

維持管理の効率化を見据えた道路トンネルの健全性に関する傾向把握

上原 勇氣¹・間瀬 利明¹・森本 和寛¹

¹国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 構造・基礎研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

国土技術政策総合研究所では、重要な社会資本である道路構造物について、将来にわたって戦略的に維持管理・更新を行っていくための検討を進めているところである。

本報告は、維持管理や点検手法の効率化を視野に、「道路トンネル定期点検要領(平成26年6月 国土交通省道路局国道・防災課)」に基づき、平成26・27年度に全国の地方整備局等が実施した、国が管理する道路トンネルにおける定期点検の結果を整理し、その概要及び傾向を整理・分析したものである。

キーワード 道路トンネル、定期点検、維持管理

1. はじめに

平成25年の道路法改正等を受け、平成26年7月より、全ての道路管理者は、橋梁やトンネル等の道路構造物について、5年に1度の近接目視による定期点検が義務づけられた。道路トンネルの定期点検においては、トンネル全延長の覆工(内側表面のアーチ状の側壁・天井部分)コンクリート及び附属物(照明、ジェットファン等)について、必要に応じて打音検査を併用(ただし、竣工後2年以内に実施する「初回点検」では全延長に対し必須)しながら近接目視により点検を実施している。

一方で平成27年4月現在、全国には国の他、高速道路会社や地方自治体管理を含めて約1万本の道路トンネルがある。将来にわたってメンテナンスサイクルを着実に推進していく上で、技術者や財源の確保という点や、点検に伴う交通規制による社会的影響(渋滞等)が大きい点等も、解決しなければならない課題として挙げられる。



図-1 近接目視作業の状況

本研究は、将来的な道路トンネルの点検手法等の効率化を視野に、その基礎資料を得ることを目的として、国土交通省の各地方整備局、北海道開発局及び内閣府沖縄総合事務局が管理している道路トンネル(以下、「直轄トンネル」という)のうち、平成26・27年度の定期点検結果を収集し、整理・分析したものである。

2. 直轄国道における道路トンネルの現況

平成27年4月現在、直轄トンネルは約1,600本存在する。年度別の建設本数(竣工年度)を図-2に、建設工法別の本数と延長の割合を図-3にそれぞれ示す。

直轄トンネルの建設本数は、1960~1970年代の高度経済成長期が非常に多く、その後1980~1990年代において年間15本程度であったが、2000年代以降再び増加傾向に

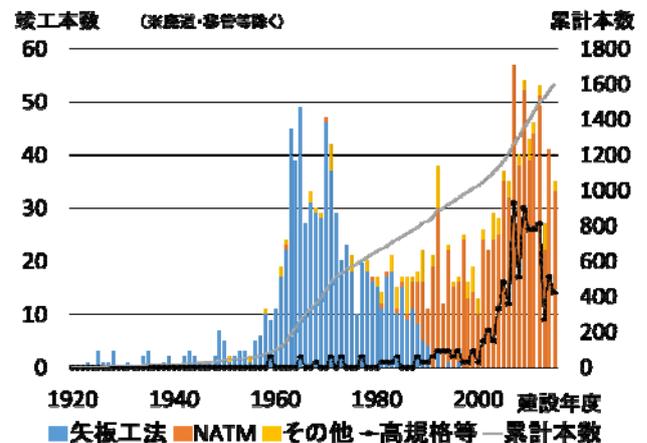


図-2 年度毎の竣工本数の推移(建設工法別)

