

点検結果にもとづく道路トンネルの 変状の進行に関する一考察

笹田 俊之¹・砂金 伸治²・石村 利明³

¹正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (元 国立研究開発法人土木研究所 交流研究員)
(〒111-8648東京都台東区浅草橋5-20-8CSタワー)
E-mail:ts-sasada@yachiyo-eng.co.jp

²正会員 国立研究開発法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:n-isago@pwri.go.jp

³正会員 国立研究開発法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:ishimura@pwri.go.jp

道路トンネルでは点検や対策の実施を通じて適切に維持管理を行うことが求められており、覆工コンクリート等への近接目視や打音検査等から得られる情報をもとにトンネルの状態を把握している。変状の発生状況や種類はトンネルのおかれた条件等により異なると考えられているが、長期的な傾向も含めて変状の状況やその判定区分の変化を統計的に分析した事例は限定されている。

本研究では、変状の進行が追跡できる実際の道路トンネル定期点検結果をもとに、判定区分の推移や進行性のある変状の特徴についてマクロ的に分析した。その結果、判定区分が大きく変化しやすい変状の発生部位や種類に関する特徴や傾向を明らかにした。

Key Words : road tunnel, inspection, deformation, defect, maintenance

1. はじめに

近年、道路構造物における維持管理の重要性が高まっており、今後、より一層財源が制約される中で適切な点検や対策を実施して構造物の長寿命化を図ることが求められている。道路トンネルの点検においては、定められた要領や便覧等^{1)~2)}にもとづいて、覆工に対して近接目視や打音検査等を実施し、それにより得られる情報をもとにトンネルの状態を把握している。しかし、実際のトンネルの覆工コンクリートにおける変状の進行のメカニズムについては解明されていない部分も残されている。

道路トンネルの変状の発生状況や種類は環境条件やその施工時の条件等を含め、トンネルのおかれた条件等により異なると考えられている。これまで、実績と経験にもとづいて変状の発生部位や種類およびその状態等に関する検討が行われてきているが、変状の発生が確認された後の長期的な挙動も含め、統計的に分析した事例は限定されている。

そこで、著者らは覆工コンクリートにおける変状の進行の実態について知見を得るため、実際のトンネルにお

いて行われた変状の進行が追跡可能な定期点検結果をもとに、判定区分の推移や進行性のある変状の特徴やその傾向についてマクロ的に分析した。

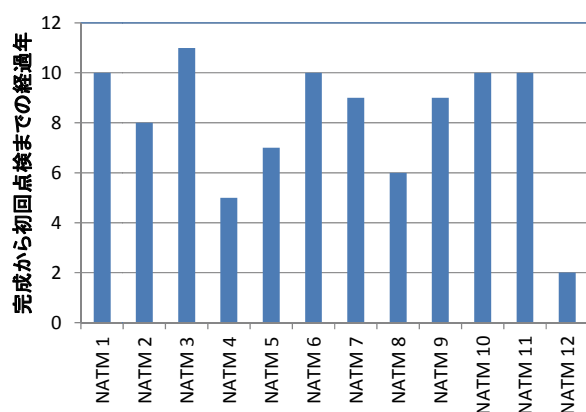
2. 検討方法

本検討では、3回以上の近接目視による点検を実施し、変状展開図や変状写真等から変状の状態が確認できるNATMによる12トンネル(平成4~12年完成)、矢板工法による19トンネル(昭和14~49年完成)、合計31トンネルを対象とした。図-1に対象としたトンネルの完成から初回点検実施までの経過年数を示す。ここで、図-1におけるトンネル名は便宜上、NATMによるトンネルを「NATM+番号」、矢板工法によるトンネルを「矢板+番号」として表している。なお、これらの初回点検の結果は、作成された記録として、最も古い点検結果であったことを確認している。

