

先進ボーリングによるトンネル地山の合理的評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 26～平 29

担当チーム：防災地質チーム

研究担当者：伊東 佳彦、倉橋 稔幸、
岡崎 健治、大日向 昭彦、
山崎 秀策

【要旨】

山岳トンネルにおける先進ボーリング調査の実態、有効性・費用対効果の分析、時間依存性変状が発生したトンネルにおける変質火山岩類地山のトンネルにおける地質学的手法による解析を行い、以下の成果を得た。先進ボーリング調査の実施は地質問題の対処に有効であり、経済的にも有利となる。また、コア試料の亀裂数と弾性波速度の経時変化を明らかとし、有効間隙率が地山分類における指標として活用できることを示した。その他、トンネル変状の発生メカニズムを解明することで、全岩化学組成を用いた変状発生可能性箇所の検出法を提案し、時間依存性を示すトンネル変状の発生可能性箇所を、事前調査および施工中に検出することを可能とした。

キーワード：山岳トンネル、地山分類、先進ボーリング調査、亀裂解析、地質学的解析手法

1. はじめに

山岳トンネルの施工において、掘削ルート前方から直接かつ連続的にコア試料を採取し、削孔データの取得や速度検層などの孔内計測を実施可能な先進ボーリング調査は、掘削進行ルートの地質性状を評価する上で、有用な調査手段の一つである。先進ボーリング調査は、切羽先方探査における標準的な調査法としての適用が望まれているが、日本の一般的なトンネル施工においては、経済性や工期短縮などを理由として、施工中の調査に先進ボーリング調査を含めた切羽前方探査が実施されない場合が多いのが現状である¹⁾。一方で、国土交通省北海道開発局の道路設計要領では、「施工中の先進ボーリングは全線において実施することを原則とする」²⁾とされている。先進ボーリング調査の実施については、探査時間が長く、施工サイクルへの影響が大きい¹⁾という懸念があることに加えて、地質条件に応じた有効性と経済性の実態が不明であることから、実施有無の合理的判断に課題が残る。これは、先進ボーリングを含めたトンネル掘削費用の費用対効果に影響を与える要因が多岐にわたっており、その要因を合理的に分析することに技術的課題が存在するためである。

そこで本研究では、先進ボーリングの実態、有効性、費用対効果の解析を行ったほか、変質した火山岩類の地山をモデル地として、時間依存性変状の発生箇所周辺における先進ボーリングコア試料の偏光

顕微鏡下観察、鉱物組成分析、全岩化学組成分析などの地質学的解析を実施した。

2. 研究手法

2.1 先進ボーリングの実態、有効性、費用対効果の分析方法

山岳トンネルにおける先進ボーリングを含めたトンネル調査法の研究を実施するにあたり、始めに日本全国の約 300 トンネルを対象に、施工情報および地山の地質情報について収集・分析を行った。

通常、先進ボーリング調査で採取されたコア試料は各種指標に基づき岩級判定がなされ、地山等級としてトンネル設計に反映されており、コア試料の肉眼観察による岩相および変質の分類、RQD (10) もしくは RQD (5) による亀裂数の計測、弾性波速度などの物理計測などの結果から岩級が判定される。そこで、コア試料による岩級区分判定、地山等級の判定、支保パターンの計画と施工結果を対象項目として事例解析を実施することで、先進ボーリング調査の有効性を検証した。対象は、北海道の国道トンネル事業から 16 トンネル（総延長約 31 km）を抽出し、地質調査結果および施工計測データと先進ボーリング調査結果を解析に用いた。このうち 4 事例をモデル地として選別し、各種計測値、切羽観察結果、先進コア試料による地山等級の判定結果、トンネル支保パターンの事前設計および実際の施工結果との差異を解析し、先進ボーリング調査の有無による費用対効

