

II-163

山体での雨水浸透と炭酸ガスの挙動について

日水コン	正 員	上田裕一朗
大同工業大学工学部	正 員	下島栄一
富山県立大学短期大学部		吉岡龍馬
京都大学防災研究所		田中寅夫・細 善信

1. はじめに

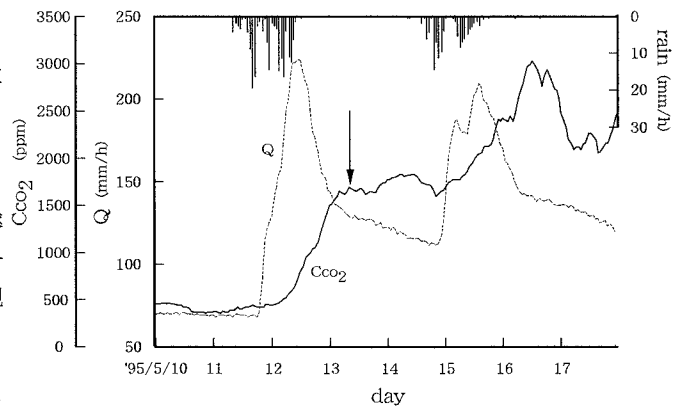
山体での雨水浸透の仕組みを明らかにするために、和歌山県日高郡由良町にある山体トンネルで湧水(流量、導電率などの水質)の観測を行っている¹⁾²⁾。本報告は、新たにトンネル坑内で計測した炭酸ガス濃度の情報を用いて、山体内の雨水浸透の仕組みを検討した結果を示したものである。

2. 観測方法

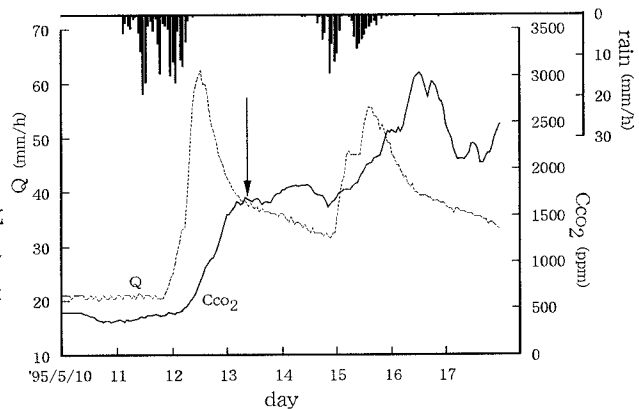
山体は亀裂堆積岩で形成され、岩質は砂岩や泥岩などとなっている。水平に掘られたトンネル(断面約2m×2m)の天井部より生起する湧水をじょうご(受水面積2~4m²)で集め、その流量を転倒式雨量計で、また湧水の導電率は同雨量計より排出される水を導電率計で測定した。本報告で対象とする湧水観測点(A-1とA-3)は近接し、それらの土被りは約10mとなっているが、特にA-1点付近の天井近くの空気中の炭酸ガス濃度を赤外線散乱方式センサーを用いて測定した。

3. 観測結果及びその検討(1) 流量(Q)と炭酸ガス濃度(Cco₂)の関係

図-1は、1995年5月11~12日の降雨事象(181.0mm)による湧水流量(雨量計の単位)とCco₂の変化を示したものである。両観測点での降雨によるQとCco₂の応答変化は類似し、いずれもCco₂の変化はQに比し遅れ、またCco₂のピークはQがピークを経た後の低減段階で、その変化が急に緩慢となる付近(図中の矢印)で生起している。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する移動の速い浸透成分(fissure flow)と、小さな亀裂が多数存在すると考えられる部分をゆっくりと流下する浸透成分(matrix flow)の流出で構成される²⁾ので、上記したQの減少が緩慢となる部分は、matrix flowの流出流量が当該の降雨によって増加を始めた時点に対応すると考えられる。また、Cco₂のピーク値の出現状況は以下のように考えられよう。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が生じ、その浸透面は



