

## ◆特集：道路関係技術基準の最近の動向◆

## 道路トンネルの技術基準の現状と今後の取り組み

真下英人\* 石村利明\*\* 砂金伸治\*\*\*

## 1. はじめに

我が国で各種の施設を備えた本格的な道路トンネルが完成したのは、昭和33年の関門国道トンネルが最初である。その後、社会経済の発展と国民生活の向上の基盤として道路がますます重要な役割を果たすようになり、多くのトンネルが建設されてきた。2003年4月現在における国内の供用中の道路トンネルは、道路統計年報によると図-1に示すように本数は8,820本、総延長で3,019kmに至っている。

その間、トンネル技術も飛躍的に向上し、技術の変遷にともなって技術基準の整備を行ってきた。国内における道路トンネルに関する技術基準は、関門国道トンネルが完成した4年後の昭和37年3月に通達された道路技術基準（トンネル編）が最初である。この時の基準は、当時主流であった木製支保工を基本とした工法を中心に、道路トンネルの調査、設計、施工、換気、照明についての一般的な標準を示したものであった。

トンネル技術および技術基準の変遷としては、トンネル構造については、昭和30年頃に開発された鋼アーチ支保工の出現により、昭和30年代後半にはそれまで主流であった木製支保工に替わり、鋼アーチ支保工による工法が主流になった。これにより、比較的大きな断面の掘削が可能となり、大型の掘削機やショベルが用いられるようになり掘進速度も一段と向上した。当時のトンネル構造の設計の考え方は、トンネルの掘削に伴って作用する外力に対しては、矢板類を併用して鋼アーチ支保工や覆工で支える矢板工法と呼ばれるものであった。これらの技術の変遷に伴い、それまでの多くの実績・経験、研究成果をもとに昭和49年11月に技術基準の改訂が行われた。

その後、従来の設計とは考え方を異にする吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保工を主たる支保部材として、地山の変形をある程度許容することにより地山自体が本来持っている支保機能を活用した、いわゆる NATM による設計の考え方が導入され、多くのトンネルが建設されてきた。この工法は、平成元年5月に技術基準が改訂された際に山岳トンネル工法の標準的な工法と位置づけられ、現在においても用いられている。

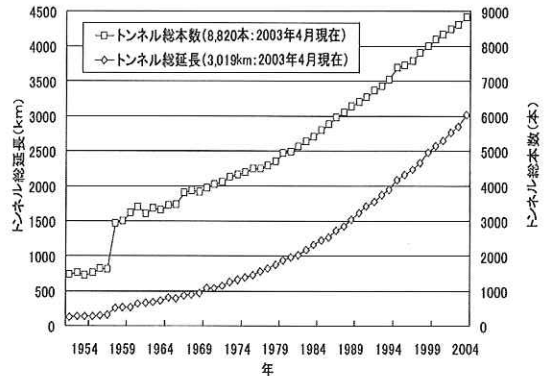


図-1 道路トンネルの本数と延長の推移

換気施設については、昭和37年の道路技術基準で換気計画の基本的な考え方が示された。その後、道路トンネルの換気について研究、開発が進められ、昭和49年11月にトンネル内のガス濃度の規定値、具体的な換気設計手法を盛り込んだ内容に基準が改訂された。さらに、昭和60年10月にトンネル内のガス濃度の規定値の考え方について一部の基準内容を改訂し、平成元年5月に現在の道路トンネル技術基準と統合された。

一方、非常用施設については、昭和42年3月国道1号鈴鹿トンネルの火災事故を契機にトンネル防災の早急な整備の必要性が高まり、それまでに得られた経験および研究成果をもとに昭和42年4月に道路トンネルの非常用施設設置基準が通達された。その後、昭和49年5月に道路トンネル技術基準の改訂に伴う改訂、さらに、その後のトンネル内事故や通行実態を踏まえ、昭和56年4月に現行の非常用施設設置基準に改訂された。なお、道路トンネル照明についての基準は「道路照明施設設置基準」に盛り込まれているが、交通安全施設の技術基準のなかで記述されているのでここでは省略する。

## 2. 道路トンネルの技術基準体系の概略

現在、道路トンネルの構造、換気、照明、防災（非常用）に関する技術基準は図-2に示すように「道路トンネル技術基準」、「道路照明施設設置基準」、「道路トンネル非常用施設設置基準」がある。これらの技術基準の解説書としては、「道路トンネル技術基準」のうちのトンネル構造については「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」が、

