

大気圧変動による水分移動促進効果に関する基礎的検討(その1)

岡山大学大学院 正会員 小松 満

同 学生会員 ○佐藤 友哉

スイス放射性廃棄物管理協同組合 非会員 榎 利博

1. はじめに

岩盤内に地下空洞を建設する場合、不飽和領域の発生により、坑道周辺の水理特性が変化するとともに、地下水の地球化学特性への影響等が懸念される。この不飽和領域は坑道掘削時の排水処理や応力解放による岩盤のゆるみ、あるいは施設建設や運用期間中のベンチレーションにより、岩盤内部の水分が流出・蒸発することにより起因すると考えられている。特にベンチレーションに使用される空気は通常、周期変動する外気であるため、地盤内の不飽和領域の時間的挙動を動的に変化させている可能性がある。外気圧が高い場合、外気は地盤内に侵入し、低い場合は侵出すると考えられる。この大気圧変動による水分移動現象は一般的に“バロメトリックポンピング”と呼ばれている¹⁾。また、この現象は比較的浅い帯水層の揮発性溶剤などによる汚染の自然浄化作用を促進することが知られている²⁾。しかし、過去にこのような現象を定量的に評価した例はほとんど見られないことから、本研究では、大気圧変動による水分移動促進効果を実験的に明らかにすることを目的とした³⁾。

2. 一次元鉛直カラムによる水分移動試験

試験装置の概略図を図-1に示す。コンプレッサーからシリカゲルを詰めたタンクを通過させた乾燥空気をレギュレーターで1次圧力に減圧させた圧力を(A)変動圧力下のカラムには、さらにファンクションジェネレーターで変動圧力と変動周期を一定にコントロールする電空レギュレーターにより供試体表面に2次圧が作用する構造となっている。一方、(B)一定圧力環境下のカラムには、1次圧をそのまま供試体表面に作用させている。供試体表面を通過した空気は湿度計を設置したカラムを通過した後、シリカゲルで水蒸気がトラップされる。供試体に作用する圧力差は差圧計により計測するとともに、空気量は気体流量計により測定した。つまり、計測項目は、①水分量、②湿度、③空気流量に大別される。試料には表-1に示す豊浦砂と5号珪砂、両試料を等しい乾燥重量で混合した砂の計3種類を用い、水中締固め方法により供試体を作製した。なお、一次元鉛直カラムはφ50mmの亚克力円筒容器を全体長がケース3で36cm、ケース4以降で26cmになるように積み重ねた。実施した試験ケースを表-2に示す。

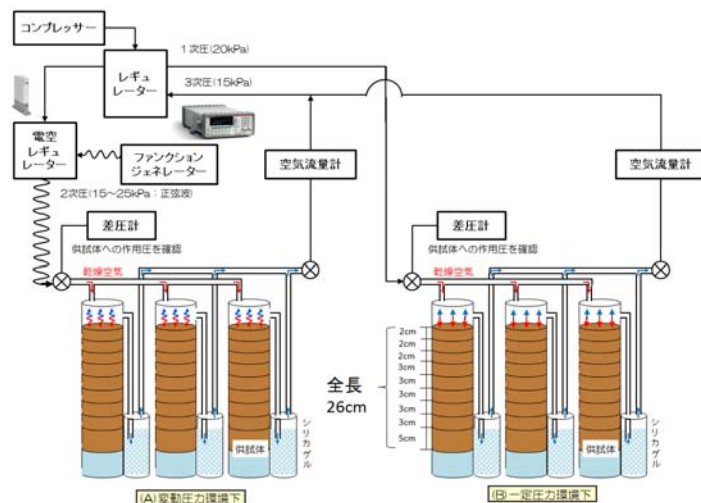


図-1 一次元鉛直カラム試験装置概略図

表-1 試料の土粒子密度と均等係数及び曲率係数

	豊浦砂	5号珪砂	混合砂
土粒子密度 ρ_s	2.636	2.608	2.607
均等係数 U_c	1.567	1.667	3.195
曲率係数 U_c'	0.958	1.076	0.625

