

埼玉大学工学部 正会員 ○風間秀彦 小田匡寛  
 東電設計(株) 正会員 岡 信彦  
 (株)フジタ 黒沢和彦

1. まえがき 豪雨などに伴う斜面崩壊は毎年多発し、崩壊の予知・予測手法の確立や防止・被害軽減の対策は急務となっている。筆者らは降雨による表層滑落の斜面崩壊を対象に素因と誘因を考慮した不安定化挙動や崩壊予知の研究を長年継続してきた<sup>1,2)</sup>。降雨に伴う斜面の不安定化挙動を明らかにするには、表層土内の状態変化を飽和・不飽和浸透解析によって求めるのが一般的である。この解析は表層土の飽和度と不飽和透水係数(透水係数比)およびサクシオンの関係が不可欠であり、特に高い飽和度における不飽和透水係数は斜面の不安定化に大きく影響する。しかし、Richardsタイプの試験ではこの領域の透水係数を適切に求めることが難しい。そこで、本報告は高飽和度領域の不飽和透水係数の測定方法、各種の間隙比における飽和度と透水係数比およびサクシオンの関係を実験的に明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法 実験に用いた試料は毎年のように斜面崩壊が発生している千葉県北東部の成田層の砂質土で、表層土と物理的性質がほぼ同等の試料(細粒分:約25%、コンシステンシー限界:NP)である。以下に示す各試験ではこの試料を各種の間隙比に締固めた供試体を用いた。不飽和透水係数の測定はRichards型と河野・西垣の提案<sup>3)</sup>の加圧型変水位試験装置を用い、またJIS A 1218に規定された変水位の透水試験も行った。一方、サクシオンの測定は、JSF T 151 p F試験方法の吸引法(水頭法)、遠心法、加圧法を併用したが、測定結果の連続性から以下では遠心法の結果を除外する。なお、加圧型変水位透水試験(以下、加圧型と略記する)では、供試体内のサクシオンの測定は行わなかった。

3. 実験結果と考察 加圧型の透水試験は、供試体にバックプレッシャー(背圧)を作用させて、加えた背圧とそのときの体積変化から供試体の飽和度を求めると同時に、その状態で変水位透水試験を行う方法である。測定される体積変化には配管系統の膨張、多孔板内の空気やその圧縮なども含まれるので、その分を補正して飽和度を求める必要がある。これを考慮した背圧と飽和度の関係が図-1である。図にプロットした点は背圧、体積変化、ヘンリーの定数などから求めた飽和度の実測値であり、曲線はボイル・シャルルの法則とヘンリーの法則から導かれた飽和度の理論値である。両者は3種類の間隙比に対してもきわめて良好な対応であり、河野ら<sup>3)</sup>の結果と同様である。したがって、背圧の大きさによって容易に飽和度を変えられるとともに高い飽和度にすることも可能である。そこで、背圧を作用させた状態で変水位透水試験を行った結果が図-2である。図中の白抜き記号は、JISの変水位透水試験の結果であり、飽和度が100%に近い点は長時間かけて減圧したもの、また飽和度が80%弱の点は減圧や水浸を行わなかったものであり、飽和度の測定には細心の注意を払って行った。その結果、加圧型の結果とJISの結果とはほぼ対応し、加圧型の有用性が示唆されると同時に、加圧型はJISの試験方法に比較して短時間で結果が得られ利点がある。一方、飽和度が100%近い場合の間隙比と透水係数との関係が図-3であり、間隙比に対しても両試験方法の対応は十分に満足できるといえる。

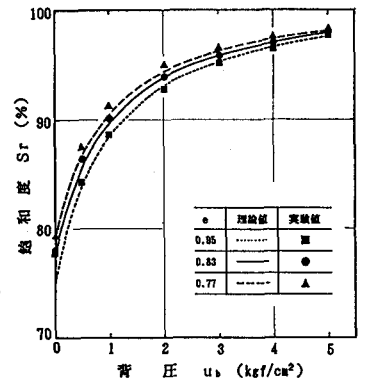


図-1 背圧と飽和度の関係

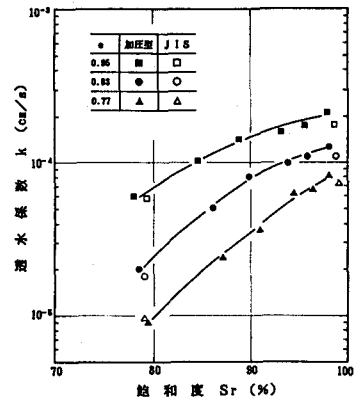


図-2 透水係数-飽和度関係

間隙比  $e = 0.95$  の場合について Richards 型と加圧型の飽和度と透水係数の関係が図-4である。両者は測定原理・手法が異なるにもかかわらず飽和度に対して透水係数は連続的であり、しかも Richards 型では測定困難な高い飽和度領域の透水係数が得られた。しかし、加圧型は Richards 型に比べて、供試体内の一様性や境界条件についてのあいまいさなどが残されているので、一種の簡便法と見る向きもある。しかし、図-2~4から分かるように加圧型は他の試験方法の結果との対応と連続性が良好なこと、Richards 型の不十分な領域を補うことができること、短時間に測定できるなどの特長がある。

