

岩石の不飽和パラメーター逆推定における、測定誤差の影響評価

埼玉大学 工学部	渡辺 邦夫
埼玉大学 工学部	浜田 史郎
大成建設	鈴木 俊一
鹿島建設	堤 和大

はじめに

岩盤、もしくは岩石の不飽和特性の評価は、岩盤を対象とした飽和-不飽和浸透流解析を行う上で不可欠である。筆者らは、蒸発計測と逆推定を組み合わせた評価手法を提案し、各種岩石の測定を通じてその方法の有用性を検討している¹⁾。しかし、この方法では逆推定というプロセスを含んでいるため、推定に用いる測定量に内在する誤差が、推定値にどの程度影響を与えるかを検討しておく必要がある。本研究は、その影響について検討したものである。研究の結果、誤差の性質が明らかになったので報告する。

1. 提案している不飽和パラメーターの推定法の問題点と本研究の目的

本論で用いる岩石の不飽和パラメーターとは、飽和度、サクシオン圧および不飽和透水係数の関係である。その直接測定には、①岩石の透水性が小さく、試料を通過する流量の測定が極めて困難である、②岩石中に発生するサクシオン圧が計測し得ない、という2つの大きな問題があり、従来測定されていなかった。筆者らは、最初の問題を蒸発量測定で解決し、後者の問題を逆推定法により解決することを考えたわけである。これらは、現状の測定技術レベルでは、この2つの問題を解決する唯一の方法と考えている。

具体的な方法は、まず図-1に示すような実験を行う。測定に用いる試料は、長柱状に整形され、その側面をシーラントで覆われる。これは側面からの蒸発を防ぐためである。次に、試料底面に一定水頭を与え、上面からの蒸発を計測する。この実験によって、試料内に境界条件が既知の1次元の不飽和流れを作ることができる。ある程度時間が経過した後、試料を破断して、飽和度分布を計測する。試料内の流れは非定常飽和-不飽和浸透流解析によって容易に計算しうる。そのため、試行計算によって、測定された飽和度分布を表現するような不飽和パラメーターの逆推定ができることになる。

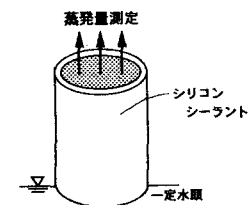


図-1 室内実験模式図

なお、逆推定では、van-Genuchten 式を基礎とし、修正マーカット法を用いている¹⁾。van-Genuchten 式を用いた理由は、世界で唯一岩盤のサクシオン圧の測定されたスイスの報告²⁾で、この式との対比がなされていることと、この式が事実上 α 、 m という2つのパラメータで表現しえ、それらのパラメータの物理的意味がかなりはっきりしていることである。この方法では①試料の飽和透水係数、②間隙率、③蒸発量④飽和度分布、が測定量として必要となる。これらの量の測定について、多くのパラメーター推定を通じて、以下の問題が生じた。

(1) 変形性の大きい軟岩では、地表付近のような低応力下の飽和透水係数の測定が難しい。

(2) 透水係数の小さな岩石では、蒸発量が小さく測定値に誤差を含む。

本研究は、飽和透水係数と蒸発量に含まれる誤差の影響を調べたものである。

2. 数値実験

今回の検討に用いた試料は、安山岩、および沖縄島尻泥岩である。各試料の必要な物性を表-1に示す。このうち、飽和透水係数はパルス法によりえられたものであり、蒸発量は実験値のほぼ定常となっ

たときの値である。今回の検討では、安山岩については、蒸発量がそれぞれ2倍、0.5倍になった場合、泥岩については、飽和透水係数が2倍、0.5倍になった場合について推定値に与える影響を見た。図-2に、安山岩の各場合の飽和度フィッティングの結果を示す。図中の実線は測定値であり、破線はフィッティング結果である。図中M_cは、蒸発量の倍率を示す。なお、フィッティングの基準は、前測定値とそれに対応するフィッティング値の差が3%内に収まるように設定した。図-3は、泥岩の飽和透水係数を変えたときのフィッティングである。図中のM_kは透水係数の倍率を示す。フィッティングの判定基準は安山岩の場合と同じである。表-2は、各場合に推定されたvan-Genuchten 式中の

表-1 各試料の物性値

供試体	有効孔隙率 (%)	飽和透水係数 (cm/s)	一定蒸発量 (mg/m ² /s)
沖縄島尻泥岩	30.0	1.0×10^{-7}	17.0
安山岩	10.43	1.0×10^{-9}	1.0

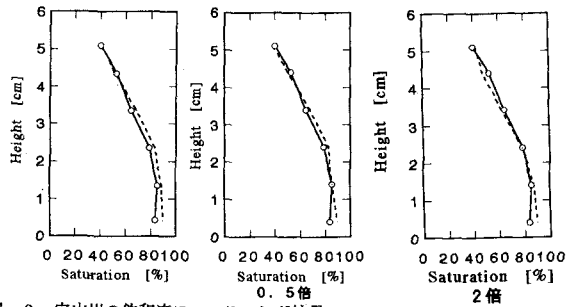


図-2 安山岩の飽和度フィッティング結果

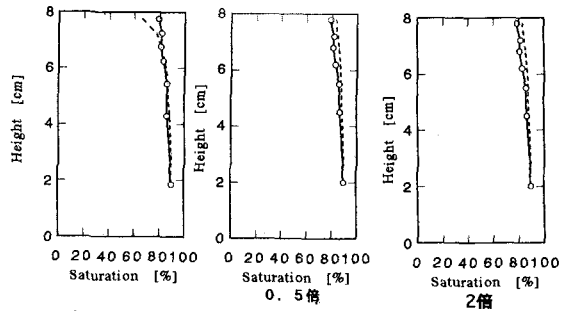


図-3 沖縄島尻泥岩飽和度フィッティング結果

α 、m値を示したものである。 α 値は、同一飽和度で見た時に発生するサクション圧の変化を示し、値が小さくなるほど、大きなサクションの発生を示す。一方、mは、飽和度の変化に伴うサクション圧の変化を示し、いわば、間隙の大きさの分布に関係した量である。この表を見ると、mの変化に比べ、 α の変化が大きく1オーダー程度の変化を示していることが分かる。また、飽和透水係数が小さくなるほど、あるいは、蒸発量が大きくなるほど α 値が小さくなることが分かる。つまり、これらの変化に対しては、試料内のサクション勾配が大きくなるように変化するわけであり、納得しうる結果である。これらの検討により、飽和透水係数や蒸発量に誤差が考えられる場合、 α 値に主要な誤差が現れ、Aの補正を考慮することが現実的であると思われる。

表-2 各試料のVan-Genuchten式のパラメーター

	安山岩				沖縄島尻泥岩		
M _c	1	2	0.5	M _k	1	2	0.5
α ($\times 10$)	0.06	0.038	0.15		0.2	0.44	0.12
m	0.72	0.65	0.72		0.4	0.5	0.55

今回の検討によって、逆推定に用いられる計算値の誤差が、推定値にどの程度の変化を生じさせるかを評価しうることが分かった。誤差の傾向は、想定される傾向と定性的には同じであった。今後は不飽和パラメーターの測定例を増やし、その中でより定量的な誤差の検討を行うことが必要である。

引用文献：1) 堤、渡辺、菅、山脇、岩石の不飽和特性の逆推定法、応用地質、vol.35,no2,1994