換気施設については「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説」がある。前者は、主に NATM を用いたトンネル構造の建設について、また、後者は道路トンネルの換気施設の設置について、それぞれ技術的な判断を示すものとして活用されている。最近では、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」については、坑口部の設計・地山分類の見直し・大断面トンネルの支保構造・補助工法に関する記述等について、新技術や前回改訂後に得られた知見をもとに、平成 15 年 11 月に改訂された。また、「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説」については、換気対象物質の自動車 1 台あたりの排出量、交通換気力の設定法、速度勾配補正係数に関して実験や実際のトンネルにおけるデータを収集・分析した結果を踏まえて見直しを図り、平成 13 年 10 月に改訂された。

また、これらの解説書以外にも、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」を補完するという位置づけで「道路トンネル観察・計測指針」、「道路トンネル維持管理便覧」および「道路トンネル安全施工技術指針」がある。

さらに、「道路照明施設設置基準」、「道路トンネル非常用施設設置基準」のそれぞれについて基準の主旨を的確に把握することを目的とした解説書がある。

### 3. 道路トンネルに関する技術基準の現状

「道路トンネル技術基準」は、道路トンネルの整備に関する一般的な技術の基準を定め、その合理的な建設および維持管理を行うのに資することを目的としている。また、道路法の道路に道路管理者が主として山岳トンネル工法により建設する道路トンネルに適用することとしている。主な構成は、総則、計画、調査、設計、施工、換気、維持・修繕である。また、「道路トンネル非常用施設設置基準」は、トンネル内で火災が発生した場合の被害を最小限にとどめるための非常用施設の設置計画、設計および運用方法について規定している。以下にトンネル構造に関する技術基準、換気に関する技術基準、非常用施設に関する技術基準の各内容について、最新の解説書の主な内容について示す。なお、各技術基準の詳細については、各解説書を参考されたい。

#### 3.1 トンネル構造

道路トンネル技術基準（構造編）・同解説は、総則、計画・調査、設計、施工、維持・修繕の各編で構成されている。本解説では、トンネル建設にあたっての基本的な考え方、必要となる検討事項、留意点等を示している。ここでは、道路トンネルの設計、施工の考え方について示す。

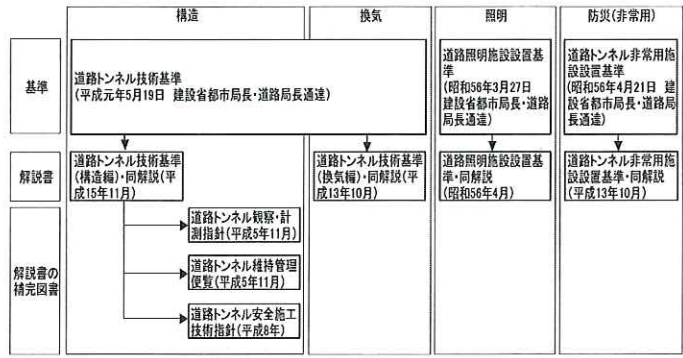


図-2 道路トンネルに関する技術基準および解説書等

トンネル構造の設計と施工の流れを図-3に示す。トンネル構造の設計の大きな特徴は、外力が明らかな明かり部の他の構造物と異なり、施工時の切羽の観察や計測結果に基づき、地山条件に適合した設計となるよう必要に応じて当初設計の変更を行うことである。これは、トンネル計画時に設計に必要な地形・地質状況がトンネルの全延長にわたって設計を確定できるような高精度の地質調査が困難なことによる。もう一つの特徴としては、掘削に伴いトンネルに作用する土圧は複雑で地山条件に応じて概念的にしか解明できず支保構造部材の設計法も確立していないため、トン

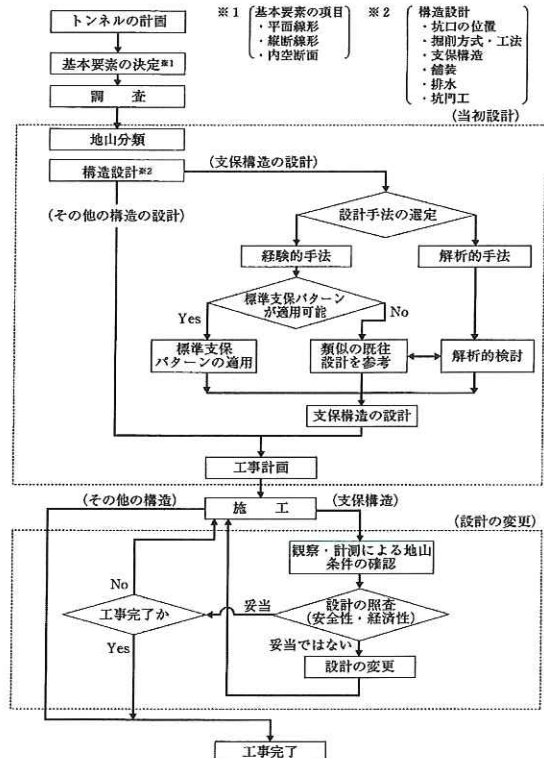


図-3 トンネル構造の設計と施工の流れ<sup>1)</sup>

表-1 標準的な支保構造の組み合わせの目安<sup>1)</sup>  
(通常断面トンネル 内空幅8.5~12.5m程度)

