

道路トンネルの点検結果に基づく 変状実態に関する一考察

SITUATION OF DEFECT AND DEFORMATION ON THE RESULT OF PERIODICAL INSPECTION OF ROAD TUNNEL

石村 利明^{1*}・砂金 伸治²・笹田 俊之²

Toshiaki ISHIMURA^{1*}, Nobuharu ISAGO², Toshiyuki SASADA²

Rational establishment of inspection methodology is needed for road tunnel to secure the safety of users and structures. In this study, the relation between the situation of defects and some conditions of tunnels, such as the year after tunnel open and construction method, was examined on the results of periodical inspection from some road tunnels, in order to gain the fundamental information about maintenance. Also the relation between degree of support structure and the situation of defect was analyzed for the tunnel constructed by NATM.

Key Words :road tunnel, maintenance, inspection, situation of defect ,timbering support method, NATM

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 となっており，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¹⁾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，トンネルが位置する路線の重要度や諸条件，管理者が要求する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を確立していくことが求められる。

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，旧定期点検要領である道路トンネル定期点検要領（案）（平成 14 年）²⁾（以下，「旧定期点検要領」という。）に基づいて，これまで実施された複数の道路トンネルにおけるその時点での最新の定期点検結果をもとに，トンネルの諸条件と発生している変状との関係について分析を行った結果を報告する。具体には，道路トンネルの供用年数や施工方法の違いと発生している変状の関係を検討すると

ともに，現在，山岳トンネルの標準的な施工法である 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（地山等級（支保パターン））と変状の実態との関係について分析を行った。

2. 道路トンネルの点検結果に基づく変状実態

検討は，既往の点検データの分析を行うことにより，トンネルが位置する地域による変状の差異を含めたトンネルに発生している変状の実態等について以下の検討を行った。

(1) 供用年数・施工方法の違いによるトンネルの変状の実態

供用中の道路トンネルにおいて旧定期点検要領²⁾に基づいて実施された既往の定期点検結果の収集を行い，点検結果の比較・整理を行い，供用年数・施工方法の違いによるトンネルに発生する変状の違いについて分析した。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 本のトンネル（総延長 316km）である。施工方法の違いについては，従来一般的に用いられた矢板工法と，1980 年代中頃より採用さ

キーワード：道路トンネル，維持管理，点検，変状，矢板，NATM

¹正会員 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 Public Works Research Institute, (E-mail: ishimura@pwri.go.jp)

²正会員 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 Public Works Research Institute

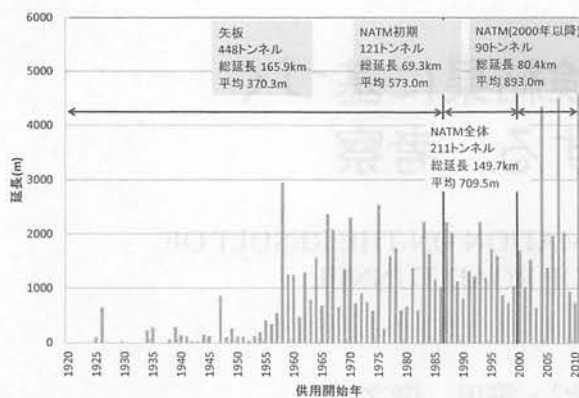


図-1 分析トンネルの供用開始年毎のトンネル延長



図-2 積雪寒冷特別地域略図④

れ始めて現在は標準的な工法として用いられている NATMに区分した。さらに、NATMについては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、NATM初期と2000年以降とに区分し検討を行った。分析は、平成14年以降に各トンネルで実施された複数回の定期点検結果のうち、その時点での最新の定期点検結果をもとに最新のトンネルの変状実態について整理・分析を行った。これは、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を前提としなければならない。

さらに、寒冷地域とそれ以外の寒冷地域以外のトンネルでの変状の発生状況の差異を把握するため、前記659トンネルの所在地と図-2に示す積雪寒冷特別地域略図④をもとに「積雪地域ならびに寒冷地域の両地域でカバーされる地域」、「寒冷地域のみ」のいずれかに位置するトンネルを、「寒冷地域」に位置しているトンネルとして抽出し、「寒冷地域」以外のトンネルの変状と比較を行った。ここで、図-2は積雪寒冷特別地域におけ

