

II-270

山体トンネル湧水の水質変化と雨水の浸透経路

大同工業大学 正員 下島栄一

石川島播磨重工

永島司郎

京大防災研究所

吉岡龍馬・田中寅夫・細 善信

1. はじめに

山地流域における雨水浸透による地下水帯涵養過程を明らかにするために、和歌山県日高郡由良町の山体トンネル(京大防災研究所地殻変動観測室)にて湧水観測を行っている。湧水の水質は地面から流出面までの平均した浸透場の地質情報を与える。本文は、湧水の水質測定を通して、雨水の浸透経路について検討したものである。

2. 観測方法: 同山体は亀裂堆積岩で形成されている。トンネル内への湧水は天井からのみ生起しており、それを、近接の三点(A1~A3)で、1~4 m² のじょうごに集めて流量観測している¹⁾。この部分の岩質は主として砂岩であり、土被りは約 10 m である。湧水の採水はこれらの点で二通りの方法で行った。一つは、月1~2回の定期的な採水、他は台風時(9019、9021台風)の2~3時間おきの集中的なものである。両台風時の流出流量ハイドログラフは二山の波形を示し、採水は一山目のピーク直後より行った。なお、ハイドログラフも二山を示し、9019 台風の場合、128 mm (9/17)、103.5 mm (9/19) であり、9021 台風の場合 96.5 mm (10/6)、90 mm (10/8) の降雨量が観測された。水質の分析は、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 等につき行った。湧水の電気伝導度(EC)も、A3点でのみ継続的に測定した。降雨は、トンネルの入口付近に設置されたじょうごで集め、これをボトルに貯留し、湧水の定期的採水時にこの水を採取した。

3. 観測結果と考察

1) 雨水の水質: 雨水の化学成分濃度は、下記の湧水のものに比し無視できるほど低かった。従って、湧水の主たる溶存化学成分は、浸透水による岩盤(浸透場)の溶出等で生じていることが分かっている。

2) 台風時の水質変化: A3点での9019台風時の湧水の主たる溶存化学成分の濃度、流量(Q)及びEC(Ct)の経時変化は図1の通りである。ECはQと同様な変化を示し、また $[SO_4^{2-}]$ の変化はECのものと類似である。ここに、 $[]$ は質量濃度(mg/l)を意味する。 $[Mg^{2+}]$ も $[SO_4^{2-}]$ と類似な変化を示すが、変化量は小さい。このような変化特性は9021台風時でも認められた。これらより、水質変化は SO_4^{2-} が支配的であることが分かる。なお、 SO_4^{2-} の発生源が硫化物(例えばFeS)なのか石膏かは不明である。

図2は、図1に対応するA2点での同様な変化を示す。ECはQと逆の方向に変化し、また $[HCO_3^-]$ と $[Ca^{2+}]$ はECと類似な変化をしているが、後者の変化は小さい。これらの変化特性

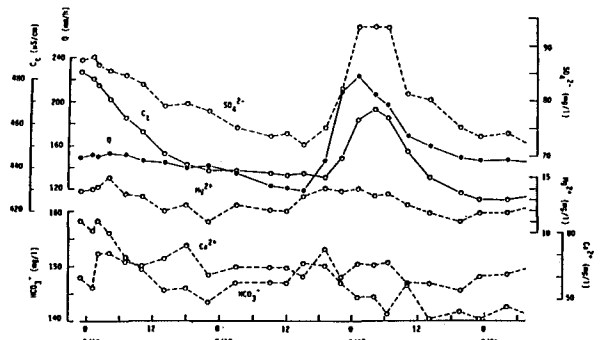


図1: 化学成分濃度、Q、ECの経時変化(A3点)

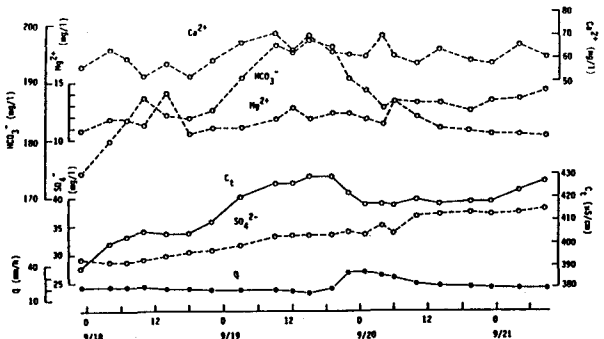
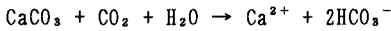


図2: 図1と同様(A2点)