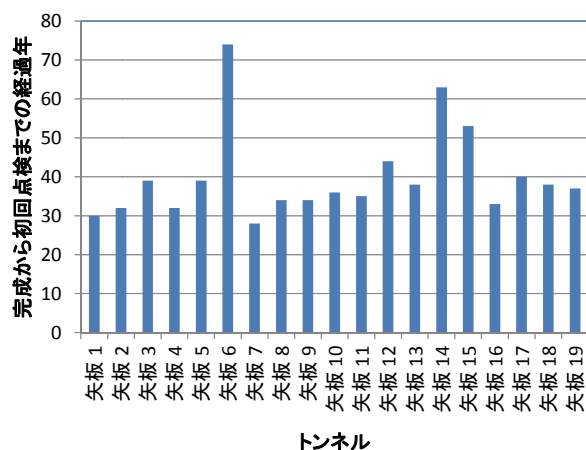
それらの点検データからNATMと矢板工法の別に、変状区分のうち、材質劣化および漏水に対して、それぞれ

初回点検時にさかのぼって対象となる1058の変状を抽出した。なお、変状区分のうち外力に関しては今回分析の対象としたトンネルでは検討が可能な事例がほとんどなかったことから除外した。図-2に判定区分、変状発生部位および変状区分（材質劣化、漏水）の内訳を示す。なお、収集した点検結果はすべて従前の要領等^{2)・3)}の判定区分を用いて判定されたものである。たとえば、従前の要領等における定期点検の位置づけは応急対策や調査の必要性を判定するものであり、また、判定区分は現在示されている定期点検要領とは異なるものである。これらを考慮し、本検討においては写真やメモ等の内容をもとに点検結果の判定や必要に応じて行われた調査の結果判定を比較し、「判定区分」として表-1に示すように3A、2A、A、BおよびSの5区分に分類した。なお、判定区分がSとなる変状は点検記録として残されているものを対象としており、変状として取り上げられなかった、すなわち記録に残す必要がないと判断されたものは含まれていない。