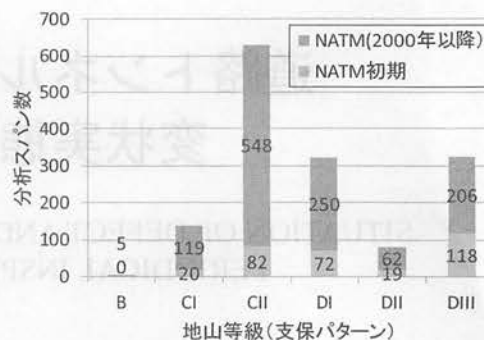


図-3 地山等級毎の分析スパン数

る道路交通の確保に関する特別措置法（昭和31年法律第72号）第4条第1項に規定する積雪寒冷特別地域道路交通確保5箇年計画として指定された地域の積雪寒冷特別地域略図である。

(2) NATMを対象とした支保パターンとトンネル変状との関係

NATMにより施工されたトンネルの変状の実態は、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トンネルをそれぞれNATM初期（2000年より前）（8トンネル）、NATM（2000年以降）（20トンネル）と分類し、図-3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、地山等級との関係について分析した。

3. 検討結果

(1) 供用年数・施工方法の違いによるトンネルの変状の実態

図-4に最新の点検結果に基づいた各供用開始年毎のトンネルの延長100mあたりに発生している変状数を示す。変状は、図中に示した段差、うき・はく離・はく落、豆板、補修材、ひび割れ、漏水、つららの変状毎に延長100mあたりに発生した変状数を示す。ここでいう変状数とは、各変状の種類・規模・変状の程度に係わらず定期点検で抽出された変状の合計と定義した。図より、1925年のトンネルで漏水の変状数（256）が極端に多い。縦軸の関係で図には示されていないが同年のひび割れも同程度（279）の変状数である。これは、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を行い、コンクリートブロック製の材料を用いた覆工のトンネルで施工されており、供用年数の経過とともに、これらの施工方法の違いの影響が変状の発生数に関係している可能性がある。また、NATMは、矢板

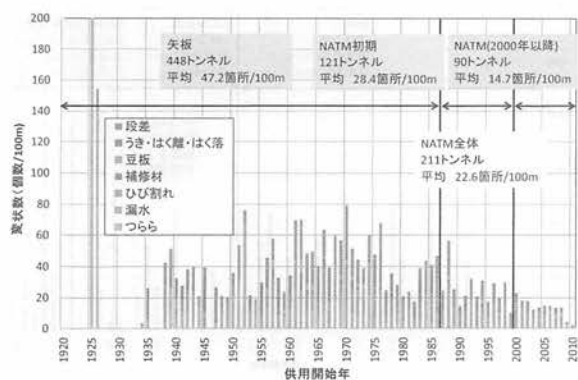
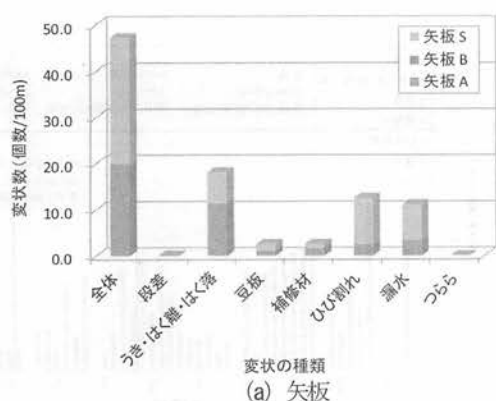


図-4 供用開始年毎のトンネル変状数

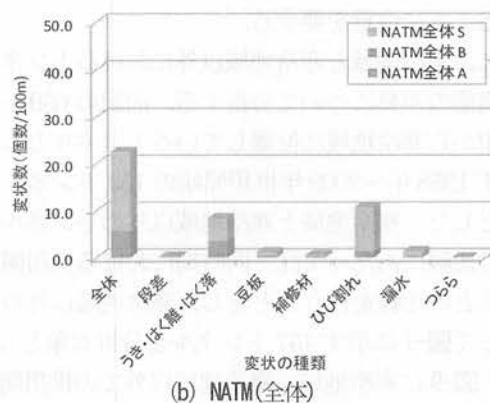
工法によるトンネル(以下、矢板)に比べて 100m あたりの変状数が少ない傾向が見られた。また、覆工コンクリートの品質向上や耐久性向上等に対して諸対策が採用されることが増加したと考えられる 2000 年以降における NATM によるトンネルでは、さらに変状数が少なくなっている傾向が見られている。これらは図中に示したように、工法別に矢板～NATM 初期～NATM (2000 年以降) の各区分毎の平均値で整理した 100m あたりの変状数が、それぞれ 47 個、28 個、15 個と減少しており、矢板と比較して NATM 初期で約 60%，NATM (2000 年以降) で約 30%であり、NATM (全体) でも約 50%