は9021台風でも確認され、またA1点でも同様な変化が生起していた。結局、A1点、A2点での水質の変化は、主として HCO_3^- のイオンによって影響されることが分かる。図3は、図2と異なり、一山のハイドログラフ（降雨量297 mm）でのECの変化を示しており、A1+2点（A1とA2点の湧水を合わせたもの）でのECはQに比し位相が遅れた形で増加しており、台風時の様子とは異なっている。従って、台風時での HCO_3^- の希釈は、同イオンの発生源（ CaCO_3 ）が一山目で減少したことによって生じたとみなせる。なお、A3点での一山ハイドログラフに対応するECは、図1と同様に変化をする。

3) 流量低減とECの関係： A3点では、無降雨がかなり長期間続くと、Qの低減にも係わらず、ECはそれまでの低減変化より増加傾向を示すようになることが認められている。これは、水質変化の主化学成分が SO_4^{2-} より以下の理由で HCO_3^- に変わることを示唆する。 $[\text{HCO}_3^-]$ は火成岩地域での水質より2-3倍高く²⁾、このソースは calciteと考えられる。Qがかなり低減すると、湧水面直上に形成されている飽和域への涵養がなくなり、濃度は浸透水の同域での滞留時間により決まるからである。このイオンは以下のプロセスで生じる。



4) 湧水の電氣的バランス： 定期的、集中的採水に関係なく、全ての点の湧水は、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- で電氣的にはばバランスする。

5) $[\text{SO}_4^{2-}]$ あるいは $[\text{HCO}_3^-]$ とQの関係： 図4は、A3点の同時刻でのQと $[\text{SO}_4^{2-}]$ のデータをプロットしたものであり、丸印は集中的採水時（●：9019台風、○：9021台風）、三角印は定期的採水時（▲：採水時より前に10日以上無降雨日が続いたもの、△：10日以内に降雨があったもの）の場合に対応する。台風時と平時のデータは別々の部分にプロットされ、両者間に不連続性が認められる。平時の $[\text{SO}_4^{2-}]$ はほぼ一定値をとる。A1点やA2点では、 $[\text{HCO}_3^-]$ ～Qのグラフで、同様な変化特性が認められた（図5）。

4. おわりに： 5)は岩盤には質的に違った二つの浸透経路が存在すること示唆する。これらは、いわゆる matrix flow と fissure flow の生起場である。湧水の流量は、降雨があると、その直後に流量増加として現れる流出成分（速い流出）と、経年を通して現れ、非常に緩慢な変化を示す基底の流出成分（遅い流出）とにより構成されていることが知られている¹⁾。これらの流出成分は別々の浸透経路を経た雨水浸透によるものであるといえる。また、3測点は近接しているにも関わらず水質変化特性が異なることは、亀裂岩盤の浸透場の複雑さを示すものである。

参考文献：1) 石原ら：京大防災研年報、1990、2) Yoshioka: Bull. Earth Sci., Nagoya Univ., 1985.

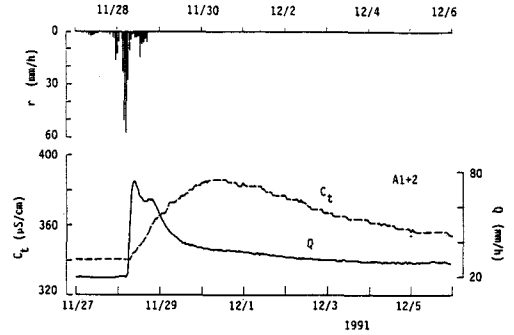


図3：QとECの経時変化（A1+2点）

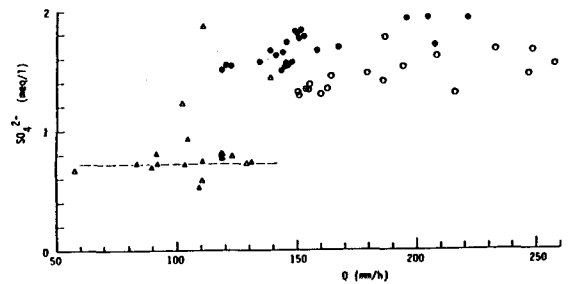


図4： $[\text{SO}_4^{2-}]$ とQの関係（A3点）

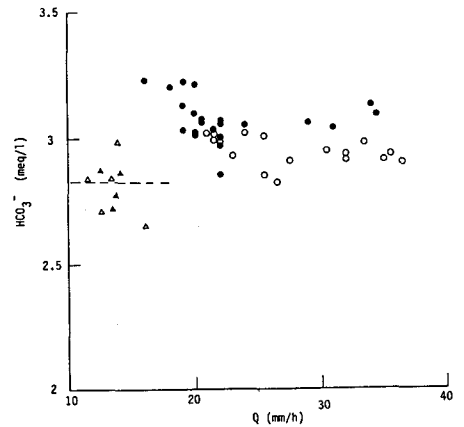


図5： $[\text{HCO}_3^-]$ とQの関係（A2点）