

土壌水分恒数とその測定法に関する研究

III. 遠心水分当量について

松田 松二・山田 宣良

I ま え が き

畑地かんがいにおける土壌水分の下限界は、作物の水分生理に着目した正常生育阻害水分点、土壌水の物理的性質に主眼点を置いた毛管連絡切断含水量、JISに規定されている遠心水分当量等種々の値が提唱されているが、実用上は pF 3.0 前後にとることが多く、測定値としては遠心水分当量 (C. M. E.) を多用している。遠心分離機によって行なわれる C. M. E. の測定は個人的な測定誤差が小さく、又簡便でもあることから広く用いられているが、原理的にも、測定上にも問題が多い。このうちで最も大きい原理的問題点は、既に多くの研究者達によって指摘されているように、⁽¹⁾ 試料内の水分に水理学的連続が成立するか否かであり、測定上は試料の厚さと平衡に要する時間の設定が必要となる。

遠心分離法では土壌試料に遠心力の加速度 α を加え、平衡状態に達したときの水分量と $f = m\alpha$ から算出された pF とから pF-水分曲線をつくることことができる。pF を求めるには、遠心力 f の常用対数をとる方法と、化学ポテンシャルの常用対数をとる方法とがあり、従来は一般に前者の概念をもとにして解析をすすめる場合が多くみられた。後者の概念については、Russell⁽²⁾ にその端を見出すことができ、わが国でも岩田⁽³⁾ や桜井ら⁽⁴⁾ 山本⁽⁵⁾ などがそれを支持する立場から考案をすすめている。しかしながら実際の遠心分離法では、一定の遠心力の加速度 α を加え、一定時間脱水した後試料全体の重量を測定しているのが現状であり、結果的には試料の厚さ、脱水時間と脱水面の境界条件の設定法の三つに問題点が集約されてくるものと考えられる。そこで主としてこれらの点に着目し、C. M. E. の適用性について考究する。

試料としては、標準砂 (砂土相当)、フライアッシュ (砂壤土相当)、綾歌郡産粘土 (植土相当) の三種を供試し、径 5 cm 高さ 5 cm (容積約 100 cc) の円筒形ルツボによって測定を行なった。

II 実験の結果と考察

II-1 脱水時間について

JISの規定によれば、C. M. E. の測定においては一時間脱水を行なうことになっており、これは試料内の水分張力の分布が遠心力とほぼ平衡した状態となるのに要する時間と考えてよいであろう。しかしながら重力の場で平衡な状態であった土壌水が、新に遠心力の場において平衡状態となるのに要する時間は、遠心力の大きさや土壌の物理的性質によって異なり、特にその透水性が関与するところが大きいものと考えられるので、ここではまず脱水時間の妥当性を検討した。中村⁽⁶⁾ は、遠心分離法においては平衡時間が存在しないことを主張しているが、一般の遠心分離機では試料を長時間、同一の条件の下におくことはほとんど不可能に近いので、ここでは 30~100 分間の脱水時間を取り、土壌水分値の時間的変化が測定誤差の範囲内になったときを平衡時とみなした。又試料の厚さは 2 cm ととり、試料の中心にかかる遠心力 $f = m\omega^2$ のうち $m \approx 1$ とすることによって、土壌水の連続を仮定することの可否によって生じる解析上の問題点をみかけ上消去した。その結果は図-1に示す。

この図から明らかなように、粗粒土では平衡に達する時間が短かく、特に 3.0 以上の高 pF の下では 30 分脱水後の測定値と 100 分脱水後の値との差が 1% 以内であり、30 分間の脱水で既にほぼ平衡に達しているものとみなすことができる。しかしながら植土の場合には 100 分後でも依然として脱水過程にあるものと考えられる。この傾向は特に pF 値が低い場合に著しく、例えば pF 2.0 では 60 分間脱水後の測定値と 100 分間脱水後の値との間に、含水比にして 2.4%、誤差にして 7.2% もの差がみられる。従って JIS の規定は粗粒土のみに適用するか、細粒土については特別に脱水時間を長くとり、粒度もしくは透水係数の大きさに応じてその適用限界が明確にされるべきものと考えられる。

