

関西大学工学部 正員 青山千彰
 関西大学工学部 正員 西田一彦

1. はじめに

豪雨時における斜面安定問題で、最も重要な課題である斜面内への雨水の浸透状況は不飽和浸透解析法の発達に伴い、ある程度まで数値表現することが可能となった。その結果、地形、降雨状態、土層の透水性の違い、境界条件、初期条件など多くの因子と浸透特性との関連性について数多くの研究成果が報告されている。しかし、これらの解析はいずれも、解析に必要とされる体積含水率とサクション、ならびに不飽和透水係数との関係について、現場測定が難しいため、縛固め土などの推測値を用いており、解析結果の信頼性に欠け、実際問題へ十分適用できないのが現状である。筆者らが実施してきた乱さないまき土の不飽和浸透実験は、この欠を補う試験法ではあるが、試料を不攪乱状態（約100kg）で採取し、崩壊現場より運び出した後、成形、そして、不飽和浸透測定実験によりパラメータを得るまで、約半月の時間と多大な労力を必要とする問題を抱えている。そこで、乱さないまき土で実施した既存の不飽和浸透実験結果を基に、風化度、岩質の異なる試料の不飽和浸透パラメータを推定する方法について検討し、簡便法を得たので報告する。

2. 乱さないまき土の不飽和浸透パラメータと風化度

まき土は岩質、風化度、産地などの違いにより非常に多くの種類が存在している。上述のように、一試料を得る労力を考えれば、これらの不飽和浸透パラメータをすべて得ることは不可能に近い。また、まき土崩壊斜面の現場においても、常に（長さ91cm、幅19cm、高さ18cm）もの大きさで均質な試料を得ることは難しい問題である。そこで、風化度などのパラメータと、不飽和浸透の（サクション ψ -体積含水率 θ -不飽和透水係数 k ）との相関性を得ることで、ある程度、実験結果に近似した曲線を求めた。以下、風化度より ψ - θ 曲線ならびに k - θ 曲線を求めるその手法について説明する。

図-1は既報の実験結果（ ψ - θ ）を θ の代わりに飽和度 S_r を用い ψ との関係を面対数軸で表わしたものである。なお、ここでは紙面の制約上各試料についての説明は省略する。図より、両者の関係はほぼ直線となり、 S_r が1近くでサクションはほぼなくなるため、（ $S_r \approx 1, \psi \approx -1$ ）を要とした扇状に広がる直線群を描く。

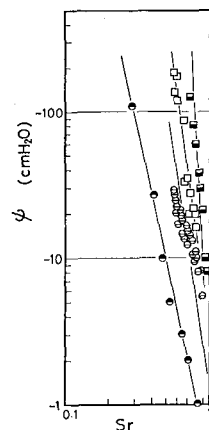


図-1 ψ - S_r 曲線

ψ - S_r の関係において、要となる点はほぼ決定することができるが扇の広がりについては実験を実施しなければ求められない。ところが、 ψ - θ 曲線上の自然含水比の位置に注目すると、吸水、脱水のヒステリシス

曲線より外れた地桌、つまり脱水過程の実験では θ - t 曲線が定常化する地桌に位置している。このことは、斜面内における自然含水比 θ_n は降雨時以外はかなり安定した状態にあることを意味している。そこで自然含水比状態を、浸透などによる動きやすい水が流出した状態とすれば、ラリオフの指摘する水移動の基本的な通路である0.02mm（ $\psi=87$ cmに相当）以上の間隙から水が矢ぬれた状態

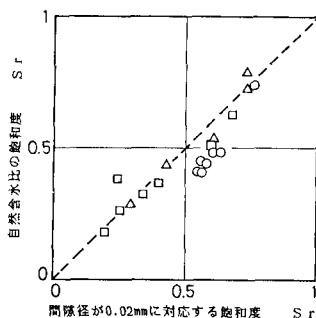


図-2 自然含水比状態の検証

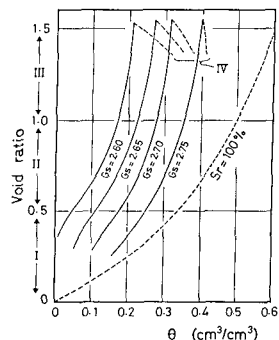


図-3 風化度と自然含水比分布

であるとも考えられる。この点を確かめるため、実験より得た $\psi-\theta$ 曲線で $\psi=87\text{cm}$ の時の飽和度と試料採取時の自然含水比の飽和度を比較したのが図-2である。図より明らかなように、両者は非常に良い対応関係を示している。自然含水比状態の時 $\psi=87\text{cm}$ になるとすれば、 $\psi-Sr$ の要と直線で結ぶことで、換算により $\psi-\theta$ が得られる。ここで、岩質の異なるまき土の風化分類法における自然含水比(図は θ に換算)と間隙比との関係(図-3)がわかっているため、これらの曲線を基に $\psi-Sr$ の関係を求めたのが図-4である。さらに、 θ に換算すると図-5の水分特性曲線が得られる。その結果、同岩質のものでは風化が進むにつれ $\psi-\theta$ 曲線が θ の大きい方へ移行していくが、その差は風化度の低いところで著しい。また、岩質が異なる場合ではGsの大きい試料になる程、同一 θ ではサクションが大きい曲線を描くなどの特徴を見ることができる。このことは、風化に伴う粘土化や、Gsの大きい花崗閃緑岩ほど粘土化しやすいことから理解することができる。

