

### III-A 302 地下水の酸素安定同位体を利用した広域地下水流動評価

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の地層処分を想定した時、広域・深部における岩盤内の地下水流動形態を評価することは重要な課題の一つである。その有力な解決手段として筆者らは地下水の地球化学的特性を利用した流動評価に関する研究を進めている。今回、原位置での採水・分析結果に基づく広域流動モデルの検証を目的に、特に地下水の酸素の安定同位体 $^{18}\text{O}$ の挙動に着目した移流分散解析を行った。解析の結果、単純化したモデルではあるが原位置調査から実測された $^{18}\text{O}$ の分布と変動を定性的に表現できており、 $^{18}\text{O}$ を利用した地下水流動評価が妥当であるとの結論を得た。

#### 2. 原位置での調査結果

調査地域は花崗岩、花崗閃緑岩からなるトンネルサイトで、図-1に示す箇所（坑内湧水7点、地表沢2点、降水3点）において1993年から1995年まで原位置採水を実施した。分析項目は、今回注目している $^{18}\text{O}$ の他に水温、pH、EC、主要溶存イオン、環境同位体（重水素、 $^{13}\text{C}$ ）であった。

調査地域の降水の $^{18}\text{O}$ 濃度は主に季節的には雨量効果に、地域的には高度効果に影響を受けていることが確認されている。つまり、図-2に示す様に<sup>\*</sup>夏の多雨期において降水の $^{18}\text{O}$ 濃度は小さな値を示しその季節変動幅は約5%である。また高い標高で降った雨ほど小さな値を示しその低減の程度は100m当り約-0.25%である。 $^{18}\text{O}$ と重水素の関係から坑内湧水の起源がこの降水であることがわかるので、坑内湧水の $^{18}\text{O}$ 濃度の季節変動幅から滞留時間が、平均値から涵養高度が推定できることが予想される。坑内湧水の調査結果は図-3に示す様に変動幅は0.5%程度に減衰しており、平均値は山頂直下において小さく坑口の方へ大きな値をとる。この結果とトリチウムの分析結果、主要イオンの主成分分析結果から、この山体の地下水の賦存状態としては山頂直下ほど涵養高度が高く新しく、トンネルの坑口近くほど涵養高度が低く古いことがわかっている<sup>1)</sup>。

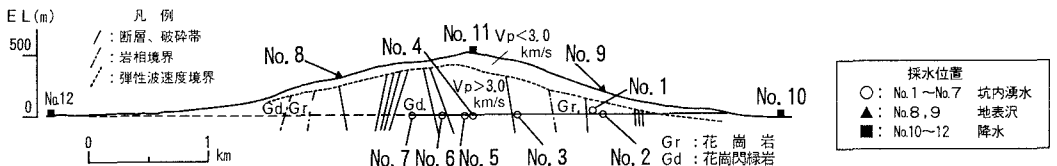


図-1 調査地域断面と採水位置

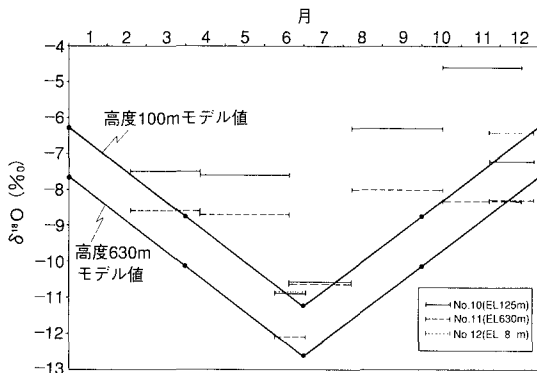


図-2 降水の $\delta^{18}\text{O}$ の季節変動

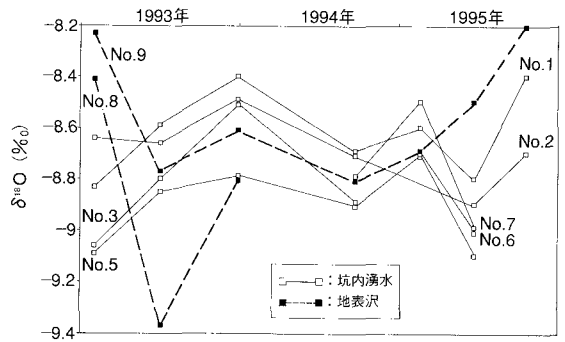


図-3 坑内湧水の $\delta^{18}\text{O}$ の経時変化

表-1 解析条件

節点 186 要素 161
・浸透流解析 定常解析 透水係数 $k=10^{-7}m/s$
底面：不透水、側面：水頭固定、上面：圧力水頭固定
・移流分散解析 403step(100.75年) 間隙率 $\theta=0.03$
分子拡散係数 $\times$ 屈曲率 $=10^{-10}m^2/s$
縦分散係数 $\alpha_l=10m$ 、横分散係数 $\alpha_t=1m$

