

トンネル内空の時間遅れ変位の機構解明に関する研究

研究予算：運営費交付（一般勘定）
研究期間：平 21～平 21
担当チーム：防災地質チーム
研究担当者：伊東佳彦，阿南修司，岡崎健治

【要旨】

本研究では、平成 21 年度に、北海道を中心とする東北日本のトンネルについて、完成後に変状の発生した事例を文献資料から整理した。あわせて、トンネル地質調査における現状の調査・試験方法を地質との関連性について課題を整理した。その結果、トンネルに変状を及ぼす岩石は、試験試料の代表性や地質的な連続性をより考慮した調査・試験により評価することが、完成後の変状の抑制や対策の検討に重要であることが判明した。
キーワード：トンネル，時間遅れ変位，地山評価

1. はじめに

北海道をはじめとする東北日本には、熱水変質作用を受けた火山砕屑岩類や堆積軟岩あるいは軟質な蛇紋岩が広く分布する。これらの地質が分布する地域でトンネルを建設した場合、建設時には問題がないが、完成後に変状が発生するという例が報告されている。このようなトンネル供用後の変状は、建設時には対応できないこと、またその補修や対策では通行止めを伴うことから、地域社会の便益を減ずるとともに安全・安心な社会を維持する上で大きな課題となっている。

本研究では、トンネル構造物のライフサイクルコストの低減に資するため、完成後のトンネルで、時間遅れで生じる変位などの機構解明に向けた検討を

行うとともに、今後の研究の方向性を定めた。以下に、本研究の成果の概要について報告する。

2. 研究方法

本研究では、北海道を中心とする東北日本のトンネルを対象に、完成後に発生した変状の実態について公表資料から整理し、地質との関連を整理した。

3. 研究結果

東北日本で完成後に変状が発生したトンネルとして、10 ケースを収集した。7 ケースが北海道、2 ケースが東北地方（岩手・秋田県，山形県），1 ケースが北陸地方（新潟県）である（表 1）。

各トンネルで発生した主な変状は、盤膨れや覆工

表 1 北海道を中心とする東北日本で建設されたトンネルのうち完成後に変状が発生した事例^{1～6)}

トンネル名	種別	道府県	完成年次	変状発生、調査または対策年次	完成～変状発生までの年数	主な地質	主な変状
礼文華	一般国道37号	北海道	1965(S40)	1964(S39)	※	角礫凝灰岩、安山岩	覆工の押し出し、盤ぶくれ
神居	鉄道	北海道	1969(S44)	1987(S62)	18	蛇紋岩、黒色片岩	覆工の押し出し、盤ぶくれ
三国	一般国道273号	北海道	1971(S46)	1986(S61)	15	凝灰角礫岩、変朽安山岩	路盤の隆起(風化岩盤の凍上)
礼文浜	鉄道	北海道	1975(S50)	1981(S56)	6	安山岩質凝灰岩、変朽安山岩	盤ぶくれ
仙岩	一般国道46号	岩手・秋田県	1976(S51)	2008(H20)	20	変質凝灰岩	盤ぶくれ
送毛	一般国道231号	北海道	1977(S52)	1980(S55)	3	角閃石安山岩質溶岩	覆工の押し出し、盤ぶくれ
黒岩	一般国道231号	北海道	1979(S54)	1981(S56)	2	火山角礫岩、凝灰角礫岩	盤ぶくれ、覆工ひびわれ
四ツ峰	北海道道1号	北海道	1985(S60)	2009(H21)	24	破碎質泥岩、角礫岩	覆工・インバート部のひびわれ
風波	北陸自動車道	新潟県	1986(S61)	2006(H18)	20	凝灰角礫岩	覆工・インバート部のひびわれ
盃山	山形自動車道	山形県	1991(H3)	2008(H20)	17	変質凝灰岩	盤ぶくれ

※ 施工中から変状が発生(また供用開始後にも対策などを実施)

の押し出しであり、内空断面の減少に伴い、通行や安全性への影響、または維持管理上の問題が生じたことから対策が行われている。トンネルの完成から変状発生までの年数は、概ね2～24年である。これらは主に在来工法で施工されたトンネルであるが、近年ではNATM工法で建設されたトンネルでも変状が発生している。

これまで実施された変状の実態調査⁷⁾によると、膨張性土圧による変状は、主に第三紀層で生じており、泥岩・頁岩の堆積岩類、蛇紋岩および温泉余土の地質で発生しやすいことが示されている。

表-1に示すトンネル箇所の子な地質は、新第三紀の火砕岩類と蛇紋岩である。このうち蛇紋岩の地山では、建設時から変状が発生する機会が多く、地山の緩み対策や支保構造の早期閉合などの対応がなされ、完成後の変状が生じる場合は、火砕岩類の場合に較べると少ないと考えられる。

一方、火砕岩類の地山では、掘削時に良好な岩盤であっても、掘削後の地下水の変化や掘削に伴う緩み、あるいは熱水変質作用により生成したスメクタイトなどの粘土鉱物の吸水膨張変化により、完成後のトンネル支保構造に塑性圧が時間遅れとして作用する。このような変状は、中長期的に継続して生じることから、その補修や対策に苦慮している。

写真-1に浸水崩壊度試験⁸⁾の事例を示す。浸水崩壊度試験は、給水による岩石の耐久性を評価するための試験である。試験に供した試料は火砕岩である。試験の結果、浸水1時間後に全ての試料で細片化または部分的に泥状化した。

