

NATMにより建設された道路トンネルにおける 材質劣化に起因する変状の実態

森本 智・日下 敦・吉岡知哉・長谷川慶彦

1. はじめに

道路トンネルに発生する変状は、主として外力によるもの、材質劣化によるもの(施工に起因する不具合も含む)、漏水によるものに大別される¹⁾。近年の山岳トンネル工法(いわゆるNATM)においては、原則として地山からの荷重は支保工で受け、覆工では荷重を受け持たないことが前提となっていることや、防排水工の技術が向上していることから、外力や漏水による変状の割合は減少する傾向にある^{2),3)}。材質劣化による変状現象としては、後述するようにひび割れが大半を占めるが、ひび割れ自体はそれのみでは判定せず、うき等によりコンクリート片が落下することによる利用者の安全性に及ぼす影響に着目し対策区分を判定しているのが現状である⁴⁾。

材質劣化に起因する変状は、骨材事情や気象条件といった地域性や、覆工品質の重要性の再認識にともなう技術の向上といった社会情勢の変化等、各条件に応じて特徴があると考えられるものの、それらに応じた変状の特徴等について分析した事例は限られている。また、長期耐久性の観点からの覆工の品質評価は、うき等の実際の変状発生状況を基に評価する必要がある。

本稿では、NATMにより建設された道路トンネルにおいて、覆工表面の点検記録から、利用者の安全性確保の観点から材質劣化に起因するひび割れやうきが発生する時期や部位等の傾向を整理しつつ、ひび割れとうきの進行や、相互の関連性等について分析した結果を報告する。

2. 点検記録の分析

2.1 道路トンネルにおける定期点検の概要

国土交通省が管理する道路トンネルにおいては、平成14年以後は「道路トンネル定期点検要領(案)平成14年4月(以下「旧要領(案)」という。)、平成26年以降は「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(以下「要領」という。)」に基づいて点検が実施されてきた。旧要領(案)の初回定期点検では全面の近接目視と打音検査、二回目以降の点検では遠望目視点検を基本とし、覆工面的一部分で近接目視点検及び打音検査が行われている。要領の初回点検では全面の近接目視と打音検査、二回目以降の点検では全面の近接目視に加え必要に応じて打音検査が行われている。

2.2 対象トンネル

本分析における対象トンネルは、建設後比較的早い段階において近接目視と打音検査による初回の定期点検が行われたトンネルとし、地域性を考慮して異なる地域に位置する2路線から選定した。また、同一路線において覆工品質を向上させる技術が一部のトンネルで導入された路線から選定した。上記をふまえて選定した結果、表-1に示す22トンネルを対象とすることとした。これらのトンネルは、NATMにより建設され平成15年以降に完成した国土交通省が管理する2車線の道路トンネルであり、総延長約19.7km、覆工の総スパン数は1,927スパンである。G~Oの9トンネルは、平成21年以降に完成し覆工の品質向上を目的として材料の流動性を向上させる技術、天端の締固め技術、セントル脱型後のコンクリート湿潤養生技術等が採用されている。

表-1に定期点検実施時における建設後の経過年数を旧要領(案)による点検の場合は赤字で、要領

表-1 対象トンネル

路線	名称	延長(m)	完成年(年)	定期点検実施時における建設後の経過年数(年)			品質向上技術
				初回	2回目	3回目	
A	750	H18	1	6			
B	1531	H17	3	8			
C	323	H15	4	9			
D	233	H17	2	8			
E	716	H17	2	8			
F	350	H20	3	7			
G	370	H21	2	6			
H	511	H23	0	4			
I	412	H23	0	4			
J	1645	H22	1				
K	778	H24	2				
L	624	H26	0				
M	403	H24	2				
N	213	H24	2				
O	596	H26	0				
P	2472	H18	3	5	7		
Q	1464	H17	4	6	8		
R	2827	H20	1	3	5		
S	1402	H20	1	3	5		
T	756	H17	4	6	8		
U	814	H21	0	2	4		
V	506	H19	2	3	5		

※赤字は「道路トンネル定期点検要領(案)平成14年4月」にて点検を実施

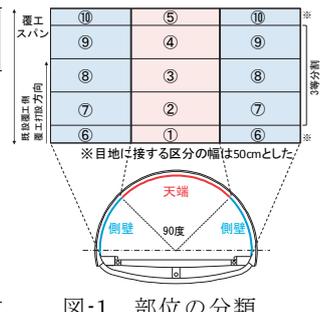


図-1 部位の分類

による点検の場合は黒字で示す。建設後0~4年で初回の定期点検が実施され、その後は2~5年の間隔で二回目以降の定期点検が実施されている。初回点検では覆工全面の近接目視と打音検査が行われている。二回目以降の点検では路線1のトンネルは覆工全面の遠望目視に加え横断目地部やひび割れ等の変状周辺においては近接目視と打音検査が行われている。路線2のトンネルでは、覆工全面又は建築限界上部において近接目視と打音検査を行ったと報告されている。

