

特集報文：道路構造物の点検への取組み

# 点検結果に基づく道路トンネルの変状実態

石村利明・砂金伸治・笹田俊之

## 1. はじめに

現在、国内の道路トンネルは平成24年4月時点で箇所数10,146箇所、総延長3,940kmと年々増加している。昨今、道路トンネルを含む社会資本ストックに対する適切な維持管理が求められている背景のもと、平成26年6月に国土交通省から道路トンネル定期点検要領<sup>1)2)</sup>が発出された。今後、財源が制約される中で効率的に道路トンネルの維持管理を実施していくためには、路線の重要度やトンネルの諸条件、管理者の要求水準に見合った点検を行い、適切な診断、措置、記録といったメンテナンスサイクルの確立が求められる。

本報文では、今後の合理的な点検手法の検討を行うための基礎的資料を得ることを目的として、幅広い供用開始年の異なる多くのトンネルの定期点検結果を収集し、供用年数・施工方法と変状実態の関連性、また現在の山岳トンネルの標準的な施工方法である NATM により構築されたトンネルを対象として支保構造の規模と変状実態に関して分析した結果について報告する。

## 2. 供用年数・施工方法の違いによるトンネルの変状の実態

### 2.1 調査・分析方法

調査・分析は、道路トンネル定期点検要領（案）（平成14年）<sup>3)</sup>（以下、「旧定期点検要領」という）に基づいて各トンネルで実施された複数回の定期点検結果のうち、最新の点検結果を使用し、供用年数・施工方法の違いによる変状実態を整理した。さらに、積雪寒冷特別地域略図<sup>4)</sup>をもとに、寒冷地域と寒冷地域以外のトンネルで区分し、それぞれの地域での変状の発生状況の差異を把握した。なお、分析にあたり最新の点検結果を使用したのは、定期点検の方法・時期等の情報が入手困難の場合があったためである。したがって、本分析結果は、対象として取り上げたトンネルにおい

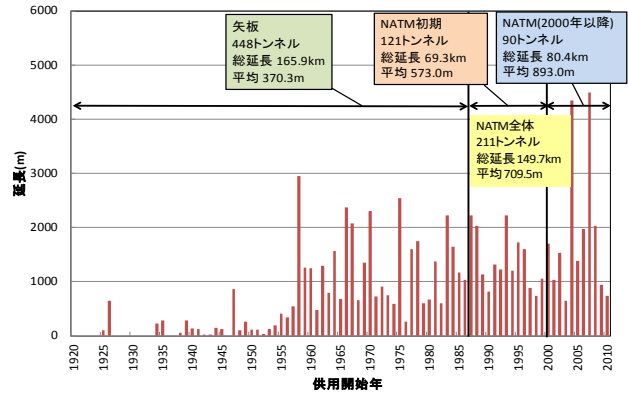


図-1 分析トンネル（供用開始年毎）

て最新の状態で点検結果に基づくものであり、そのトンネルにとっての初回定期点検時で発見された変状に限らず、その後に発生した変状や補修履歴等を含んだものであることを前提として検討を行っている。分析対象とした道路トンネルは、図-1に示す1925年から2011年に供用を開始した659本（総延長316km）のトンネルとした。施工方法については、1980年代中頃までに一般的に用いられた矢板工法（以下、矢板）と、それ以降採用され始めたNATMに区分した。NATMについては、さらに2000年以降に採用され始めた品質や耐久性を向上させる技術等の適用による違いを確認するため、初期と2000年以降とに区分して整理した。

### 2.2 施工方法によるトンネルの変状実態の差異

図-2 に最新の点検結果に基づいて各供用開始年毎の全トンネルの変状数を全延長で除して整理した延長 100m あたりのトンネル変状数を示す。図中には段差、うき・はく離・はく落、豆板、補修材のうき・はく離・はく落、ひび割れ、漏水、つららの変状毎の変状数を示す。ここでいう変状数とは、各変状の種類・規模・変状の程度に関わらず定期点検で抽出された変状の合計とした。図より、1925年のトンネルの変状数が多い（漏水：256、ひび割れ：279）。これは、対象とされるトンネル数が少ないことも理由として考えられるが、1920年代～1930年代のトンネルは一般的に木製支柱式支保工を用いた掘削により、コンクリートブロック製の材料を用いた覆工で施工され

