

熊本大学工学部 正員 鈴木 敦己

1 まえがき

含水比の概念は土中の水分を量的にのみとらえられたものであり、質的に見る考慮が払われていない。ところが、高含水比の火山灰土に関しは、その水分を量的にのみ考えていたのでは土質工学的諸現象の解釈は困難であり、質的面を考えなければならぬ。¹⁾ 土質工学上、力学的な現象を対称とする場合には土中の水分を熱力学的に評価することが必要である。土中の水分を熱力学的に評価する場合に指標となるのは「Gibbsの自由エネルギー」²⁾であり、これの一つの表現方法がPF値である。PF値の測定方法としては、吸引法、遠心法、蒸気圧法等が普通用いられる方法であり、それぞれ適した測定範囲がある。このうち遠心法は、操作が簡単であり、測定範囲もPF 1.5～3.4ぐらいかなり広い範囲の測定が市販の遠心機で可能であるため、従来よく用いられて来た。しかしこの方法は、PF値に対する認識が十分でない場合は誤って用いられることがあり、この点についてはすでに種下協氏が指摘されている。³⁾ この誤りというのは、基準とすべき自由水面を考えていないという点であり、この自由水面がなければ、測定原理に反することになる。測定原理は他の文献(たとえば1,3)にゆずり、以下では具体的な測定方法と測定例を紹介する。

2. 測定装置

まず遠心機本体は市販のもので、最大回転数5000r.p.m.が得られ、回転数がメーターで読みとれるものであればよい。ローター(回転体)は、水平型のものでなければならぬ。遠心管の大きさと数は適当に選んで差支つかえはないが、著者の場合は一試料につき50cc用4本を用いているが、最低3本は必要と思われる。さらに遠心流の中にもろ過筒を入れて、その中に試料を入れるわけであるが、問題はこころ過筒にある。市販のろ過筒では、底部に基準とすべき自由水面を与えることができないので、これだけは別に作らなければならない。著者が工夫して用いているろ過筒は図-1に示すものであり、回転中は一定の所に自由水面があり、試料水の間引き水はこれに通じている。

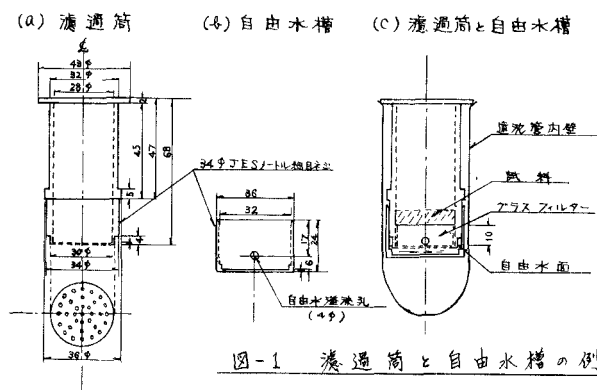


図-1 濾過筒と自由水槽の例

以上の他に試料の下に敷くための透水板が必要であるが、これの厚さは即ち試料底面と自由水面までの距離は、10 mm とするのが計算上便利である。材質にはガラスフィルターが最もよいと思われるが、他に石膏板、或いは透水試験等に用いられるポーラストンの目の出来るだけ細かいものでもよさそうである。

3. 測定方法

試料：物理試験の一つと考えられるので、出来るだけ 0.42 mm フレイ通過試料を用いる。0.42 mm フレイをかけられないような湿润試料の場合は手で、できるだけ細かくほぐした（これ返しをしないように）試料を用いる。

試料充てん：ろ過筒にガラスフィルターを入れ、その上にろ紙を一枚敷き、さらにその上に前に準備した試料約 5 gr を表面がなるべく平坦になるように入れる。一つの含水比の試料について、3〜4本のろ過筒を準備しなければならぬ。著者の場合は一度に回転できるろ過筒の数は4本であるのでこれを一つの含水比の試料に当てる。