2.3 分析対象とした変状及び分析方法

NATMにおいては、支保の変位が収束したことを確認し覆工を打設することを基本とするため原則として覆工に外力は作用しない。すなわち、外力による変状が発生する場合は特殊な条件であると考えられる。そのため、本分析では材質劣化による変状を対象とする。なお、地山条件として低土被り部や断層・破砕帯の付近等、外力作用が懸念される区間は分析対象からは除外した。

分析は、対象トンネルの点検記録から、材質劣化に起因する変状の発生量、発生部位、発生時期等について整理した。本分析では図-1に示すように覆工表面を部位①~部位⑩に分割し、横断方向は天端と側壁、縦断方向は施工目地から50cmの範囲を目地部と仮定し、それ以外の区間を3等分割した。ひび割れに関しては、長さや幅に関わらず連続したものを1本として集計した。

3. 材質劣化に起因する変状実態

3.1 材質劣化に起因する変状実態の概要

対象トンネルにおける材質劣化に起因した変状(施工に起因する不具合も含む)の集計結果を図-2に示す。最も多い変状は「ひび割れ」であり、次いで「コールドジョイント(CJ)」、「豆板」となった。CJと判定されたものは比較的多くあったものの、筆者らが変状展開図や写真等により確認したところ、長さが比較的短く明瞭な分離面も確認できない軽微なものが多数を占めていた。豆板にうき等が付随して発生し打音異常が確認された場合はうきと判定されると考えられることから、豆板と判定されたものは利用者被害につながるものではないと考えられる。

一方で、「うき」、「はく落」と判定されたものは全体の約14%を占め、コンクリート片の落下の

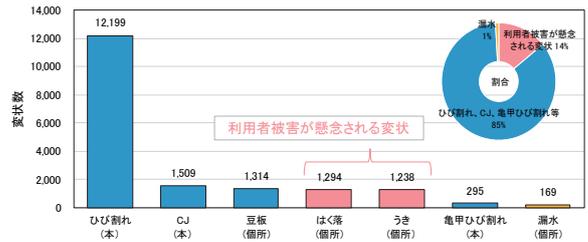


図-2 材質劣化に起因する変状数

おそれが懸念され利用者被害に直結するものである。はく落は、既にうき等が落下した箇所、あるいは、はつり落としによる対策済みの箇所を指し、コンクリート片の落下に伴う利用者被害に繋がる可能性があったと判断した。うき、はく落の発生箇所は、写真-1に示すように「ひび割れ沿い」の箇所、「目地沿い」の箇所に発生するものが多く、「その他」の箇所に発生するものもあった。

以下、材質劣化に起因する変状のうち、利用者被害の観点から、うき、はく落及びひび割れとうきの関連性等に着目する。

3.2 材質劣化に起因したうき、はく落の発生傾向

図-3に路線1、図-4に路線2における各部位のうき、はく落の発生量を示す。うき、はく落は全体の約70%が目地部(部位①⑤⑥⑩)に集中している。初回点検では目地部での発生量が多く、天端及び側壁部での発生量は少ない。2回目及び3回目の点検では、各部位で増加傾向ではあるが、側壁部では全体的に変状が少なかった。天端部における発生箇所は、路線1では「その他」の箇所で発生した変状が多く、目視で確認可能なはく落等が多くを占めている。路線2では「ひび割れ沿い」の箇所で発生した変状が多くを占める。

「その他」の箇所で発生したうき、はく落のうち、初回点検記録による変状写真から健全な覆工との外見上の相違やはく落規模等の変状状況を確認できた箇所の一例を写真-2に示す。「その他」の箇所のうき、はく落の中には覆工表面の薄層が覆工本体から分離した変状(写真-2の(a))や覆工表面に変色があり打音異常が確認された変状が確認された。また、覆工の健全部と外見上の違いが不明瞭であり、打音異常のある変状(写真-2の(b))も確認されたが、その数はごく僅かであった。ただし、写真から状況を確認できた限られた事例であるため、今後詳細な分析が必要である。

