

山体トンネルの湧水の変化と炭酸ガス濃度の変化の関係

大同工業大学大学院 学生員 ○上田裕一朗
 大同工業大学工学部 正 員 下島栄一
 富山県立大学短期学部 吉岡龍馬

1. はじめに

山体での雨水浸透の仕組みを明らかにするために、和歌山県日高郡由良町にある山体トンネルで湧水（流量、導電率などの水質）の観測を行っている。本報告は、新たにトンネル坑内で計測した炭酸ガス濃度の情報を介して、山体内の雨水浸透の仕組みを検討した結果を示したものである。

2. 観測方法

同山体は亀裂堆積岩で形成され、岩質は砂岩や泥岩などとなっている。水平に掘られたトンネル（断面約 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ）の天井部より生起する湧水をしょうご（受水面積 $2 \sim 4\text{m}^2$ ）で集め、その流量を転倒升式雨量計で測定した。湧水の導電率は、同雨量計より排出される水を導電率計で測定した。本報告で対象とする湧水観測点（A-1, A-3）上の土被りは約 10m となっている。2つの測点は近接しているが、炭酸ガス濃度の測定は、A-1点付近の天井近くの空気中の炭酸ガス濃度を、赤外線散乱方式センサーで測定した¹⁾。

3. 観測結果及びその検討

(1) 導電率と炭酸ガス濃度の関係

図-1はA-1点の1995年の2月～8月間の導電率（EC）及び炭酸ガス濃度（ Cco_2 ）、流量（Q：上記雨量計の強度で表示）の変化を示したものである。流量の増減に関わらず、ECと Cco_2 の変化にはよい相関が認められる。水質の変化は HCO_3^- の濃度変化に大きく依存することが分かっている²⁾。岩盤の亀裂中の炭酸ガス濃度が増加／減少すると、浸透水への／からの溶解／逃散が起こり、浸透水中の HCO_3^- 濃度を増加／減少させるので、その結果、ECも増加／減少したものと考えられる。なお、これらの過程でカルサイトの溶解も同時に起こっているのである。

A-3点の場合、ECの変化はQの変化と高い相関が認められたが、 Cco_2 についてはあまり対応が良くなかった（図-2参照）。このことは、Qが比較的大きな場合、水質は SO_4^{2-} の濃度変化に依存するので²⁾、ECと Cco_2 の変化の対応の程度が説明できることになる。

(2) 流量と炭酸ガス濃度の関係

図-2は、A-3点の1995年5月11～12日の降雨事象（ 181.0mm ）によるQと Cco_2 の変化を示したものである。図で降雨による Cco_2 の応答変化はQに比し遅く、Qがピーク値を経た後の低減段階の減少割合が急変している付近（図中の矢印で示した所）で Cco_2 のピーク値が現れている。流量が増大した段階での湧水は、少数の比較的大きな亀裂部分を流下し、移動速度の速い浸透成分（fissure flow）と、小さな亀裂が多数存在すると考えられる部分を流下する速度の遅い浸透成分（matrix flow）で形成される²⁾ので、上記のQの減少割合が急変す

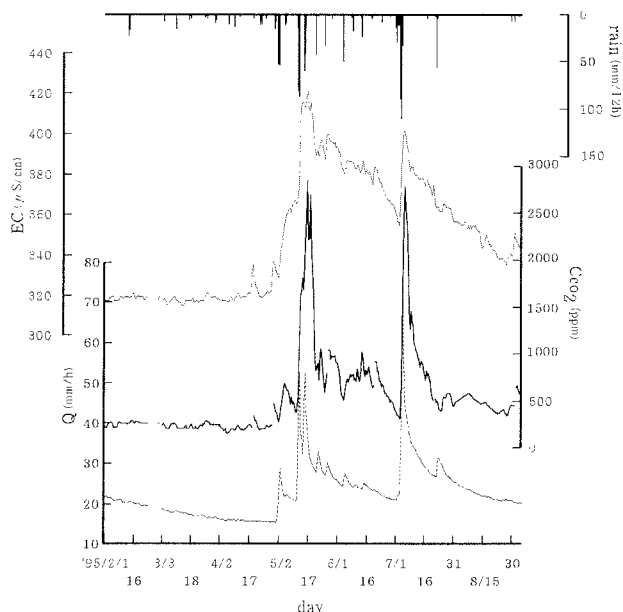


図-1： Cco_2 及びEC、Qの関係（A-1点の場合）

る部分は、降雨によりmatrix flowの流出流量が増加を始める時点に対応すると推測される。また、 C_{CO_2} のピーク値の出現状況は以下のように考えられる。降雨終了後、比較的地表付近の全面に保水された水は、matrix flowの浸透場でいわゆる水分の再分配

