

山体トンネル湧水の水質と浸透場の溶出との関係について

大同工業大学工学部 正 員 下島栄一
 大同工業大学大学院 学生員 ○上田裕一郎
 富山県立大学短期学部 吉岡龍馬

1. はじめに： 地表面に達した降雨は、ある浸透経路を経て地中下方に移動し、また、場合によれば、下方の地下水面に達して地下水帯をかん養する。その際、浸透水は浸透場の鉱物等を溶解し、その物質を同時に輸送する。従って、浸透水の水質は、浸透経路の情報、特に地質の情報を与えるはずである。著者らは、亀裂堆積岩よりなる山体に掘られたトンネルへの湧水の水質・水質観測を通して、雨水の浸透の仕組みを明らかにしようとしている。¹⁾ 本論文では、その研究の一環として、補助的に行った基岩の溶出実験を介し、湧水の水質と浸透場の溶出との関係につき検討した結果を示したものである。

2. 現地及び観測の概要¹⁾： 対象とする山体は和歌山県日高郡由良町に位置し、砂岩やチャートの亀裂堆積岩で形成されている。この山体に、幅2 m、高さ2 mのトンネルが水平方向に掘られ、基岩が露出している。トンネル湧水は天井からのみ生起しているが、この水を受水面積2～4 m²のじょうごで受けて、転倒升式雨量計で流量を計測している。湧水の水質測定として、同雨量計より排出される水を小さな容器に導き、この水の導電率の計測、及び湧水を直接採水して、種々のイオン濃度の分析を行っている。本文で対象とする二つの測点(A-1、A-3)は近接しており、地質は主として砂岩、また土被りは約10 mである。

3. 基岩の溶出実験

(1) 実験方法

亀裂岩盤の浸透水による溶出過程を調べるため、湧水測定点A-1の一ヶ所、A-3の2ヶ所でトンネル側壁より岩の薄片を削りとり、それをまず自然乾燥させた。ついで、岩片を砕いて、粒径が1.65～2.0 mmの粒子状の部分と0.42 mm以下のパウダー状の部分に分離した。各々のサンプル20 gと蒸留水200 ccをポリビンに入れ、約1か月間、恒温室(25℃)で放置した。その間、適当な時刻に溶液の導電率を計測し、また、実験終了時には同液の化学分析を行った。

(2) 実験結果

導電率(EC)の経時変化を経過時間(t)の平方根でプロットした結果が図-1である。この図より以下のことが分かった。ECは、実験開始後約5時間の間、急激な増加を示し、その後の約半月間、急増傾向は緩和されるが、直線的に増加する(勾配；パウダー状の場合は3.5、粒子状の場合は2.2(μS/cm)/h^{1/2})。ついで、データは上記の直線の変化よりはずれ、増加割合は次第に小さくなっていく。1カ月後のECの値は、パウダー状の場合で140 μS/cm、粒子状の場合で80 μS/cmとなった。この様な変化は、岩片の採取場所に関係なく、また、パウダー状、粒子状のものはそれぞれ一致していた。上記の直線的变化部分(EC = a・t^{1/2} + b; a, b: const.)は diffusion-controlled stage、その後の緩慢な増加部分は surface-controlled stage と呼ばれ、前者の段階では、サンプル粒子表面上に付着していた微粒子が溶解に起因するとされている²⁾。

4. 現地と実験での水質の比較

図-2(a)～(c)には、台風9019、9021来襲時に集中的に採水した化学的データ(それぞれ●印及び○印)及び1～2ヶ月に1回程度の定期的な採水データ(◇印)がプロットされている。ここに、各種

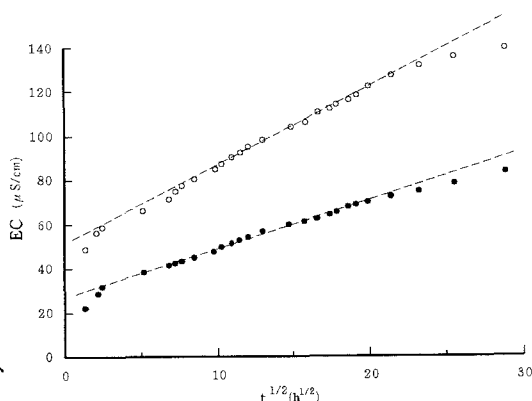


図-1 A-3点のECと $t^{1/2}$ の関係

(○：パウダー状の場合、●：粒子状の場合)

のイオン濃度は meq/l 単位で、記号 []* で表している。平時の多くのデータの流量は低く、浸透成分として基底的な matrix flow が支配的であり、一方台風時の湧水には、降雨に対する応答が早い fissure flow の浸透成分も生じ、基底流出成分に加算された状況となっている¹⁾。水質の変化として、台風時の A-3 点では、流量の増減に対応して EC、 $[\text{SO}_4^{2-}]^*$ 、 $[\text{Ca}^{2+}]^*$ が同様に变化し、また A-1 点では、流量の増減に対し特定の陽イオンの応答は顕著ではないが、EC と $[\text{HCO}_3^-]^*$ は逆の変化(希釈)をすることが認められている¹⁾。