試験装置の概略図を図-1に示す。コンプレッサーからシリカゲルを詰めたタンクを通過させた乾燥空気をレギュレーターで1次圧力に減圧させた圧力を(A)変動圧力下のカラムには、さらにファンクションジェネレーターで変動圧力と変動周期を一定にコントロールする電空レギュレーターにより供試体表面に2次圧が作用する構造となっている。一方、(B)一定圧力環境下のカラムには、1次圧をそのまま供試体表面に作用させている。供試体表面を通過した空気は湿度計を設置したカラムを通過した後、シリカゲルで水蒸気がトラップされる。供試体に作用する圧力差は差圧計により計測するとともに、空気量は気体流量計により測定した。つまり、計測項目は、①水分量、②湿度、③空気流量に大別される。試料には表-1に示す豊浦砂と5号珪砂、両試料を等しい乾燥重量で混合した砂の計3種類を用い、水中締固め方法により供試体を作製した。なお、一次元鉛直カラムはφ50mmの亚克力円筒容器を全体長がケース3で36cm、ケース4以降で26cmになるように積み重ねた。実施した試験ケースを表-2に示す。

表-2 試験ケース

Case 1: 豊浦砂 (一定 20kPa, 変動幅±5kPa (15~25kPa), 周期 20s, 38 日間) ³⁾
Case 2: 5号珪砂 (一定 20kPa, 変動幅±5kPa (15~25kPa), 周期 100s, 13 日間) ³⁾
Case 3: 豊浦砂・5号珪砂・混合砂 (一定 20kPa, 変動幅±5kPa (15~25kPa), 周期 100s, 20 日間)
Case 4: 豊浦砂・5号珪砂・混合砂 (一定 20kPa, 変動幅±5kPa (15~25kPa), 周期 25s, 15 日間)
Case 5: 豊浦砂 (一定 20kPa, 変動幅±5kPa (15~25kPa), 周期 25s, 4 日間・9 日間・14 日間)
Case 6: 豊浦砂・5号珪砂・混合砂 (一定 20kPa, 変動幅±5kPa (15~25kPa), 周期 50s, 15 日間)

キーワード: 大気圧, 蒸発, バロメトリックポンピング

連絡先: 〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1 Tel・FAX:086-251-8160

試験結果の一例として,Case6の結果を示す。図-2に気体流量計の測定結果, 図-3に空気圧の測定結果を示す。次に, 図-4に供試体を通過した空気中の水分量をシリカゲルに吸着させて測定した結果を示す。同図より, いずれも変動圧力下の方が高い値を示した。試験開始15日後に供試体を解体し, 炉乾燥で求めた試料毎の飽和度の深度分布を図-5に示す。それぞれでばらつきがあるものの, 概ね変動圧力下の方が低い飽和度分布を示している。同図を基に飽和状態からの水分量の減少量の変動圧力/一定圧力の割合を求めたところ, 豊浦砂:約1.19倍, 5号硅砂:約1.64倍, 混合砂:約1.59倍となった。

次に, 上述した動的水分移動試験を岩石試料に対して実施した。試料には坑道内で採取された堆積岩のコアを用い, φ60×L200mmの亚克力製円筒容器に挿入して供試体を作製した。試験条件は, 先に示したCase6と同様とした。試験開始後の供試体の重量減少量を図-6に示す。同図より変動圧力の方が一定圧力よりも約2倍の減少量を示していることが確認でき, 岩石試料の方がより高い促進効果を示す可能性を示唆する結果となった。

