

III-305 水蒸気拡散試験による岩石の透水性評価について

(株)熊谷組 正会員 ○ 伊藤 洋
 " 正会員 前村 辰二
 " 正会員 坂口 雄彦

1. はじめに

深部岩盤空洞において透水性が極めて小さくなる場合の湧水は、壁面からの蒸発量が支配的となる可能性が指摘されている¹⁾。こういった場合、壁面付近は不飽和状態となっており、水分の移動は水蒸気拡散速度に依存することとなる。他方、難透水性岩石の透水係数評価を行うに当たって、いくつかの試験方法があるがいずれも特殊な試験装置が必要であったり、長期間を要したり、試験方法が煩雑であるなどの課題がある。

ここでは、こういった背景にあって、1)難透水性岩石における簡便な透水性評価試験法を確立すること、および、2)深部岩盤空洞における蒸発湧水に係わる基礎データを得ること、を目的として、単純な容器のみで試験が可能な水蒸気拡散試験を提案し、数種類の岩石試料を用いた実験を試みた。

2. 試験方法の概要

本試験は、水を水蒸気の状態にして供試体内を通過させその透過抵抗性を測定しようとするものである。

試験装置は、図-1に示したように薄い円柱状の岩石供試体を挟むことのできる単純なアルミ製容器(以後カップと称す)のみである。また、供試体との接触面には、耐熱性ゴムパッキンを取り付け供試体と密着させて、側面からの水蒸気の漏洩を防いでいる。供試体は、直径 $d=10\text{cm}$ で厚さ $\ell=1.5\sim 1.7\text{cm}$ 程度に成形する。ここで、透過対象面積 A は、ゴムパッキンの内径をとり、 $A=60.82\text{cm}^2$ とする。

試験の手順は以下のとおりである。まず、カップ内に純水(市販のイオン交換水)を $150\sim 200\text{ cm}^3$ 程度入れ、予め乾燥状態にした供試体を置いて上蓋をねじ込んで固定する。ここで、全体重量を電子天秤により測定する。つぎに、このカップを所定の温度に設定した乾燥炉内に設置する。乾燥炉内の温度は、 $T=49.1^\circ\text{C}$ (322.25 K)～ 79.0°C (352.15 K)に設定した。このときの相対湿度は $H=8.7\sim 8.9\%$ であった。一方、カップ内は $H=100\%$ とする。この状態で経時的にカップを取り出し、全体重量を測定する。減少重量が、カップ内の純水が水蒸気として供試体内を透過した量(重量)である。

試験は、花崗岩(3供試体で温度2水準で6ケース)、砂岩(3供試体の3ケース)、凝灰岩(同3ケース)、安山岩(同3ケース)の合計15ケースについて実施した。

3. 試験結果

水蒸気拡散を評価するに当たっては、以下の仮定を設けて、水蒸気の拡散係数 D を求めた²⁾。

仮定条件：(i) 供試体内は毛管水等の液相水分量が少なく、水分の移動は気相水分(水蒸気)で生じるものとする。(ii) 系は等温・定常状態とする。(iii) 水蒸気および乾燥空気は理想気体とする。(iv) 湿り空気的全圧(系の総圧)を P (Pa)、乾燥空気の分圧を p_a (Pa)、水蒸気分圧を p_v (Pa)とすると、 $P = p_a + p_v$ であり、湿り空気的全圧は一定であるとする($\nabla P=0$;ダルトンの法則)。

$$D \text{ (m}^2\text{/s)} = \frac{J_v \cdot R_v \cdot T \cdot \ell}{P \cdot \ell_n \{ (P - p_{v,1}) / (P - p_{v,0}) \}} \quad (1)$$

ここに、 J_v ：気相水分(水蒸気)マスフラックス密度($\text{kg/m}^2\text{ s}$)、 ℓ ：供試体の厚さ(m)、 R_v ：水蒸気のガス定数($\text{Pa m}^3/\text{kg K}$)； $R_v=461.64$ 、 T ：絶対温度(K)、であり、水蒸気分圧 p_v の添字0は供試体下面($z=0$)、1は供試体上面($z=\ell$)での分圧値を示している。ここで、水蒸気分圧 p_v は、相対湿度 H (%)の定義から、 $p_v = H p_{v,s} / 100$ となる。ここで、 $p_{v,s}$ ：飽和水蒸気圧(Pa)であり、本実験では $p_{v,s}=11,805\text{ Pa}$ (322.25K)、 $45,491\text{ Pa}$ (352.15K)とする。