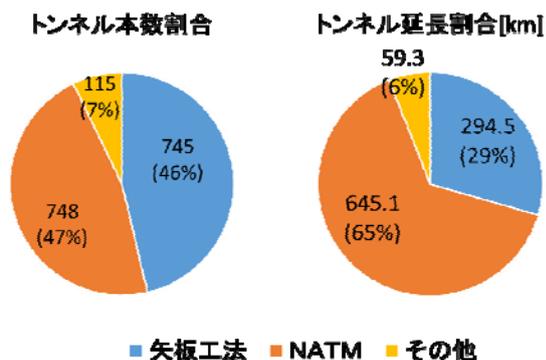


図-3 トンネル本数・延長割合（建設工法別）

あることが確認できる。また、近年では特に高規格幹線道路等の占める割合が大きい。

直轄トンネルの本数を建設工法別にみると、「矢板工法」と「NATM（新オーストリアトンネル工法）」による施工がほぼ同程度であり、この2工法により9割以上を占めている事が確認できる。矢板工法は、支保構造部材として矢板類を併用した鋼アーチ支保工を用いる建設工法で、1980年代まで一般的であった。その後の技術の進展に伴い、吹付コンクリート、ロックボルト及び鋼アーチ支保工を組み合わせたNATMが導入され始めた。この2工法の主な違いについて、表-1に示す。

表-1 矢板工法とNATMの主な違い

矢板工法	NATM
1980年代まで標準	1980年代以降標準
鋼アーチ支保工等と矢板により地山を支持	吹付とロックボルト等により地山を支持
地山からの荷重に対し支保工で対抗	地山が保有している支持力（アーチ効果）を活用
覆工には外力が作用する	一般的に覆工に外力が作用しない
人力での施工工程が多い	主な工程が機械化
防水工なし	防水工を施工

その後、1989（平成元）年5月に道路トンネルに関する技術基準である「道路トンネル技術基準（建設省都市局、道路局）」（以下、「技術基準」という）が改正され、道路トンネルの標準的な建設工法が矢板工法からNATMに変更されて以降、殆どの道路トンネルがNATMによる施工となっていることが確認できる。また、今後もNATMの割合は増加していくものと思われる。

一方、直轄トンネルの総延長に占める工法別の延長割合では、NATMは矢板工法の2倍以上を占めていることが確認できる。本数は同程度であることから、1トンネル当たりの平均延長についても、NATMでは矢板工法の2倍以上となっていることを意味している。

これに関連して、1年間に建設された直轄トンネルの平均延長を年度毎に整理すると、トンネル延長が年々増加していることがわかる（図-4）。背景としては、建設技術の進展もさることながら、前述の通り、近年では新直轄等の高規格幹線道路等を国が施工する事例が増加し

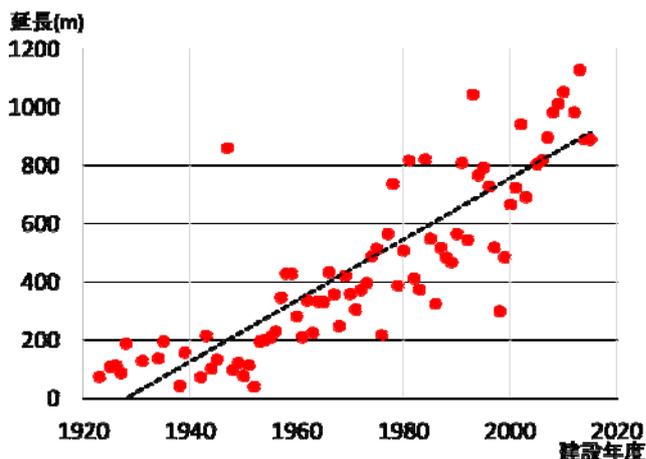


図-4 竣工年度別トンネル平均延長

ていること等が考えられる。

以上のことから、直轄トンネルでは、本数の増加のみならず、トンネル1本あたりの延長も増加していると言え、維持管理や点検に要する業務量は、ますます増大していることがデータより確認できる。

3. 平成27年度までの点検結果の整理

(1) 概要

平成26・27年度に点検を実施した直轄トンネルは728本であった。本稿においては、そのうち矢板工法及びNATMで施工されたトンネル（以下、「点検トンネル（山岳）」という）712本を対象として分析を実施している。

分析に先立ち、点検トンネルが直轄トンネルに占める割合を確認するため、経過年数、延長、建設工法別に整理・比較を実施した（図-5～7）。なお、直轄トンネルのうち、矢板工法及びNATMにより建設されたトンネル（以下、「直轄トンネル（山岳）」という）は1,493本である。

図-5～7より、点検トンネル（山岳）は、直轄トンネル（山岳）に対する割合から、全体的に経過年数がやや古く、延長がやや短いトンネルで、さらに矢板工法の占める割合がやや大きいということを念頭に置く必要がある。