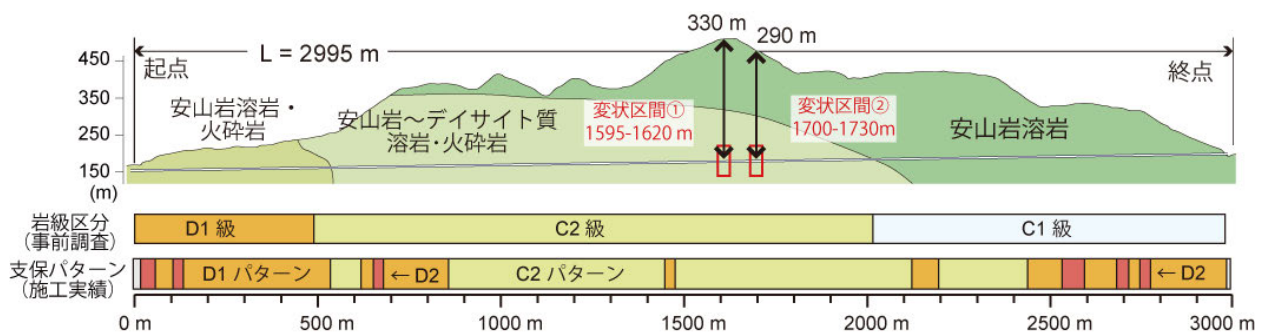


図-1 モデル地とした火山岩類を地山とする変状発生トンネルの地質断面図

果の検証を行った。

2. 2 変性火山岩類地山における時間依存性変状の発生メカニズムの解析

2. 2. 1 モデル地の選定方法と概要

北海道内で2000年以降に建設された道路・鉄道トンネル146事例を対象に、先進ボーリング調査を実施したにもかかわらず想定外の地質問題に遭遇した事例の収集・解析を実施した。次に、地質問題とトンネル地山地質の関係性を考慮し、先進ボーリング調査を用いた地山分類に適したトンネル掘削事例をモデル地候補として選定した。選定候補としたトンネル事例は、先進ボーリングコア試料が現有すること、現地調査が可能であること、施工関連情報が入手可能であること、施工時に地質問題が発生していることを基準に146事例から6事例を選び、その内、唯一火山岩類を地山とする延長2995mの山岳トンネルをモデル地として選定した。火山岩類地山を条件としたのは、時間依存性を持ったトンネル変状問題が最も多い地質であるためである³⁾。

モデル地とした対象トンネルは、北海道の渡島帯の中新世後期の安山岩質溶岩・火山砕屑岩類中に掘削された延長約3km、最大土被り約330mの道路トンネルである(図-1)⁴⁾。対象トンネルは、先進ボーリング調査を含む、通常の調査・設計・施工が実施されたにもかかわらずトンネル中央部付近の25-30m幅の2区間において、掘削後約2ヶ月経過した時点で時間依存性の変状(盤膨れに伴う最大約10cmのインバートコンクリートの変位)が発生し、縫返し対策が実施された事例である。次項では、トンネル施工時の事前地質調査結果、施工中の計測、施工結果に加えて、トンネル掘削ルートに沿って採取された先進ボーリングコア試料(延長約3km)を対象に、肉眼観察、試料採取、岩石薄片の作成と偏光顕微鏡

下での観察、X線回折分析、蛍光X線分析等の地質学的手法による解析を実施した。

2. 2. 2 ボーリングコア試料の経時的観察・物理的計測手法による岩盤劣化の評価方法

採取直後のボーリングコア試料の経時変化を観察することで、トンネル地山の劣化の指標化を試みた。モデル地と同質のトンネルから、安山岩質溶岩を掘削し、変状が生じたトンネルにおいて、トンネル孔内の変状発生区間からボーリング試料の採取を行った。採取したボーリングコア試料は、掘削直後から17~23日間観察による亀裂数の計測、室内試験として弾性波速度および有効間隙率を測定した⁵⁾。

2. 2. 3 先進ボーリングコア試料を用いた時間依存性変状の発生メカニズムの解析

モデル地とした対象トンネルから、トンネルルート全体からは25-100m間隔、変状発生区間附近からは5m間隔をめぐり試料採取(約120試料)を実施した。採取した試料は、肉眼観察、岩石薄片の偏光顕微鏡および走査型電子顕微鏡による記載を行い、粉末化した試料をX線回折分析装置により鉱物組成の解析を行い、変質火山岩類地山における時間依存性変状の発生メカニズムを分析した⁶⁻⁷⁾。

先進ボーリングコア試料の化学組成分析は、鉱物組成分析で使用した粉末化試料を用いて、秤量した試料粉末をペレット状に加圧成形し、エネルギー分散型蛍光X線分析装置にてSiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、MnO、CaO、K₂O、P₂O₅、S、Sr、Baの元素含有量について、検量線法により定量分析を行った⁷⁾。

3. 研究結果

3. 1 先進ボーリングの実態、有効性、費用対効果の分析結果

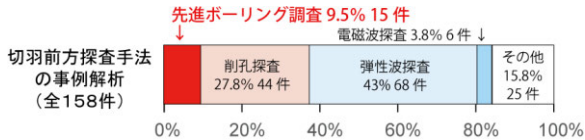


図-2 トンネル前方探査における先進ボーリング調査の実施事例割合

3. 1. 1 先進ボーリング調査の実態

地質問題が発生および想定されたトンネル事業において、トンネル切羽からの前方探査手法の報告事例を収集し、先進ボーリング調査の実施割合を求めると9.5% (全158事例中15件) となった(図-2)。先進ボーリング調査の実施事例からは、直接地山前方の試料を採取することによる弱層や断層、地層境界などの地質状況を正確に把握できること、突発湧水に対する水抜きの効果を持つことなどの効果が確認された。一方で、調査実施の可否に作用する費用対効果についての検証として、高額な調査費用自体の影響に加えて、掘削プロセスに調査ボーリングを組み込む工夫やノウハウが必要であり、十分に周知されていないという課題が認められた。

