

# トンネル漏水発生箇所における覆工背面の地山の性状に関する研究

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム ○吉野 恒平  
岡崎 健治  
倉橋 稔幸

本報告では道路トンネルにおける火山起源地山の漏水の発生過程を検討する上での基礎データを収集するため、一般国道231号旧送毛トンネルの漏水発生箇所の側壁から変質安山岩を対象に2孔の水平ボーリング調査を実施し、岩相と出水状況について調査した。その結果、亀裂が水みちになっていること、多亀裂変質安山岩の破碎状況・亀裂と出水状況からその地質区間では透水性が高くなる可能性が推察された。以上のことから、多亀裂変質安山岩は地山内に形成された掘削損傷領域に含まれ、その領域内に地下水が分布している可能性が挙げられる。

キーワード：道路トンネル、維持管理、漏水、地質、地下水

## 1. はじめに

2014年～2023年度におけるトンネル定期点検の結果<sup>1)</sup>では、建設から51年以上経過したトンネルでⅢ判定（早期措置段階：構造物の機能に支障が生じる可能性があり早期に措置を講ずるべき状態）<sup>2)</sup>となる区分が38%であり、建設からの経過年数の増加に合わせて、その割合が増加する傾向が示されている。また、このⅢ判定となるトンネルで生じた変状区分毎の割合について、2014年～2018年度の点検結果<sup>3)</sup>では、材質劣化が67%、次いで漏水が23%であった。北海道では、現在282本の国道トンネルが供用されており<sup>4)</sup>、建設から50年以上経過したトンネルが多く含まれている（図-1）。

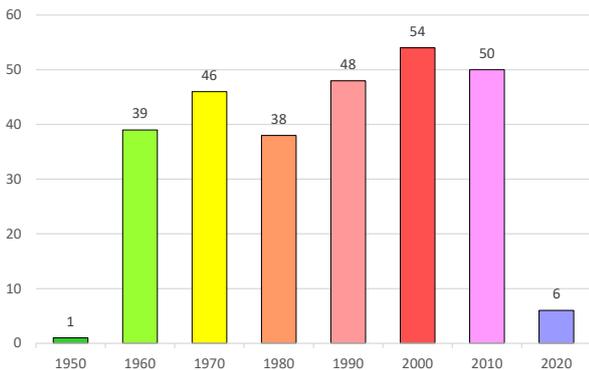


図-1 北海道における国道トンネルの建設年代 (n = 282)

今後、これらのトンネルにおいて材質劣化や漏水等の変状が多発することが予想される。材質劣化については、トンネル覆工や付属物の近接目視による点検を通じて管理される。一方、漏水は材質劣化の原因になること<sup>2)</sup>、

冬期に漏水が路面凍結やつららとなり、トンネルの安全性に影響を与えることもある。以上のことから、トンネルの維持管理において漏水は対策を必要とする変状の一つとされている。

漏水対策を行うためには、トンネル覆工背面の地山について調査した上で、地山の地質と水みちについての基礎データを収集し、地質毎のトンネル漏水の発生過程について把握していく必要がある。これまでに筆者ら<sup>4)</sup>は、北海道における国道トンネルについて地山の地質と漏水の発生状況を分し、地山が火山起源もしくは碎屑性堆積物起源とするトンネルが全体の8割以上で、両者の割合はほぼ等しいことを示した（図-2）。一方、対策を必要とする漏水が起きていたトンネルは24本確認され、その内の16本は火山起源地山に関連するトンネルであった。以上のことから、火山起源地山のトンネルにおいて多発する傾向にあることが明らかとされた。火山起源地山はトンネル工事においても、異常湧水が多発していることが報告されており、冷却節理などの成因的な亀裂の発達や掘削工事による応力解放に伴う開口亀裂などの発達が原因と考えられている<sup>5)</sup>。地山内の亀裂はトンネル建設後も残り、水みちになることで、火山起源地山において漏水が多発すると推測される。

そこで本報告では、一般国道230号旧送毛トンネル（図-3）の変質安山岩の漏水箇所において、2孔の水平ボーリング調査を実施し、採取されたボーリングコア試料に基づいて地山の地質と出水状況について調査した。そして、両ボーリングコア試料に基づいて岩相対比を行った。その上で破碎部・亀裂と水みちの関係性と地山内の地下水の分布について考察した。