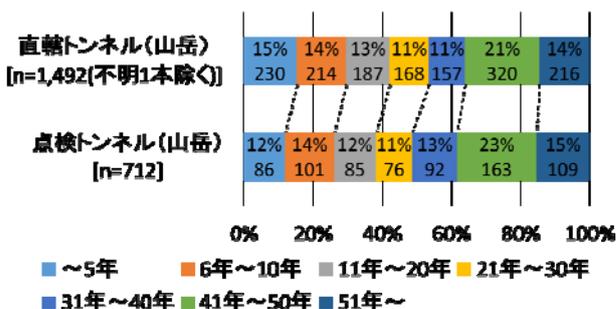


図-5 経過年数比較

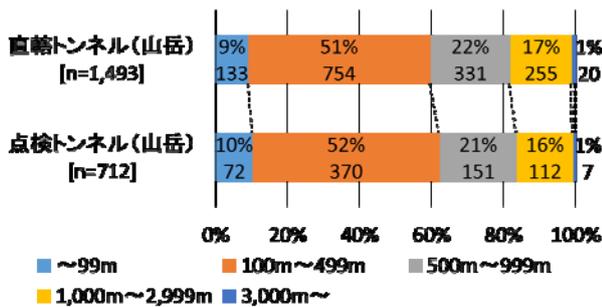


図-6 延長比較

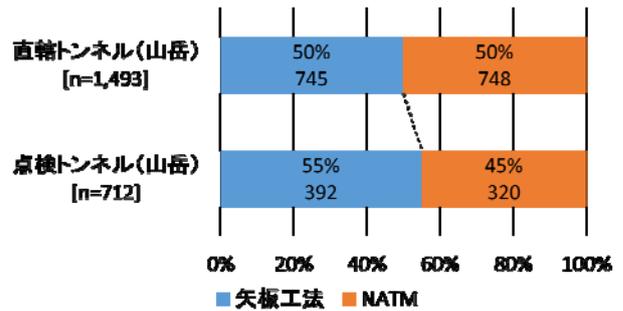


図-7 建設工法比較

表-2 対策区分¹⁾

区分	定義
I	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	II b 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	II a 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III	早晚、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。
IV	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

表-3 変状区分¹⁾

変状区分	外力	材質劣化	漏水
概要	トンネルに作用する外力によるもの	コンクリート等の材質劣化によるもの	漏水自体が問題となるもの
主な変状	圧ざ、ひび割れ、変形、沈下、盤ぶくれ等	ひび割れ、うき、はく離、豆板、補修・補強材の劣化（腐食）等	漏水、土砂流入、滞水、石灰分の溶出、つらら等
主な原因	緩み土圧、偏土圧、地すべり土圧、膨張性土圧、水圧等	経年劣化、中性化、施工不良、ASR、塩害等	ひび割れ等+背面の地下水、気温等
			

表-4 健全性の判定区分¹⁾

区分	定義
I 健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II 予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III 早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV 緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

