

Ⅲ-80 地化学的手法によるトンネル周辺の岩盤内地下水流動評価

鹿島技術研究所 正会員 升元 一彦

鹿島技術研究所 正会員 日比谷啓介

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分場を建設する際には、岩盤内におけるサイトの選定や天然バリアとしての評価という観点から、岩盤内地下深部における流れの非常に遅い地下水の挙動や広域における流動形態の把握が必要であるが、これまでの透水試験では十分な評価が困難であると思われる。そのため、地下水の地球化学的特性から涵養域、起源、滞留時間等の情報を把握し、岩盤内の地下水挙動を評価する地化学的手法が注目されている。

今回、この地化学的手法の岩盤内地下水に対する適用性を検証するため、花崗岩中に掘削中のトンネルサイトにおいて原位置採水及び水質、環境同位体分析、評価を実施した結果を報告する。

2. 調査方法

今回、調査を行ったトンネル周辺の地質は、花崗岩、閃緑岩からなり、断層、破碎帯等の岩盤劣化部が数箇所確認されている。トンネルは東側坑口から約2km掘削されており、最大土かぶり540mである。原位置採水は1994年2月から12月まで計3回、図-1に示す箇所（坑内湧水5点、地表沢2点、降水3点）において実施した。なお、Na1では坑壁沿いのビニールシートからの滴水、Na2では坑壁の排水パイプからの湧水、Na3、5では水平ボーリング孔湧水、Na4では地表から貫通した鉛直ボーリング孔湧水をそれぞれ採取し、降水については約1月間の降雨を採取している。また、分析項目は、水温、pH、電気伝導度、溶存イオン（ Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 SiO_2 、 NO_3^- ）と環境同位体（ ^3H 、 ^{18}O 、D）であった。

3. 地下水流動形態の検討

3.1 水質による評価

主要イオン組成を比較するため、図-1にヘキサダイアグラムを、図-2にキーダイアグラムを示す。図-1からNa2とNa3のヘキサダイアグラムの形状が他と比べ高Na+Kの形をしていることがわかる。また、Na1のCaと HCO_3^- の量が非常に高いことがわかる。Na1は電気伝導度も他と比べ高くなっており、採水の状況から坑壁の吹付コンクリートの影響を受けたものと判断できる。キーダイアグラムでは地下水と岩石の接触時間が長いほどⅠ型からⅡ型へ変化していくことが知られているので、Na4からNa2へと古い水に変化していることがわかる。この順は採水位置の山体の奥から手前への順とほぼ対応しており、このトンネル周辺岩盤内の大局的な流

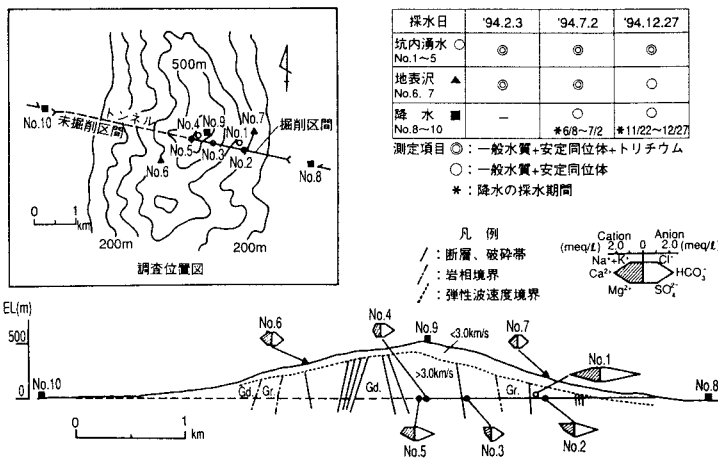


図-1 ヘキサダイアグラムによる水質分布図

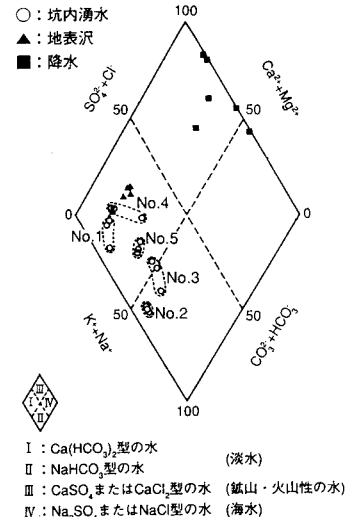


図-2 水質キーダイアグラム

動形態を反映しているものと考えられる。

次に、主要イオンについてNaを除く坑内湧水と地表水について主成分分析を行った。第1、第2主成分の因子負荷量と散布図を図-3に示す。因子負荷量から第1主成分 Z_1 は陽イオン間のイオン交換反応を、第2主成分 Z_2 は岩石からのイオン溶出反応を反映しているものと考えられる。 Z_1 についてNa2が最も負の側にあり地表水が正の側に分布していることは、 Z_1 の負の値が大きいほどイオン交換反応の卓越した古い地下水であることと対応している。また、Na4が地表水と同じ正の側に分布していることは、Na4が地表近くの水を引いてきている可能性を示している。一方、 Z_2 について各坑内湧水が経時的に負の側に変化していることは、イオン溶出反応が減少していることを示しており、山体内の地下水が比較的新しい水に入れ代りつつあることがわかる。