と少ない。また、変状は主にうき・はく離・はく落、ひび割れ、漏水の変状が多いことがわかる。また、比較的供用年数が経過している矢板工法によるトンネルの場合は、漏水による変状が多い。一方、NATM によるトンネルは防水シートが設置されていることから、漏水による変状は年々少ないことが分かる。なお、前述したとおり、本分析結果は最新の点検結果に基づくものであるため初回定期点検時で発見された変状に限っておらず、また、個々の変状の劣化の進行が考慮されていないということを前提として考えなければならない。また、NATM (2000 年以降) の変状数が、NATM 初期よりも少ない要因としては、供用開始年の影響も考えられるため、さらなるデータの蓄積を行ったうえでの検討が必要である。

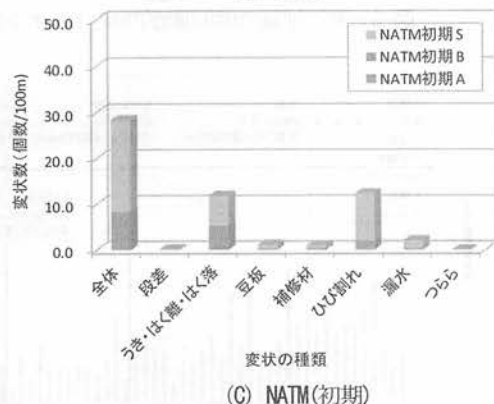
次に図-5 に変状の種類毎の 100m あたりに発生する変状数について施工条件毎に示す。図には各変状について旧定期点検要領³⁾の定期点検結果の判定に基づいた判定区分 A、B、S 毎の変状数も示した。ここで、判定 A は「変状が著しく応急措置や対策を必要とする」、判定 B は「変状があり調査を要する」、判定 S は「変状があっても健全か軽微な変状」である。図より、変状の種類毎で見ると、矢板ではうき・はく離・はく落が最も多く、



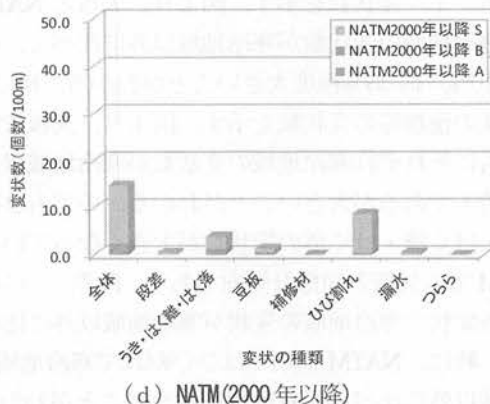
(a) 矢板



(b) NATM(全体)



(c) NATM(初期)



(d) NATM(2000 年以降)

図-5 変状の種類毎の変状数

続いてひび割れ、漏水と続き、これらの変状で全体の約90%を占める。また、NATM ではひび割れが最も多く、うき・はく離・はく落と続き、これらの変状で全体の約85%を占める。NATM の漏水はNATM 初期で多少発生していたものの、2000 年以降の変状数は非常に少なく、ほとんど発生していないことが分かる。

変状の程度（判定区分）で見ると、矢板では変状の約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判定以上の変状の程度である。一方、NATMはB判定以上の変状は矢板に比較して少なく、（初期）で約25%、（2000年以降）で約15%程度となっている。

以上より、供用年数との関連は明確ではないものの、施工条件によって変状数、変状の程度が異なっていることが分かった。すなわち、矢板工法によるトンネルでは変状数が多く、変状の判定区分も比較的悪い変状の割合が多いことが分かった。また、NATMは矢板に比較して変状数も少なく、変状の判定区分の割合も少ないことが分かった。ただし、上述のように本分析は、分析対象のトンネルのその時点での最新の点検結果に基づくものであることに注意を要する。

次に、寒冷地域と寒冷地域以外におけるトンネルでの変状実態の差異について分析する。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として図-6に示す1958年～2009年供用開始の153トンネルを分析対象とした。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、寒冷地域以外のトンネルとして図-7に示す457トンネルを分析対象とした。