各間隙比の供試体の水分特性曲線の一例が図-5である。間隙比が大きいほど低い  $pF$  領域における含水比が大きい、 $pF 1.8$  程度以上になると、間隙比の影響はほとんどなくなる。これは保水性が間隙の構造に大きく依存し、間隙比が小さくなるにつれて小さい間隙が多くなって保水量が増加するためと考えられる。一方、 $pF 1.8$  以上における  $pF$  と飽和度の関係は、図-5の結果から予想されるように、間隙比によってその曲線が異なる(図-6参照)。

飽和・不飽和浸透解析に必要な飽和度と透水係数比、サクシジョンの関係を実験結果からまとめると図-6のようになる。透水係数比およびサクシジョンは飽和度が低い領域では間隙比の影響が大きい、95%程度以上ではその差は小さい。しかし、降雨に伴う斜面の浸透解析では飽和度 90%程度以上における透水係数比が降雨浸透に伴う斜面の状態変化に与える影響が予想外に大きい。実験結果の差が実際に有意なものか否かは解析に負うが、この結果から高飽和度域の透水係数比を仮定することなく解析が可能である。

**4. まとめ** 以上得られた結果をまとめるとつぎのようになる。  
 ①加圧型透水試験は高い飽和領域の透水係数が求められ、Richards 型の結果との整合性が良好である。  
 ②砂質土の間隙比が飽和度と透水係数比、サクシジョンの关系到及ぼす影響を明らかにすることができた。なお、加圧型は境界条件が不明確なこと、測定時間などの問題点も残されており、今後さらに検討して明らかにする必要がある。

最後に、Richards 型透水試験は東京農工大学農学部に加藤誠先生のもとで実施したことを記し、ここに厚く謝意を表します。

**参考文献** 1)芥川他：ゆるみによる砂質斜面の不安定化と表層滑落、応用地質、Vol.25、No.3、pp.32-40、1984。 2)芥川他：降雨の浸透を考慮した砂質斜面の安定性、第18回土質工学研究発表会、pp.1277-1280、1983。 3)河野他：室内透水試験法に関する2、3の考察、土質工学会論文報告集、Vol.22、pp.181-190、1982。

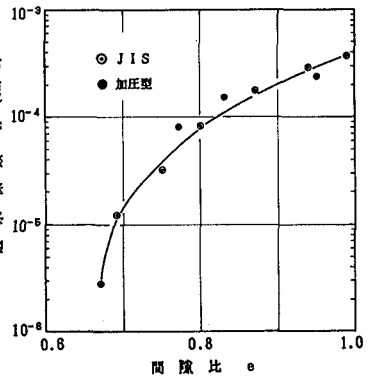


図-3 透水係数-間隙比関係

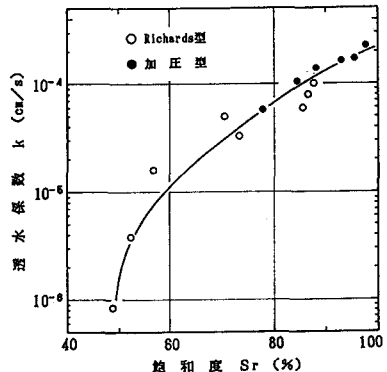


図-4 透水係数-飽和度関係

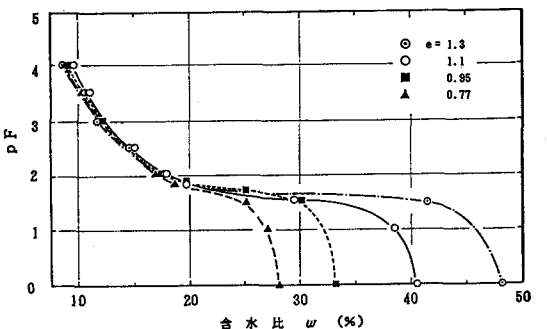


図-5 pF-含水比の関係

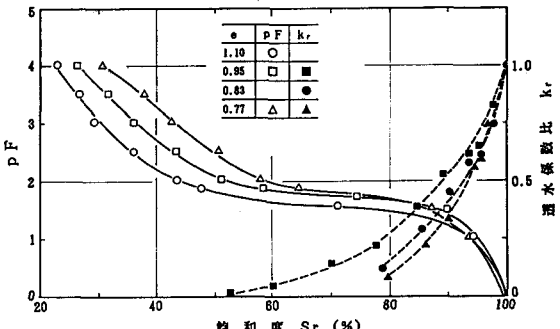


図-6 飽和度とサクシジョン、透水係数比