3.2 環境同位体による評価

標準海水に対する降水中の安定同位体存在比の偏差 δD 、 $\delta^{18}O$ には、地球規模で見た場合、 $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ の関係があることが知られている¹⁾。図-4に示すように、今回の降水の分析結果もほぼこの関係を満足し坑内湧水もこの直線上にのることから、坑内湧水の起源は降水であると考えられる。また、坑内湧水は、降水の季節変動の影響をほとんど受けていないことがわかる。このことは坑内湧水の滞留時間が比較長く、混合の程度が大きいことを示している。

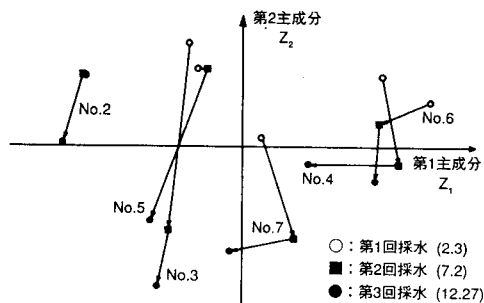
次に、安定同位体には高度による依存性（高度効果）があることが知られている²⁾。図-5に示すように、この地域における降水の $\delta^{18}O$ は季節による変動が大きい、同一時期では高度100m当り $-0.20 \sim -0.28\text{‰}$ の変動が認められる。地表水にもこの傾向がみられ集水域の平均高度を反映しているものと考えられる。坑内湧水についても季節変動が平滑化されているので、涵養域の平均高度を反映した高度効果があることが期待できる。結果は図-5によれば、地表水の影響を受けているNa4を除き、坑内採水地点のNa2からNa5の順で $\delta^{18}O$ が小さい値を示している。これはトンネルの坑口から山体の奥側へ行く程平均涵養高度が高くなることを示しており、このことから山体に降った水が初め鉛直に浸透し、その後岩盤中の高度の低い方へ混合しながら流れていることが推定される。これは水質の評価から導き出された結果とも一致している。なお、 3H から求められるNa2での湧水の滞留時間は40年以上であった。

4. おわりに

地化学的手法により、地下深部、広域における岩盤内地下水流動評価を行える見通しが得られた。今後、さらに岩盤内原位置におけるデータの蓄積を行い評価手法の確立を目指す予定である。

参考文献：1) Craig, H.; Isotopic variation in meteoric waters, Science, 133, pp.1702-1703, 1961.

2) 早稲田, 中井; 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成, 地球化学, 17, pp.83-91, 1983.



	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₃ ⁻	寄与率
Z1	-0.844	0.313	0.251	0.186	0.239	0.148	0.016	0.105	-0.036	0.474
Z2	0.197	0.487	0.735	0.371	-0.194	0.064	0.054	-0.030	0.031	0.195

図-3 主成分分析結果

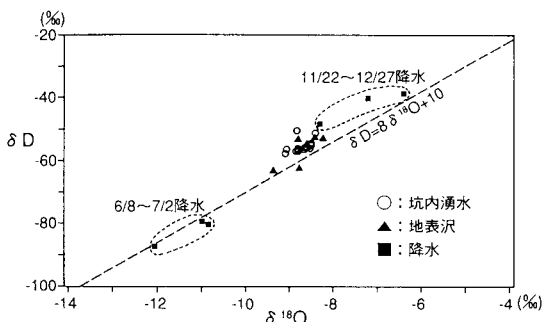


図-4 $\delta D - \delta^{18}O$ ダイアグラム

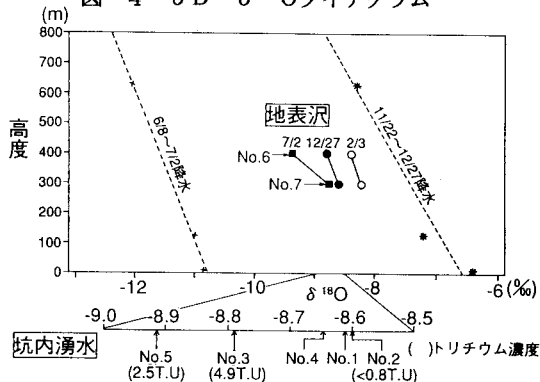


図-5 $\delta^{18}O$ の高度効果