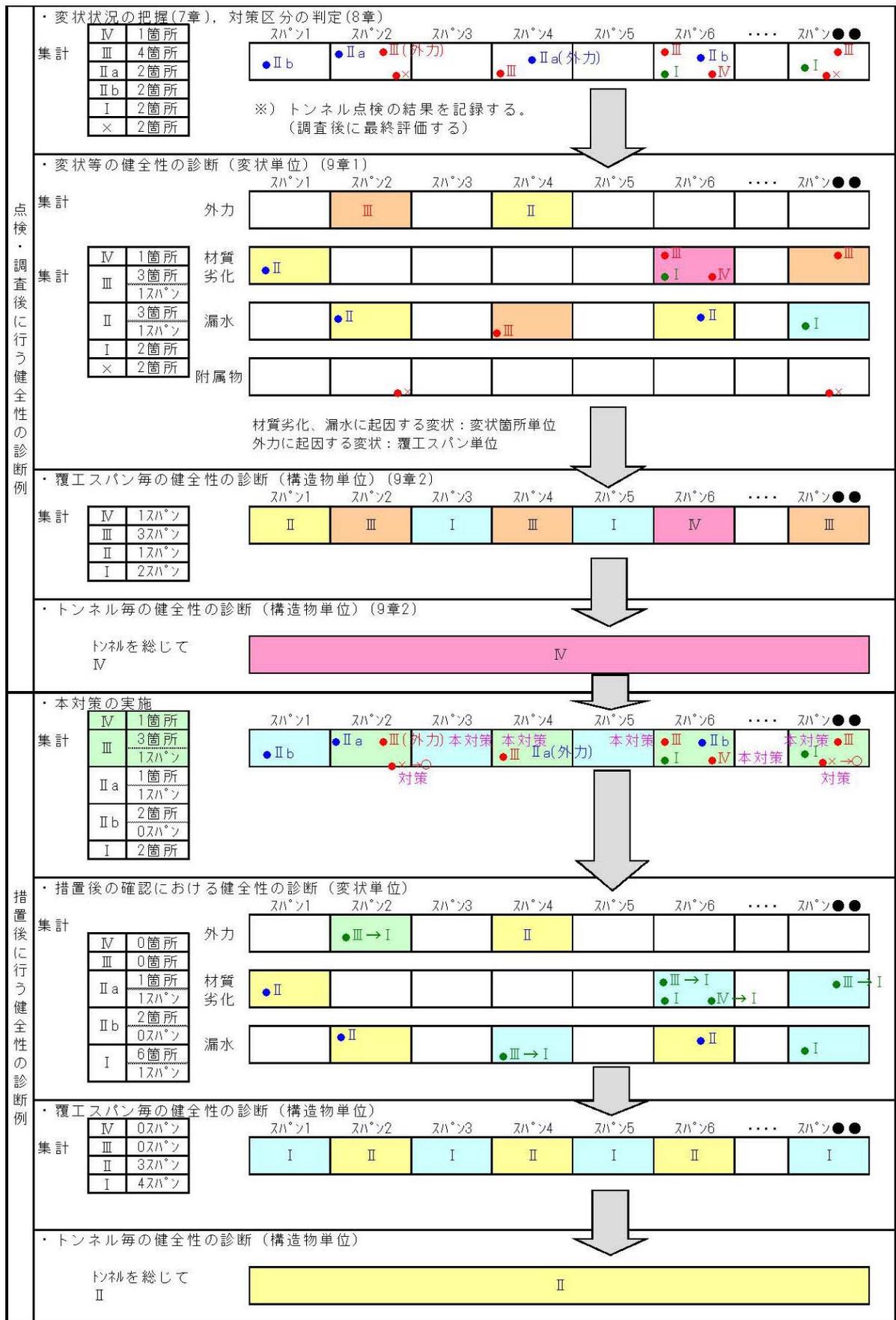


図-8 健全性の診断の流れ⁰⁾

本稿ではより詳細な分析を行うため、トンネル内の覆工スパン毎の変状に着目した。ここでスパンとは、覆工を施工する際の区画割のことである。

全直轄トンネルの定期点検は「道路トンネル定期点検要領（平成26年6月、道路局国道・防災課）」（以下、「点検要領」という）に基づき実施している。トンネルの覆工等に発生した劣化を変状といい、変状はその程度に応じて、【I】、【IIb】、【IIa】、【III】、【IV】の5段階の対策区分に判定される（表-2）。なお、変状は形態・原因により【外力】、【材質劣化】、【漏水】の3種類の変状区分に分類される。（表-3）また、変状毎に健全性の診断（【I】、【II】、【III】、【IV】）の4段階、表-4）が行われる。健全性の診断結果はスパン毎に集約され、最も悪い診断結果がそのスパンの健全性となる。同様に、各スパンの内最も悪い診断結果がトンネル全体の健全性として評価される（図-8）。なお、健全性は国土交通大臣に報告し、構造物の状態の把握及び必要な措置を講ずるために設定されている。