地山等級	支保パターン	標準掘進長 (m)	長さ (m)		ロックボルト		鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚 (cm)	アーチインバート	変形余裕量 (cm)	掘削工法
			掘進	延長	周方向	延長方向	施工範囲	上半部種類	下半部種類					
B	B	2.0	3.0	1.5	2.0	上半120°	-	-	-	5	30	0	0	補助トンネル付全断面工法または上部半断面工法
CI	CI	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	-	-	-	10	30	(40)	0	
CII	CI-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下半	H-125	-	1.2	10	30	(40)	0	
	CI-b													
DI	DI-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上・下半	H-125	H-125	1.0	15	30	45	0	
	DI-b	1.0	4.0						1.0					
DII	DII	1.0以下	4.0	1.2	1.0以下	上・下半	H-150	H150	1.0以下	20	30	50	10	

ネル構造の設計は、都市部のトンネルや特殊な地山条件のトンネルを除き、経験と実績による実用的な設計を行っていることである。具体的には、表-1に示すように対象となる地山について地山分類を行い、その地山等級 (B、CI、CII、DI、DII等) 毎に予め設定した標準支保パターン (支保構造の標準的な組み合わせ) を適用する方法としている。なお、標準支保パターンは、トンネルの断面の大きさによって通常断面トンネル、大断面トンネル、小断面トンネルの3種類の断面に区分し、各断面毎に設定している。

3.2 換気施設

換気施設は、自動車から出た有害成分をトンネル外へ排出することにより、トンネル通行者にとって安全で快適なトンネル内環境を確保することおよびトンネル内における各種の保守作業員のための作業環境を確保することを目的として設置される。

道路トンネル技術基準 (換気編)・同解説は、総則、計画・調査、設計、製作・施工、運用・制御、維持管理の各編で構成されている。本解説では、換気施設を設置するにあたっての計画・調査項目、換気施設の設計にあたっての諸定数の考え方や数値の規定、換気機の製作・据付けにあたっての留意事項、運用・制御に関する考え方等を規定している。以下に換気施設の設置目的、設計の考え方等を示す。

換気施設の設計は、トンネル内に有害でない環境が確保されるようガス濃度等が許容値内になるように、自動車1台あたりの有害成分の排気量をもとに、交通量、トンネルの延長、縦断勾配、断面積等の諸条件等を考慮して必要となる換気量計算を行っている。現在、道路トンネルの換気対象物質としては、表-2に示すようにトンネル内の視環境を確保するための煤煙濃度、利用者および保守作業員に対する生理的悪影響を及ぼす有害物質として一酸化炭素の濃度の許容値が設定されている。

3.3 非常用施設

道路トンネル非常用施設設置基準・同解説は、総則、非常用施設の種類の、設置計画、設計、運用、

表-2 換気の対象物質および濃度<sup>2)</sup>

設計速度	煤煙の設計濃度 (100m 透過率)	一酸化炭素の設計濃度
80km/h以上	50%	100ppm
60km/h以下	40%	

維持修繕の各編で構成されている。本解説では、トンネルの防災対策の考え方、各種非常用施設の設置計画、設計、運用方法の考え方等を示している。以下に、トンネルの防災対策の考え方、各種非常用施設の設置計画等を示す。

トンネルは閉鎖された空間であるため、火災その他の事故に対する防災対策には十分な配慮が必要となる。トンネル非常用施設は、事故が発生した場合の被害を最小限度にとどめることを目的として設置している。トンネル火災時にあたっては人命の確保が最優先事項であり、そのためには、火災事故の早期発見とトンネル利用者への情報伝達、火災の初期消火、避難環境の確保が重要となる。このような考え方にに基づき、現行の設置基準では、図-4に示すようにトンネルの延長と交通量によるトンネル等級区分を5段階に分け、表-3に示す非常用施設の設置が義務づけられており、設置間隔およびその機器の性能等について規定されている。

4. トンネルの技術基準の今後の方向性と取り組み

トンネル構造に関しては、今後、性能規定化への対応が考えられるが、トンネルに作用する荷重の設定などが困難であることから、構造の性能規定化は即座には難しいと考えられる。このため、当面は経験と実績によってきた支保構造の設計を現行以上に弾力的に実施できる設計手法の確立が必要である。また、トンネル施工時における観察・計測データの蓄積を踏まえ、最新の知見を追加したトンネルの施工管理手法の確立、既設トンネルの効率的な維持管理を実施するため、トンネル覆工コンクリートの長期の耐久性を向上させる