3. 1. 2 先進ボーリング調査の有効性と費用対効果

先進ボーリング調査の有効性について、計画時と施工時の地山等級判定の差異の解析により検証した。先行研究から、先進ボーリング未実施であるトンネル施工事例では、計画時と施工時の地山等級判定の一致率は約66%とされており⁸⁾。一方で、先進ボーリング実施事例においては、先進ボーリング調査の結果で単一の岩級に決定されたケースでの的中率が高いことが分かった(C1-D2級で59-98%)。また、実際に地山判定が安全側に見積もられている現状を踏まえ、先進ボーリングによる岩級判定の設定範囲を広げて考慮すると、最も出現が多いC2級で89%の一致率となった(表-1)。このように、先進ボーリング調査を実施した施工事例では、地山評価の設計と施工結果の一致率が改善されることから、調査実施により地山等級の評価がより精度よく実施できることを明らかにした。

費用対効果の検証に必要な、施工費用算出には、岩級毎に決められた支保パターンの施工および資材費、段取り替えに伴う機械損料や人件費など、多くの仮定条件を必要とする。本研究では、先進ボーリングの実施費用を60千円/m、掘削断面積70m²、発破工法とした一般的な条件を設定することで、費

表-1 先進ボーリング調査事例による地山等級の評価結果と施工時の地山等級との関係

	施工時地山等級					計
	C1	C2	D1	D2	E	
A		2				2
A-B		2				2
A-C1		1				1
B		8				8
B-C1		18				18
B-C2		35				35
B-D2		3				3
C1	60	19		1		80
C1-C2		201	2		1	204
C1-D1		11	7			18
C2	1	514	18	2		535
C2-D1		45	24	2		71
C2-D2		4				4
D1		6	100	32	2	140
D1-D2		4		12		16
D2		3	4	89		96
D2-E					6	6
E					6	6
計	61	871	155	138	15	1240

表-2 先進ボーリング調査の費用対効果の分析結果

事前調査による地山分類	C1	C2	D1	D2
先進ボーリング調査実施した施工(A)	1337	1438	1782	2243
事前調査結果のみで施工(設計変更費込み)(B)	1437	1551	1835	2361
先進ボーリング調査の費用対効果(A-B)	-100 (-7.0%)	-113 (-7.3%)	-53 (-2.9%)	-118 (-5.0%)

単位(千円/m)

費用対効果を分析した。その結果、事前調査による地山分類結果が、先進ボーリング調査の実施により精度良く岩級区分が実施されることにより追加施工費が減少することで、C1からD2の各地山分類において2.9-7.3%減の費用対効果があることが分かった(表-2)。このように、先進ボーリング実施による地山等級の推定の高精度化が、費用対効果として有効であることが示された⁹⁾。ただし、解析事例が4事例に留まっており、事例数の増加による地形や地質の差異やトンネル延長などの条件毎による費用対効果に基づいた合理的な実施有無の判定については、引き続き解決すべき課題となる。

3. 2 変質火山岩類地山における時間依存性変状の発生メカニズムの解析結果

3. 2. 1 岩盤劣化を伴うボーリングコア試料の経時的な物性変化による評価法

先進ボーリング調査の実施を含み、トンネル施工時および施工後に地質問題が発生した事例を、地山

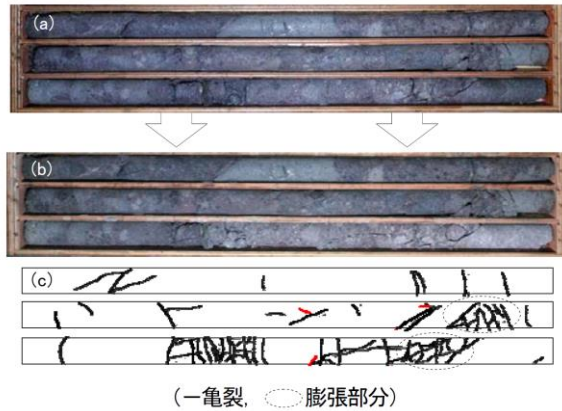


図-3 コア試料における亀裂の経時的変化の観察

の地質分類毎に抽出した結果¹⁰⁾、火山岩類を地山とする事例にトンネル変状の発生事例が多いことが明らかとなった。文献調査から変状、突発湧水、崩落などの想定外の地質問題が認められたが、中でも特に事前調査および施工中に予見が困難である時間依存性を持ったトンネル変状の事例が問題となっており、先進ボーリングによる調査法を拡充する必要性が認められた。

火山岩類を地山とするモデル地において変状が発生した箇所から採取されたボーリングコア試料を、掘削後 17～23 日間に渡り亀裂発生数を観察した結果(図-3)、変質度が大きいほど亀裂発生数が増加する傾向(図-4)および、岩級区分が悪くなるほどに、初期亀裂数に対する亀裂増加数が大きくなる傾向(図-5)が認められた。これは、コア試料の亀裂数評価が、変状部の地山の劣化状況を反映していると考えられる(表-3)。このように、コア試料を経時観察することで、掘削直後から概ね5日程度までに亀裂が増加する傾向を捉えることができるという知見を得た。以上のことから、対象トンネルにおいては、掘削直後のコアの観察結果とあわせて、一定の時間が経過した後にコアを再観察することで、長期的な亀裂の発生による岩石の劣化を評価予測できるといえる¹¹⁾。