図-8、図-9に寒冷地域、寒冷地域以外での供用開始年毎のトンネル変状数を示す。図より、矢板とNATM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%程度大きいことがわかる。次に図-10に変状の種類毎の変状数を示す。図より、矢板では各変状ともにそれぞれ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大きいことがわかる。中でもひび割れ、うき・はく離・はく落の変状数が大きくなっている。NATMでも矢板と同様な傾向であり、段差、つららを除き各変状で寒冷地域の変状が寒冷地域以外に比べて大きい。特に、NATM初期ではひび割れで寒冷地域が寒冷地域以外に比べて約60%程度大きいことがわかる。

一般に、寒冷地域では寒冷地域に比較して厳しい環境

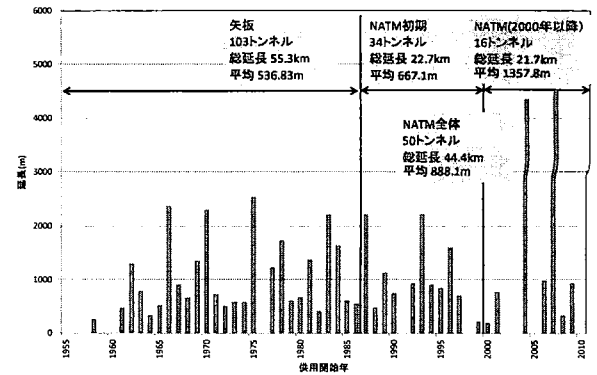


図-6 寒冷地域の供用開始年別のトンネル延長

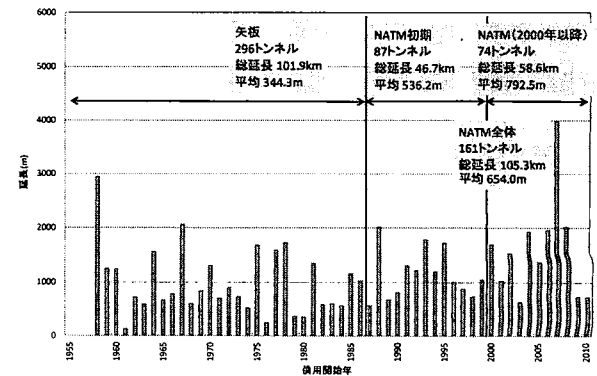


図-7 寒冷地域以外の供用開始年別のトンネル延長

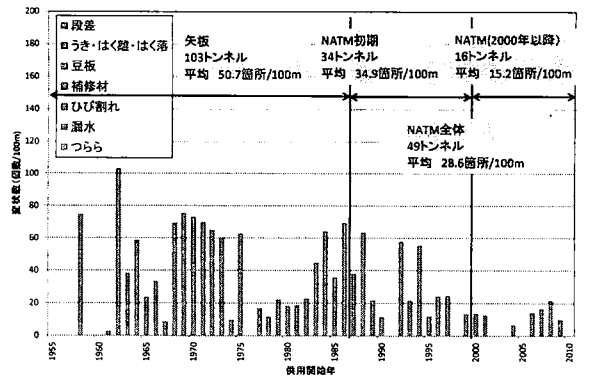


図-8 寒冷地域の供用開始年毎のトンネル変状数

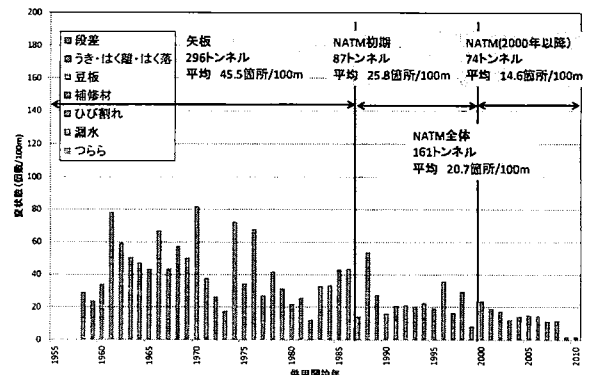


図-9 寒冷地域以外の供用開始年毎のトンネル変状数