3.3 ひび割れとうきの関連性

ひび割れ沿いに発生するうき、はく落の増加傾



(a)ひび割れ沿いのうき (b)目地沿いのうき、はく落

写真-1 うき、はく落の発生形態

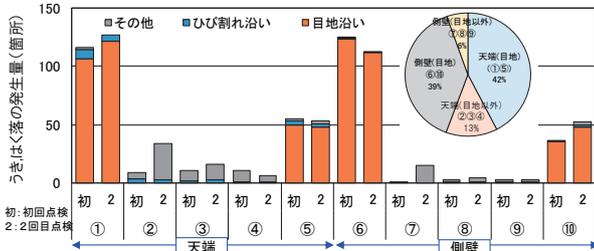


図-3 うき、はく落の傾向(路線1)

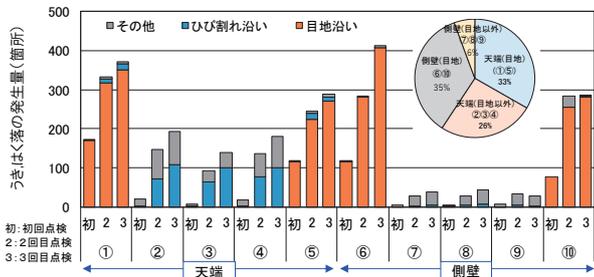


図-4 うき、はく落の傾向(路線2)



(a) 薄層が分離 (b)明瞭な外見上の違いがない

写真-2 その他に該当するうき、はく落の事例

向が確認された路線2におけるひび割れ幅とうきの関連性について、図-5に示す。うきを伴うひび割れの発生量は、うきが1箇所以上確認されたひび割れの箇所数として算出した。ひび割れの発生量は幅0.3mm未満の微細なものが多く、幅1.0mm未満のものが約80%を占める。うきを伴うひび割れの発生割合は、ひび割れ幅が大きくなるに従い増加する傾向にある。一方で、幅0.3mm未満の微細なひび割れにおいてもうきが発生した事例が確認できる。

ひび割れは、主に天端部に発生する傾向にあり、完成から6年程度までは増加傾向にある。うきは初回点検では目地部に発生する傾向にあるが、年数の経過に伴い、ひび割れとともに増加傾向にある。これより、建設段階からひび割れ発生を抑制することが利用者の安全性においても重要である。

3.4 目地沿いのうき、はく落の寸法及び面積

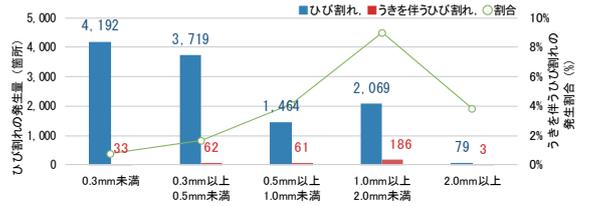


図-5 ひび割れ幅とうきの関連性

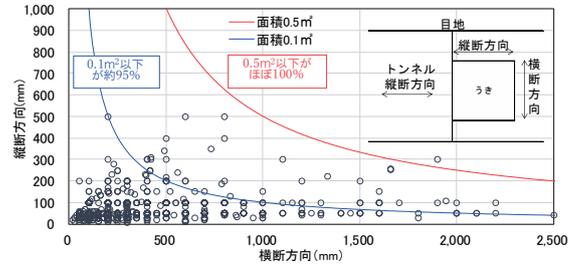


図-6 目地沿いのうき、はく落の大きさ

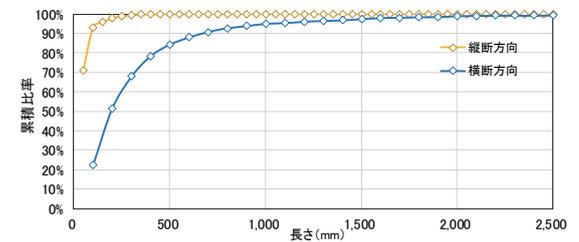


図-7 目地沿いのうき、はく落縦横断方向寸法

目地沿いに発生したうき、はく落に関してトンネル縦断方向、横断方向の大きさを集計した結果を図-6及び図-7に示す。縦断方向では、大きさが100mm以下のものが約93%、300mm以下がほぼ100%を占める。横断方向では、大きさが500mm以下のものが約85%、1,000mm以下が約95%となっている。うき、はく落の面積は、0.1m²以下が約95%であり、0.5m²以下がほぼ100%となっており、目地沿いのうき、はく落は規模が小さく、幅の狭い帯状の変状が多いことが確認できる。