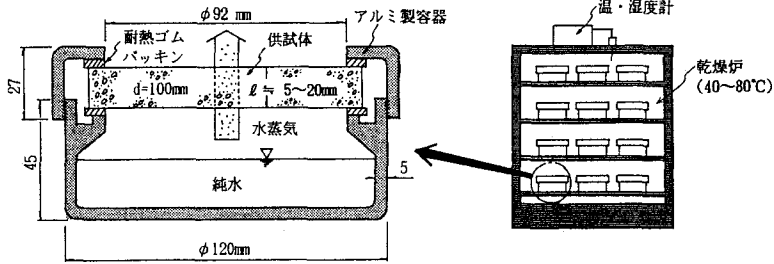


図-1 試験装置の概略

表-1 試験ケースと結果

供試体名	実験ケース	温度 T (K)	湿度 H (%)	供試体の厚さ ℓ (m)	拡散係数 D (m ² /s)	湿気伝導率 λ (参考) (kg/m s Pa)
花崗岩 (茨城県 福田産)	G-1-80	352.85 (79.7 °C)	8.7	0.0153	1.62×10^{-7}	1.36×10^{-12}
	G-2-80			0.0151	1.86×10^{-7}	1.57×10^{-12}
	G-3-80			0.0152	1.96×10^{-7}	1.65×10^{-12}
	G-1-50	322.25 (49.1 °C)	8.9	0.0153	2.59×10^{-7}	1.86×10^{-12}
	G-2-50			0.0151	2.78×10^{-7}	2.00×10^{-12}
	G-3-50			0.0152	2.61×10^{-7}	1.88×10^{-12}
砂岩 (群馬県 多胡産)	S-1-80	352.15 (79.0 °C)	8.8	0.0151	2.17×10^{-6}	1.81×10^{-11}
	S-2-80			0.0160	1.88×10^{-6}	1.57×10^{-11}
	S-3-80			0.0153	1.59×10^{-6}	1.32×10^{-11}
凝灰岩 (栃木県 大谷産)	T-1-80	352.15 (79.0 °C)	8.8	0.0156	2.07×10^{-6}	1.73×10^{-11}
	T-2-80			0.0155	1.90×10^{-6}	1.59×10^{-12}
	T-3-80			0.0156	2.22×10^{-6}	1.85×10^{-12}
安山岩 (山梨県 山崎産)	A-1-80	352.15 (79.0 °C)	8.8	0.0157	1.06×10^{-7}	8.88×10^{-13}
	A-2-80			0.0165	1.41×10^{-7}	1.17×10^{-12}
	A-3-80			0.0162	1.24×10^{-7}	1.03×10^{-12}

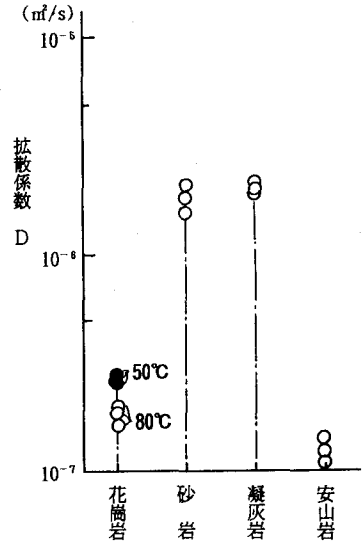


図-2 各岩石における拡散係数D

式(1)は、水蒸気分圧勾配による水蒸気の輸送に、乾燥空気成分の移動を考慮して求めたものである。

表-1 に得られた拡散係数D, および参考のために湿気拡散係数λを算定し、まとめて示した。湿気伝導率は、 $\lambda \text{ (kg/m s Pa)} = J_v \cdot \ell / (p_{v0} - p_{v1})$ 、による。

図-2 は、各岩石における水蒸気拡散係数Dを示したものである。拡散係数は、個々の岩石供試体におけるバラツキは小さく、本試験法が安定性のよいものであることが確認できる。また、岩石の種類別による拡散係数の差異は、1 オーダ程度であり、砂岩および凝灰岩で大きく、つぎに花崗岩、安山岩が最も小さくなっている。一方、試験精度にやや問題はあったが定圧透水試験(圧力差 5~10kgf/cm²程度)の結果、砂岩および凝灰岩の透水係数は $k=10^{-8}$ cm/s前後、花崗岩は測定限界のオーダ($k=10^{-11}$ cm/s 以下)であり、安山岩は測定精度以下(測定不能、 10^{-12} cm/s以下?)であり、定性的には拡散係数の大小と一致したものとなっている。しかし、拡散係数の範囲に対して、透水係数の範囲の方が大きくなっている。これは透水係数がある程度以上小さくなって水蒸気による水分の輸送が支配的となる場合には、水分輸送量の範囲が透水係数基準よりかなり縮小されることを示唆しているものと考えられる。

一方、試験法としてみると、少なくともかなり透水性が小さい岩石においても水蒸気拡散係数は簡便に、かつ精度よく測定できることが確認された。今後データの蓄積を図ってさらに検討を進めるつもりである。

参考文献: 1)例えば、渡辺邦夫ほか: 通常換気条件下の湧水量に占める蒸発量の割合, 土木学会第46回年次学術講演会Ⅲ, pp. 900~901, 1991, 2)伊藤 洋・前村辰二・坂口雄彦: 水蒸気拡散法による透水性評価試験について, 土木学会第24回岩盤力学シンポジウム講演論文集, pp. 11~15, 1992, 2.