

Ⅲ-A290

粗粒材の不飽和浸透特性について

関西電力(株)

㊦ 西 方 卯 佐 男

(株)建設企画コンサルタント

玉 野 浩 之

(株)建設企画コンサルタント

浅 田 昌 蔵

1. はじめに 筆者らは、これまで一連の飽和透水試験を行い、実粒度相当の粗粒材の飽和透水特性について研究を行って来た。本報では、粗粒材の不飽和浸透特性の把握を行うため、不飽和透水試験および水分特性試験を実施するため試作した試験装置の概要と、不飽和浸透特性について報告する。また、これまで粘土から砂に対する適用事例が報告されている Van-Genuchten 式の粗粒材への適用性を検討した。

2. 試験条件 表-1に試験条件を示す。一連の試験に用いた試料は、C_H級の頁岩で平均細長率 ($q=b/a$) 0.635、同扁平率 ($p=c/b$) 0.601 である。図-1に試験試料の粒径加積曲線を示す。

表-1 試験条件

番号	最大粒径 D _{max}	60% 粒径 D ₆₀	10% 粒径 D ₁₀	均等係数 U _c	間隙比 e	水 飽 和 透 係 数	試験の有無	
	mm	mm	mm			cm/sec	水分保持 特性試験	不飽和 透水試験
①					0.26	1.11E-02	○	—
②	25.4	7.14	0.51	14.0	0.28	2.16E-02	○	○
③					0.35	5.65E-02	○	—
④					0.26	3.54E-02	—	○
⑤	50.8	14.3	1.00	14.3	0.28	9.77E-02	○	○
⑥					0.35	2.33E-01	○	○
⑦	100.0	28.0	2.00	14.3	0.28	3.64E-01	—	○

3. 試験方法

(a) 不飽和透水試験 図-2に試作した不飽和透水試験機を示す。同装置は、定量ポンプにて一定量の水を供試体上面に供給でき、供試体下端面も外水槽内水位面上にあり、供試体内が不飽和状態になるよう工夫がなされている。また、供試体表面からの給水装置は、外枠で吊して供試体重量秤で計測されないようにし、排水強度は排水量秤で計測する。試験方法は以下に示す通りである。

① 予め0セットした供試体重量秤(秤量150kg, 目量20g)に外水槽および供試体を載せ、外水槽に水を張り試験開始時の総重量を計測する。

② 定量ポンプにより供試体表面に一定水量を与えると同時に、供試体重量および排水量の経時変化を計測する。

③ 供試体重量および排水強度が一定になった時点で、次式を用いて、体積含水率 (θ) および不飽和透水係数 ($k_{us}(\theta)$) を算出する。なお、 θ の算定に当たっては、供試体重量差(式-1)からと、給・排水量差(式-2)からの2種類の方法により算出し、両者の差異を比較検討した。

$$\theta_w = \frac{(W - W_0)}{V \cdot \gamma_w} \quad (\text{式-1})$$

W : 定常時の試料重量
W₀ : 試料初期重量
V : 供試体体積

$$\theta_q = \frac{(Q - Q_0)}{V} \quad (\text{式-2})$$

Q : 定常時までの総給水量
Q₀ : 定常時までの総排水量

$$k_{us}(\theta) = \frac{q}{A} \quad (\text{式-3})$$

q : 定常時の排水強度
A : 供試体の断面積

④ 定量ポンプの給水量を増加させ、次スラップの θ に対しての試験を行う。

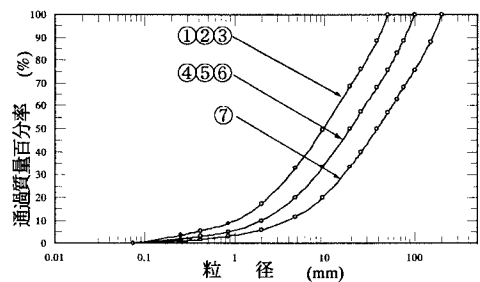


図-1 試験試料の粒径加積曲線

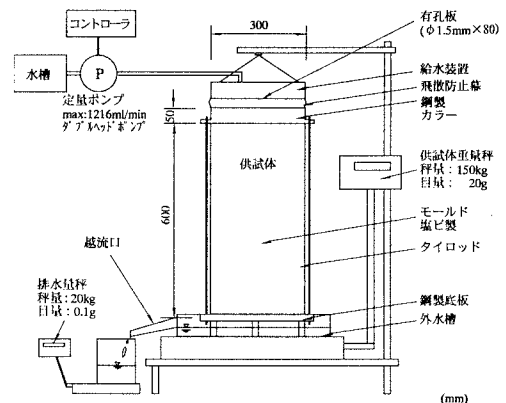


図-2 試作した不飽和透水試験機

キーワード: 粗粒土、不飽和透水係数、水分特性曲線

連絡先: 尼崎市若王寺 3-11-20 関西電力(株)構築研究室 Tel 06-6494-9816

(b) 排水過程の水分保持特性試験 図-3 に試作した排水過程の水分保持特性試験機を示す。計測方法は、粗粒材の場合これまで報告がなされている間接的計測方法では、計測端子表面の粒子配列により計測値が大きく影響を受ける可能性があるため、土柱法で直接含水比を計測する方法を採用した。試験方法は以下に示す通りである。