図-2(a)に示す変状について、初回点検の判定区分を



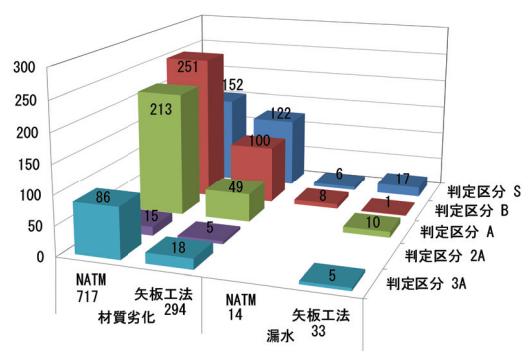
(a) NATM



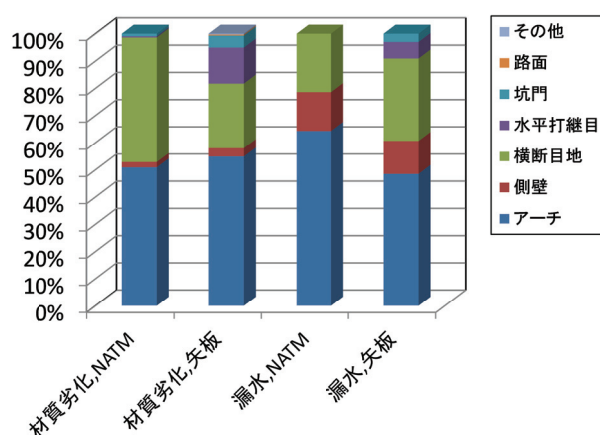
(b) 矢板工法

図-1 トンネル完成から初回点検実施までの経過年数

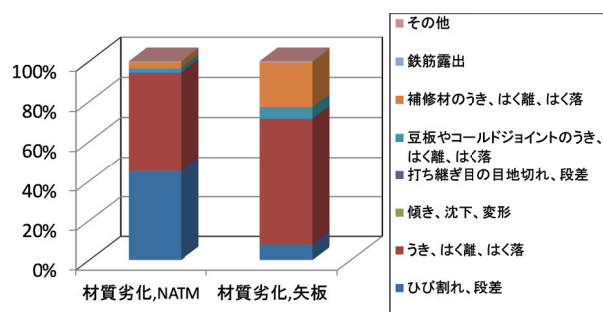
初期値として、2回目以降の点検結果の判定区分を確認



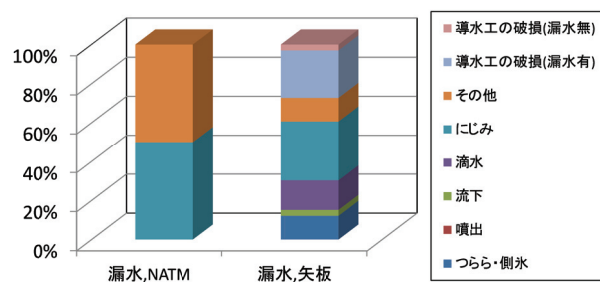
(a) 判定区分と変状区分の関係



(b) 変状発生部位と変状区分、施工法の関係



(c) 変状種類と施工法の関係（材質劣化）



(d) 変状種類と施工法の関係（漏水）

図-2 初回点検の変状内訳

表-1 本検討における判定区分の分類

従前の便覧等		本検討
点検結果判定 (3区分)	調査結果判定 (4区分)	判定区分 (5区分)
S (変状無, 軽微)	—	S
B (変状あり: 危険性低, 要調査)	B (軽微: 要監視)	B
	A (変状あり: 重点的監視, 計画的に対策)	A
	2A (変状あり: 早期に対策)	2A
A (変状大: 危険性高, 要 応急対策, 要調査)	3A (変状大: 直ちに対策)	3A

し、点検回数ごとのマクロ的な判定区分の推移について検討した。

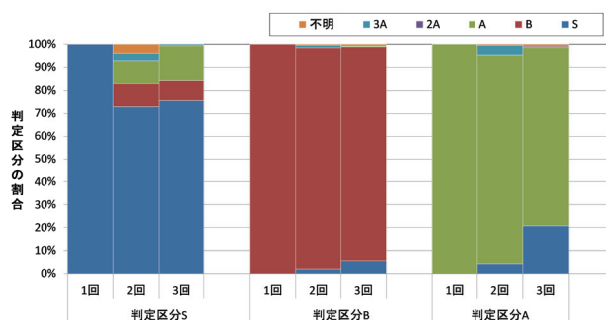
次に、初回点検から2回目以降の点検を行うまでの点検間隔はトンネルごとに異なっている場合があったことから、前述の検討方法のみでは初回点検において変状の発生を確認してからの経過年数による各変状の進行性について検討を行うことは困難である。そこで、各変状の進行を把握する検討を行うために、追跡が可能な変状のみを取り上げ、初回点検からの経過年数と判定区分の推移の関連等について個別に検討を行った。また、変状の発生部位および変状種類についても整理し、進行が認められる変状の特徴について分析した。

3. 検討結果

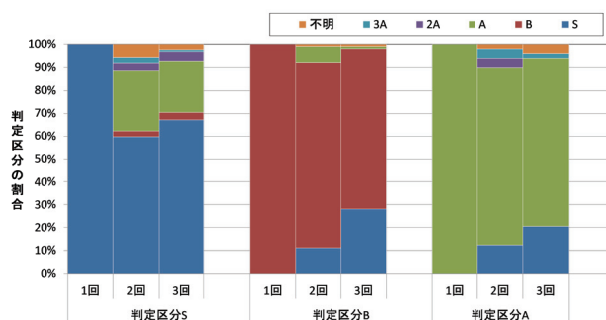
(1) 点検回数ごとの判定区分の推移

上述のデータを用いて点検回数ごとの変状の判定区分を整理した。図-3に材質劣化に分類される初回点検の判定区分S, B, Aの変状の各点検回における判定区分の割合を示す。なお、材質劣化に分類される2Aおよび3A、外力および漏水の変状は非常に少なく、判定区分の推移を検討することが困難であることから本分析の対象とはしていない。なお、この分析結果は対策の実施に伴って判定区分が変更されることや、同一の変状で判定区分が変わらないままであること、加えて変状の程度が悪化し、判定区分が変更されるといったことを考慮していないマクロな分析であることに留意する必要がある。