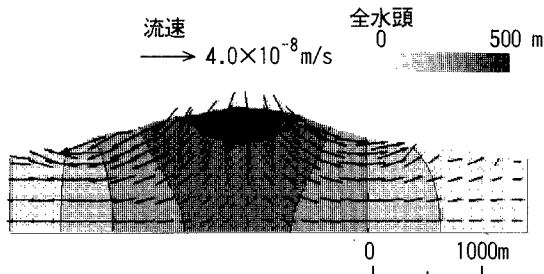


図-4 浸透流解析結果

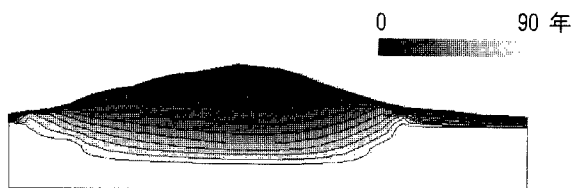


図-5(1) 移流分散解析結果  
(浸透時間：R/Rst=0.5に達する時間)

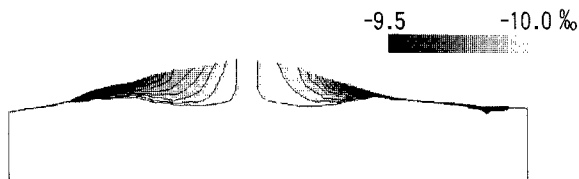


図-5(2) 移流分散解析結果 ( $\delta^{18}O$  平均値)

### 3. $^{18}O$ の挙動に着目した移流分散解析

以上の地球化学的特性の調査結果から得られた地下水流動に関する情報を検証するために $^{18}O$ の挙動に着目したE-L法による鉛直2次元移流分散解析<sup>2)</sup>を行った。解析条件を表-1に示す。 $^{18}O$ の濃度は初期値を0とし、解析ステップ(1/4年)毎にモデルの上面の各節点に図-2の例に示すように季節変動幅5%、高度100m当り-0.25%の濃度変化を与えた。流動途中の吸着、減衰はないものとする。

浸透流解析結果を図-4に、移流分散解析結果

を図-5に示す。浸透時間の目安として  $R/Rst=0.5$  (ただし、 $R$ ：酸素安定同位体存在比 ( $=^{18}O/^{16}O$ )、 $Rst$ ：標準平均海水の酸素安定同位体存在比)となる時間を用いた。 $\delta^{18}O$ 平均値としては濃度が安定した時点での1年間の平均値を用い、安定していない場合は100年目の値を用いている。この結果から、トンネル湧水において山頂直下で滞留時間が短く $^{18}O$ の平均値としては小さい(涵養高度の高い)水が湧出し、坑口の方へ滞留時間が長く $^{18}O$ の平均値としては大きい(涵養高度の低い)水が湧出することがわかる。つまり、このような流動場を仮定すると原位置調査から得られた地下水流動形態を説明することができる。また、図-6には $R/Rst=0.5$ となる浸透時間と $^{18}O$ の濃度が安定した時の季節変動幅の関係を示す。これから浸透時間が長くかかるほど変動幅が小さくなること、非常に滞留時間の長い地下水では変動幅が分析の分解能以下になり変動が認められなくなることがわかる。このことから $^{18}O$ の季節変動幅を利用し滞留時間や滞留時間の長い水と新しい水の混入の程度を推定することが可能であると考えられる。

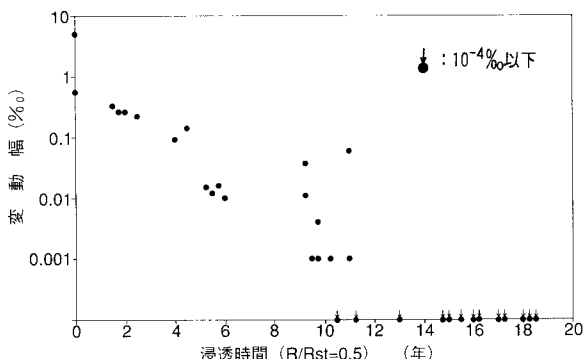


図-6  $^{18}O$ の季節変動幅と浸透時間の関係

### 4. おわりに

地下水の酸素の安定同位体 $^{18}O$ に着目した移流分散解析を行うことにより、原位置調査から得られた地下水流動形態を検証できた。また、 $^{18}O$ が地下水流動評価に有用であることが確認できた。

#### 参考文献

- 1) 升元, 日比谷: 地球化学的手法による岩盤内の広域地下水流動挙動評価, 応用地質, 36-6, pp. 70-79, 1993.
  - 2) 西垣: 地下水数値計算法(13) 2-4物質輸送のその他の解析法, 地下水学会誌, 33, pp. 265-276, 1991.
- \*) 酸素安定同位体の濃度は標準平均海水値からの偏差  $\delta^{18}O = (R-Rst)/Rst \times 10^3$  (‰) で表す。