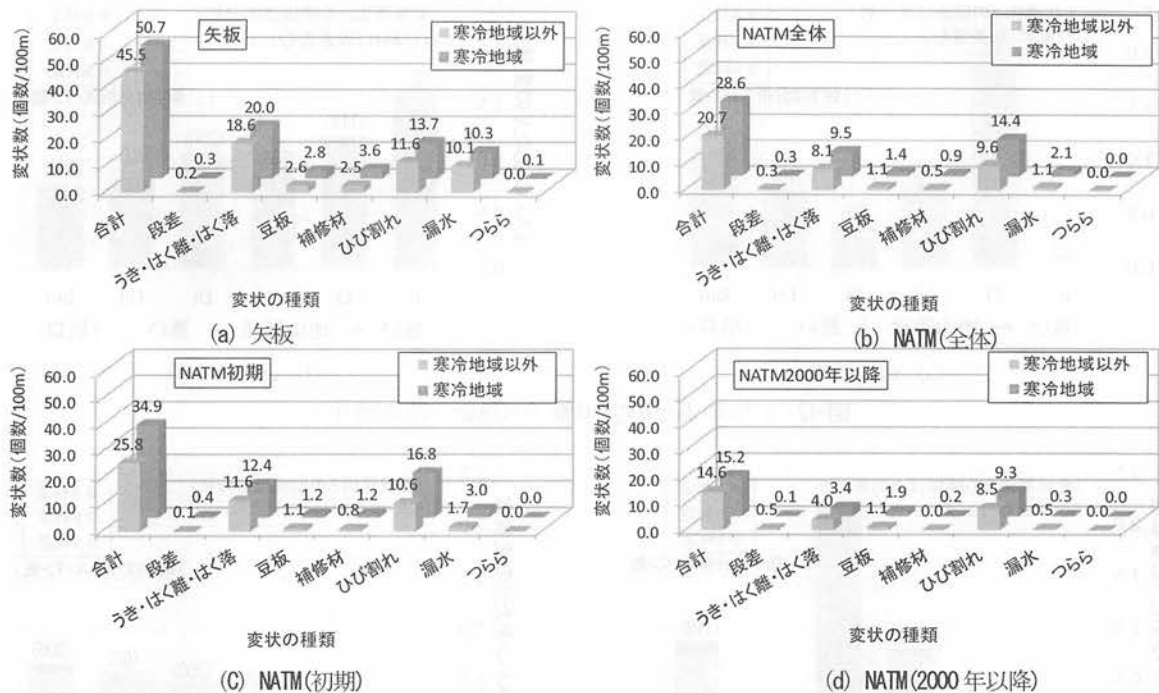


図-10 変状の種類毎の変状数

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。なお、極端な変状数の差異が見られなかったのは、矢板工法によるトンネルの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、防水シートが施されていないため覆工の目地や打ち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から、地域にかかわらず変状数が多く発生していることが考えられる。また、NATM 初期のひび割れで寒冷地域で若干増加したのは防水シートによる止水が不完全なトンネル等で発生した漏水等が何らかの影響を与えたことが考えられる。

以上より、寒冷地域と寒冷地域以外のトンネルでの変状数の極端な差異は見られないものの、マクロ的には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。

(2) NATM を対象とした支保パターンとトンネル変状との関係

図-11 に各トンネルの地山等級毎に 1 スパンあたりに発生した変状数を示す。これより、トンネルによって発生する変状数が大きく異なり、地山等級による顕著な差は見られなかった。これは個々のトンネルで使用材料や環境が異なっていることが原因の 1 つとして考えられる。また、地山等級毎の全データを用いた 1 ス