本稿では、維持管理や点検の効率化について検討する上で、変状の対策区分に着目して整理を実施している。これは、対策区分【IIa】と【IIb】（共に健全性の診断では【II】）では、実際の変状の程度は異なるためである。また、点検要領中の解説文に記述されているように、対策区分が【IIa】の箇所においては「重点的な監視（前回の定期点検または監視から2年後を目安に近接目視を実施）」が必要（【IIb】は日常巡視等で状況を把握）である。

(2) スパン判定

はじめに、建設工法（矢板工法（スパン数:17,722）及びNATM（同:26,620））別の各スパンの状態について、対策区分を元に比較・整理した（図-9）。

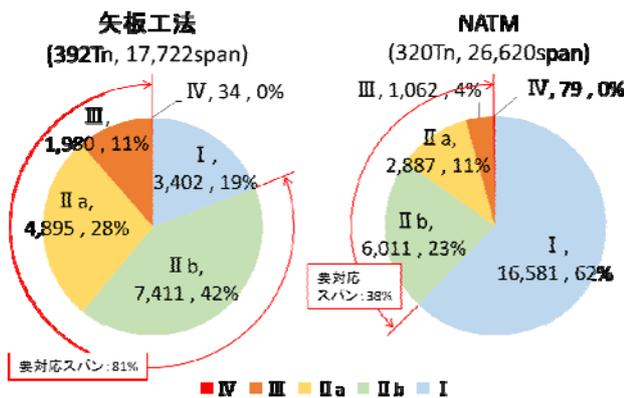


図-9 対策区分比較（建設工法別・スパン集計）

図-9より、【I】以外の判定となった変状が発生した「要対応スパン」は、矢板工法では、17,722スパン中14,320スパン（約8割）であるのに対し、NATMでは26,620スパン中10,039スパン（約4割）という結果となっている。また、矢板工法における【IIb】の判定のスパン数の割合は、NATMにおける同じ判定のスパン数の割合と比

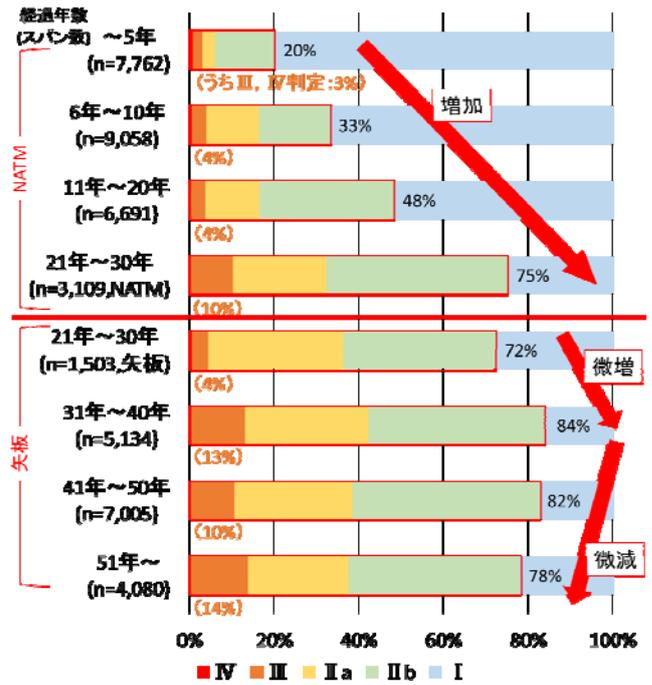


図-10 対策区分比較（建設からの経過年数別）

較して1.8倍程度大きく、【IIa】では、約2.5倍、【III】では約2.8倍大きい。即ち、NATMと比較して、矢板工法では、何らかの対策を必要とするトンネルの割合が大きいことがデータからわかる。

しかし実際には、約30年前に標準的な建設工法の変更があり、矢板工法は最も新しいトンネルにおいても20年以上経過している。一方、NATMでは最も古いもので30年未満であることから、建設からの経過年数の違いを考慮する必要がある。経過年数の影響を確認するため、経過年数をおおむね10年毎に切り分け、整理を実施した（図-10）

図-10より、NATMにおいては、【IIb】より悪い判定となった変状が発生したスパンは、建設からの年数が経過するにつれて増加傾向にあることから、相関関係にある可能性が考えられる。

