坑送排気縦流換気方式	電気集じん機付立坑送排気縦流換気方式
交通方式	一方向通行	一方向通行
設備概要	送・排気換気所、排気換気所、電気集じん室、ジェットファン	送排気換気所、電気集じん室、ジェットファン
換気系統	 <p style="text-align: center;">換気システム系統図</p>	 <p style="text-align: center;">換気システム系統図</p>

4. 避難方法の検討

道路トンネル非常用施設設置基準・同解説（平成 13 年 10 月）によれば、延長 10 km 以上の長距離トンネルは A A 等級に該当し「避難誘導設備」である「避難通路」「排煙設備」「誘導表示板」の設置が必要となる。

以下に、大深度地下を活用した長距離シールドトンネルに適用可能な避難通路による避難方式を抽出し、避難の安全性、経済性の比較検討を行う。

4.1 避難方式の抽出

避難通路は、以下の 4 種類がある。

- 避難坑（本線トンネルとは別に設けられる避難用に供するトンネル）
- 避難連絡坑（上下線トンネル相互間あるいは本線トンネルと避難坑間の連絡路）
- 避難口（土被りが少ない都市部のトンネルなどで設けられる、地上への脱出路）
- 床版下（すべり台により床版下の空間へ避難する方式）

一方通行トンネルでは、非発災側のトンネルに避難する避難連絡坑方式（以降連絡坑方式と呼ぶ）が多く用いられている。

なお、東京湾アクアライン（一方通行・長距離トンネル）では、連絡坑方式と同等の避難方式として床版下に避難空間を確保し避難する方式が用いられている。

外環の避難方式としては、併設トンネルがあること、シールドトンネルであること、大深度トンネルであることから「連絡坑方式（連絡坑による避難）」と「床版下方式（すべり台による避難）」を抽出する。

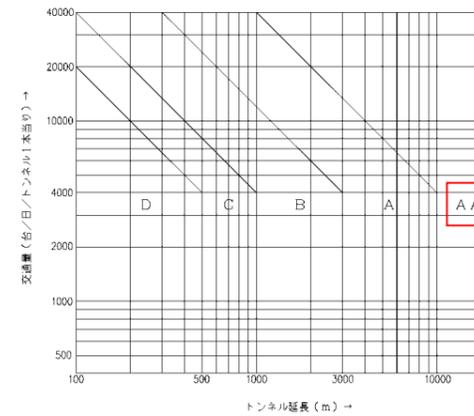


図 1 トンネル等級区分

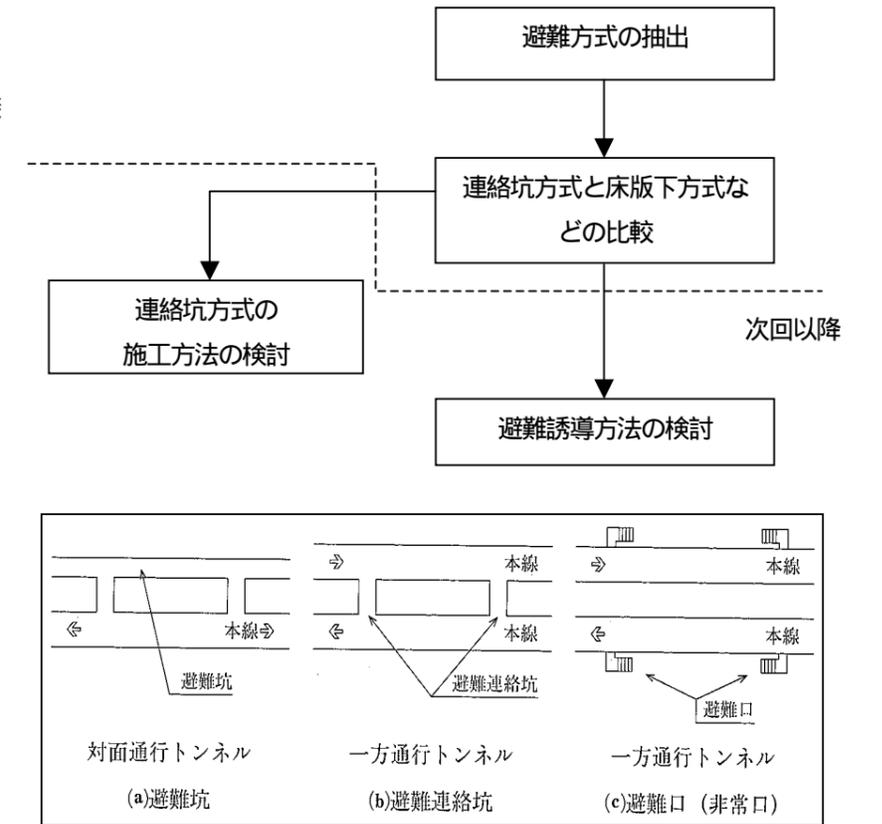


図 2 避難通路のイメージ

表 5 避難方式の抽出

連絡坑方式の概念図（都市内トンネルの計画事例）	床版下方式の概念図（東京湾アクアラインの事例）	
<p>イメージ図</p> <p>連絡坑の非常口（非常口扉）</p> <p>非常口</p>	<p>すべり台の非常口扉</p> <p>すべり台（床版下より）</p>	<p>非常口表示板</p> <p>非常口表示灯</p> <p>監視員通路</p> <p>非常口扉</p> <p>避難連絡路（すべり台）</p> <p>避難口扉</p> <p>避難口</p> <p>車道面</p> <p>避難連絡路（すべり台）</p> <p>床版下通路</p> <p>避難連絡路</p>

