

しらす土柱内の不飽和浸透解析

宮崎大学 学生会員 ○桑畑英紀 正会員 杉尾 哲
鹿児島高専 正会員 岡林 巧

1. まえがき

南九州特有の地盤災害として、集中豪雨時におけるしらす斜面の崩壊があり、社会的に非常に重要な問題である。このような斜面崩壊の原因究明については、これまでも数多くの研究が行われ¹⁾²⁾、種々の要因が指摘されていたが、中でも、不飽和帯における浸透水の挙動が支配的であることが明らかにされ³⁾、自由地下水面の変動を含めた飽和-不飽和浸透流の数値解析が注目されている。本報文は、乱したしらすについて鉛直排水実験とその飽和-不飽和浸透解析を行って互いに比較した結果を報告したものである。

2. 飽和-不飽和浸透流の基礎方程式

ダルシー式を不飽和帯の浸透流に拡張して適用し、不飽和状態の水が浸透層の全断面を流れるとみなして、浸透層内の水の体積変化を負の圧力水頭(サクション) ϕ の変化で表現すると、鉛直二次元の飽和-不飽和浸透流の基礎方程式が式1のように表される⁴⁾。

$$(C + \alpha S_o) \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_u \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_u \frac{\partial \phi}{\partial z} + k_u \right) \quad \dots 1$$

ここに、 ϕ と不飽和透水係数 k_u との関係を図示した浸透特性曲線は間隙中の単位体積当りの水量を表す体積含水率 θ を媒介変数としているが、この浸透特性曲線での $\theta - \phi$ 曲線の勾配 $d\theta/d\phi$ が C (比水分容量) であり、 α は飽和領域で1、不飽和領域で0の値を持つ係数、 S_o は比貯留量である。

3. 不飽和浸透定数

飽和-不飽和浸透流の解析にはUNSAFを使用し、入力データの不飽和浸透定数には、不飽和透水試験装置と鉛直排水実験装置から得られた θ 、 ϕ_r 、 k_u の測定結果を次式に与えて決定した値を用いている。

van-Genuchten式⁵⁾

$$Se = \{1 + |a\phi|^n\}^{-m}, \quad m = 1 - 1/n \quad \dots 2$$

$$kr = Se^{1/2} \{1 - (1 - Se^{1/m})^n\}^2 \quad \dots 3$$

ここに

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad \dots 4$$

なお本実験で用いたしらすについては、測定結果と上式の算定結果との誤差の2乗和を最小にするように曲線形を決める手法で、 $a=0.01478$, $n=2.431$, $\theta_s=0.5048$, $\theta_r=0.03194$ が得られている⁶⁾。

4. 実験装置と実験方法

実験装置の概略を図2に示している。浸透層は、内径11cm、高さ10cmの透明アクリル管を20個重ね合わせて、その中に2mm以下に粒度調整した都城産のしらす(比重2.38)を間隙率56.3%に飽和状態で充填したものである。これを水面を一定に保った容器の

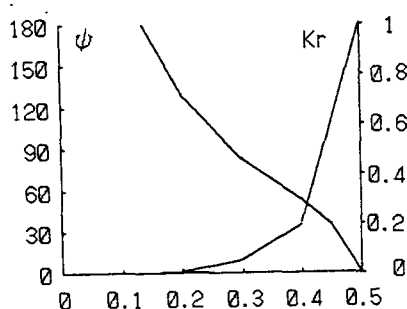


図1 浸透特性曲線

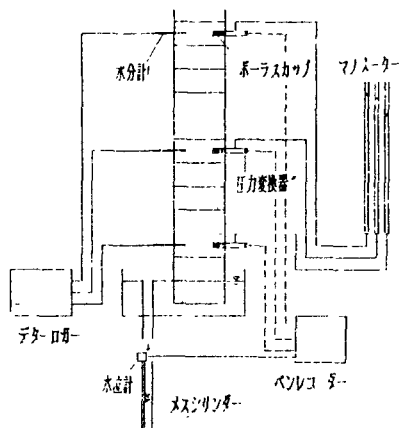


図2 実験装置

中に鉛直に立て、水面から15cm、95cmおよび175cmの3カ所の位置に体積含水率測定用のプローブとサクション測定用のポーラスカップを挿入している。また容器から越流する浸透層からの排出流量の時間的な変化を測定するために、メスシリンダー内に電気容量式の水位計(計測技研、C-300)を取り付けている。体積含水率は直径1mmの針金状のプローブを用いる熱伝導率から水分量に変換する土壌水分計(ノスハイテック、IDL-1600)で測定してデータロガーに記録させ、サクションは外径18mmのポーラスカップからマンオメータと圧力変換器(KYOWA, DGM-05KG)につないで測定し、ペンレコーダーに記録した。