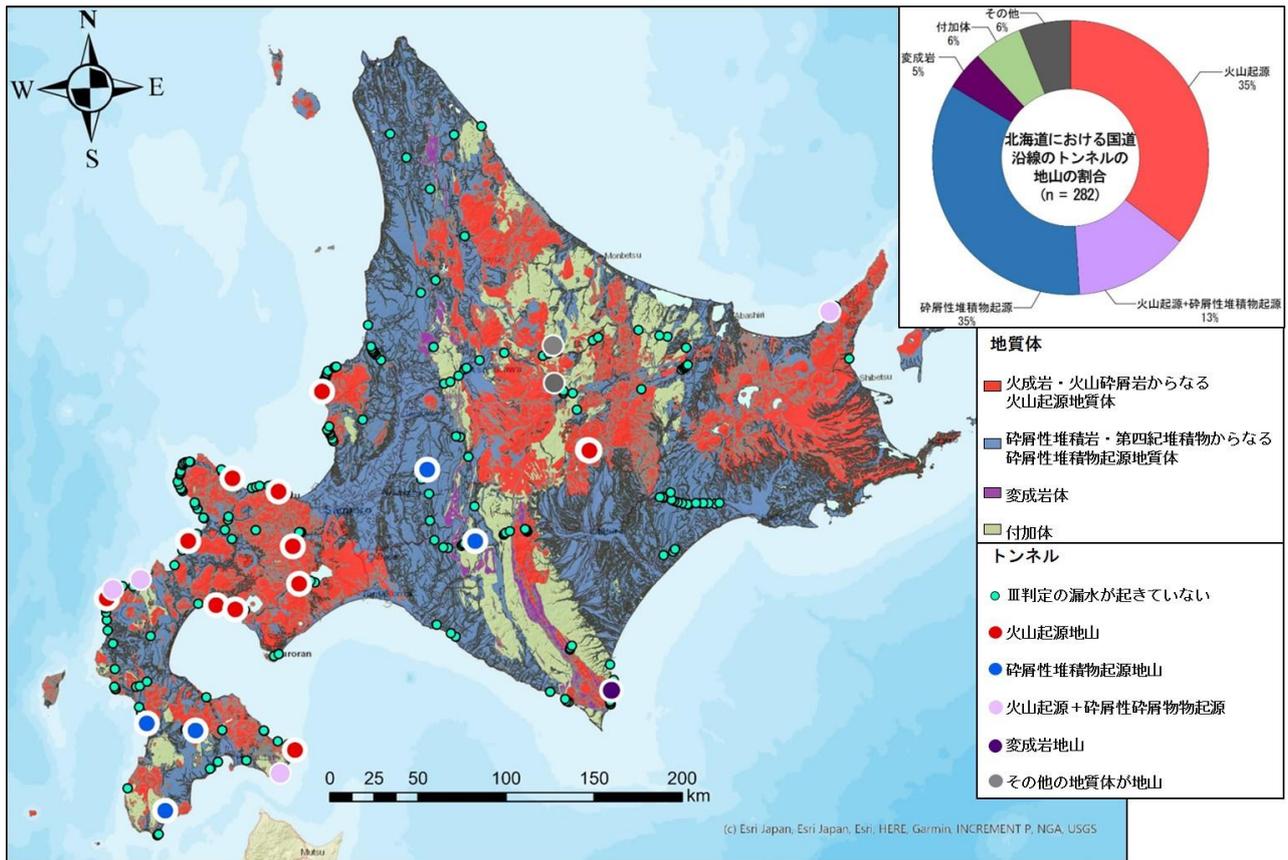


図-2 北海道における地質区分図と国道沿線のトンネルの位置に基づくトンネル地山の地質

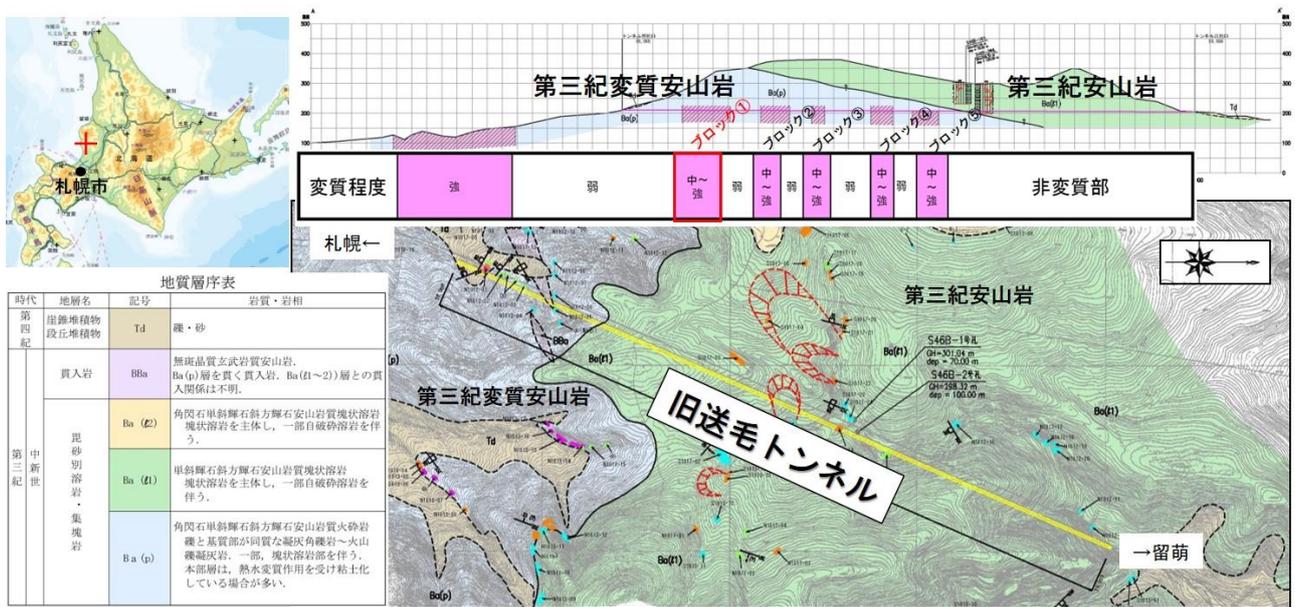


図-3 一般国道231号旧送毛トンネルとその周辺地域の地質図

## 2. 研究手法

北海道石狩市浜益区送毛に位置する送毛トンネル周辺地域では、第三紀中新世に形成された安山岩が広く分布している（図-3）。一般国道231号旧送毛トンネルは安山岩地山を掘削して建設された。新送毛トンネルが開通

したことによって現在は廃道とされているものの、複数の研究機関によって現地試験場として利用されている。

旧送毛トンネルの変質安山岩分布域には熱水変質作用を受けたブロック①～⑤が分布する（図-3）。ブロック①にて防水パネル設置されている区間がある。札幌側坑口から約350m離れた箇所（KP59, 870）において防水パネルの裏から流水音が確認された。このことから、防水

パネルの裏側に漏水が発生しているの見なし、該当箇所において水平ボーリング調査を2回実施した。

1回目は平成28年12月14日～15日に実施し、水平方向に10.0m掘削し、ボーリング孔H28BH-1とした。H28BH-1からは出水が確認された。2回目は令和6年8月19日～22日に実施した。H28BH-1の出水に影響を与えぬよう、H28BH-1から0.10m上方、0.60m北東方の位置において水平方向に3.5m掘削し、ボーリング孔R6BH-1とした。

H28BH-1とR6BH-1から採取されたボーリングコア試料において、岩相・亀裂・破碎状況について記載した。両ボーリングコア試料に基づいて岩相対比を行った。また、ボアホールカメラを用いて孔内観察を実施し、地下水の出水状況について調査した。その上で、破碎部・亀裂と出水箇所の関係について分析することによって、当該箇所における覆工背面の地山内における破碎部・亀裂と水みちの関係と地下水の分布について考察した。