4.2 連絡坑方式と床版下方式の比較

連絡坑方式と床版下方式の比較を表に示す。

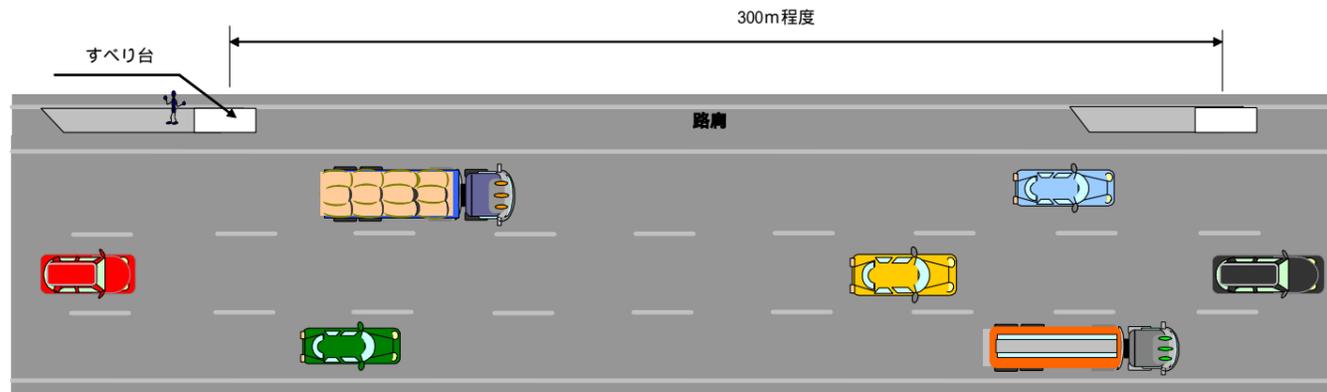
「連絡坑方式（トンネルを入れ替え、走行車線側で避難する方式）」、「床版下方式」共に、安全性を満足している。

表 6 避難方式の比較

		連絡坑方式		床版下方式
避難方式のイメージ		<p><追い越し車線側で避難する方式></p>	<p><トンネルを入れ替え、走行車線側で避難する方式></p>	
概要		<ul style="list-style-type: none"> 発災トンネルから非発災トンネルへ、連絡坑を利用して避難する。 		<ul style="list-style-type: none"> 発災トンネル内の床版下へ、すべり台を利用して避難する。
安全性	避難効率	<ul style="list-style-type: none"> 水平方向に避難することから、床版下通路に比べ避難効率が高い。 水平方向への避難であり床版下より交通弱者にとっても避難しやすいと考えられる。 		<ul style="list-style-type: none"> 下方向に避難することから、連絡坑方式に比べ避難効率が低い。すべり台の設置間隔を短くすることで、同等の避難安全性を確保することが可能と考えられる。 すべり台による下方向への避難であるため、交通弱者の避難には可能な限り配慮する必要がある。
	走行車両対応	<ul style="list-style-type: none"> 非発災トンネルへ避難するため、走行車両への対処が必要である。 非発災トンネルの安全性は、非発災トンネル内に事故情報を表示・放送し、かつ、適切な交通制御（次年度以降の検討項目）を行うことによって高めることが可能である。 		<ul style="list-style-type: none"> 発災トンネル単独で避難・救助が可能であり、走行車両への接触は防げる。 すべり台が路肩部分に設置されることになるため、路肩幅を一部縮小する必要がある。（参考-1）
	緊急車両の到達	<ul style="list-style-type: none"> 緊急車両の到達経路は本線・ランプの路面となるため、緊急車両到達のための交通運用が必要となる。 		<ul style="list-style-type: none"> 緊急車両の到達経路は本線・ランプの路面を基本とするが、床版下空間を緊急車両の通行帯としても利用できる。
経済性	施工性	<ul style="list-style-type: none"> 本線・ランプトンネルの外側に連絡坑を設置するため、施工方法の検討が必要である。 		<ul style="list-style-type: none"> 所要断面が確保されていれば本線、ランプいずれもすべり台の設置は容易である。
	シールド断面への影響	<ul style="list-style-type: none"> 連絡坑設置によるシールドトンネル断面の拡大は生じない。 		<ul style="list-style-type: none"> すべり台設置や床版下空間の確保のため、シールドトンネル断面の拡大が必要である。
	非常口設置間隔	<ul style="list-style-type: none"> 連絡坑設置間隔は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説を引用すると700～800m間隔となるが、都市内の重交通量を考慮するとさらに短くする必要があると考えられる。 		<ul style="list-style-type: none"> すべり台の設置間隔は、東京湾アクアラインを参考に200～300m間隔とする。
	避難路の仕様	<ul style="list-style-type: none"> 連絡坑の寸法は、二人の同時歩行に必要な幅約3m×高さ約2mを想定する。 		<ul style="list-style-type: none"> すべり台の仕様は「昭和53年消防庁告示第1号、平成8年消防庁告示第2号」による。（東京湾アクアラインと同様）避難路の仕様 幅80cm、空頭1mを確保する。（参考-2）
本線入れ替えの特質		<ul style="list-style-type: none"> 追い越し車線側での避難となるため、本線を入れ替えた場合と比べると交通運用への負担が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 本線入れ替え（トンネル上下線を入れ替え）と全路肩の採用により、非発災トンネルの走行車両に対する危険性は緩和されるものと考えられる。（参考-3） 本線入れ替え区間やランプにおける連絡坑の確保について総合的な検討が必要である。 	

