

山体トンネル湧水の多雨年と少雨年での変化特性の比較

大同工業大学大学院 学生員 ○ 岩元 準

大同工業大学工学部 正員 下島 栄一

1. はじめに

著者らは、亀裂堆積岩の山体での雨水浸透の仕組みを解明するために、ここ10年来、同山体に掘られたトンネルへの湧水の観測を行ってきている¹⁾。本文は、特に、観測期間中に生じた多雨年と少雨年に着目して、降雨量の大小と浸透（湧水）特性との関係について検討した結果を示したものである。

2. 観測方法

上記のトンネルは和歌山県日高郡由良町に位置する。トンネル湧水は、その天井（土被り約10m、砂岩で構成）より間欠的に落下しているが、その流量は落下する水を一旦マス（受水面積約4m²）で受けた後、これを転倒マス雨量計に導びき測定し、またその水の導電率も同時に測定した。以下の湧水流量（ Q ）はこの雨量計の単位（mm/h）を用いて表す。これらの測定データは一分単位で収録しているが、本解析には1時間単位のものを用いた。

3. 観測結果及び検討

(1) 雨量の経年変化

表1は観測開始年より1997年までの月雨量を示す。表中の R は年降水量を示すが、'89年～'93年での R 値はほぼ2000mm以上となっており、'94年～'96年では、'95年が少し多くなっているが、それ以外では1000mm程度と少ない。これらより、前者の年を多雨年、後者を少雨年と呼ぶことにする。'97年は両者の中間的な状況となっている。

表1 月間雨量（単位 mm）

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
1	98	112	63.5	41.5	60.5	43.5	103	38	49.5
2	293	200.5	72	34.5	94.5	63.5	39	51.5	38
3	163	127.5	145.5	222	94	104	61.5	155.5	125.5
4	216.5	139.5	236.5	167.5	173	160	94	66.5	184.5
5	228	290.5	191	267	152	130.5	503	219.5	296
6	314.5	180	235.5	260.5	342.5	99	132	87	150
7	168	45	212	103.5	221.5	81	345.5	140	274.5
8	175.5	152	148.5	224.5	106	72.5	14	73.5	102
9	937	478	237	246	411	87	25	97	234.5
10	58	249.5	204.5	133.5	139	33	124.5	79.5	46.5
11	114	120	326	179.5	143.5	138	94	94	182
12	19	27	77.5	119	58	38	18	109	32
R	2785	2122	2150	1999	1996	1050	1554	1211	1715

(2) 湧水の流量（ Q ）と導電率（ EC ）の関係

図1は'93年、'96年及び'97年での Q と EC の経時変化を示す。降雨の生起によって Q は増加するが、その増加は基底的な流出成分に加算された様になっている。また EC の変化は Q の変化と類似である。'96年の流量（特に基底的なもの）は'94年～'95年の少雨の影響を受けて、'93年のものに比べ低い値となっており、一方 EC は'96年3月下旬以降著しく増加して高い値を持続し、'97年末においても450 μ S/cm程度までしか回復しておらず、その値は'93年でのものより100 μ S/cm程高くなっている。この高い EC を示す期間中、降雨の生起によって EC はそれまで観測されなかった高い値（900 μ S/cm程度）を記録している。なお、この高い EC は高濃度の Ca^{2+} と SO_4^{2-} が関係するが、この起源は浸透水によって溶出される $CaSO_4$ である。

(3) 降雨による流量の応答

降雨の生起による湧水流量の増加は、雨水が岩盤中を流下して、トンネルの天井の上方に形成されている飽和域への涵養がなされることによって始まる。亀裂岩盤での浸透には、亀裂の大きな部分を流路とする成分(fissure flow)と小さな亀裂部分での成分(matrix flow)で大別される¹⁾。大きな降雨に伴う流量増加はfissure flowによってもたらされたと考えられる。図2は時間的に集中した降雨事象を対象にして、降雨終了時より流量増加が始まるまでの時間(T_c)と当該の雨量(R_c)との関係をプロットしたものである。ここに、プロットしたデータは暖期（4月～11月）に属するものであり、また流量増加直前の流量値（初期流量： Q_0 ）で分類している。 R_c の値を固定してデータをみると、 Q_0 の大きなもの程、 T_c は小さくなっており、また R_c が大きな程 T_c は小さくなっている。ここに、 Q_0 値の大小はおおよそ多雨年及び少雨年に

対応する。この結果は、少雨年では matrix flow 生起場の湿潤状態が多雨年より低くなっている、そこに fissure flow が生起すると、その浸透水はその周辺部分 (matrix) により多く吸水されることになる。従って、ある降雨量に対し、初期流量が低いと fissure flow の移動速度は低下する (伝播時間 T_c は長くなる) と理解できる。