自然状態



浸水後1時間



写真-1 浸水崩壊度試験の結果

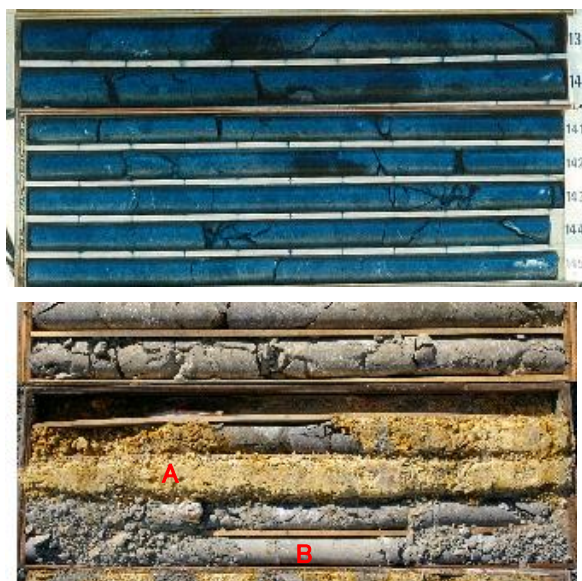


写真-2 ボーリングコアの経年劣化の様子
上：掘削直後 下：掘削から4年半経過後

このように吸水にともない早期に形状を変える岩石は、初期の段階で将来的な変状の発生を推定できる。すなわち、トンネル建設時の調査で、その対策や検討が事前に可能となる。

次に、写真-2にボーリングコアにみられる掘削直後とその4年半経過後の状況を示す。ボーリングコアは火砕岩であり、ともに同じ深度のコアである。

掘削直後は、硬質な状態であるが、時間の経過とともに劣化または風化することで、写真-2のAのように、その形状を保てない様子が伺える。しかし、写真-2のBでは、同様な岩石にも関わらず周辺部の変化と様子が異なっている。もしBの箇所で試料を採取し、その試験結果によって地山評価を行った場合、将来的にその周辺部の岩石の影響によって変状が発生する機会が予想される。そのため、膨張性地山を判定する試験では、試料の代表性や地質的な連続性を考慮した試料の採取方法などの検討が重要である。あわせて、トンネル建設時の地質状況に応じた対策として、インバート設置の有無を判定するための指標や考え方も今後整理が必要である。

トンネルの設計～建設時では、将来的な変状発生の有無について、これまでの経験的な指標をもとに膨張性地山の判定^{9～12)}を行い、その後の対応について検討が行われている。また、建設時にはトンネル内空の変位計測が行われ、地山挙動を捉えながら工事が進められる。しかし、この様な判定や施工手段

を経て完成したトンネルであっても、変状が発生する可能性があることから、それらを建設中に評価するための適切な方法の確立が必要である。

4. まとめ

トンネルの変状は、「完成したトンネルにおいて外力、環境、材料、設計、施工等に起因して覆工や坑門等に変形、ひびわれ、はく離、漏水などが生じ、トンネルの構造的安定性や要求される機能性が阻害されている、あるいは放置すればその恐れがある状態」と述べられている¹¹⁾。

このようなトンネル完成後の変状は、現在のところ建設時に予測することが難しい。また、発生した変状の主な対策はインバート設置や覆工の補強などであるが、これらは通行規制や再工事に伴う経済的負担などの問題が大きい。そのため、トンネル内空の時間遅れで生じる変状などを予測するための調査研究は不可欠である。

本研究成果を受け、平成 22 年度より、一般研究「時間遅れを伴うトンネル変状の評価法に関する研究」を実施し、課題の解決を行う予定である。

参考文献

- 1) 土木学会岩盤力学委員会：トンネルの変状メカニズム（変状トンネル事例集），pp214-269，平成 15 年 9 月。
- 2) 鈴木哲也・岩淵 武・林 満・森田英俊：変質した地山中のトンネルにおける変状調査と対策，開発土木研究所月報，No.449，pp2-9，平成 2 年 10 月。
- 3) 市原健五・下畑明夫・青沼克貴：送毛トンネル補強対策について，第 34 回（平成 2 年度）北海道開発局技術研究発表会，pp73-78，平成 3 年 2 月。
- 4) 二瓶益臣・中曾根茂樹・生杉嘉良：トンネル覆工と路面変状の保全対策検討事例（一般国道 46 号仙岩トンネル），土木学会土木技術者実践論文集，Vol.1，pp23-31，平成 22 年 3 月。
- 5) 佐久間 智・菅原徳夫・多田 誠：供用トンネルに発生したインバート隆起（最大 95cm）とその復旧対策について—山形自動車道盃山トンネル（上り線）—，第 44 回地盤工学会講演集，pp1271-1272，平成 21 年 8 月。
- 6) 小林弘元・白濱 龍・畷田篤志・柴田勝博・永渕 洋・山本拓治：塑性圧によるトンネルの変状と対策事例について（その 1 調査および設計）土木学会第 64 回年次学術講演会論文集，pp631-632，平成 21 年 9 月。
- 7) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，平成 5 年 11 月。
- 8) 例えば，土木学会：軟岩の調査・試験の指針(案)，平成 4 年 12 月。
- 9) 土木学会：トンネル標準示方書山岳工法・同解説，平成 18 年 7 月。
- 10) 地盤工学会：NA TMにおける予測と実際，平成 11 年 11 月。
- 11) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領第 4 集トンネル，平成 21 年 4 月。
- 12) 土木学会：トンネルライブラリー第 12 号，山岳トンネル覆工の現状と対策，平成 14 年 9 月