NATMの初回点検の判定区分(以下、初回判定区分と称する)がSの変状については、判定区分Sの割合が2回目点検および3回目点検で概ね8割程度となっており、点検回数を経る毎に判定区分Sの割合が総じて低下していることが分かる。また、初回判定区分がBの変状については、判定区分Bの割合が2回目点検および3回目点検で判定区分Bの割合が減少していることが分かる。この内容については2回目点検および3回目点検において判定区分Aになる変状とSになる変状があるが、点検を経る毎にSになる、すなわち状態が良い判定区分になる変状の割合が多い。このことは、対策等により変状の状態が改善さ



(a) NATM



(b) 矢板工法

図-3 判定区分の割合の推移 (材質劣化)

れることが推察される。さらに、初回判定区分がAの変状では、判定区分Aの割合が2回目点検で9割程度、3回目点検で8割程度となり、判定区分Aの割合が総じて低下しているが、程度の違いはあるが判定区分Bの変状と同様の傾向がみられ、対策が進められることにより判定区分が改善されていることが推察される。ただし、これらについては個別の変状の変化をミクロ的に追跡して検討する必要がある。

引き続いて、矢板工法の判定区分に関する分析をおこなった。初回判定区分がSの変状については、判定区分Sの割合が2回目点検および3回目点検で7割程度となり、判定区分Sの割合が総じて低下している。この傾向については、NATMの場合と比較して、判定区分の割合の低下の度合いが若干大きい傾向が見られた。ただし、工法の違いに依存するか、また、トンネルの供用後の年数等に依存するかについては詳細な検討を行う必要がある。また、初回判定区分がBの変状については、判定区分Bの割合が総じて低下しているが、NATMの場合と同様に若干ではあるが状態が良い判定区分になる変状の割合が多い。さらに、初回判定区分がAの変状については、判定区分Aの割合が2回目点検および3回目点検で8割程度となり、判定区分Aの割合が総じて低下している傾向は同じであるが、変状の程度がより悪い判定区分に変化したものがNATMの場合に比べて多い傾向がみられた。

以上より、本分析に用いたトンネルにおいては、矢板

工法のトンネルの場合がNATMによるトンネルの場合と比較して、2回目以降の点検で得られた判定区分が初回点検で得られた判定区分から割合が低下している程度が若干異なる傾向が見られることが分かった。

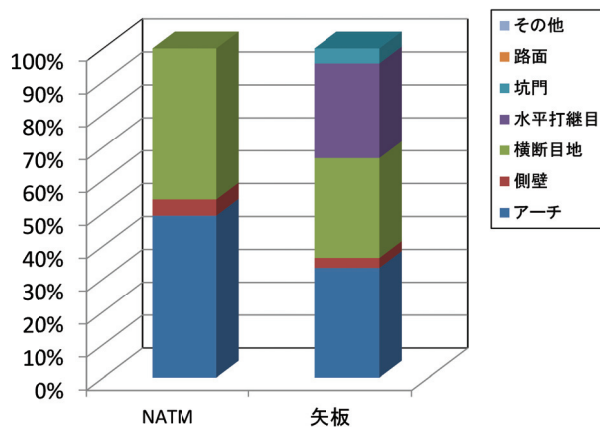
ただし、本節の分析では、例えば、初回判定区分がSの変状で2回目と3回目の点検の判定区分がAと判定された変状でも、その変状が同一であるといった観点では分析しておらず、異なる変状である可能性もあるが、重複した変状数をすべてにおいて把握することが困難であった。このため、限られた変状に対してのみ、各変状の初回点検の実施からの経過年数と判定区分の関連を次節で分析する。