また、亀裂の増加傾向を調査した試料と類似の安山岩溶岩試料においては、有効間隙率は数%から43%まで、弾性波速度(P波速度)は1.6~5.6 km/secの幅を持つことが明らかとなった(図-5)。特に、有効間隙率20%以上を示す試料については、掘削後から弾性波速度に経時的な低下傾向が認められた(図-5下)。これは、掘削直後にコア試料の有効間隙率を測定することで、時間の経過に応じた岩石の劣化

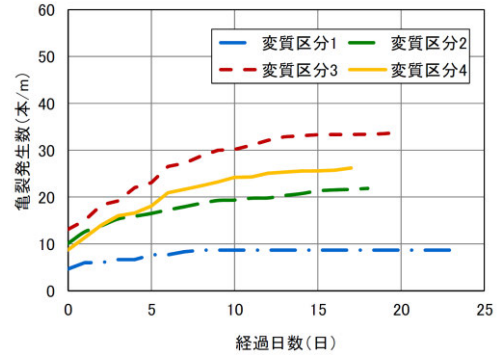


図-4 変質区分における亀裂数の経時的変化
変質区分は1から4へ変質の強度が大きくなる

表-3 岩級区分における亀裂数の経時観察結果(安山岩溶岩の例)。岩級区分はコアの硬軟、形状、割れ目の状態により堅硬なC_Hから、C_M、C_L、軟弱なDと分類される。

岩級区分	延長(m)	観察日数	RQD(10)	初期亀裂数(本/m)	最終亀裂数(本/m)	増加率
C _H	10	22	98	4	7	1.8
C _M	7	17	89	6	11	1.8
C _L	11	23	54	15	37	2.5
D	11	17	39	8	18	2.3

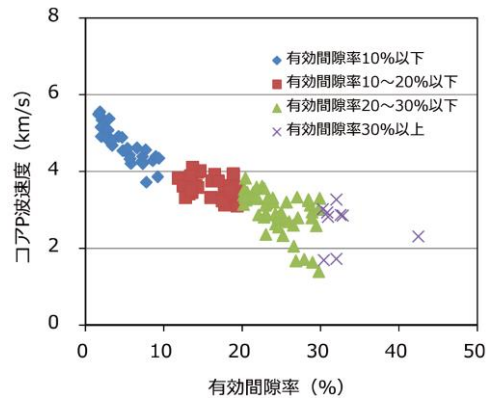
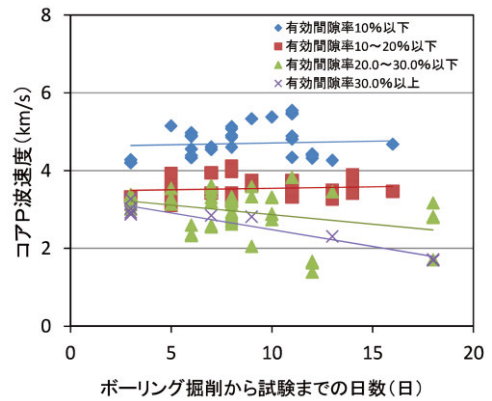


図-5 コア試料の弾性波速度と有効間隙率の関係(上)と掘削直後に於ける弾性波速度の経時的変化(下)

進行にともなう亀裂の発生箇所を予測できる可能性を示している。また、コア試料の経時的な亀裂発生数の増加と、高い有効間隙率およびP波速度の減少傾向について、後述の変質鉱物の含有量や、化学風化作用の進行による溶脱が顕著な箇所でもある亀裂・膨張の発生箇所との関連性が認められる¹²⁻¹³⁾。従って、火山岩類の有効間隙率による区分は、変質可能性の評価もまた、先進ボーリングコア試料を用いた地山評価手法における一つの指標として有効であり、地山分類に活用可能であると考えられる¹¹⁻¹³⁾。

3. 2. 2 時間依存性変状の発生メカニズム

先進ボーリング調査を含む既存の解析方法では想定外であった時間依存性の変状について、その発生メカニズムを解析するために、モデル地である調査対象トンネルの先進ボーリングコア試料の地質学的手法による解析を行った。解析の結果、健全部・変状部問わずトンネル地山全体で膨張性粘土鉱物が高含有されていること、岩石組織をセメント状に固定する炭酸塩鉱物（方解石など）が存在することが明らかとなった（図-6）⁴⁾。通常、膨張性粘土鉱物を大量に含む地質では、トンネル掘削時に明瞭な軟弱化が露見するが、モデル地では脆弱な岩石組織を炭酸塩鉱物が補強しているために、堅硬な岩種として判定されたことが、想定外の変状を引き起こす要因であることを明らかとした¹⁴⁾。