ろ過筒につめた試料は一晚（約12時間）水中飽和させる。（水は蒸溜水を用いる。）

脱水試験：自由水槽の溢流孔を指でふさいで、これを蒸溜水で満たし、前に準備したろ過筒を上からのせて、水を溢水させながらねじ込む。ある程度ねじ込んだ所で、自由水槽の溢流孔から指をはなし、ろ過筒の底面を溢流孔からのぞきながらろ過筒をねじ込み、ガラスフィルターの底面（これは直接は見えない）が、溢流孔の下端に来たと思われる所でねじ込みを止める。これでガラスフィルターの底面が回転中つねに自由水面に接していることになる。つぎにこのろ過筒と自由水槽が一体となったものを遠流管に納める。この操作を所定の数だけし終ったあと、回転にうつる。この場合、予備脱水として、500 r.p.m から 1000 r.p.m で約10秒ほど回転させて、これを一度止めて、遠流管内に溢流した水をすてた方がよい。つぎに所定の回転数で脱水するわけであるが、その場合急に高い回転数に上げると、いわゆるサーターロッキングを生じるので、徐々に回転数を上げる必要がある。回転時間は土質によっても多少異なるようであるが、要するにそれ以上回転させても結果の含水比の変化が非常に少なくなる所の時間を、回転時間とすればよい。著者の場合は、回転数を徐々に上げて行く過程も含めて約1時間としている。

回転中に注意すべきことは、試料の温度上昇と試料表面からの水分の蒸発を極力おさえるようにすることである。回転が終ると、手ばやくろ過筒をとり出して自由水槽をとりはなし、中の試料を試料ビンにとって含水比を測定する。さらに、最初に試料の重量と比重がわかっておれば、とり出す前の体積を何らかの方法で測ることによって、間げき比を求めておくことが出来る。

4. 結果の整理

試験結果は含水比とPF値の関係、すなわち水分特性曲線として整理する。その際、PF値は回転数から次式によって換算される。

$$PF = \log_{10} \frac{w^2 (r_0^2 - r^2)}{2g}$$

ただし、ここに g は重力加速度、 ω は角回転速度であり、今回転数を n R.P.M. とすると、 $\omega = 2\pi n / 60$ となる。また Y_0 は回転の中心軸から自由水揚（ガラスフィルター底面）までの距離、 Y は回転中心軸から試料底面（ガラスフィルター上面）までの距離である。実用的には上式から回転数 n (R.P.M.) と PF の関係をグラフにしておくと便利である。

つぎに、一例として阿蘇の火山灰土の水分特性曲線を図-2に示す。（图中 W_0 は試料の初期含水比を示す。）図で PF 3.36の点以下の PF 値を遠心法で求めており、 PF 4.5以上は蒸気圧法で求めたものである。両領域の間の曲線は、つぎのようにして求めている。

