

Ⅲ - A 332

砂岩の不飽和浸透特性の測定（その2：相対透水係数に着目して）

動力炉・核燃料開発事業団 正会員 ○佐藤稔紀、菊地 正
ハザマ 正会員 雨宮 清、今井 久
大成建設 正会員 安達哲也

1. はじめに

岩盤内の地下水挙動・地下水面変化をシミュレーションする際、飽和・不飽和浸透流解析が用いられることが多い。解析のパラメータとして不飽和浸透特性（水分特性曲線・相対透水係数曲線）が必要になる。不飽和浸透特性は、土壌を対象とした測定例に比べ岩盤を対象に測定した例は非常に少ない。ここでは均質な砂岩試料（白浜砂岩）を用いて2種類の室内試験により相対透水係数曲線の推定を試みたので報告する。

2. 室内試験

均質な試料として白浜砂岩¹⁾を用い、相対透水係数曲線を推定する以下の2種類の試験を実施した。

(1) 試験1（図-1参照）

飽和した白浜砂岩の角柱（75mm×75mm×300mm、飽和透水係数 1×10^{-8} cm/s、間隙率 0.15）に、テンソメータ、サイクロメータを設置し、一面を大気解放（自由蒸発面）、他の面をシールし1次元非定常流れにおけるサクシオン分布と蒸発量を測定する。次に1次元のモデルとした非定常不飽和浸透流解析でサクシオン分布・変化を計算する。解析において水分特性曲線は別途白浜砂岩試料で土柱法、加圧板法、サイクロメータ法を用いて測定した結果²⁾を van Genuchten 式でカーブフィッティング（ $\alpha=0.01$, $n1=1.237$ ）したものを用いた。ここで相対透水係数曲線は式（1）に示す van Genuchten 式を用い、テンソメータ T-1, T-2, T-3 により測定されるサクシオンの非定常変化にマッチするパラメータ $n2$ を求めた。通常 van Genuchten 式では、水分特性曲線と相対透水係数曲線でパラメータ n ($n1=n2$) は共通な値を用いるが、ここではそれぞれ独立に設定した。

$$Kr = Se^{1/2} \cdot \left\{ 1 - \left(1 - Se^{1/m} \right)^m \right\}^2, \quad m = 1 - \frac{1}{n2}, \quad (0 < m < 1, n2 > 1) \quad (1)$$

(2) 試験2（図-2参照）

堤ら³⁾の提案した試験法である。この試験は飽和した白浜砂岩コア（ $\phi 50$ mm×H107mm）の側面をシールし、下端は定水位、上端は大気解放とし定常状態における大気解放面からの蒸発量とコア内の体積含水率分布を測定する試験である。一方、コア内の水分移動を1次元の定常流れとし、蒸発量・定水位を境界条件として1次元の定常不飽和浸透流解析を実施し、測定された体積含水率の鉛直分布にフィットする水分特性曲線・相対透水係数曲線を最適化

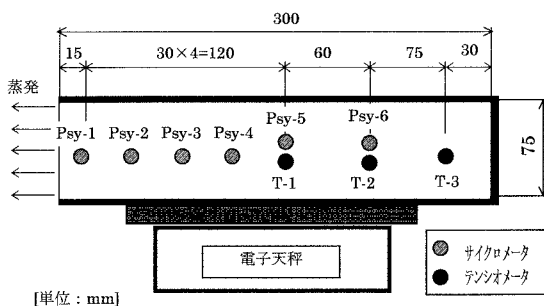


図-1 試験1の概要

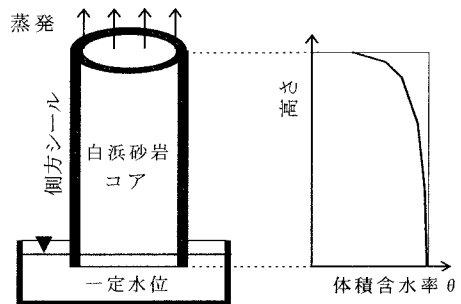


図-2 試験2の概要

キーワード：不飽和、サクシオン、蒸発量、相対透水係数

連絡先：〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺園戸 959-31 TEL0572-53-0211 E_mail:sato@tono.pnc.go.jp