を起こし、その移動は近似的にshock wave 的になされる²⁾。地表面直下の高濃度の炭酸ガスは、その水分状態により、大気中への放出に比し、浸潤面の移動による下方への移動の方が容易になされ则认为られる。従って、浸潤面のトンネル上面への到達時点はmatrix flow による湧水の流量の増加開始時点に一致するので、その時点で最も濃度の高いガスがトンネル内へ放出されていると推測される。

図-3は、低流量で、平均的にみて低減段階にある場合のA-1点での様子を示す。この

段階では、降雨が生起しても、湧水へのfissure flow による流出成分の寄与は非常に低い状態にあると予想されるので、図中に現れる一時的な流量増加はmatrix flowによってもたらされていると推測される。従って、図で、Qの増加開始時（図中の矢印の所）に C_{CO_2} のピーク値が現れているという事実は、上記の浸潤面の移動とそれによる炭酸ガスの輸送の状況を考慮すると、説明が可能である。

上記の降雨終了後のshock frontの移動の様子は以下の関係式で近似的に与えられる²⁾。

$$\tau / L = [(n-1)^{n-1} / n^n] \cdot (1/\alpha) \cdot (L/R)^{n-1} \quad \dots\dots (1)$$

ここに、Lは地表面よりトンネル上面の上方に形成されている水分飽和域の上面までの深さ、時間 τ はshock front が降雨終了後、飽和域に達するまでの時間、Rは総降雨量、nと α は定数で、A-3点の場合、それぞれ2及び5.43m/hで与えられる²⁾。

図-2の場合を式(1)を用いて計算すると、 $\tau = 18$ hとなり、降雨終了後、炭酸ガス濃度のピーク値が現れるまでの時間20hとほぼ一致する。この結果は、上記した高濃度の炭酸ガスの移動の仕組みの仮定の妥当性を保証するものである。地表面直下の高濃度ガスは、岩盤亀裂部に侵入している植生の細根の呼吸や有機物の分解によって生じており、普段は、抵抗の関係上、下方より上方の大気中に多く放出されていると推測される。

4. あとがき

以上、炭酸ガス濃度の測定から、特にA-1

点の湧水で、同ガスが関与する水質形成過程の側面を知ることができ、さらには、亀裂岩盤中の一浸透成分のmatrix flowの移動機構の仕組みを推測することも可能となった。本研究の観測に際し、ご協力頂いた京大防災研究所田中寅夫、細善信両氏に感謝の意を表す。

<参考文献> 1)下島ら:亀裂堆積岩の山体での雨水浸透とその水質、水工学論文集、1995。2)E.shimajima et al.: Seepage into a mountain tunnel and rain infiltration, J. Hydrol., 147, 1993.

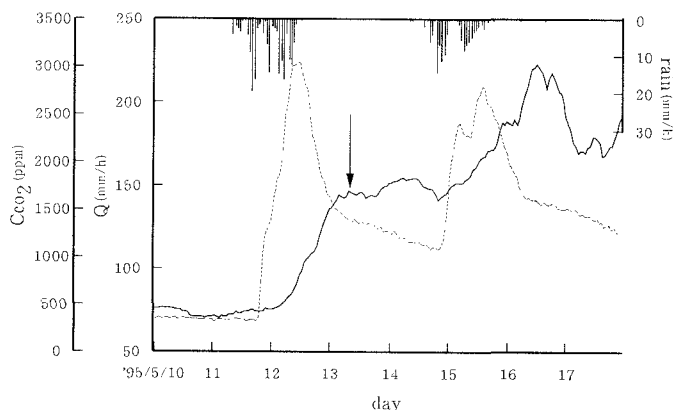


図-2：降雨による C_{CO_2} とQの変化（A-3点の場合）

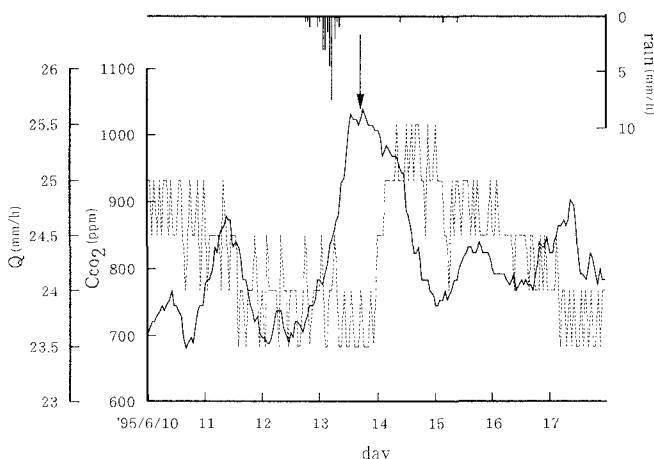


図-3：図-2と同様（但し、'94/6/10の降雨、A-1点の場合）