① 水槽内 (水深 90cm) に供試体を設置し、貯め置き水を 1 時間かけて水槽内に注水することで底面より供試体をゆっくり水浸させ、24 時間放置して供試体の飽和を行なう。

② 供試体を水槽から取り出し、供試体重量が定常となるまで放置 (排水) する。このとき供試体下端面は一定水位面に浸けておく。

③ 定常状態確認後、 -15°C で 72 時間凍結させた後、大型切断機により供試体をモールドごと切断して採取試料の含水比を測定する。

4. 試験結果 図-4 に不飽和透水試験結果として θ と $k_{us}(\theta)$ の関係を示す。 θ は図中の黒塗りが供試体重量差 (θ_q)、白抜きは給・排水量差 (θ_d) から算出したものである。各試験とも若干 θ_q の方が大きくなっているが、顕著な差は認められない。また、同一 $k_{us}(\theta)$ では、粒径が大きくなるほど θ は小さくなる。図-5 に水分保持特性試験結果として θ とサクション ψ の関係を示す。同一 ψ では粒径が大きくなるほど θ は小さくなっている。

5. Van-Genuchten 式の適用 図-6 に試験②、⑤、⑥の $\theta \sim \psi$ 、 k_r と Van-Genuchten (V-G) 式の適用結果を、また表-2 に推定した係数 α 、 n を示す。なお、比透水係数 (k_r) の算出に用いた飽和透水係数 (k_s) は、同一試料条件で行った供試体径 30cm 高さ 36cm の飽和透水試験結果を用いた。同図より、推定した $\theta \sim k_r$ の関係は測定された試験結果の範囲において良く一致していることが判る。

表-2 Van-Genuchten モデルの係数一覧

番号	最大粒径 D_{max}	間隙比 e	飽和透水 係数 k_s	Van-Genuchten 式の係数			
	mm		cm/sec	θ_r	θ_s	α	n
②	25.4	0.28	2.16E-02	0.045	0.219	0.12	2.60
⑤	50.8	0.28	9.77E-02	0.040	0.219	0.48	1.90
⑥		0.35	2.33E-01	0.032	0.259	0.40	2.15

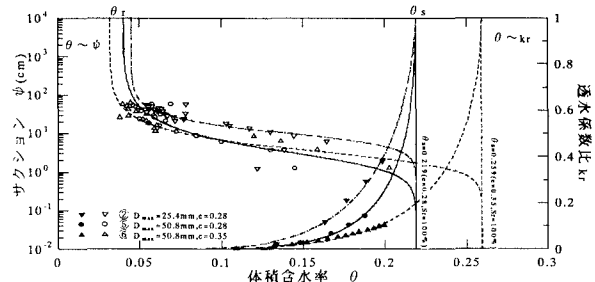


図-6 $\theta \sim \psi$, k_r の試験結果と V-G モデルの適用結果

6. まとめ 粗粒材料に対する不飽和透水係数について、 θ が 0.1~0.2 の範囲で把握することができたこと、および排水過程の水分保持特性は、供試体を凍結・切断する測定方法が有効であることが判った。また、Van-Genuchten 式から推定した結果と試験結果が一致していることから、粗粒材に対する同式の適用性が確認できた。今後は、実粒度相当の粗粒材の不飽和浸透特性を推定する手法を検討するとともに、同特性を用いた非定常飽和不飽和浸透流解析を実施していく予定である。

最後に、試験装置の試作および試験の実施にあたり、岡山大学 環境理工学部 西垣 誠 教授にいろいろご指導頂いたことに謝意を表します。

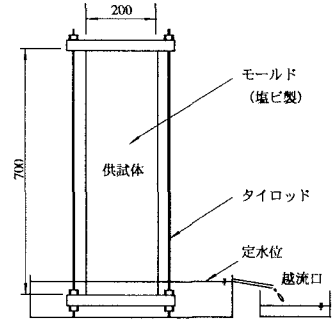


図-3 試作した水分保持特性試験機

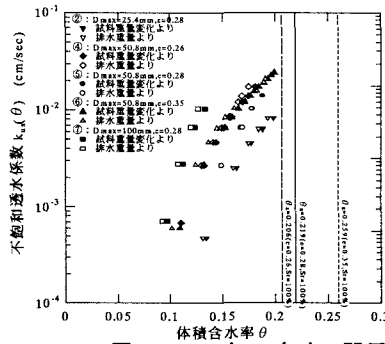


図-4 θ と $k_{us}(\theta)$ の関係

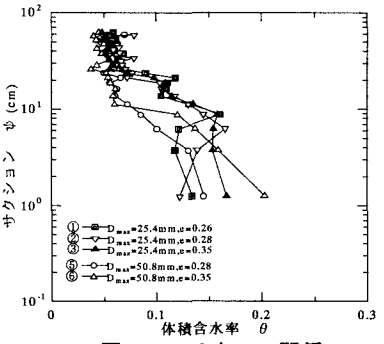


図-5 θ と ψ の関係