4. 品質向上技術の効果に関する分析結果

路線1におけるトンネルは、平成15年から26年頃にかけて施工され、平成21年以降に完成したG~Oの9トンネルで、2.2に記載した覆工の品質向上を目的とした技術が導入されている。品質向上技術を適用したトンネルと従来技術で施工されたトンネルのうち、うき、はく落の変状発生傾向を比較することで、品質向上技術の効果等について分析した。分析では、対象トンネルのうち、2回目点検を実施したトンネルに限られているため、初回点検の結果を対象に実施した。

路線1における部位毎に分類したうき、はく落の発生量を図-8、ひび割れの密度を図-9に示す。

ひび割れの密度は、単位面積あたりのひび割れ長さとした。図-8のうき、はく落においては、従来技術の場合、既設覆工側の目地部(①⑥)に多い傾向にあり、次いで妻側の目地部となっている。品質向上技術の場合、発生した部位は従来技術と同様に目地部に集中しており、発生量は既設覆工側の目地部は減少する傾向にあり、その他の部位では増加する傾向を確認した。図-9のひび割れ発生量は、天端部に集中しており、従来技術と比較すると全体的に減少傾向であることを確認した。

材質劣化に起因する変状(ひび割れ、うき、はく落)において、ひび割れに関しては、品質向上技術の適用により、従来技術と比較して、施工後5年以内に発生する変状数は微量であるが抑制される傾向にある。うき、はく落に関しては、目地部で減少する傾向が見られるものの、品質向上技術においても一定数の変状は発生しており、利用者の安全性確保の観点から、さらなる覆工品質の向上に資する検討が必要であると考えられる。

5. まとめ

既往の点検結果分析より以下の知見が得られた。

- ・ NATMにより建設された道路トンネルにおいて、材質劣化に起因する主な変状は、ひび割れが多くを占め、うきやはく落といった変状も確認された。うきやはく落は、目地部や天端部に多くが集中していることがわかった。
- ・ また、微細なひび割れでもうきを伴う場合がある。加えて、これらの変状は、年数の経過に伴い増加する傾向にある。
- ・ 目地沿いのうき、はく落は規模が小さく、幅の狭い帯状の変状が多いことが確認できたことから、このような小規模な変状への対策工

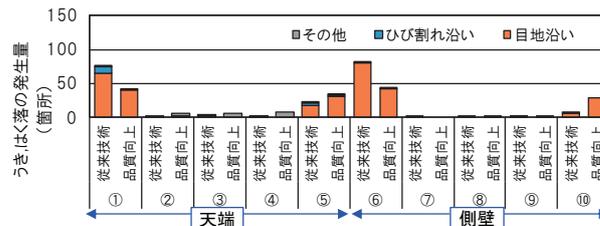


図-8 初回点検におけるうき、はく落箇所数

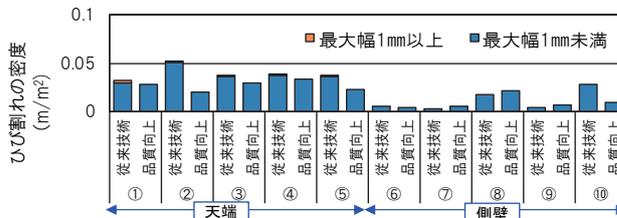


図-9 初回点検におけるひび割れ密度

が求められる場面が多いと考えられる。

- ・ 覆工品質向上技術の導入に伴い、目地部のうき、はく落数が減少する等、変状の発生が抑制される傾向にあるが、依然として変状は発生しており完全に抑制するには至っていない。なお、材質劣化に起因した変状は、建設後3年から5年以内に発生する可能性が高いことが既往の研究⁵⁾で報告されており、ひび割れやうき、はく離等の変状について、今後の進展性(収束状況等)も踏まえ、継続して観察及び計測を実施する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領、p14、2019
- 2) 砂金伸治、真下英人、角湯克典：トンネルの変状原因の推定方法、土木技術資料、第 53 巻、第 4 号、pp22~25、2011
- 3) (公社)土木学会：トンネルライブラリー30 トンネルの維持管理の実態と課題、p64、2019
- 4) (公社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本土工編】、p198、2015
- 5) 真下英人、角湯克典、森本智：トンネル覆工のひび割れの進展に関する一考察、土木学会第 62 回年次学術講演会、pp.297~298、2007

森本 智



土木研究所道路技術研究
グループトンネルチーム
研究員
Satoshi MORIMOTO

日下 敦



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
Atsushi KUSAKA

吉岡知哉



研究当時 土木研究所道
路技術研究グループトン
ネルチーム専門研究員、
現 (株)オリエンタルコ
ンサルタンツ
Tomoya YOSHIOKA

長谷川慶彦



土木研究所道路技術研究
グループトンネルチーム
専門研究員
Yoshihiko HASEGAWA