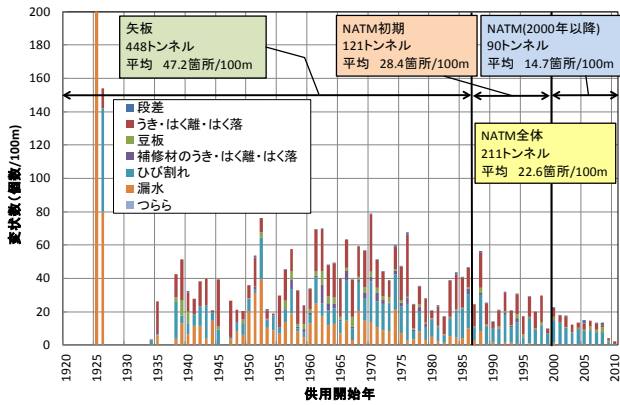


図-2 供用開始年毎のトンネル変状数

ており、供用年数の経過とともに、これら施工方法の違いが変状数に関係している可能性がある。NATM と矢板のトンネルでは NATM で 100m あたりの変状数が 23 と矢板の 47 に比較して少ない傾向が見られた。特に、NATM のトンネルは防水シートが設置されることで漏水による変状が少ない。また、覆工コンクリートの品質向上や耐久性向上等に対して諸対策が採用されることが増加したと考えられる 2000 年以降における NATM では、初期の 28 に対して 15 と、さらに変状数が少ない傾向にある。これらの変状数の違いは、経過年数の違いによる材料劣化の要因によるひび割れ等も含まれるが、矢板と NATM のトンネル構造の違い、NATM の 2000 年以降での覆工コンクリートの施工方法の改良が大きく影響しているものと考えられる。すなわち、矢板によるトンネルは覆工が逆巻き工法により構築されるのが一般的であるため、覆工の 1 スパン毎の横断方向目地のほか、トンネル延長方向にアーチ部と側壁部の縦断方向打継ぎ目が存在していること、NATM のように防水シートが施されていないため覆工の目地や打継ぎ目、あるいはひび割れ部等から漏水が生じやすい構造であること、また、NATM の 2000 年以降における目地部でのうき・はく離防止を目的としたコンクリート打設時の打

継ぎ部の施工方法の改良や養生方法の工夫などによる取り組みなどによると考えられる。

図-3 に各施工条件毎の延長 100m あたりの変状数を変状の種類



写真-1 目地部のうき

毎に示す。図には各変状について旧定期点検要領<sup>3)</sup>に基づいた判定区分 A、B、S 毎の変状数も示した。ここで、判定 A は「変状が著しく応急措置や対策を必要とする」、判定 B は「変状があり調査を要する」、判定 S は「変状があっても健全か軽微な変状」である。図より、変状の種類毎で見ると、矢板ではうき・はく離・はく落が最も多く、ひび割れ、漏水と続く。また、NATM では、初期、2000 年以降ともにひび割れが最も多く、うき・はく離・はく落と続く。なお、個別の変状の代表的な例としては、コンクリートの乾燥収縮や温度収縮等によって覆工スパンの中央付近での横断方向のひび割れ、天端付近の縦断方向のひび割れ、覆工の劣化等により目地や打継ぎ目等のコンクリートが分離された部分に発生するひび割れ、または写真-1 に示すような型枠の押し上げ等によるものと考えられる目地部の三ヶ月状のうき・はく離がある。

変状の判定区分で見ると、矢板では全体の変状の約 60%は S 判定で健全か軽微な変状となっているが、約 40%で調査が必要な判定 B の変状である。また、判定 A の変状が著しく応急措置や対策を必要とする状況の変状も数%程度発生している。特に、うき・はく離・はく落が約 60%程度で B 判定以上の判定区分である。一方、NATM の B 判定以上の全体の変状は、初期で約 25%、2000 年以降で約 15%程度と矢板に比較して少ない。

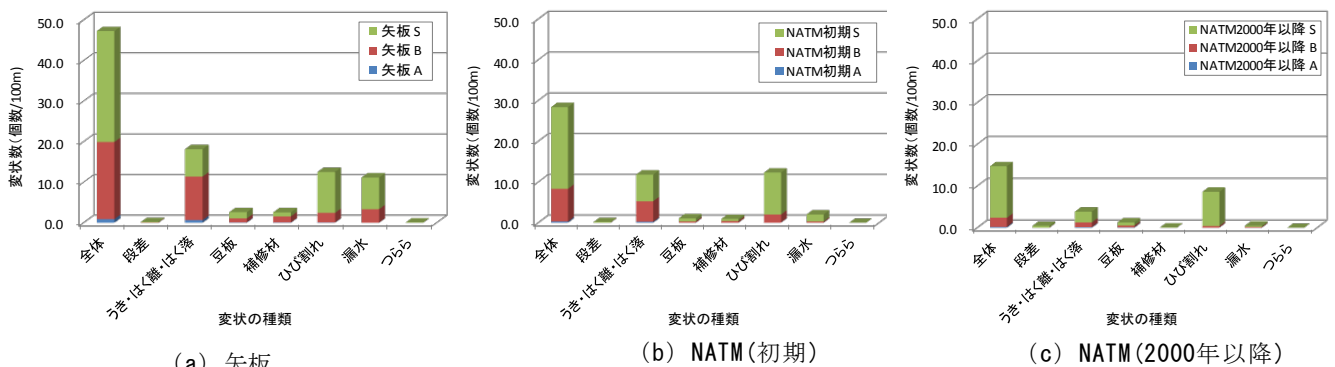


図-3 変状の種類毎の変状数

表-1 地域差による変状実態の分析トンネル

		矢板工法	NATM		
			全体	初期	2000年以降
寒冷地域	本数(本)	103	50	34	16
	延長(km)	55.3	44.4	22.7	21.7
寒冷地域以外	本数(本)	296	161	87	74
	延長(km)	101.9	105.3	46.7	58.6