また、鉱物組成解析の結果からは、トンネル変状の発生区間の周辺に、硫化鉱物（黄鉄鉱、白鉄鉱）や硫酸塩鉱物（石膏など）が局所的に存在することが変状発生の要因であることが明らかとなった（図

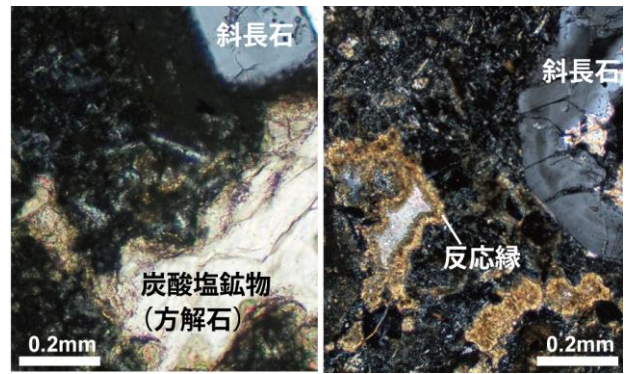


図-6 偏光顕微鏡写真による対象トンネルの代表的な岩石組織の例。炭酸塩鉱物がセメント状に岩石組織を固定している。健全部の炭酸塩鉱物（左）と、変状発生部での反応（酸化分解）を示す炭酸塩鉱物（右）。

-7)。加えて、変状区間周辺においては、セメント充填する炭酸塩鉱物に分解反応の痕跡が認められる（図-6 右）。以上のことから、変状の発生メカニズムは硫化鉱物の酸化分解により生じた酸性水が炭酸塩鉱物の溶脱を引き起こし、岩石組織の拘束が解かれ、膨張性粘土鉱物の含水膨張が促進されることで、地山の岩石が時間依存性を持って膨張・崩壊したためであると推定される（図-8）。これは、硫化鉱物の酸化分解と炭酸塩鉱物の分解による反応生成物として、硫酸塩鉱物が晶出したことによっても裏付けられる¹⁴⁻¹⁶⁾。

以上の変状発生の地質的背景の解明により、モデル地における時間依存性変状が顕在化した理由は、トンネル掘削をきっかけとした化学風化作用（硫化鉱物の酸化分解と、炭酸塩鉱物の溶脱反応）の進行には時間を要すること、このサイクルが収束するこ

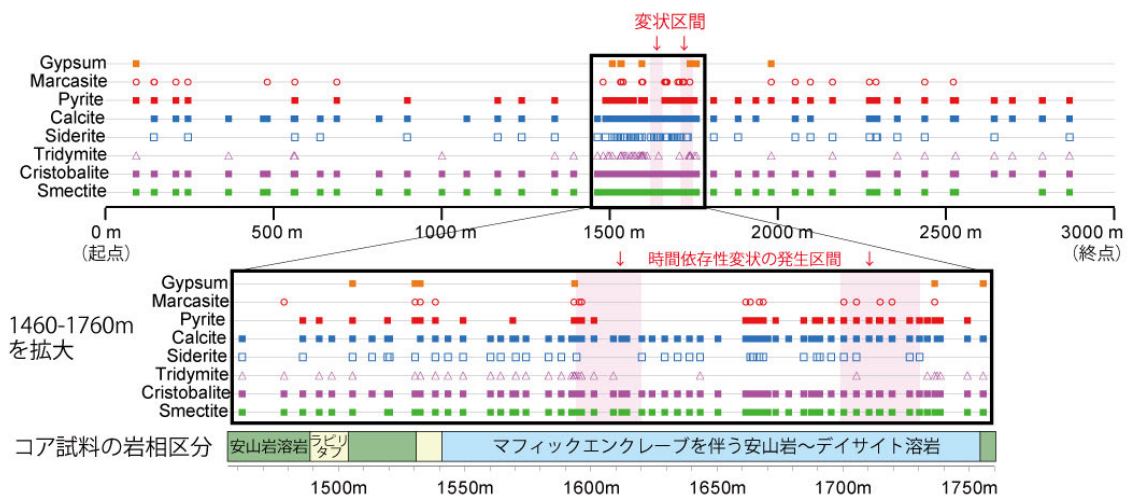


図-7 X線回折分析による先進ボーリングコア試料の鉱物組成分析結果。変状区間周辺では、硫化鉱物（Pyrite:黄鉄鉱、Marcasite:白鉄鉱）と硫酸塩鉱物（Gypsum:石膏）の局所的な分布が確認された。