(a) A-3点の場合



(b) A-1点の場合

図1 降雨によるCco₂とQの変化

近似的にshock wave的に移動する²⁾。地表面直下の高濃度の炭酸ガスは、その高い湿潤状態のため、大気中への放出に比し浸潤面の移動によって下方へ容易に輸送されることが予想される。従って、浸潤面のトンネル上面への到達時点はmatrix flow による湧水の流量増加の開始時点に一致するので、その際、最も濃度の高いガスがトンネル内へ放出されるはずである。事実、図(a)について、降雨終了後の浸潤面の移動を解析したところ、matrix flowによる流量増加は約18h後に生起するという計算結果を得たが³⁾、この値は観測値の20h（図参照）と一致する。これは上記の高濃度の炭酸ガスの移動の仮定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、湿潤状態により、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。

図2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るはずである。従って、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、Qの増加開始時（図中の矢印）にCco₂のピーク値が現れているという観測結果を説明することができる。

(2)水質と炭酸ガス濃度の関係

岩盤の空隙部とそこでの浸透水での炭酸ガスが平衡にある場合、次式が成立する⁴⁾。

$$\log\{P_{CO_2}\} = \log[HCO_3^-] - pH + 7.8 \cdots \textcircled{1}$$

ここに、Pco₂は炭酸ガス分圧(atm)、[HCO₃⁻]はモル濃度単位である。

図3は、湧水採水時のCco₂（観測値）と水質分析値を式①に用いて計算したCco₂値の比較を示す。ここに、[HCO₃⁻]はA-1の場合2.53～2.73(mmol/l)、A-3の場合2.34～3.08(mmol/l)、pHは両点とも7.7～8.1、(Cco₂)_{obs}は300～900

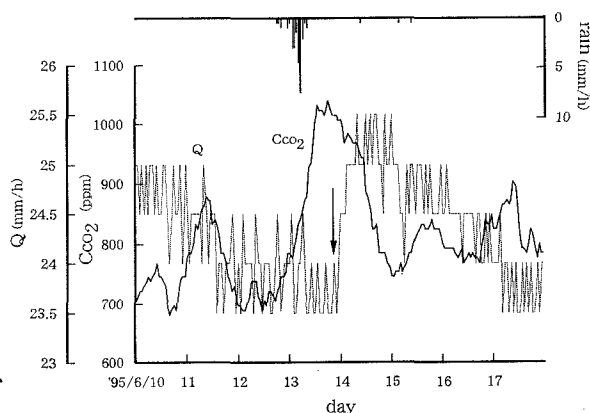


図2 図1と同様(95/6/10の降雨、A-1点の場合)

直後のものではなく低流量状態にあり、湧水は主としてmatrix flowの流出によるものと考えられる。図より、いずれの測点のデータも、ほぼ1:4の直線上に点描されており、計算値は過大評価された結果となっている。このことは、地表面付近の高濃度炭酸ガスの領域を通過してきた浸透水中の溶存ガス濃度は、低濃度ガス状態にある流出部分で平衡に向かって十分に逃散が完了せず、またその空気中の濃度増加への寄与は小さいために、結果的に高い値を示していたことを推測できるが、これについては今後詳細な検討が必要である。さらに、岩盤中の炭酸ガス濃度が一樣となっていないことを示唆する。なお、A3点の水質はA1点と異なりSO₄²⁻の影響が顕著であるが¹⁾²⁾、図で両地のデータがほぼ同様にプロットされたことは興味深い。

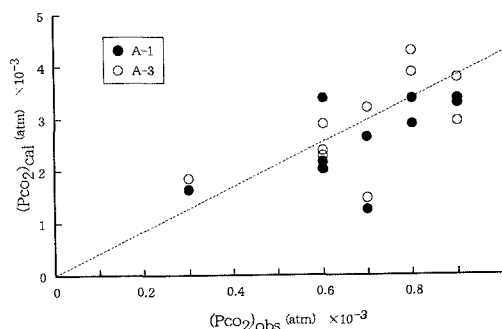


図3 Pco₂の実測値と計算値の比較

4. あとがき：観測地下方には仏像構造線が走り、それよりの高濃度の炭酸ガスの供給の可能性も考えられたが、この影響は本考察より無視できることが分かった。今後、湧水の水質形成を考察する上で、高流量時の採水データの入手が必要であることは言及するまでもない。

＜参考文献＞ 1)下島ら：水工学論文集(1995)。2)E.Shimofima et al.: J. Hydrol., 147(1993)。3)上田ら：土木学会中部支部年譚(1996)。4)吉岡ら：京大防災研年報(1975)。