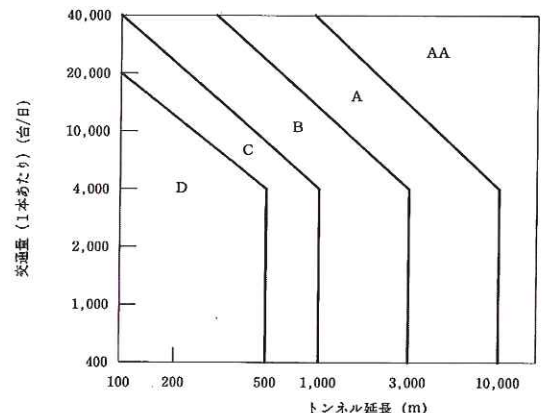


図-4 トンネル等級区分<sup>3)</sup>

方法や合理的な補修・補強方法の確立などが望まれている。一方、共同溝や道路トンネルに対してシールドトンネルの採用が多く見込まれることから、シールドトンネルの設計・施工に関するマニュアル整備が必要である。上記のトンネル構造に関する課題に対して土木研究所のトンネルチームでは、トンネルの支保工や覆工を力学的な理論に基づいて設計を行うために、現場計測データの分析や実験結果を基に、数値解析手法を用いた支保工、覆工の設計方法の確立に関する検討を行っている。また、トンネル構造の長期の耐久性を向上させるための一方策として、主として繊維補強コンクリートを覆工に採用する場合の研究を行ってきた。さらに、実大規模の実験や数値解析を通じ、覆工の剥落防止工や内面補強工に関する検討を実施し、合理的な補修・補強工の提案を行うとともに、トンネルの点検データを用いた数値解析などを通じ、トンネル変状の発生メカニズムや覆工の劣化予測に関する研究を実施している。一方、シールドトンネルに関しては、大深度下における道路トンネルなどの大断面のトンネルを対象とし、現場計測結果の分析、数値解析等により、硬質地盤におけるセグメントの設計法などについて検討するとともに、大深度での分岐・合流部を非開削により構築する際の合理的な支保構造の設計法および施工法についての研究を行っている。

また、換気施設に関しては、これまで段階的に実施されてきている自動車の排出ガス規制により、自動車から排出される有害ガス成分の排出量が年々減少していることから、合理的な換気施設の設計を実現するためには、これらの排出ガス規制を反映させた自動車の基準排出量や速度・勾配補正係数などの見直しが必要である。上記の課題に対してトンネルチームでは、供用中の道路トンネルでのガス濃度の実態調査や排気ガス規制適合車を用いた台上試験による排気ガス濃度測定等を通じ、自動車の排気ガス規制の効果を反映させた速度・勾配補正係数の見直しを進めている。

さらに、非常用施設に関しては、現在のところ基準改訂の大きな動きはないが、昨今、トンネル

表-3 トンネル等級別の非常用施設<sup>3)</sup>

非常用施設		トンネル等級				
		AA	A	B	C	D
通報・警報設備	非常電話	○	○	○	○	
	押ボタン式通報装置	○	○	○	○	
	火災検知器	○	△			
消火設備	非常警報装置	○	○	○	○	
	消火器	○	○	○		
避難誘導設備	消火栓	○	○			
	誘導表示板	○	○	○		
その他の設備	排煙設備または避難通路	○	△			
	給水栓	○	△			
	無線通信補助設備	○	△			
	ラジオ再放送設備 または拡声放送設備	○	△			
	水噴霧設備	○	△			
	監視装置	○	△			

(注) 上表中「○印は原則として設置する」、「△印は必要に応じて設置する」ことを示す。

の安全性に対する要求レベルが高まってきていることを踏まえ、国際的に見ても高い水準にあるトンネルの防災技術について、IT技術等を取り込むことなどにより、一層の安全性の向上を図ることが望まれる。上記の課題に対してトンネルチームでは、道路トンネルの火災時における覆工コンクリートの挙動を把握するとともに、コスト縮減に配慮しつつ、一層の安全性の高い避難環境が確保できる避難形式に関する検討を実施している。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、2003年11月
- 2) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説、2001年10月
- 3) (社)日本道路協会：道路トンネル非常用施設設置基準・同解説、2001年10月

真下英人\*



独立行政法人土木研究所基礎道路技術研究グループトンネルチーム  
 上席研究員、博士（工学）  
 Dr. Hideto MASHIMO

石村利明\*\*



独立行政法人土木研究所基礎道路技術研究グループトンネルチーム  
 主任研究員  
 Toshiaki ISHIMURA

砂金伸治\*\*\*



独立行政法人土木研究所基礎道路技術研究グループトンネルチーム  
 主任研究員  
 Nobuharu ISAGO