手法により同定する。堤らは水分特性曲線・相対透水係数曲線を van Genuchten 式を適用し同時に同定したが、ここでは試験 1 と同じ水分特性曲線を用い、相対透水係数曲線は水分特性曲線とは独立に van Genuchten 式の関数型のみを適用し最適化手法を用いて推定する。

3. 試験結果

(1) 試験 1

試験 1 の結果を図 - 3、4 に示す。解析のパラメータスタディにより得られる式(1)のパラメータ n_2 は 3.0 である。測定結果と解析結果はサクシジョンの非定常変化および試料内の分布とともに調和的で、現象を適切に表現できる相対透水係数が得られたと考えられる。さらにこのサクシジョンの非定常変化や分布の解析と測定の整合性から、試験 1 で実施している小型のテソメータを岩石内に岩石と細粒の珪砂で密着するように設置する方法で岩石内のサクシジョン変化を定量的に測定できることが示された考えられる。

(2) 試験 2

図 - 5 に体積含水率のフィティング結果と、パラメータ n_2 を変化させた際の体積含水率に与える影響を示す。同示された結果は $n_2=3.652$ であるが、図 - 5 (b) に示されるように $n_2=3.0$ でもほとんど結果は変わらない。この結果は試験 1 のサクシジョンの非定常変化に対するフィティングにより得られた結果と同じであり両者の試験は整合性のある結果を与えたことを示唆している。

水分特性曲線を van Genuchten 式の型でカーブフィティングしたものを用いて $n_2=1.237$ 相対透水係数として適用すると図 - 5 (b) に示されるように実際に測定された体積含水率分布を表現することができないことがわかる。このことから、通常その利便性より利用される水分特性曲線から一義的に相対透水係数曲線が得られるとする van Genuchten 式は、少なくとも今回用いた岩石試料には適用できないといえる。

4. まとめ

- (1) 飽和した細粒珪砂で岩石と密着するように設置したテソメータを用いて岩石内のサクシジョンを定量的に測定できることが示された。
- (2) 土柱法・加圧板法・マイクロメータ法を併用して得た水分特性曲線と今回示したいずれかの試験を実施することで相対透水係数を推定できることが示された。
- (3) 水分特性曲線から一義的に相対透水係数曲線が得られる van Genuchten 式は適用できないケースがあることが示された。

【参考文献】1) 木村強、高橋学；乾燥・浸潤過程での岩石内の水分移動に関する実験的研究，資源と素材，vol. 111, pp. 71-77, 1995、

2) 今井久ほか；砂岩の不飽和浸透特性の測定（その 1：サクシジョンに着目して），第 33 回地盤工学研究発表会投稿，1998、

3) 堤和大ほか；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

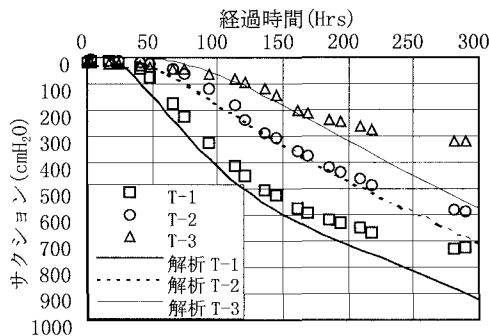


図 - 3 試験 1 の試料内のサクシジョン経時変化

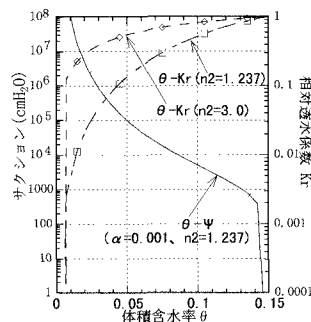


図 - 4 水分特性曲線と相対透水係数

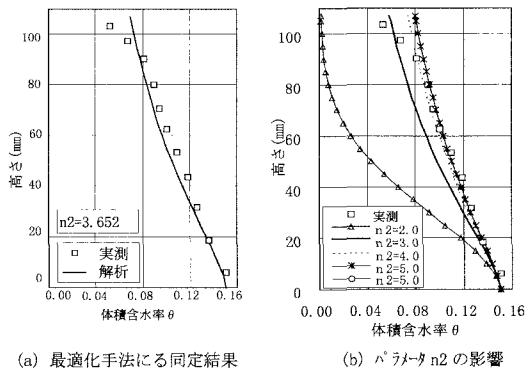


図 - 5 体積含水率分布