実験は、浸透層の水頭を180cmに保っていた底板を瞬間的に除去することによって開始し、その後の3～4日間の体積含水率、サクションおよび排出流量の時間的変動を測定した。

5. 解析結果と実験結果との比較

解析結果を実験結果と比較して図3～図9に示している。まず図3～図5は圧力水頭と時間との関係を実験位置毎に示したものである。全体的に実験結果が緩やかに変化しているのに対して、解析結果は初期に大きく変動して早く収束する結果になっている。また図5を除けば解析結果と実験結果はほぼ同じ値に収束して行くようである。図5については今の所、誤差原因を把握できないでいる。つぎに図6～図8は各位置での体積含水率の時間変化を示している。図7の初期値に計測誤差を生じているが、図3, 4で大きな解析誤差が現れたにもかかわらず、図6, 8では解析結果と実験結果がほぼ同じ値を示しており、体積含水率の解析誤差は小さく現れる傾向にあることが分かる。

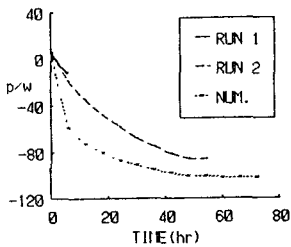


図3 z=175cmの圧力変化

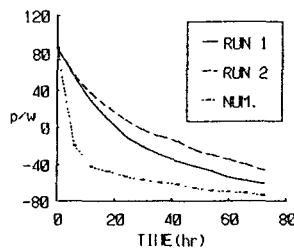


図4 z=95cmの圧力変化

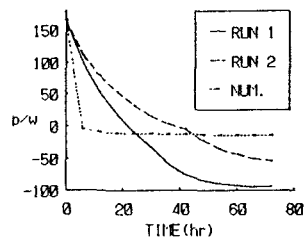


図5 z=15cmの圧力変化

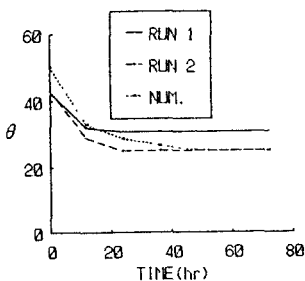


図6 z=175cmのθの変化

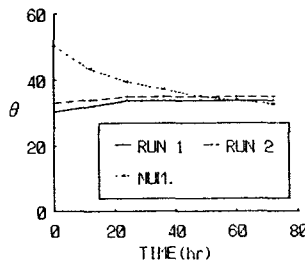


図7 z=95cmのθの変化

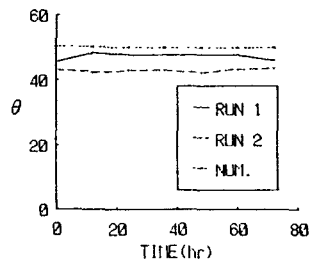


図8 z=15cmのθの変化

<参考文献>

- 1) 吉田ほか、第22回土質工学研究発表会、1987.
- 2) 矢澤ほか、第23回土質工学研究発表会、1988.
- 3) 伊勢田ほか、土木学会第43回年講、1988.
- 4) 赤井ほか、土木学会論文集、第264号、1977.
- 5) 河野ほか、第23回土質工学研究発表会、1988.
- 6) 杉尾・井上、宮崎大学工学部研究報告、第36号、1990.

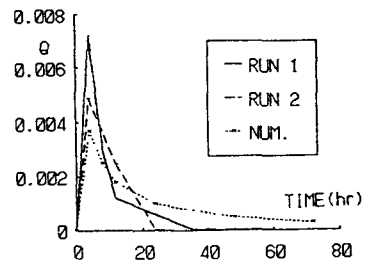


図9 流出水量の変化