(4) 降雨量と流出量との関係

図3は'90年~'97年 ('91年は除く) での年降雨量 (R) と年総流出高 (ΣQ ; 湧水の受水マスの単位面積に変換) の関係を示す。この図で、'90年~'93年 (多雨年) のデータは傾き 4.5 の原点を通る直線上に、また '95年~'97年 (少雨年) では傾きが 3 の直線上にほぼ点描されており、後者の勾配は前者に比し 33% 程低くなっている。勾配 (流出率に対応) が 1 以上の値になるという

結果は雨水浸透によってもたらされる (観測)

湧水の集水面積が受水マスの面積以上になっていることを意味する。従って、亀裂岩盤での雨水浸透は単純に鉛直一次的とはなっていないといえる。また、図3で、少雨年のデータが低い流出率を示した理由は以下のように考えられる。少雨年での乾燥した matrix flow 生起場は高い保水能力を有するので、降雨によって現れる浸透水の移動を抑制し、湧水の出現を少なくする (低流出量) すること、また高い蒸発散能の状況が現れることによって、一旦浸透した雨水が大気に多く失われることによる。前者は、図2で、fissure flow の移動速度は初期流量が低い (少雨年に対応) 程、matrix の大きな吸水効果を受けて遅くなるという観測事実と一致する。

'94年は観測期間中最も雨量の少ない年であるにも係わらず、そのデータは多雨年のグループに含まれている (図3)。これは前年までの多雨によってかなり湿潤状態になっていた matrix が多量の排水を行ったことによると推測される。

4. おわりに:

本湧水観測を行うに当たり協力頂いた京大防災研究所地震予知センターの田中寅夫教授、細 善信技官に感謝の意を表す。

《参考文献》1) E. Shimojima et. al (1993), J. Hydrology, Vol. 147.

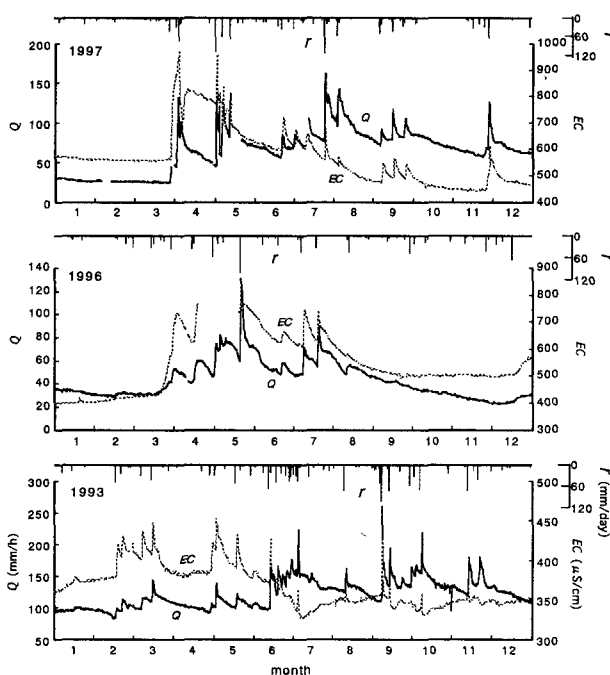


図1 湧水の流量と導電率の変化

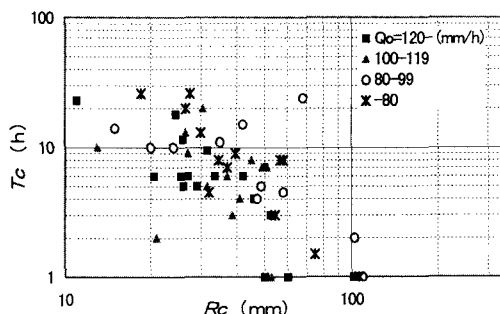


図2 雨量と流量増加までの時間の関係

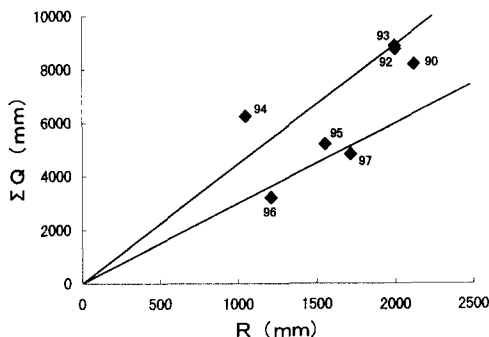


図3 降雨量と流出量の関係