

オパリナス・クレイ層の透水係数の推定

埼玉大学理工学研究科 正会員○渡辺邦夫

電源開発（元埼玉大学大学院）正会員 吉沢達夫

ハザマ 正会員 今井 久

核燃料サイクル開発機構 正会員 三枝博光

1：はじめに

著者らは、極めて透水性の低い粘土質堆積岩（例えば、オパリナス・クレイ層）に対する新しい原位置水理試験法：Evaporation Logging System を開発している。本手法は、ダブル・パッカーで仕切られたボーリング孔間を強制換気することで、孔壁面からの蒸発量（微小湧水量）とサクション圧を測定し、逆解析の手法により透水係数を推定するものである。今回、スイスにある Mont Terri 地下試験場で原位置試験を行った¹⁾。本研究では、得られた試験結果を用いた数値解析から、オパリナス・クレイ層の透水係数を推定することを試みた。

2：蒸発量の非定常変化

原位置試験結果を図. 1 に示す。これはボーリング孔：BFM-D3（深度:6.8～8.9m 区間）で約 60 時間のベンチレーション試験を行ったものである。蒸発量はダブル・パッカー区間：2.1m 当たりの値である。経過時間に伴い緩やかに低下する非定常性を見せる。また、図中、新たに考案したテンシオ・メータで計測されたサクション圧も併記する。サクション圧変化も非定常性があるが、約 $-300\text{cmH}_2\text{O}$ でほぼ安定する。これは、ボーリング孔壁面に働くサクション圧とテンシオ・メータとの安定性に起因するものと考えられる。

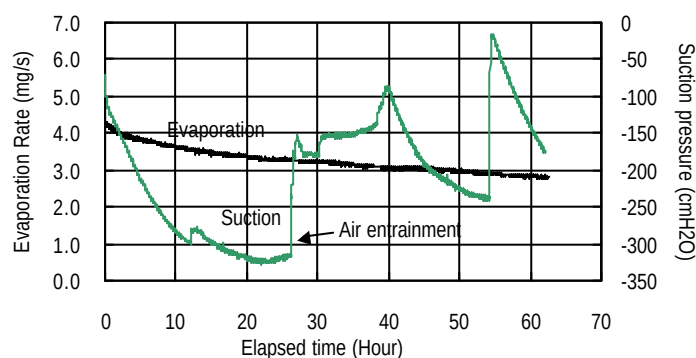


Fig.1 Measured evaporation and suction pressure

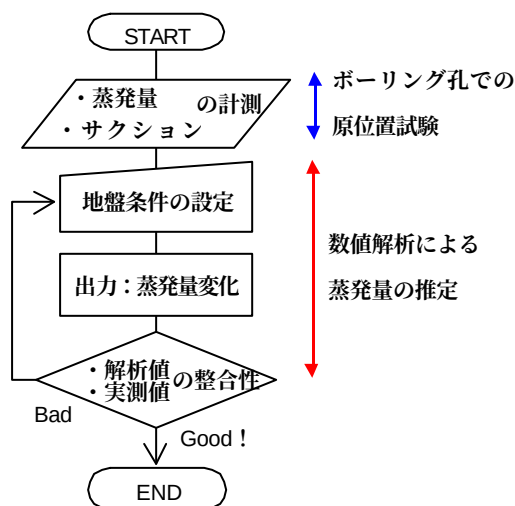
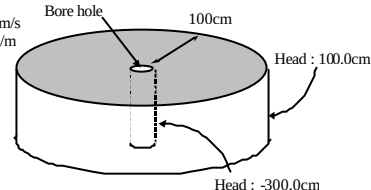