以上より、施工方法によって変状数、判定区分が異なっていることが分かった。すなわち、矢板によるトンネルでは変状数が多く、判定区分の評価も比較的悪い変状の割合が多い。また、NATM は矢板に比較して変状数も少なく、判定区分の評価が悪い変状の割合も少ないことが分かった。

### 2.3 地域によるトンネル変状実態の差異

ここでは寒冷地域と寒冷地域以外におけるトンネルの変状実態の差異について分析する。寒冷地域と寒冷地域以外のトンネルの変状実態の比較にあたっては、同時期における供用開始年トンネルとの比較を行うこととし、前記の 659 トンネルの中から寒冷地域に位置しているトンネルの中で最も古い年次である 1958 年以降のトンネルを対象とした。分析トンネルの本数・延長を表-1 に示す。

図-4 に変状の種類毎の 100m あたりの変状数を示す。これより、変状数全体では矢板と NATM の初期で寒冷地域の変状数が寒冷地域以外に比べて、それぞれ約 10%、約 35%程度多く、また、各変状ともに寒冷地域の変状数が寒冷地域以外に比べて若干であるが多い。中でも NATM 初期ではひび割れの寒冷地域が寒冷地域以外に比べて約 60%程度多いことがわかる。

一般に、寒冷地域では寒冷地域以外に比較して厳しい環境条件下であるため、凍害や漏水等に起因する材質劣化への影響が大きいと考えられることから、うき・はく離・はく落等が寒冷地域のほ

うが多くなったものと考えられる。

以上より、一般的に考えられているように環境条件が厳しい寒冷地域に位置するトンネルのほうが寒冷地域以外に位置するトンネルに比べて変状数が多い傾向にあることがわかった。

## 3. NATMを対象とした支保パターンとトンネル変状との関係

### 3.1 調査・分析方法

NATM を対象に、トンネル施工時の資料が収集できた昭和 62 年(1987年)から平成 20 年(2008年)に施工された 28 トンネルについて図-5 に示す地山等級(支保パターン)の分析スパン数について 1 スパンあたりに発生する変状数、地山等級との関係を分析した。なお、分析は NATM の初期(8 トンネル)、2000 年以降(20 トンネル)に分類して整理した。

### 3.2 調査・分析結果

地山等級毎の全データを用いた1スパンあたりのうき・はく離・はく落の変状数を図-6に示す。図中には、旧定期点検要領<sup>3)</sup>に従った変状の判定区分(変状原因との関係は未分析)も示す。28 トンネルの限定された結果であり、地山等級がC I とD II では分析したスパン数が少ないことに留意する必要はあるが、マクロ的な傾向として、図より、平均的には1スパンあたり概ね0.5箇所程度、最大で2箇所程度の変状数となっている。また、NATM初期は2000年以降と比較して、変状が著しく応急措置や対策を必要とするA判定や、変状があり調査を要するB判定の変状が多いことがわかった。一方で、2000年以降のトンネルでは変状があっても健全か軽微な変状のS判定が多いことがわかった。これらの結果は、前述したように供用開始年からの経過年数による影響も含まれて

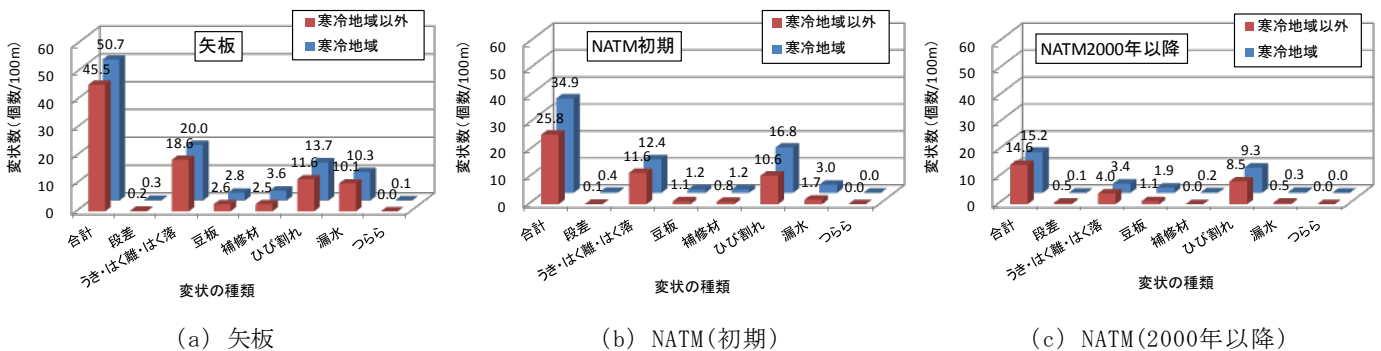


図-4 変状の種類毎の変状数(地域による違い)