また、初回判定区分BおよびAの変状では、2回目以降の点検において判定区分Sの割合が増加している場合が見られた。このうち対策等の実施が確認できないにもかかわらず判定区分が改善されている変状が、図-3に示した変状のうち若干見受けられた。この内容を分析したところ、判定区分が改善している理由が明記されていない場合もあり、例えば点検時にはつり落とした前と後の状態でそれぞれ判定区分を記録していたり、判定者におけるばらつきがある場合等が考えられるが、点検の精度が確保されているかも含め、詳細な分析が必要である。

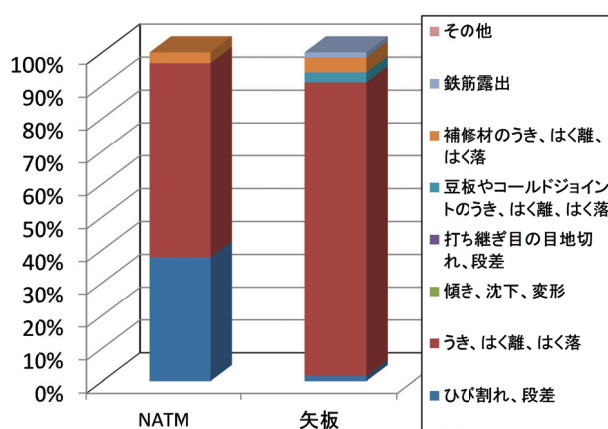
(2) 判定区分が変化する変状の発生部位および種類

図-1(a)に示した変状の中から2回目点検または3回目点検のいずれかにおいて進行が認められる変状を抽出し、変状の発生部位および変状の種類ごとに整理し、その傾向を分析した。なお、本節では図-1(a)に示した初回判定判定区分Sの変状について論じることとした。その理由としては、判定区分BおよびAの変状についても傾向の把握を試みたが、進行が認められる変状数が多くはなかったためである。

初回判定区分がSで2回目点検または3回目点検のいずれかにおいて進行が認められる変状について、NATMによるトンネルで61変状、矢板工法によるトンネルで66変状が確認された。その発生部位および種類について、内訳を図-4に示す。これより、進行する変状の発生部位は、NATMの場合ではアーチと横断目地が大半を占め、それぞれ全体の5割程度ずつであった。また、矢板工法の場合ではアーチが3割程度、横断目地が3割程度、水平打継目が3割程度であり、矢板工法の場合にはその工法の特徴から水平打継目の変状が、アーチおよび横断目地の変状と同程度の割合で計上されていた。また、変状種類の内訳については、NATMではひび割れが全体の4割程度、うきが6割程度であり、矢板工法ではうきが全体の9割程度となり、進行が見られる変状の種類はいずれの工法においてもうきの占める割合が多かった。なお、矢板工法の場合で、ひび割れの進行が見られるデータが少ない