次に、 $k-\theta$ 曲線の推定法について述べる。図-6は実験結果を片対数の $k-Sr$ で表わしたものである。この曲線は飽和度が低くなると折れ曲がる2本の直線(飽和状態に近い方を湿潤側、他方を乾燥側とする)からなり、大まかではあるが、各試料の両直線ともそれぞれの傾きがほぼ等しいと見做せる特徴を持っている。ただし、試料の風化度が大きくなり極端に粘土化してくると折れ曲がらずに、一本の直線を示すようになる。この場合、直線の傾きは他の試料の $k-Sr$ 曲線で乾燥側のそれと等しい。図-7は上述の特徴を生かし、単純化した $k-Sr$ 曲線である。図の使用方法は、実験より個々の試料の飽和時の透水係数 k_s を求め、飽和状態でその値に対応する $k-Sr$ 曲線を得るものである。なお、風化段階Ⅲ、Ⅳになると粘土化するため、前述の乾燥側の傾きからなる一本直線タイプを用いる。一方、風化度と飽和時の透水係数との関係は図-8のように全体的には間隙比1.0付近が最も大きくなる傾向を見せるが、各試料に応じて傾向が異なるため、変化幅も大きく、このままでは使用することが困難である。乱さないまき土の k_s-e 曲線はバラツキが激しいため特定しにくい。図中に示した点線は実験範囲内での代表的な k_s-e 曲線である。この曲線より、風化に伴う $k-\theta$ 、 Sr 曲線を描くことができる。以上、乱さないまき土の不飽和浸透パラメータである $\psi-\theta$ 曲線は風化分類より、また $\theta-k$ 曲線は風化度と飽和時の透水係数を求めることで表現できることがわかった。今後、さらに実験を重ねることで、この手法の精度は高まっていくと考えられる。

【参考文献】 1) 西田,青山,桑山: 乱さないまき土の不飽和浸透特性, 第20回土質工学会講演概要集

2) 西田,青山: 強度特性から見た乱さないまき土の分類, 土木学会論文集, Vol. 352/Ⅲ-2, pp.159~168, 1984.

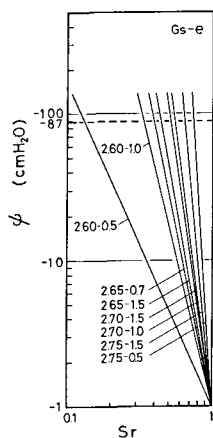


図-4 $\psi-Sr$ 曲線

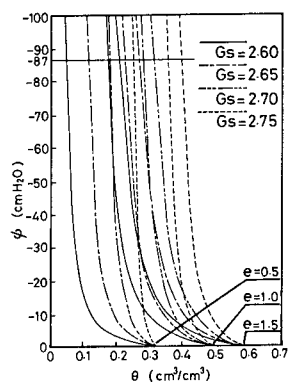


図-5 風化に伴う $\psi-\theta$ の関係

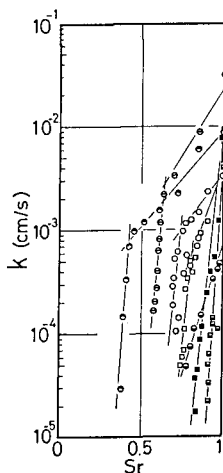


図-6 $k-Sr$ 曲線

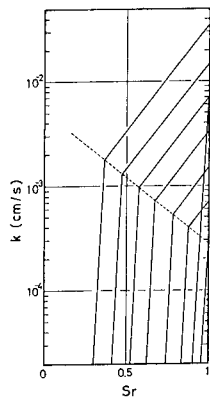


図-7 $k-Sr$ 曲線のモデル化

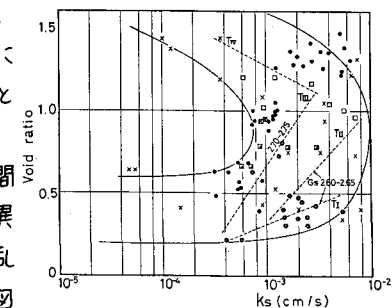


図-8 風化度と飽和透水係数の分布