

# P33. 空間スケールに応じた割れ目と水みちの評価手法(その3)

Method for characterizing fractures and water-conducting features in different scales (No.3)

○齋藤和春(セントラルコンサルタント), 大石朗(八千代エンジニアリング),  
川越健(鉄道総合技術研究所), 鈴木弘明(日本工営), 宮川公雄(電力中央研究所)  
Kazuharu SAITO, Akira OISHI, Takeshi KAWAGOE, Hiroaki Suzuki, Kimio MIYAKAWA

## 1. はじめに

応用地質学会「応用地質学における地下水問題研究小委員会(第二期)」では, 地下水の流れを支配する割れ目の評価方法についてさまざまな観点から検討を行っている。

本報告ではトンネルの施工事例から, トンネル全体, 湧水が発生する特定の区間, 切羽といった様々なスケールで認識される水みちの特徴を整理し, 水みちとなる割れ目を抽出するための調査方法について現時点での検討結果を示す。

## 2. 対象としたトンネルの概要

本検討では水みちとなる割れ目の抽出を目的とすることから, 割れ目が発達した硬質岩盤におけるトンネルを事例調査の対象としている。本報告では事例調査を行ったトンネルのうちから, 堆積岩類, 火山岩類, 深成岩類が分布するそれぞれの地域で詳細な地質・水文調査が実施された事例を1例ずつ取り上げる。以下に各事例の概要を示す。

### (1) 堆積岩類での事例

対象事例は標高 2,000m 程度の急峻な山地に位置するトンネルである。トンネルは南北に延びる尾根の直下を東西方向に通過し, 最大土被りは約 600m である。地質は古第三紀の砂岩泥岩互層とこれを原岩とするホルンフェルスからなる, 地質構造は  $N60^{\circ}\sim 70^{\circ}W$  で北に急傾斜する。卓越する割れ目はトンネル軸とほぼ平行なものと, 南北方向のものがある。本トンネルではルート上の2箇所に水位観測井が設置され, トンネルとほぼ直交する断層破碎帯を通過する際に大量の湧水が生じ, 地下水位の低下が観測された(図1)。

### (2) 火山岩類での事例

標高 1,400~2,000m の急峻な山地に位置するトンネルを対象とした。トンネル周辺の地質は中生代白亜紀の流紋岩とこれに貫入する花崗岩からなる。流紋岩の新鮮部は暗灰色を呈し, 非常に硬質である。本トンネルでは複数の断層破碎帯で大量の湧水が生じた(図2)。

### (3) 深成岩類での事例

高レベル放射性廃棄物地層処分の研究サイトにおけるトンネルを対象とした。本地域は平均標高が数mの平坦な地形を呈しており, 氷河による削剥によって広範囲に露岩している。地質は先カンブリア紀の花崗岩類からなる。地表で認められる割れ目帯(周辺より割

れ目の密度が大きいゾーン)は, 北東-南西のリニアメントとほぼ一致し, トンネルはこれらのリニアメントと交差する(図3)。このうち, 最大規模の割れ目帯では事前調査で透水係数が  $8\times 10^{-7}\sim 8\times 10^{-6}m/s$  と高いことが明らかにされ, 大量湧水の発生が懸念された。そのため, 坑内より多数のボーリングが実施され, 割れ目

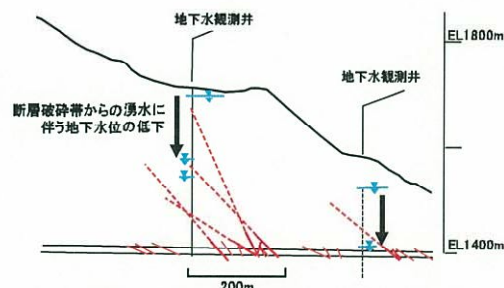


図1 堆積岩類での事例(観測井の地下水位の低下)

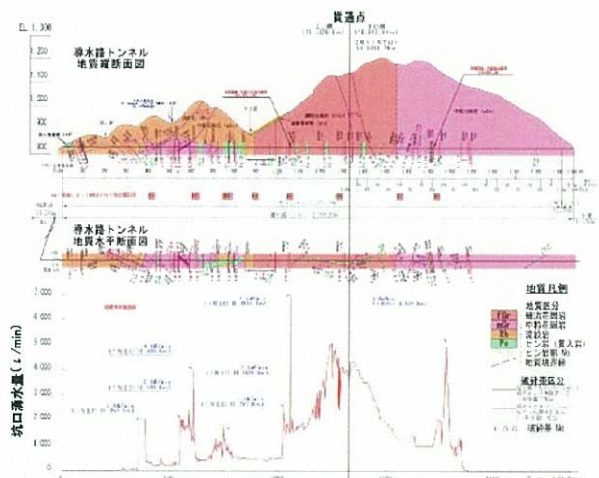


図2 火山岩類での事例(地質と坑口湧水量の変化)<sup>1)</sup>



図3 深成岩類での事例(リニアメントの分布)<sup>2)</sup>

帯内の水圧分布や湧水箇所が詳細に把握されている。

### 3. スケールごとの水みちの特徴

#### (1)スケールの設定

大島ほか<sup>3)</sup>が述べているようにトンネル周辺流域の地表水・地下水を一体として把握する必要があることから、トンネルが通過する流域を最も大きなスケールとすることが必要と考える。一方、個々の割れ目と湧水の発生状況との関係が把握できる最も小さなスケールは切羽の大きさが上げられる。また、検討事例を概観すると掘削時に大量の湧水が生じる区間（集中湧水区間）があることから、このような区間を一つのスケールとして取り上げる必要があると考える。以上のことからここでは、トンネルに関わる全ての流域を含む領域を大スケール、水みちとなる割れ目が認められる切羽およびその周辺を小スケール、そして特定の集中湧水区間を中スケールとして検討する。なお、中スケールはトンネルの立地条件や地質条件により様々な大きさになることが考えられる。