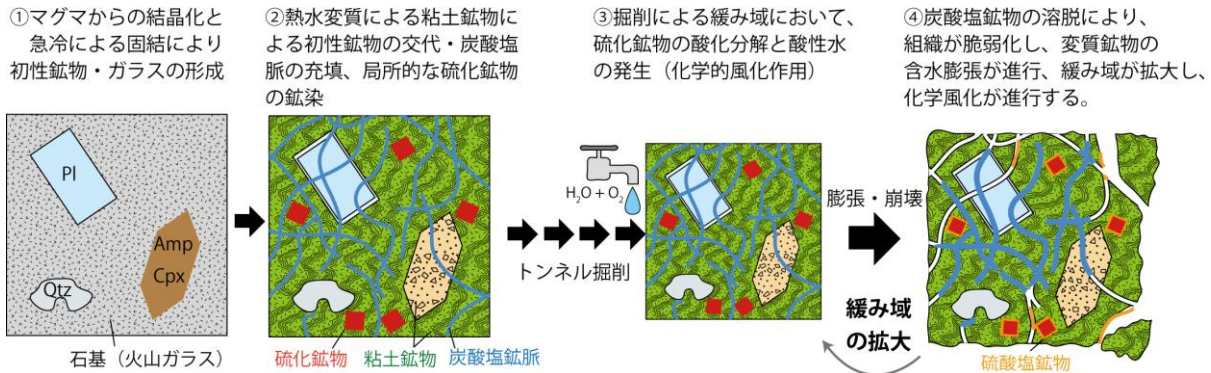


図-8 推定された時間依存性変状の発生メカニズム

となく、膨張圧がトンネルの耐久力を超えるまで繰り返されたためであると考えられる。先進ボーリング試料を用いて、火山岩類地山における時間依存性トンネル変状の顕在化メカニズムの解明に至ったのは、恐らく本研究が初出であると思われる。

3. 2. 3 化学組成による変状発生箇所の検出手法

前項において、先進ボーリングコア試料を地質学的に詳細に解析することで、変状発生メカニズムを解明し、トンネル地山における化学風化作用の影響範囲を把握することで、変状発生箇所を推定することが可能であることを示した。しかしながら、地質学的な詳細解析は、経済的にも時間的にもコストが高く汎用的に適用可能な手法ではない。そこで、事前調査および施工中の調査として対応可能な手法として、先進ボーリングコア試料の全岩化学組成分析による検出法の提案を試みた。

対象トンネルにおける、全岩化学組成の分析結果を図-9に示す。全岩化学組成の特徴として、変状発生区間を含む暗色包有物を含む安山岩溶岩層においては、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 、 SO_3 、 K_2O 、 Sr 、 Ba の含有量が比較的大きな幅を持って変化するのに対して、 TiO_2 、 Al_2O_3 含有量については比較的ばらつきが小さい。これは、 Ti 、 Al 元素が変質により比較的移動し難いことに由来すると考えられる。また、単一の溶岩層において、 SiO 含有量が大きくばらつく理由として、熱水変質によるクリストバライト・トリディマイトの交代による Si の付加と、その他の元素の相対的な溶脱で説明される。また、変状発生区間内部および近傍の試料には、比較的明瞭に CaO 、 Na_2O 、 MnO 、 K_2O 、 Sr 、 Ba 含有量の減少傾向と S 含有量の増加が認められた。 S の増加は硫化鉱物による局所的な鉱化作用の存在を、 Na 、 K などの減少は熱水との反応による長石類の分解と粘土鉱物による交代を、

また Ca 、 Sr 、 Ba の減少は長石類や炭酸塩鉱物の分解・溶脱による流出によるものと解釈される。従って、熱水変質による膨張性の指標として、 Mg と K に対する Ca と Na の増減傾向および、硫化鉱物の含有量と炭酸塩鉱物の反応・溶脱量を Sr に対する S の含有量比で指標化することで、変状発生可能性箇所を化学風化作用の影響箇所として検出することを試みた¹⁴⁻¹⁶。全岩化学組成による指標を用いた検出結果では、変状の発生可能性箇所と実際の変状発生区間とがよく一致した(図-10)。このことから、先進ボーリング調査による変状発生箇所の評価法として、コア試料の全岩化学組成を用いた風化指標本手法が新たな地山分類法へと活用されることが期待される。ただし、今後の課題として、他の火山岩類を主とする地山地質においても、本手法が有効であるか適用し、検証が必要であろう。

4. まとめ

山岳トンネルにおける先進ボーリング調査の実態、有効性・費用対効果の分析、時間依存性変状が発生した変質火山岩類地山のトンネルにおける地質学的手法による解析を行い、以下の成果を得た。

- 1) 先進ボーリング調査の実施は、地山評価が通常6割程度の一致率であるところを最大9割前後まで改善すること、費用対効果として3-7%程度の効率化となることを明らかとした。
- 2) 変質した火山岩類を地山とするトンネルでは、コア試料における亀裂数の増加傾向、弾性波速度の変化、有効間隙率を指標とすることで、地山の劣化傾向を予測できる可能性が示された。
- 3) 変質火山岩類における時間依存性変状の発生メカニズムは、膨張性粘土鉱物を生成した広域的な熱水変質と、局所的な硫化鉱物の鉱化作用が作用した箇所において、トンネル掘削に伴い硫