しかし、矢板工法においては、経過年数21年~30年と比較して、経過年数31年~40年のトンネルにおいて、【IIb】より悪い判定のスパン数の割合がやや増加しているものの、経過年数41年~50年及び51年以上については減少傾向にあることが確認できる。考えられる可能性として、①対策工の実施による判定の改善、②変状の進行の鈍化等が挙げられる。引き続き調査を実施し、要因を詳細に分析する必要がある。

(3) 変状区分別の比較

上述の通り、定期点検におけるスパンの健全性は、そのスパンにおける最も状態が悪い変状により決まる。従って、診断結果上は同一の診断結果であっても、実際にそのスパンに起きている状態が同様とは限らない。そこで、各スパンの対策区分を変状区分毎に分類し、比較・

整理を実施した（図-11）。また、変状の発生状況について、建設からの経過年数別に整理した（図-12）。なお、図-12については、対策区分【I】の変状の記録上のバラツキを考慮し、【IIb】以上を整理の対象としている。また、経過年数毎のトンネル本数が均等で無いことや、トンネル1本当たりの延長が異なること（図-4）を考慮し、トンネル延長100m当たりの箇所数としている。

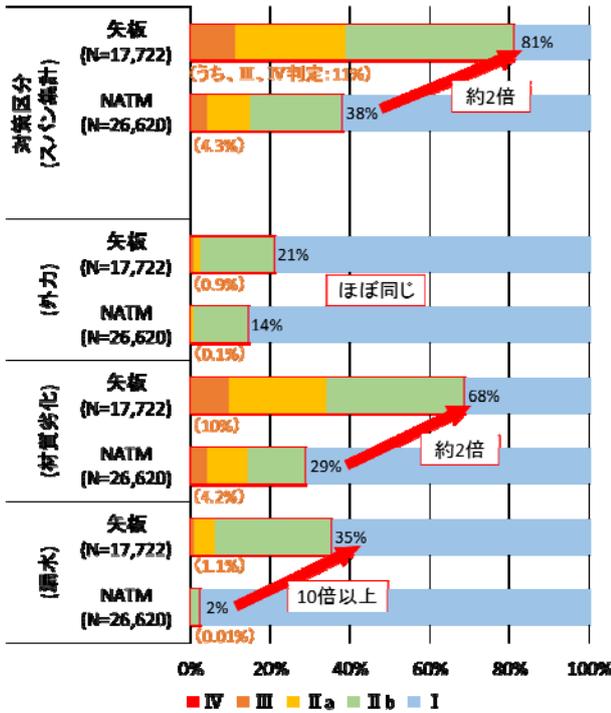


図-11 対策区分比較（建設工法・変状区分別）

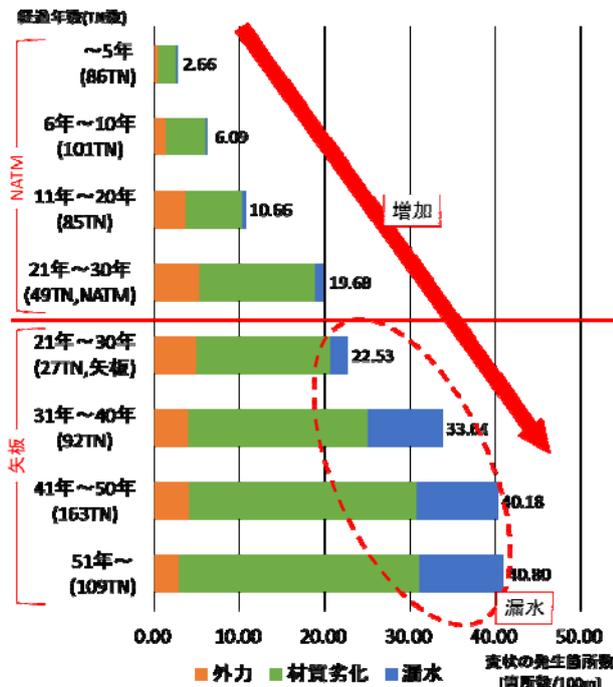


図-12 【IIb】より悪い対策区分の変状の発生状況（変状区分・建設からの経過年数別）

【外力】については、図-11より、【IIb】より悪い判

定のスパン数の割合の建設工法による差は7%程度であり、割合の大きい矢板工法でも全体の1/5程度に留まる。また図-12より、建設からの年数が経過するにつれ、変状の発生箇所数がやや減少していることが確認できる。矢板工法はNATMと比較して、覆工に外力が作用する構造であること（表-1）、また地山と覆工背面（とりわけアーチ部）との間に空隙が残るのが通例であること等から、緩み土圧等の外力による変状が発生しやすい。しかし、炭素繊維シートによる補強等の変状対策工を実施しているトンネルもあり、今回の定期点検では対策済として、【I】と判定された可能性がある。なお、一般に覆工に外力が作用しない構造であるNATMにおいて、外力による変状が一定数発生していることについては、その実態や原因について、引き続き調査が必要と考えられる。