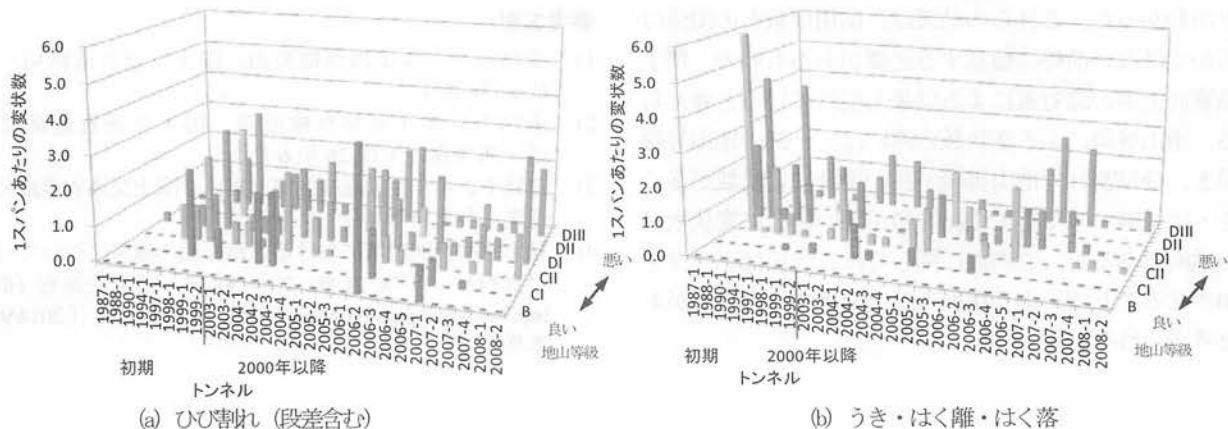
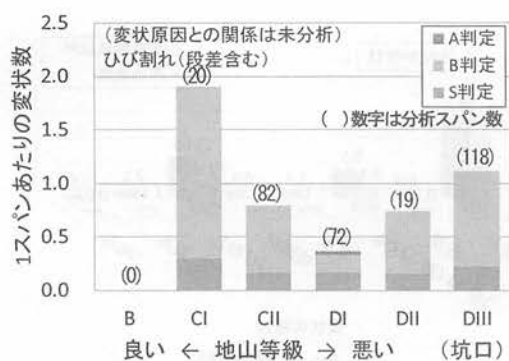
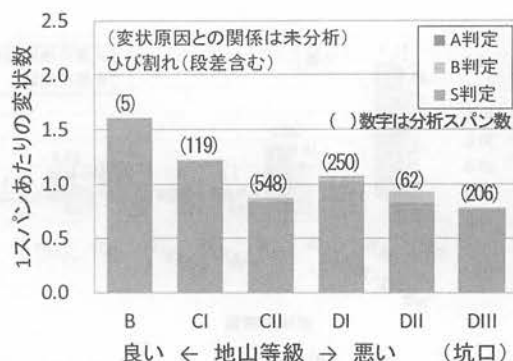


図-11 1スパンあたりの変状数

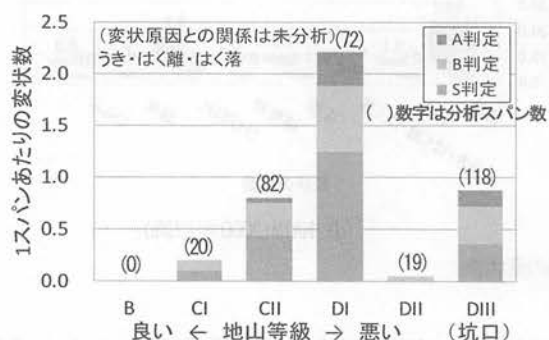


(a) NATM 初期

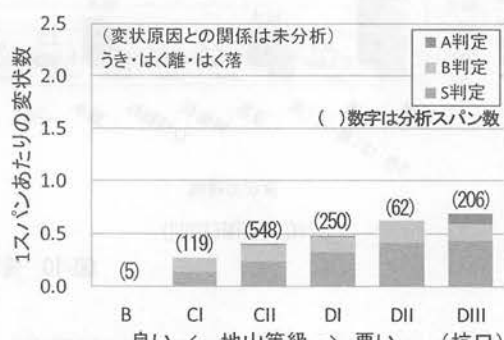


(b) 2000 年以降

図-12 1スパンあたりの変状数 (ひび割れ (段差含む))



(a) NATM 初期



(b) 2000 年以降

図-13 1スパンあたりの変状数 (うき・はく離・はく落)

パンあたりの変状数を図-12、図-13 に示す。図中には、旧定期点検要領³⁾に従った変状の判定結果 (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 CI と DII では分析したスパン数が少ないことに留意する必要があるが、マクロ的な傾向として、図より、ひび割れ、うき・はく離・はく落ともに、平均的には1スパンあたり概ね2箇所程度が最大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 判定の変状があることがわかった。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、供用年数との関係は明らかではない前提に留意する必要があるものの、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、一部の地山等級を除き、ひび割れで地山等級が良い場合に変状数が多く、うき・はく離・はく落で地山等級が悪い場合に変状数が多い傾向にあるが、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. まとめと今後の課題

本検討により供用中のトンネルにおける既往の点検結果を比較・分析を行うことにより、供用年数・施工方法の違いによるトンネルの変状の実態、NATM を対象とした地山等級 (支保パターン) と発生している変状との関係について把握した。

今後、道路トンネルの変状発生の特徴等を考慮して、適切なメンテナンスサイクルの実現と合理的な点検・診断手法の確立に向けた検討が重要であると考えられる。

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 (添付資料), 平成 21 年 3 月 30 日, 国土交通省 HP, http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000064.ht (2014/9/30 参照)