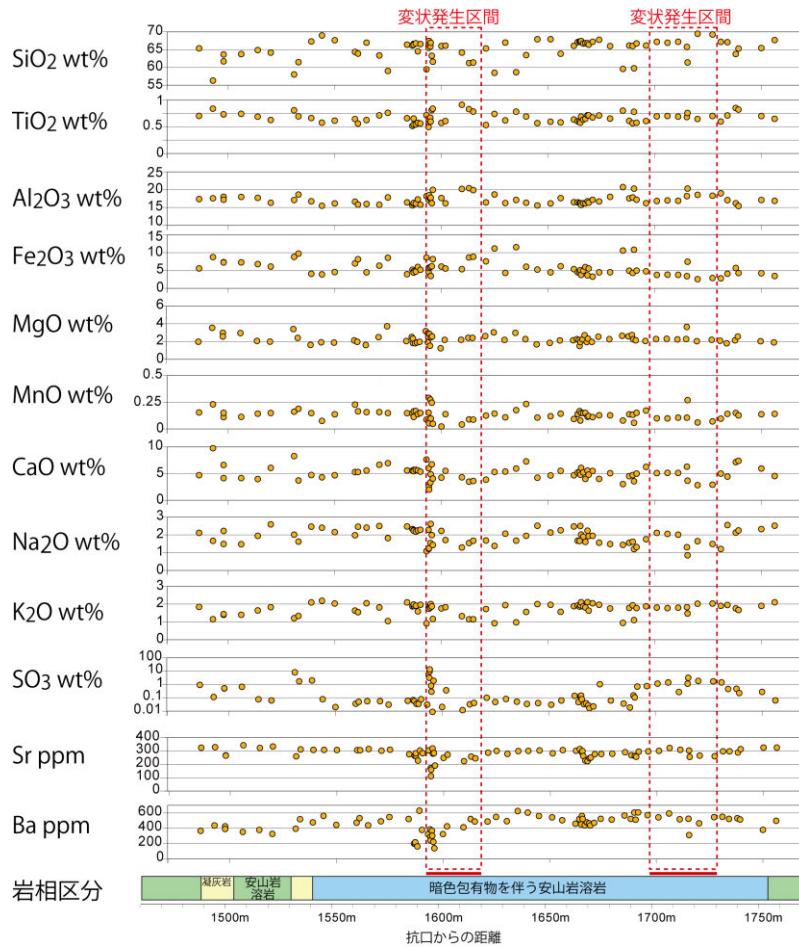


図-9 変状発生区間近傍における全岩化学組成変化

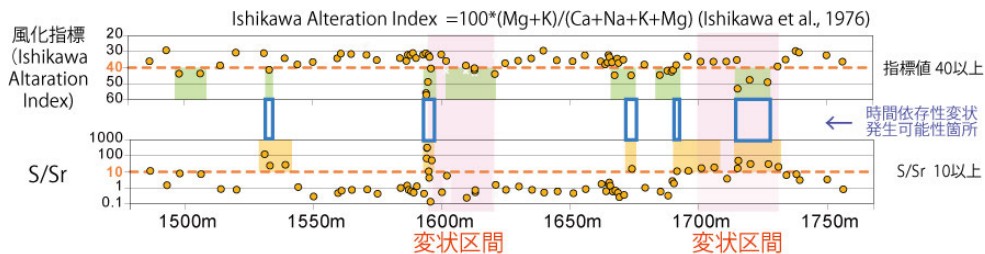


図-10 先進ボーリングコア試料の全岩化学組成分析（上段、下段）による指標を用いた時間依存性変状発生箇所を検出結果（中段）。

化鉱物の酸化分解が酸性水を発生させ、炭酸塩鉱物を溶脱することで岩石組織が脆弱化し、膨張性粘土鉱物の膨張が顕在化した、という化学風化作用の進行により説明されることを解明した。

- 4) 変状発生区間とコア試料の全岩化学組成変化の分布が調和的であることを示し、既存の風化指標と S/Sr による指標を組み合わせることで、全岩化学組成分析により変状発生可能性箇所を検出した。

本研究で提案した手法は地山分類への活用が期待されるものである。今後は、多種多様な地質や施工事例に適用し、検証していく必要がある。

参考文献

- 1) トンネル調査研究会:「トンネル技術者のための地盤調査と地山評価:第5章トンネル切羽前方探査」、災害科学研究所トンネル調査研究会編、pp. 179-242、2017年1月
- 2) 北海道開発局:「平成27年度北海道開発局道路設計要