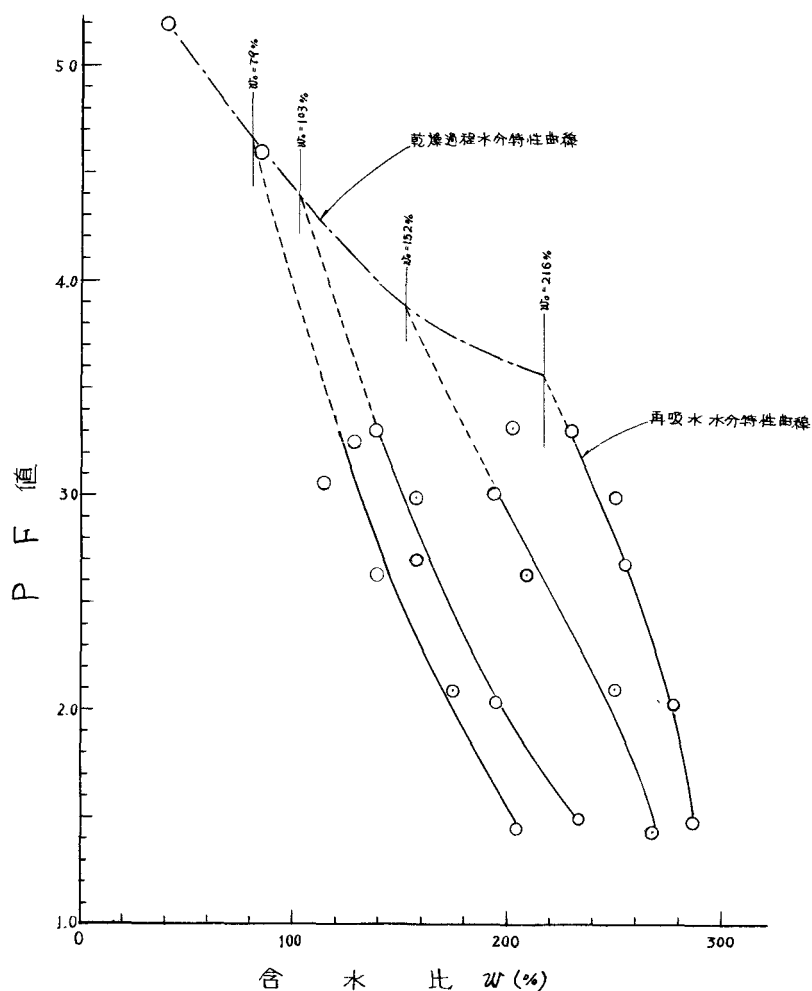


図-2 水分特性曲線の一例

まず初期含水比がかなり低く、横軸でその含水比の点からたてた垂線が蒸気圧法で求めた曲線と交わる場合(例えば $W_0=79\%$ の場合)は、この交点がその含水状態のPF値を示すものであり、この点とその試料について遠心法で述べた点をなめらかな曲線で結ぶ。つぎに、初期含水比が高く、横軸でその含水比の点からたてた垂線が蒸気圧法で求めた曲線と交わらない場合(例えば $W_0=216\%$ の場合)は、遠心法から求めた各点をなめらかな曲線で結び、これを上方に延長し、横軸に立てた垂線との交点をその初期含水比状態のPF値とする。このようにして、いくつかの初期含水比状態のものについて、その点のPF値を求め、それらをなめらかな曲線で結ぶと乾燥過程の曲線が得られる。この乾燥過程の曲線上の任意の初期含水比状態の点と、その試料について遠心法により求めた点を結ぶ曲線は、その初期含水比から注水飽和させた場合に新たに含まれる水分特性を表わすことになる。

このようにしてみると、試料の乾燥履歴が水分特性曲線に明らかに現われている。たとえば、初期含水比216%の試料と、初期含水比103%のものに注水して216%にした試料を比較した場合、それらに含まれる水分の特性はかなり異なっている。ここに挙げたのは乾燥履歴によって水分特性が異なっている例であるが、異なる土の間での水分特性の相違も同様に土質工學上重要な意味をもつものと見られる。

5. 結 び

水分特性の必要性とその測定方法の一つである遠心法を具体的に述べるとともに、それによる測定例を示したわけであるが、遠心法の問題点はPF値の高い所ではバラつきが大きくなることである。著者の場合は、許容誤差を5%にしているが、それでもなお慣れないうちは苦勞が多かった。したがって測定数はなるべく多い方が望ましく、最低3回は必要である。また回転時間は一時間にとらわれないことなく、試料によって含水比の回転時間による変化が無視し得るぐらい少なくなるような時間を定めて行なうべきであろう。

参 考 文 献

- 1) 鈴木 敦己 阿蘇火山灰土の土質工學的性質, 九州特殊土の工學的諸問題, 土質工學會九州支部講習会テキスト, S. 44. 10
- 2) 小野崇三郎 物理化学 I, 共立全書
長谷川繁夫
八木 三郎
- 3) 植下 協 土中水の熱力學的取扱ひ, 第13回土質工學シンポジウム, 土質工學會, S. 43. 11