(a) 変状発生部位



(b) 変状種類

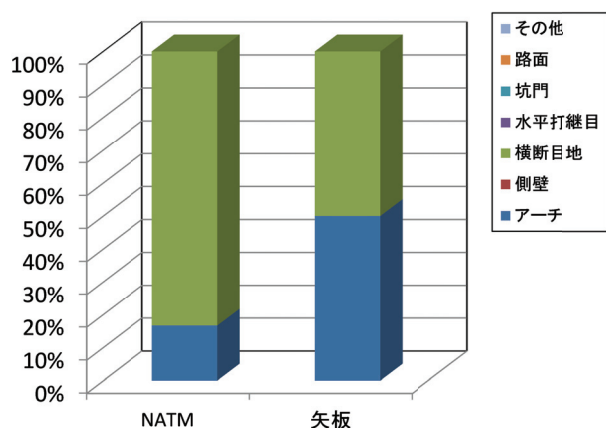
図-4 初回判定区分S変状で進行した変状種類の内訳（材質劣化）

理由として、NATMの場合と比較して既に初回点検の行われた年数が供用開始から相応に経過し、ひび割れの進行自体が収束していた可能性がある。

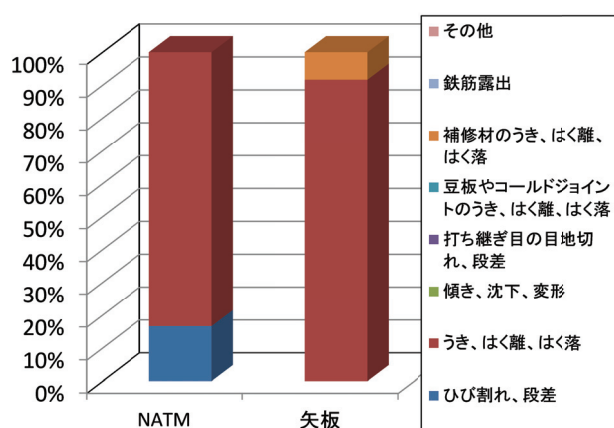
ここで、前回の点検から判定区分がS→2A、S→3Aのように状態が大きく変化する変状について、変状発生部位および変状種類を分析したところ、NATMでは6変状、矢板工法では12変状が確認された。図-5に判定区分が大きく変化する変状の発生部位と種類の内訳を示す。これより、NATMでの変状発生部位はアーチ2割程度、横断目地8割程度、矢板工法ではアーチおよび横断目地がそれぞれ5割となり、特に判定区分が大きく変化する変状の発生部位はアーチおよび横断目地が多い結果が得られた。また、変状の種類はNATMではひび割れが2割程度、うきが8割程度、矢板工法ではうきが9割程度であり、大きく判定区分が変化するのは、うきによる変状といった結果が得られた。

このような判定区分が大きく変化する変状の一例として、目地周辺のうきを写真-1に示す。このような変状は

気温の季節変動といった坑内環境の変化により横断目地やひび割れ周辺の膨張および収縮が繰り返され、覆工コンクリートのうきやブロック化の発生を促しているものと考えられる。また、側壁や矢板工法の場合の水平打継