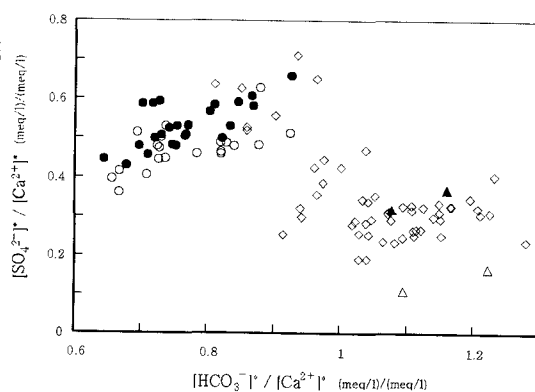
同図には、溶出実験終了時の化学分析の結果もプロットされている。現地データと比較すると、A-3 点の場合、パウダー状のデータ(▲印)は現地の平時の平均的な値となっているが、粒子状のデータ(△印)は台風時、平時のいずれのデータとも合致していない。一方 A-1 点の場合、パウダー状のデータ(▲印)の $[\text{Ca}^{2+}]^*/\text{EC}$ 値は平時の範囲にあるように見える。また $[\text{HCO}_3^-]^*/\text{EC}$ 値の台風時と平時との差は顕著でないが、実験値はこれより若干小さめになっている。以上の結果より多数の小さな亀裂部分を移動する matrix flow はその空隙壁面に存在する微細粒子状の鉱物等を溶解していることが予想される。また採取した岩サンプルに fissure flow の生起場の部分が含まれる可能性は極めて少ないことを考慮すると、A-3 点の場合、両浸透成分の亀裂部分で溶解する種々の鉱物(例えば CaCO_3 、 CaSO_4)の割合は必ずしも同一とはなっていない。

降雨強度の大きさによるが、降雨による湧水流量の増加(fissure flow の生起)は数時間～1日で見れ、また matrix flow の降雨の影響はその時間以上であるので¹⁾、図-1の結果から類推すると、これら浸透水への基岩の溶出は diffusion-controlled stage の変化に従っていると考えられる。

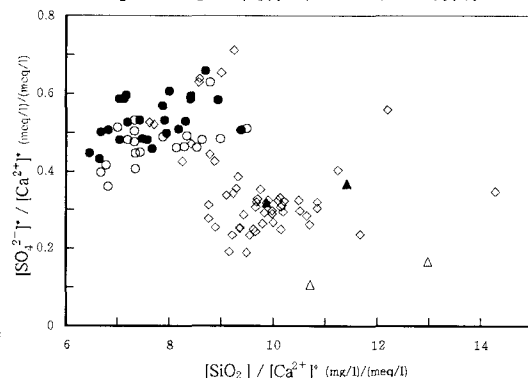
5. おわりに：湧水の水質形成は、亀裂岩盤を流下する雨水浸透による鉱物等の溶解によってなされる。種々のイオンの生成は既に報告しているが³⁾、今後は鉱物等の溶出過程を動的に扱い、水と化学物質の移動過程を数値計算的に解析し、雨水の浸透の仕組みを解明したい。

最後に、現地観測に協力を得た京大・防災研究所田中寅夫教授、同技官細 善信氏、及び元京大生永島司郎氏(石川島播磨重工)に感謝の意を表す。

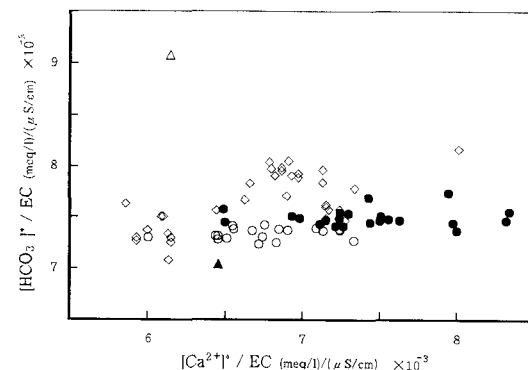
<<参考文献>> 1) E. Shimojima et al.: Seepage into a mountain tunnel and rain infiltration, J. Hydrol., 147, 1993. 2) W. Stumm and R. Wollast: Coordination chemistry of weathering, Rev. Phys. (AGU), 28, 1990. 3) 下島栄一ら: 山体トンネル湧水の水質変化について、水文・水資源学会研究発表会要旨集, 1993.



(a) $[\text{SO}_4^{2-}]^*/[\text{Ca}^{2+}]^*$ と $[\text{HCO}_3^-]^*/[\text{Ca}^{2+}]^*$ の関係 (A-3 点の場合)



(b) $[\text{SO}_4^{2-}]^*/[\text{Ca}^{2+}]^*$ と $[\text{SiO}_2]^*/[\text{Ca}^{2+}]^*$ の関係 (A-3 点の場合)



(c) $[\text{HCO}_3^-]^*/\text{EC}$ と $[\text{Ca}^{2+}]^*/\text{EC}$ の関係 (A-1 点の場合)

図-2 現地と実験での水質の比較