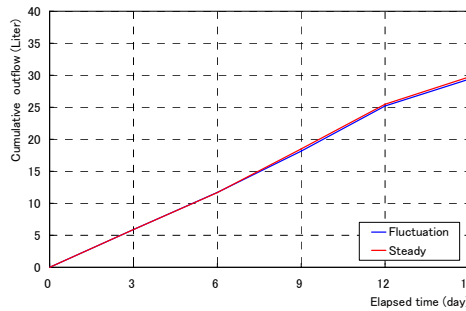


図-2 空気量の測定結果

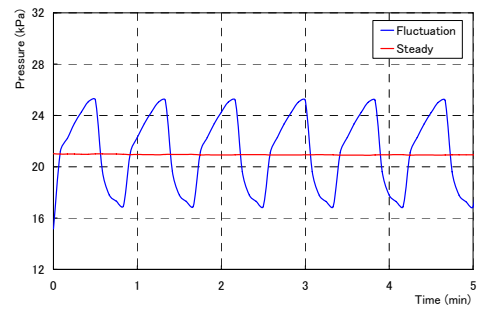
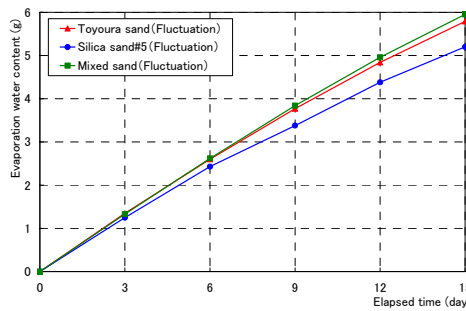
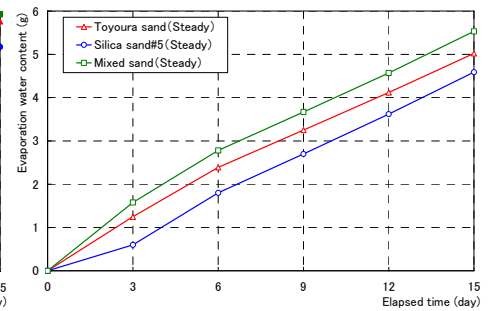


図-3 空気圧の測定結果

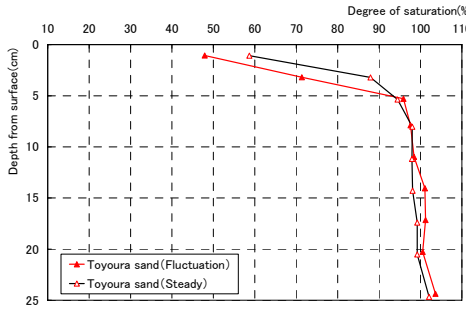


(a) 変動圧力 (変動15~25kPa, 周期50s)

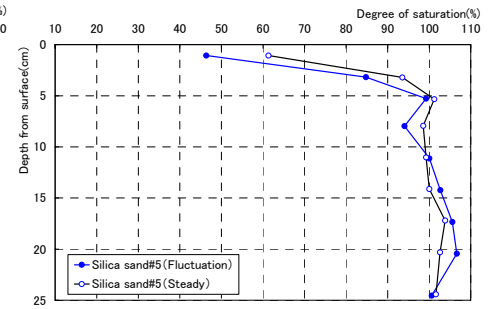


(b) 一定圧力 (20kPa)

図-4 シリカゲルの重量変化



(a) 豊浦砂



(b) 5号硅砂

図-5 飽和度の深度分布 (15日後)

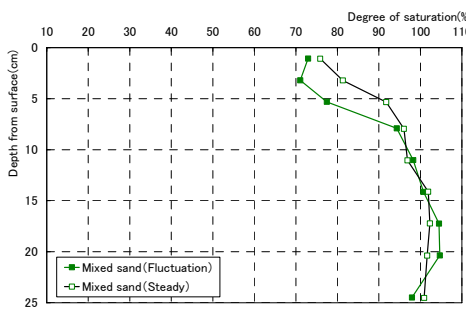


図-5(c) 混合砂

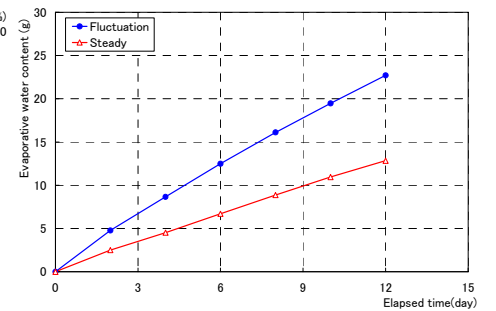


図-6 供試体重量減少量の経時変化

4. まとめ

大気圧変動による水分移動促進効果を確認するために, 一次元鉛直カラム試験を実施したところ, いずれのケースに対しても変動圧力環境下の方が水分の減少量が多い結果を示した。つまり, 大気圧変動による水分移動の促進効果が認められた。また, 同様の試験を岩石試料に対しても実施し, その効果を確認した。

【参考文献】

- 1) Martinez, M.J. and R.H.Nilson :Estimates of Barometric Pumping of moisture through unsaturated fractured rock, *Transport in Porous Media*, No.36, Vol.36, No.1, pp.85-119, 1999.
- 2) Auer, L.H. , N.D.Rosenberg, K.H.Birdsell and E.M.Whitney :The effects of barometric pumping on contaminant transport, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol.24, No.2, pp.145-166, 1996.
- 3) 小松満・佐藤友哉・榊利博 : 大気圧変動による水分移動促進効果に関する基礎的研究, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, III-206, pp.411-412, 2011.