(a) 変状発生部位



(b) 変状種類

図-5 初回判定区分S変状で判定区分が大きく変化した変状種類の内訳（材質劣化）

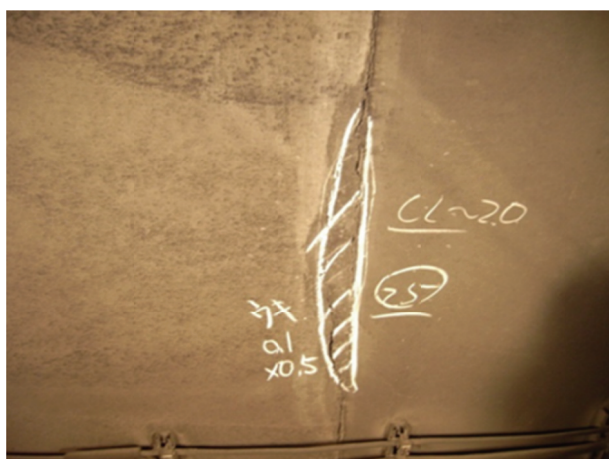


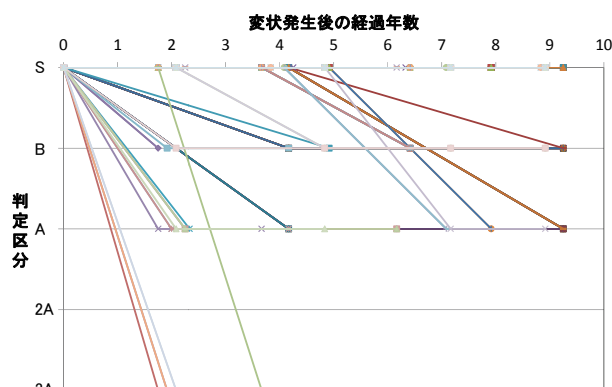
写真-1 目地周辺のうき

目に発生する変状等の判定区分が大きく変化しない理由については、さらにデータを収集し、分析を行う必要がある。

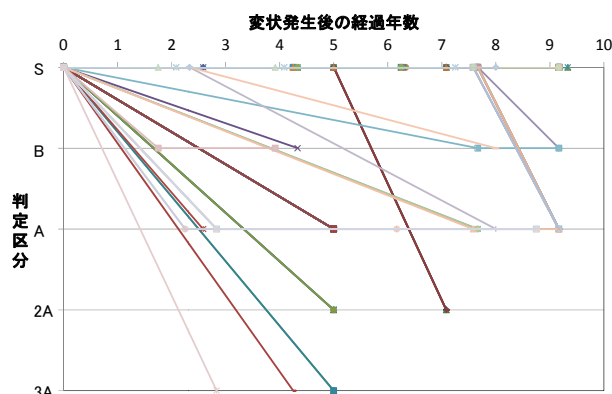
(3) 経過年数による各変状の進行

前節までの分析では、点検回数ごとの判定区分の推移をマクロ的に確認したが、2回目以降の点検までの間隔はトンネルごとに異なっている。そこで、各変状の進行を把握する検討を行うために、前節の検討で用いたデータと同じ変状を対象として、初回点検からの経過年数と判定区分の推移の関連等を分析した。図-6に、変状区分が材質劣化の初回判定区分がSと判定された変状における初回点検からの経過年数と判定区分の関係を示す。なお、変状の進行を把握することを目的としたため、2回目以降の点検で対策実施の有無にかかわらず判定区分が改善された変状は判定区分が改善される直前までをプロットし、それ以降は除外した。

図-6より、判定区分が変化する場合、NATMはS→B、S→A、S→3Aとなるパターンがあり、特にS→B、S→Aとなる場合が多い。本検討で収集できたデータではS→2Aとなる変状は見られなかった。矢板工法ではS→B、S

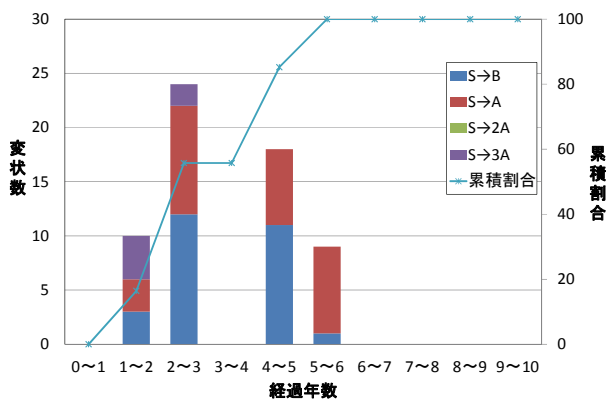


(a) NATM

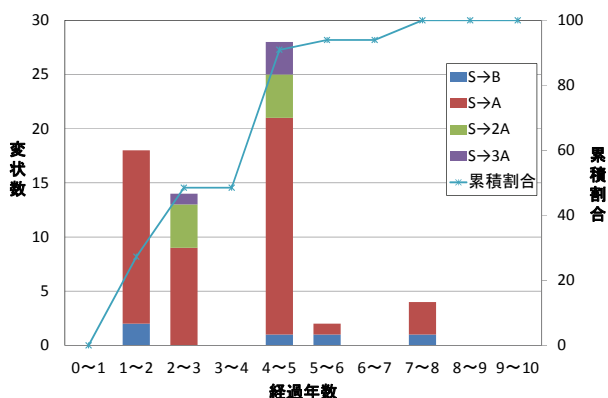


(b) 矢板工法

図-6 初回判定区分S変状の推移（材質劣化）



(a) NATM



(b) 矢板工法

図-7 初回判定区分S変状の判定区分が変化した変状の推移 (材質劣化)

→A, S→2A, S→3Aのすべてのパターンに推移する結果が得られた。

図-6の結果は、個々の変状を取り上げて検討しているが、判定区分が推移しなかったり、同じように判定区分が変化しているデータに関しては重複して表されており判断が難しい。そこで、変状の判定区分が変化する経過年数と判定区分の関係を把握するため、図-7に図-6において判定区分が変化した変状のみをさらに抽出し、変状の判定区分が変化する前後の点検回、すなわち前回点検から次回点検までの経過年数ごとに判定区分が変化する変状数を整理した。