### 3. 研究結果

#### (1) H28BH-1

H28BH-1のボーリングコア試料の写真を図-4に示す。H28BH-1において、地山は深度1.65mから確認された。

地山の岩相は変質安山岩を主体とし、深度6.10mを境に岩相の変化が確認された。

深度1.65-6.10mにおいては亀裂が多数確認され、ボーリングコア試料の大部分は片状であった。変質安山岩は暗灰～灰褐色を呈し、亀裂部では酸化して褐色化していることがあり、特に深度5.45-5.65mにて顕著に確認された。深度2.35-2.55m、2.70-2.80m、3.35-3.40m、3.50-3.90m、4.40-4.65m、5.00-5.45m、5.75-6.00mにおいて角礫状破碎部が挟在した。また、深度2.35-2.55mにおいては粘土混じりであった。

深度6.10-10.0mにおいては亀裂が少なくなるものの、ボーリングコア試料は弱変質～中変質を受け、短柱状～片状であった。ここで見られる変質安山岩は明灰～淡赤灰色を呈していた。亀裂に暗灰色鉱物脈が確認された。深度6.10-6.25m、7.15-7.38mにおいて角礫状破碎部が挟在した。

H28BH-1では定常的に出水が確認されている。令和6年7月3日にボアホールカメラを用いた孔内観察を実施した。その結果、穴あき塩ビ管によって最深部以外は孔壁の様子を確認することができなかった(図-5)。しかしながら、深度5.64mにおいて塩ビ管の下側の穴から出水が確認された。それより浅い深度において複数の出水箇所が存在し、覆工に近づくにつれて水量は増加した。