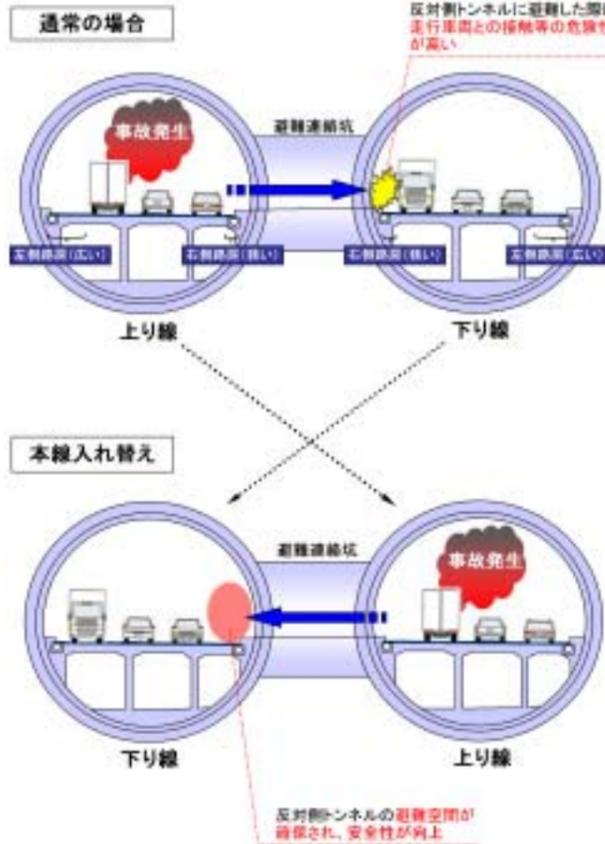
4.3 参考資料

<参考 - 1 : すべり台の配置イメージ>

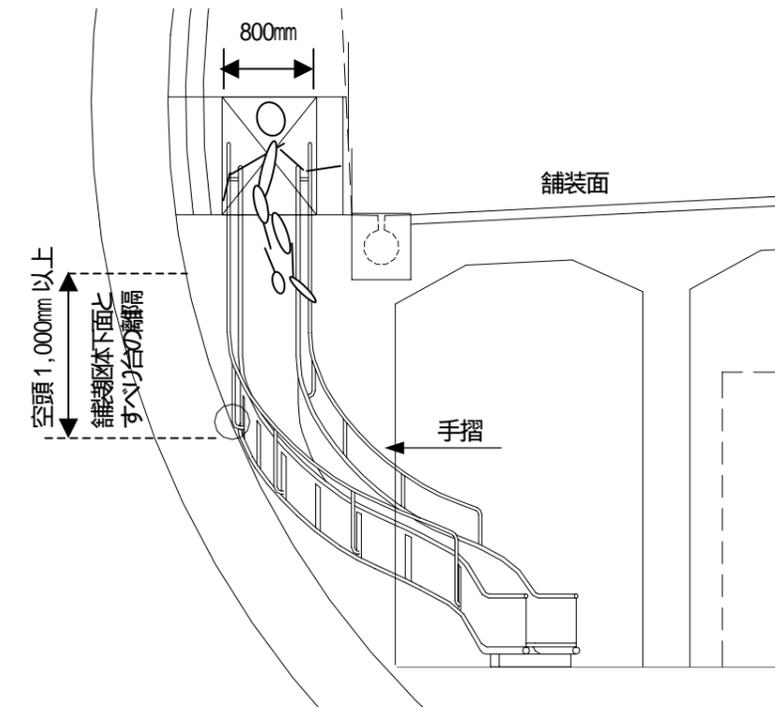


<参考 - 3 : 本線入れ替えイメージ>

■緊急避難時の安全性が向上



<参考 - 2 : すべり台の形状例>



断面図