図-7より、各トンネルの点検間隔が異なることに留意する必要があるが、S→BおよびS→Aのような比較的状态の軽微な判定区分に推移するパターンの変状は経過年数にばらつきがある傾向が見られた。

一方、S→2AおよびS→3Aのような状態が悪い判定区分となるパターンの変状については、NATMによるトンネルでは前回点検から1~3年、矢板工法によるトンネルでは前回点検から2~5年の範囲で変状の判定区分が推移している結果が得られた。ただし、S→BおよびS→Aの

判定区分の推移と比較すると変状数が少ないことや、前述の結果でも示したように矢板工法によるトンネルはNATMによるトンネルと比較してトンネルが古いといった影響も考えられるため、さらにデータを収集し、分析を行う必要がある。

なお、冒頭で述べたように2回目以降の点検までの期間はそれぞれのトンネルで異なるため、実際に2回目以降の点検を行うタイミングによって、判定区分が変化するのに要する年数および変状の程度が変わってくることに留意する必要がある。そのためには個々の変状の推移を年次毎に比較したうえでの検討が必要である。

4. まとめと今後の課題

本稿では、覆工コンクリートにおける変状の進行の実態について知見を得るため、実際の道路トンネルの点検結果を用いて、判定区分の推移や進行性のある変状の特徴についてマクロ的な検討を行った。検討の結果をまとめると、以下の結論が導出できると考えられる。

- ・初回判定区分から判定が変化する割合はNATMと比較して矢板工法によるトンネルで高い傾向が見られた。ただし、同様の工法によるトンネルにおいても建設当時の諸条件により多少の差異があると考えられる。
- ・特に判定区分がSから2Aおよび3Aのように大きく変化する変状については、そのほとんどが横断目地周辺に生じるうき、はく離であった。これは坑内環境の変化による覆工の膨張および収縮の繰返し等が影響しやすいと考えられる。
- ・経過年による各変状の進行の把握を試みた結果、変状区分が材質劣化の初回判定区分Sとして判定された変状において、S→Bのように比較的変状の状態が軽微な判定区分の推移パターンは経過年数にばらつきがあった。

以上のことから、進行性が見られる変状について変状の種類や発生部位の特徴が一定程度明らかになった。しかし、すべての覆工コンクリートに対して変状が完全に無い場合に判定区分Sであると判定されているわけではないため、判定区分がSと定義されている内容についても詳細に検討する必要がある。一方、本検討で収集した漏水や判定区分B, Aに該当する変状については進行する変状が少なく分析が困難であった。今回はマクロ的な分析を主体に行ったが、本来は個々の変状の変化をそれぞれ逐一追跡できるのが望ましい。また、矢板工法によるトンネルで変状の進行が見られる結果が得られたが、トンネルの供用後の経過年数の要因がどの程度及ぼすかの検討が必要である。今後は、それらの観点も含めて事

例を収集し，進行が認められる変状の分析を進めるとともに，進行する変状と進行しない変状の差異や留意すべき点について検討していく必要があるとともに，新たな判定区分における変状の進行に関する分析が必要である。

- 2014.6
- 2) (社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，1993.11
- 3) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領（案），2002.4

参考文献

(2016. 8. 5 受付)

- 1) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領，

CONSIDERATION ABOUT PROGRESS OF DEFECT AND DEFORMATION OF THE ROAD TUNNEL BASED ON THE INSPECTION RESULT

Toshiyuki SASADA, Nobuharu ISAGO and Toshiaki ISHIMURA

The maintenance for road tunnel is essential through the inspection and countermeasure and the visual inspection and hammering test appropriately are done for periodical inspection of road tunnels. It is thought that the occurrence situation and kind of defect and deformation are different by the condition of the tunnel. But the cases analyzed statistically, especially regarding the condition of defect and the transition of judgement category, is quite limited.

The data of inspection result are collected so that the characteristic of their transition and deformation with development can be examined. The result shows that characteristic of defect and deformation which judgment category changes is shown.