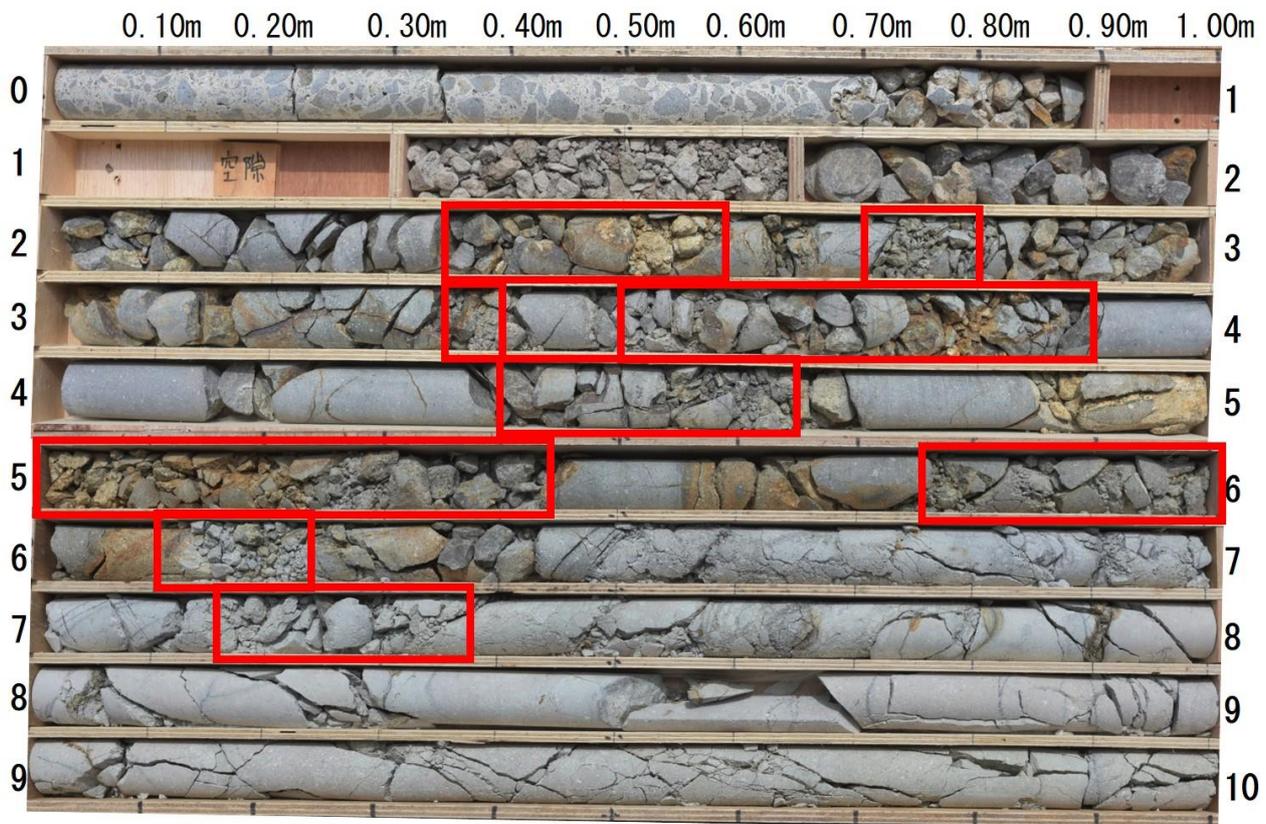


図-4 H28BH-1のボーリングコア試料 (赤枠は角礫状破碎部を示す)