#### (2)スケールごとの水みち

表1に各事例におけるスケール毎の水みちの特徴をまとめる。表1から各スケールでの水みちの特徴は以下のとおりである。大スケールでの水みちは比較的規模の大きな断層破砕帯やリニアメントとして認められる。これらは深成岩類の事例のように他の箇所と比べて割れ目の分布密度が大きいゾーンといえる。次に中スケールでの水みちは、断層破砕帯や割れ目帯の構造に制約されていると考えられる。小スケールでの水みちは岩盤中の特定方向の割れ目や破砕帯中の角礫ゾーンであるが、これらはより大きなスケールで認められる水みちの方向とは一致しない場合がある。

表1 各スケールにおける水みちの特徴

|                      | 堆積岩類での事例                   | 火山岩類での事例                | 深成岩類での事例                         |
|----------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 大スケール<br>(流域)        | 断層破砕帯                      | 断層破砕帯                   | 割れ目帯<br>(リニアメント)                 |
| 中スケール<br>(特定の集中湧水区間) | 断層の下盤割(上流割)<br>に分布する複数の割れ目 | 雁行断層中の断層の<br>連続性がとぎれる箇所 | 割れ目帯中で、割れ目帯<br>の定向傾向と斜交する<br>ゾーン |
| 小スケール<br>(切羽)        | 断層とやや斜交する<br>特定方向の割れ目      | 破砕帯中の<br>特定の角礫ゾーン       | 割れ目帯中の<br>特定の割れ目                 |

### 4. スケールごとの調査方法

以下にスケールごとの調査方法の検討結果を示す(表2)。

①大スケールでは比較的規模の大きな断層破砕帯や割れ目帯など、割れ目の密度が他の箇所と比べて大きいゾーンが水みちとして認識される。そのため、まずこれらの構造を抽出することが必要となる。また水文調査により地下水面の形状や季節的な変化を明らかにし、水理地質構造を解釈する必要がある。

②中スケールでは特定の断層破砕帯、割れ目帯が水みちとして機能していると考えられる。そのため、湧水圧測定や物理探査手法を組み合わせ、実際に水みちとなっている断層破砕帯、割れ目帯を抽出する必要がある。また、地下水の流れは割れ目の密度、開口程度、連続性および断層粘土の厚さ、分布などによって制約される。これらの割れ目の性状を明らかにする上では、割れ目の成因や形成過程を明らかにすることが参考になると考えられる。

③小スケールでは断層破砕帯や割れ目帯内部の割れ目の分布に支配されて水みちが形成されている。しかし、事前調査段階では単一の割れ目を水みちとして認識することは困難な場合が多い。このようなことから、施工時の切羽観察や探り穿孔により割れ目の分布と湧水の関係を確認することが重要である。

表2 スケールごとの水みちの調査方法

|                  | 大スケール                                   | 中スケール                                           | 小スケール                 |
|------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| 水みちを明らかにするための着眼点 | ・地下水面の形状・変動<br>・地質構造                    | ・割れ目の分布密度<br>・ポテンシャルの分布<br>・割れ目の成因、形成過程         | ・割れ目の空間分布<br>・湧水の位置、量 |
| 必要な調査の例          | ・水文調査<br>(流量観測、湧水点調査、水位観測など)<br>・水理地質調査 | ・区間湧水圧測定<br>・透水試験<br>・物理探査<br>・ボアホールカメラによる割れ目調査 | ・切羽観察<br>・先進ボーリング     |

### 5. まとめと今後の課題

本報告で示した水みちの特徴は、大スケールから小スケールの順に以下ようになる。

- ・断層破砕帯やリニアメント  
(割れ目の密度が大きいゾーン)
- ・特定方向の断層破砕帯や割れ目帯
- ・特定の割れ目や角礫ゾーン

これらの水みちを抽出するために必要な調査方法は、扱うスケールの大きさで異なってくる。

トンネル掘削時に切羽や集中湧水区間で見られる割れ目の分布や性状と湧水の関係は、山地全体の地下水の賦存状況や流れを明らかにする情報を含んでいると考える。このような観点から、応用地質学会地下水問題研究小委員会ワーキンググループ2の中で別途実施している高レベル放射性廃棄物最終処分地、ダムサイトを対象とした同様の検討結果とトンネルの事例調査結果を合わせて、山体内の水みちの把握に関する考え方、調査手法の検討を行っていく予定である。

#### 文献

- 1) 増田ほか(2000): 山岳トンネル掘削時の湧水量予測, 応用地質, Vol.41, No.3, pp.126-134.
- 2) SKB(1991): Aspö Hard Rock Laboratory. Evaluation and conceptual modeling based on the pre-investigations 1986-1990, TR91-22, p40.
- 3) 大島ほか(2000): わかりやすい土木地質学, 土木工学社, 207p.