- 領第4集トンネル」、北海道開発局、4.11、pp.4、2015年4月
- 3) 伊東佳彦・倉橋稔幸・岡崎健治・井上豊基・大日向昭彦:「時間遅れを伴うトンネル変状の評価法に関する研究」、土木研究所重点研究成果報告書、重-30、pp.1-6、2015年
 - 4) 岡崎健治・伊東佳彦・丹羽廣海・村山秀明・笹谷輝勝・大日向昭彦・倉橋稔幸:「供用トンネルにおける時間依存性を有する変状と診断技術の研究」、応用地質、第56号、第6号、pp.308-315、2016年
 - 5) 岡崎健治・伊東佳彦・丹羽廣海・村山秀幸:「変質安山岩の経年劣化と鉱物学的特徴の考察」、第43回岩盤力学に関するシンポジウム、土木学会、pp.170-175、2015年1月
 - 6) 山崎秀策・岡崎健治・倉橋稔幸:「X線回折分析による岩石中の微量黄鉄鉱含有量の定量分析法の検討」、寒地土木研究所月報、No.742、pp.12-16、2015年7月
 - 7) 山崎秀策・岡崎健治・倉橋稔幸:「先進ボーリングコア試料を用いたトンネル変状の要因解析例—新第三紀火山岩類の岩石学的・鉱物学的解析—」、国土交通省北海道開発局、第58回北海道開発技術研究発表会、技-6、2015年2月
 - 8) 亀村勝美・岡崎健治・伊東佳彦・佐々木博一:「山岳トンネルにおける先進ボーリングの効果に関する検討」、土木学会第68回年次学術講演会、2013年9月
 - 9) 亀村勝美・岡崎健治・伊東佳彦:「先進ボーリングに基づく地山等級評価について」、第43回岩盤力学に関するシンポジウム、土木学会、pp.31-35、2015年1月
 - 10) 山崎秀策・岡崎健治・大日向昭彦・倉橋稔幸・伊東佳彦:「P10. 北海道のトンネルの地質的課題の事例調査と先進ボーリングの有用性について」、日本応用地質学会平成26年度研究発表会講演論文集、pp.185-186、2014年10月
 - 11) 岡崎健治・伊東佳彦・丹羽廣海・村山秀幸:「時間依存性の劣化を伴う岩石の評価方法に関する検討例」、土木学会第70回年次学術講演会、III-248、pp.495-496、2015年9月
 - 12) Okazaki, K., Niwa, H., Murayama, H., Ito, Y., Sasaya, T. and Kurahashi, T.: Case study of the reconsidering of the measurement data and geological survey results of the tunnel with time-dependent behaviour, 10th Asian Regional Conference of IAEG, USB, 2015.9.
 - 13) 岡崎健治・山崎秀策・倉橋稔幸・伊東佳彦・丹羽廣海・村山秀幸:「熱水変質を受けた火山岩のボーリングコアの亀裂発生数によるトンネル地山の評価」:第14回岩の力学国内シンポジウム講演集、一般社団法人岩の力学連合会、講演番号007、2017年1月
 - 14) 山崎秀策・岡崎健治・倉橋稔幸・伊東佳彦:「火山岩類トンネルにおける時間依存性変状の発生メカニズムと全岩化学組成による評価」、日本応用地質学会平成28年度研究発表会講演論文集、pp.83-84、2016年10月
 - 15) 山崎秀策・岡崎健治・倉橋稔幸:「山岳トンネルにおける時間依存性変状区間の検出—火山岩地山の先進ボーリングコア試料を用いた全岩化学組成分析—」、第59回(平成27年度)北海道開発技術研究発表会、技-18、2016年2月
 - 16) Yamazaki, S., Okazaki, K., Niwa, H., Arai, T., Murayama, H., Kurahashi, T. and Ito, Y.: “Impact of hydrothermal alteration on time-dependent tunnel deformation in Neogene volcanic rock sequence in Japan: Petrology, Geochemistry and Geophysical investigation”, AGU Fall Meeting 2017, V51F-0433, 2017.12.

A STUDY ON ROCK MASS EVALUATION METHODS FOR TUNNEL GEOLOGY USING ADVANCED-BORING INVESTIGATION

Research Period : FY2014-2017

Research Team : Cold Region Construction
Engineering Research Group
(Geological Hazards)

Author : ITO Yoshihiko

KURAHASHI Toshiyuki

OKAZAKI Kenji

OBINATA Akihiko

YAMAZAKI Shusaku

Abstract : This paper reported rock mass evaluation methods using advanced-boring investigation in tunnel construction. The results suggested that the investigation has an advantage in cost-benefit relationship. In model tunnel with time-dependent deformation zone, the measurements of effective porosity, P-wave velocity and time-dependent crack generation after core sampling, would be useful for the evaluation. We also investigated petrography and mineral compositions of core samples from a tunnel. It resulted that the deformation could be explained by the cyclic weathering process with the oxidation of sulfides, dissolution of carbonates and swelling of smectite. This weathering process was also detected by the index using whole rock chemical compositions of the core samples. This implies that our chemical index can predict a time-dependent deformation zone in a tunnel through hydrothermally altered volcanic rocks.

Key words : mountain tunnel, tunnel ground evaluation, advanced-boring investigation, chronological crack observation, geochemical analysis