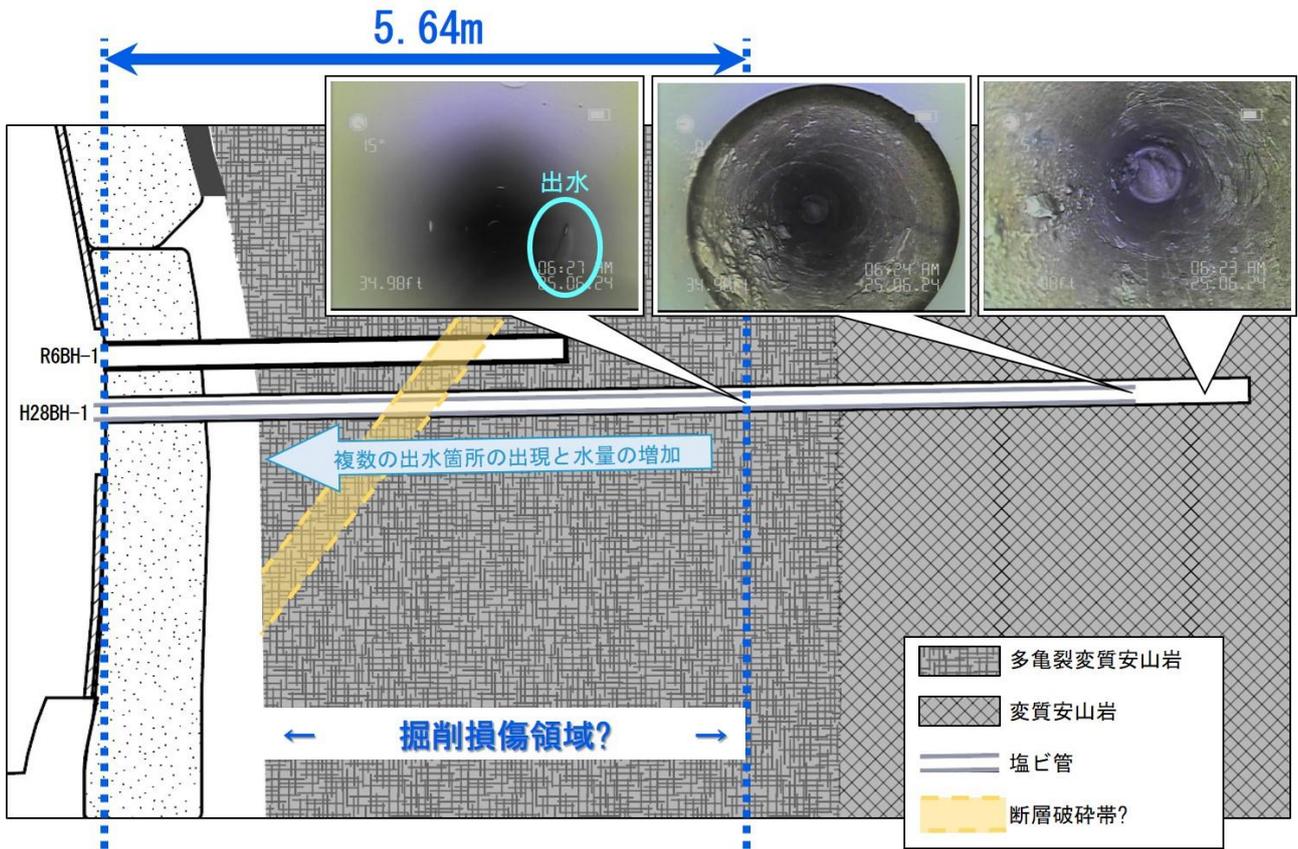


図-5 両孔の位置関係とH28BH-1孔内の出水状況

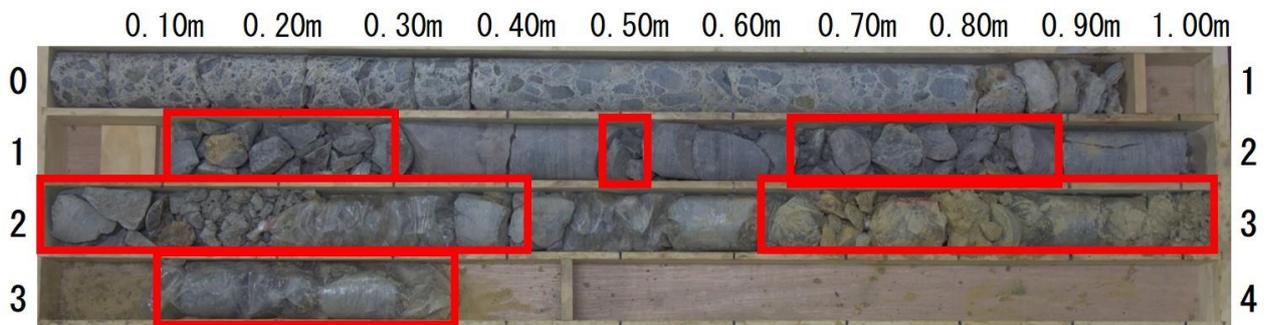


図-6 R6BH-1のボーリングコア試料 (赤枠は角礫状破碎部を示す)

## (2) R6BH-1

図-6にR6BH-1のボーリングコア試料の写真を示す。地山は深度1.10mから確認された。R6BH-1においても岩相は変質安山岩を主体とし、亀裂が多数確認され、ボーリングコア試料の大部分は片状であった。変質安山岩は暗灰色を呈していた。深度1.10-1.30m、1.48-1.52m、1.66-1.89m、2.00-2.42m、2.65-3.00m、3.10-3.35mにおいて角礫状破碎部が挟在した。また、深度2.65-3.00mにおいては粘土混じりであった。3.00-3.10m、3.35-3.50mは掘削時に流水によって消失した。深度1.10-1.30m、2.00-2.42mの角礫状破碎部において、酸化して褐色化している岩片が確認された。

令和6年8月22日にボアホールカメラを用いてR6BH-1

の孔内を観察したが、出水箇所を確認することはできなかった。現在まで定期的に確認しているものの、R6BH-1からの出水は今のところ確認されていない(令和7年1月時点)。

## 4. 考察

### (1) 両孔の岩相対比と地山内に存在する地下水

H28BH-1の深度1.65-6.10mとR6BH-1の深度1.10-3.50mのそれぞれのボーリングコア試料については多亀裂変質安山岩が分布している(図-4, 6)。また、H28BH-1の深度2.35-2.55mとR6BH-1の深度2.65-3.00mにおいて粘土混じり

の角礫状破砕部が確認された。これらは岩相上の特徴が類似していることから、地山内で連続した断層破砕帯の可能性が示唆される(図-5)。

H28BH-1において深度5.64mから出水が確認された。ここではボーリング孔の下側から出水していた。H28BH-1では覆工に向かって水量が増加したものの、ボーリング孔の上側からの地下水の流入は見られなかった。このことは、地山内において地下水は下から上に向かって移動していることを示す。ボーリングコア試料において、深度5.45-5.65mで褐色化した亀裂部が確認されたことも、H28BH-1掘削前はここに水みちが存在していたことと調和する。また、両孔間で見られた粘土混じりの角礫状破砕部が断層である可能性を挙げた。亀裂と同様にこうした断層も地山内の水みちになりうる。したがって、H28BH-1掘削前は粘土混じりの角礫状破砕部においても地下水が地山の下から上に向かって移動していたかもしれない。以上のことから、深度5.64m以浅の多亀裂変質安山岩において水みちが存在しているとみなされる。また、水みちになっていない不連続の亀裂内に地下水が存在する可能性もあると考えられる。今後、H28BH-1とR6BH-1の各孔内の出水状況について定期的に観察することによって、地山内の水みちの形成過程を明らかにする手がかりを得られると期待される。