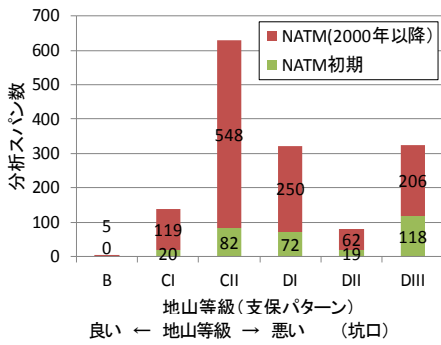
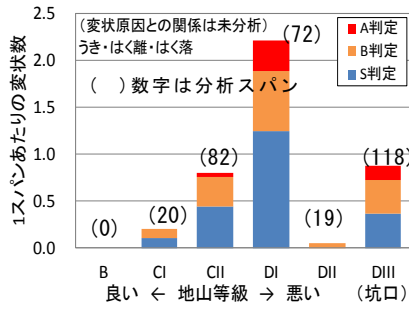
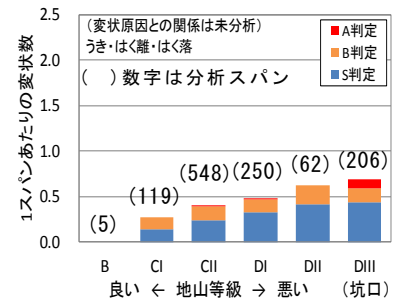


図-5 地山等級毎の分析スパン数



(a) NATM (初期)



(b) NATM(2000年以降)

図-6 1スパンあたりの変状数 (うき・はく離・はく落)

いと考えられるが、覆工の品質向上等の諸対策による効果も現れていると考えられる。地山等級による変状数の違いは、図-6(a)で一部の地山等級を除き、地山等級が悪い場合に変状数が多くなる傾向が顕著であるが、図-6(b)は漸増程度である。この点に関しては、今後はデータを増加させることで、より精度の高い分析を行う必要があると考えられる。

#### 4. まとめと今後の点検への反映

限られたデータではあるが、供用中トンネルにおける最新の点検結果を用いた比較・分析により、以下のことがわかった。

- 1) 施工方法によって変状数、判定区分が異なり、矢板工法はトンネルの変状数が多く、判定区分の評価も比較的悪い変状の割合が多い。NATMは矢板工法に比較して変状数も少なく、判定区分の評価が悪い変状の割合も少ない。これらの要因としては、経過年数の違いによる材料劣化やトンネルの構造の違いが考えられる。
- 2) 環境条件が厳しい寒冷地域に位置するトンネルのほうが寒冷地域以外に位置するトンネルに比べて変状数が多い傾向にある。

- 3) NATM初期の場合、支保パターンとトンネルの変状との関係は、一部の地山等級を除き、地山等級が悪い場合に変状数が多い傾向にある。なお、本分析結果はその時点での最新の点検結果に基づくものであり、トンネルにとっての初回の定期点検で発見された変状に限っていないということが前提となる。

以上より、トンネル施工方法や諸条件等の違いで発生する変状の数や状態が異なることがわかった。今後、効率的な点検を実施していくためには、施工方法や施工時の情報等をもとに、発生しやすい変状の発生箇所の把握とともに、変状の進行程度に応じた適切な点検の頻度や方法の設定について取り組んでいく予定である。

#### 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、平成26年6月
- 2) 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
- 3) 道路トンネル定期点検要領(案)、国土交通省道路局国道課、平成14年4月
- 4) 積雪寒冷特別地域における道路交通の確保について、平成21年3月31日、国土交通省HP、[http://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_000064.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000064.html) (2015/6/1 参照)

石村利明



国立研究開発法人土木研究所  
道路技術研究グループトンネル  
チーム 総括主任研究員  
Toshiaki ISHIMURA

砂金伸治



国立研究開発法人土木研究所  
道路技術研究グループトンネル  
チーム 上席研究員、博  
(工)  
Dr.Nobuharu ISAGO

笹田俊之



国立研究開発法人土木研究所  
道路技術研究グループトンネル  
チーム 交流研究員  
Toshiyuki SASADA