【材質劣化】については、【IIb】～【IV】のスパン数の割合が、矢板工法はNATMと比較して約2倍となっている。またそのうち、より緊急性の高い【III】、【IV】に限定しても同様の傾向が確認でき、建設工法による【材質劣化】の変状の発生が、対策区分に依らず概ね一様の傾向を示す結果となっている。

点検要領中の用語の定義では、材質劣化とは「使用材料の品質が時間の経過と共に劣化が進行するもの（後略）」と記述されており、図-12においても、経過年数に応じて材質劣化による変状の発生箇所数が増加していることが確認できる。一方、建設から5年程度のトンネルにおいては、目地部のはく離等、施工に起因すると推定される変状も一部において見られた。

【漏水】については、矢板工法では3割以上のスパンにおいて、【IIb】～【IV】となっているのに対し、NATMでは僅かに2%程度となっていた。特に、矢板工法により建設され、31年以上が経過したトンネルで顕著（100mあたり10箇所程度）であることが図-12より確認できる。技術基準においては、「トンネル内への漏水を防ぐため、適切な防水工を設計するものとする」と定められており、通常、覆工と支保工の間に、防水シートによる防水工が施工されており、このことがNATMにおいて漏水による変状が激減している要因であると考えられる。

以上より、スパンの健全性は、矢板工法においては【材質劣化】及び【漏水】、NATMにおいては【外力】伊及び【材質劣化】に大きく影響を受けていると考えられる。

(4) 過年度の点検記録との比較

直轄トンネルについては、平成11年の山陽新幹線のトンネルにおける覆工コンクリートのはく落を契機として、平成14年に「道路トンネル定期点検要領（案）（国土交通省道路局国道課）」（以下、「旧要領」という）策定されており、以降平成25年度まで、旧要領に基づく定期点検が実施されてきたところである。

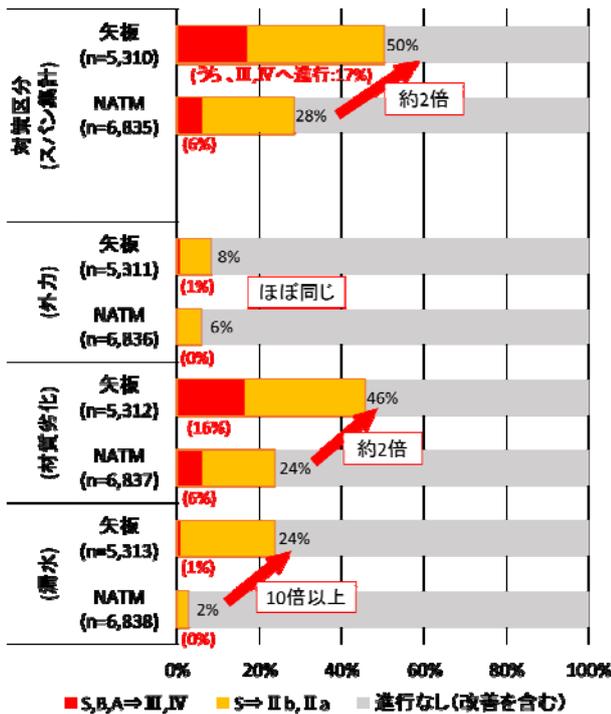


図-13 変状の進行性 (建設工法・変状区分別)