## (2) 旧送毛トンネル周辺の掘削損傷領域と地下水分布

一般的にトンネル建設時において、地山を掘削する際にトンネル周辺の地山内にクラックが発生したり、支持力が不足することによって塑性化し、ゆるみ領域が生じることがある<sup>6)</sup>。ゆるみ領域の定義については、様々な説明がなされているものの、あまり明確にはされていない。地層処分に関連する分野において、同様の用語として、掘削損傷領域(Excavated Damaged Zone: EDZ)がある。掘削損傷領域についても様々な定義がなされているものの、一般的には“流体学のおよび地球化学的变化が地下水などの流れや輸送特性に重大な変化を引き起こす領域”とされている<sup>7)</sup>。具体例として、地山の透水係数が一桁以上の増加が挙げられる。地山内のクラックに加えて、それによる透水性の変化を含めて定義する掘削損傷領域の概念を考慮することで、地山内の水みちを変える新たなトンネル漏水対策工を考える上でヒントになり得る。

本報告の一般国道旧送毛トンネルでは、地山内の透水係数を計測していないものの、ボーリングコア試料で確認された破砕部・亀裂と地下水の出水状況から、H28BH-1の深度5.64m前後で透水係数の値が大きく変化し、深度5.64m以浅で透水性が高くなる可能性が推察される。すなわち、H28BH-1の深度1.65-5.64m及びR6BH-1の深度1.10-3.50mの多亀裂変質安山岩は地山内に形成された掘削損傷領域内に含まれ(図-5)、その領域内を地下水が分布している可能性が考えられる。今後、地山内の透水係数を計測するとともに、さらにボーリング調査

を実施することで、掘削損傷領域の分布と領域内の地下水分布を明らかにしていく必要がある。

## 5. まとめ

本報告は以下の通りまとめられる。

- 1) H28BH-1において深度6.10mを境に角礫状破砕部・亀裂の出現頻度が大きく変わり、深度1.65-6.10mでは多亀裂変質安山岩が確認された。R6BH-1の深度1.10-3.50mにおいても、角礫状破砕部と亀裂が多数出現する多亀裂変質安山岩が確認された。
- 2) H28BH-1において深度5.64mから出水が確認され、覆工に向かって水量が増加した。このことから深度5.64m以浅の多亀裂変質安山岩において水みちが存在していると考えられる。また、水みちになっていない不連続の亀裂内に地下水が存在する可能性もある。
- 3) ボーリングコア試料で確認された破砕部・亀裂と地下水の出水状況から、H28BH-1の深度5.64m以浅で透水性が高くなる可能性が推察される。このことから、H28BH-1の深度1.65-5.64m及びR6BH-1の深度1.10-3.50mの多亀裂変質安山岩は地山内に形成された掘削損傷領域内に含まれ、領域内に地下水が分布している可能性が挙げられる。

謝辞：国土交通省北海道開発局札幌開発建設部滝川道路事務所には一般国道231号旧送毛トンネルでの現地調査を実施するにあたって、多大なご協力を頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1)国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，146p.，2024.
- 2)公益社団法人 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】令和2年版，421p.，2020.
- 3)森本和寛，七澤利明，上原勇気：トンネル定期点検の現状と動向，土木技術資料，61-4，pp.20-23，2019.
- 4)吉野恒平，岡崎健治，倉橋稔幸：北海道の国道トンネルにおける漏水発生状況に関する分析，日本応用地質学会 令和6年度研究発表会，pp.37-38，2024.
- 5)宇田川義夫：山岳トンネルにおける地質体別の地質リスク事象に関する分析，日本応用地質学会 令和5年度研究発表会，pp.1-2，2023.
- 6)福島啓一：わかりやすいトンネルの力学，277p.，1994.
- 7)Tsang C.-F., Bernier F., Davies C. : Geohydromechanical processes in the Excavation Damaged Zone in crystalline rock, rock salt, and indurated and plastic clays-in the context of radioactive waste disposal, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 42, pp.109-125, 2005.