図. 2 透水係数推定の手順

Model-A

$$K=3.44 \times 10^{-11} \text{ m/s}$$
$$S_s=2.7 \times 10^{-2} \text{ 1/m}$$



Model-B

Damaged zone a

$$K=2 \times 10^{-11} \text{ m/s}$$

$$S_s=8 \times 10^{-1} \text{ 1/m}$$

Damaged zone b

$$K=2 \times 10^{-12} \text{ m/s}$$

$$S_s=4 \times 10^{-1} \text{ 1/m}$$

Fresh rock zone

$$K=2 \times 10^{-13} \text{ m/s}$$

$$S_s=8 \times 10^{-1} \text{ 1/m}$$

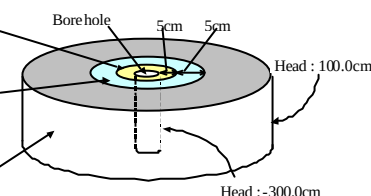


Fig.3 Analyzed models

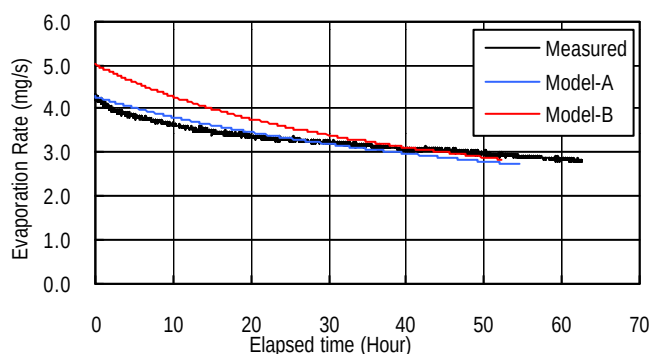


Fig.4 Comparison btw. measured and calculated evaporation rate

3：解析方法と境界条件

まず、蒸発量の非定常性が岩盤の貯留効果に因るものと考え、原位置試験で捉えられた蒸発量の経時変化とのフ

キーワード：Evaporation Logging System、逆解析、不飽和解析、サクション圧、蒸発量

連絡先：埼玉大学理工学研究科 渡辺邦夫 埼玉県浦和市下大久保 255 Tel.048-858-3571 Fax.048-855-1378

イットティングを図ることで、設定した解析条件から透水係数を逆解析的に求めることとした。透水係数の推定の手順を図. 2 に示す。ボーリング孔周辺岩盤の水分移動を、一次元の有限要素法によって飽和浸透流解析をした（不飽和帯の影響を次節に示す）。解析領域は、蒸発による岩盤内の水分移動の影響域として孔壁面から垂直方向へ 1 m を取り、その領域を 50 個の要素に分割した（図. 3）。Model-A は均質地盤モデルであり、Model-B はボーリング孔掘削に伴うゆるみ域（EDZ）の影響を考慮したモデルで、孔壁近傍で透水係数を増加させた。境界条件として、孔壁面に当たる節点に計測されたサクション圧： $-300\text{cmH}_2\text{O}$ を与えた。当該ボーリング孔の、孔壁から 1 m 離れた岩盤内の外部境界に掛かる圧力水頭は実測できなかった。そこで、一般的な岩盤を考慮し、100cm の圧力水頭を与えた。解析結果を図. 4 に示す。比較的良好な近似解析がなされた。図. 3 に推定された透水係数と貯留係数を併記する。よって、設定した地盤条件からオパリナス・クレイ層の透水係数は $1.0\text{E}-09\text{cm/s}$ 程度と推定された。一方、貯留係数は大き過ぎる結果となった。

4：不飽和の影響検討

次に、蒸発により不飽和帯が拡大していくことが考えられた。そこで、解析条件の違いによる蒸発量への影響を検討した。岩盤浸透流の不飽和特性を表す van-Genuchten 式における 2 つのパラメータ： α 、 m の値に関しては、通常、岩石を用いた室内試験による同定結果をその入力値とするが、当該岩盤に対するそれらは、スレーキングによる試料の崩壊等により測定困難であり得られていない。そこで、堤らによって報告されている泥岩のパラメータを参考²⁾ に $\alpha=0.001$ 、 $m=0.6$ を与えた。また、その他の入力値である飽和水分量、最小水分量を、一般的な泥岩の物性値として 0.995、0.2 と設定した。間隙率については、今井によりボーリング・コアを用いて試験的に計測された値：0.16 を使用した。解析結果を図. 5 に示す。ほぼ近似する蒸発量変化傾向にある。このことから、蒸発量程度の湧水量では、不飽和による影響は無く、飽和解析で十分表現できるといえる。

5：貯留係数の検討

問題は、得られた貯留係数は岩盤としては大き過ぎることである。そこで、貯留係数を 1 オーダーずつ変化させ、貯留係数の蒸発量変化への影響を検討した（図. 6）。貯留係数が小さくなるに従って、蒸発量の非定常変化は短時間で終了し、それ以降は一定な蒸発量を示す。このことは、計測で見られた蒸発量の非定常変化は、間隙水中の塩分の析出による影響等に因るものと考えられる。この時の透水係数は $1.0\text{E}-07\text{cm/s}$ であり、やや大きく推定された。

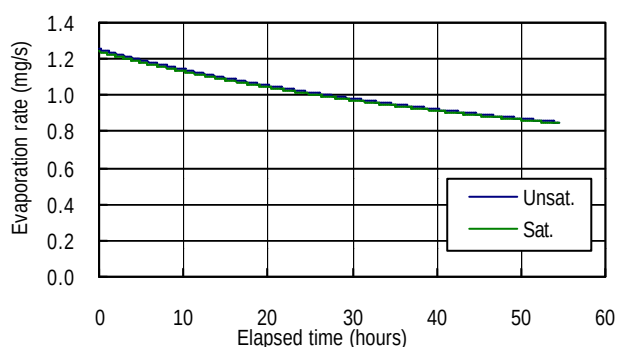


Fig.5 Comparison btw. Sat. and Un-sat. analysis

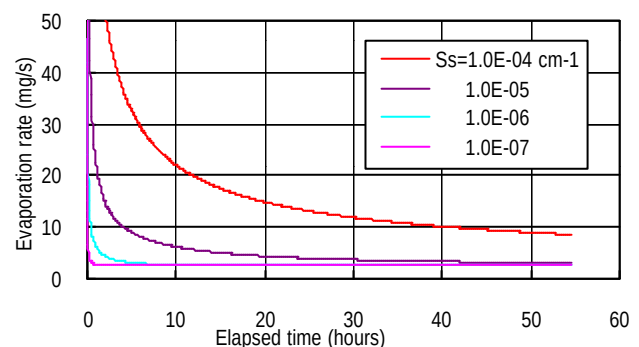


Fig.6 Effect of storage coefficient (permeability: $k = 1.0\text{E}-07\text{ cm}^{-1}$)

6：結論

本研究から、Evaporation Logging System による計測値から実際に岩盤の透水係数を推定する解析的手法が示された。しかし、設定した境界条件の妥当性に疑問が残る。一つはサクション圧である。より大きなサクション圧が捉えられるようなテンシオ・メータの改良、あるいはサイクロ・メータによる計測が必要である。また、圧力水頭にしても、今後の研究に期待するところが大きい。

[参考文献] 1) 吉沢達夫、渡辺邦夫ら：Evaporation Logging System の改良と原位置での適用検討、第 55 回土木学会年次講演会（投稿中） 2) 堤和大、渡辺邦夫ら：岩石の不飽和特性の逆推定法、応用地質、vol.35、No.2、pp.23-30、1994