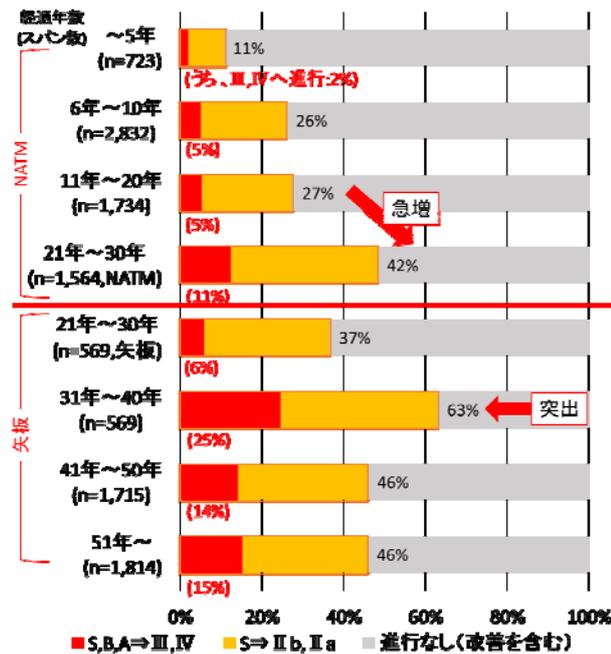


図-14 変状の進行性 (建設からの経過年数別)

表-5 対策区分の新旧対比¹⁾

点検要領 (H26~)	旧要領 (~H25)
判定区分 (5区分)	点検結果判定 (3区分)
I : 健全	S (変状無、軽微)
II b : 予防保全段階	B (変状有り : 危険性低、要調査)
II a : 予防保全段階	
III : 早期措置段階	A (変状大 : 危険性高、要応急対策、要調査)
IV : 緊急措置段階	

過去の点検記録との比較により、スパンの判定の変化

・進行性を把握することを目的に、点検トンネルの中から過年度に定期点検を実施しているトンネルを200本(工法別に100本ずつ)抽出し、スパン毎の対策区分の変化について整理した(図-13)。また、建設年代別の傾向について、経過年数別に整理した(図-14)。

なお、点検要領の変更に伴い、変状の判定区分が異なるため、表-5のとおり読み替えを実施している。

図-13より、矢板工法の約半数のスパンにおいて、対策区分が悪化していることが確認できる。NATMと比較すると約2倍(【III】、【IV】へと進行したスパンに限定すると約3倍)悪化しており、建設工法の違いによる対策区分の悪化に差があることがわかる。

変状区分別には、【外力】については建設工法による差が殆どなく、また全スパンに対しても殆ど進行していないことが確認できる。

一方、【材質劣化】及び【漏水】については建設工法間で大きな差があり、特に矢板工法では全スパンの半数で【材質劣化】が、約1/4のスパンで【漏水】がそれぞれ進行していることが確認できる。

なお、全体的な傾向としては、図-9による結果と比較して概ね一致していると考えられる。

建設からの経過年数別にみると、矢板工法及びNATM共に、概ね経年に応じ変状が進行しているスパンが増加していることがわかる。このことは、老朽化したトンネルほど、より多くのスパンにおいて変状が進行している可能性を示している。

ただしNATMについては、建設から21~30年経過したトンネルについて進行性割合が急増している。また矢板工法については、建設から31~40年経過したスパンについて進行性割合が突出している。

現時点においてこれらの結果の意味について分析するには至っていないが、今後、進行の速度等についても調査する必要があると考えられる。

4. まとめ

今回の分析では、矢板工法とNATMについてスパンの変状区分と判定区分に着目した結果、建設からの経過年数や建設工法の違いにより、それぞれ傾向が明らかに異なっていることが確認できた。引き続き点検結果の分析を行い、今回の分析結果との比較も行いながら、トンネルの変状についての正確な傾向の把握に努め、維持管理や点検手法の効率化に向けた検討を進めたい。

謝辞

データを提供していただきました各地方整備局等のご担当者様に、御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 道路トンネル定期点検要領、国土交通省道路局 国道・防災課、平成26年6月