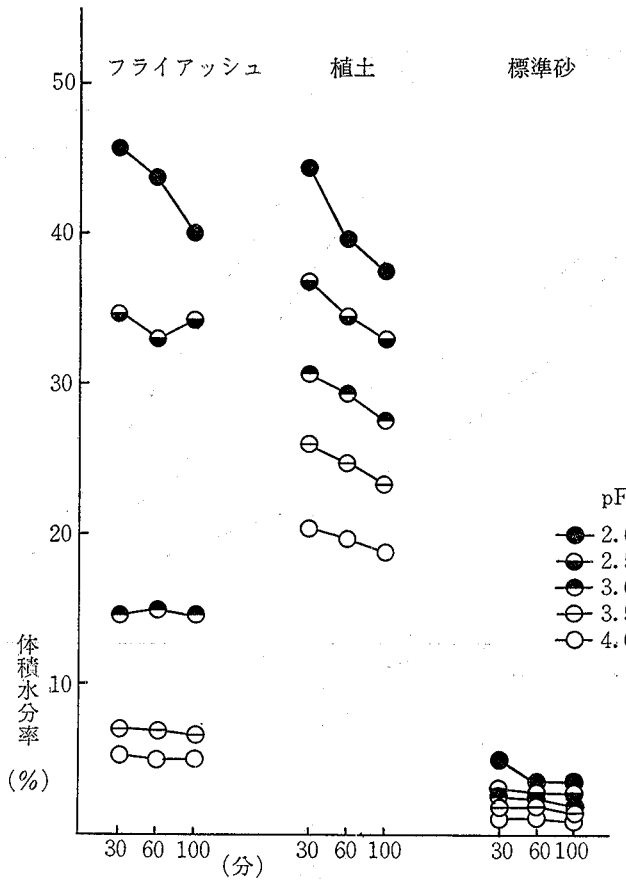


図-1 脱水時間の影響

II-2 試料の厚さについて

従来、実際に遠心分離機によって C.M.E. や pF-水分曲線を測定する場合、試料の重量に対する規定はあっても、試料の厚さは任意にとっている場合が多い。畑地における土壌水分特性を把握するためには、定容採土円筒（厚さ 5 cm）をそのまま遠心分離機にかける場合が多いが、その妥当性はいまだ明らかであるとはいえない。そこで前述したように、概念の相違による解析上の問題点をみかけ上消去した厚さ 2 cm の場合と、定容採土器の深さと一致する厚さ 5 cm の試料とをそれぞれ 60 分間脱水した後、両者の差を検討してみた。その結果は図-2 に示す。

この図からわかるように、まず標準砂では厚さの影響は比較的小さく、95% の有意水準の下で統計処理を行なった結果厚さ 5 cm の場合と 2 cm の場合との間に差はみられなかった。つぎにフライアッシュでは厚さ 2 cm の場合の水分が常に大きく、特に pF 値が 3.0 より小さい範囲では両者の間に有意な差がみられた。このことは試料内に水理学的連続が成立しているものと考えることによって説明できる。すなわち試料の中心に重力の加速度 g の 1,000 倍の加速度が加えられているとき、図-8 の中で遠心力 $f = m r \omega^2$ のうち、 $r_1 \ll r_2$ とすれば、重力の場における水分分布に対して相似率が成立するものと考えられる。従って試料内の水分分布は、図-3 に示したように、土柱法の場合に対して、pF 3.0 の場合には 1,000 倍の勾配をもつものと考えられる。

図-3 をもとにして、試料内における全水分量を各 pF 値について概算してみると、表-1 のようになる。

この表からわかるように、試料の厚さ 5 cm の場合と 2 cm の場合の測定上の相違点は、試料内の水分に対して水理学的連続を仮定することによってある程度説明ができる。しかしながら既に論述したように、脱水面（一般にろ紙が敷いてある）に自由水面を設定することの妥当性は明らかではなく、⁽¹⁾ 特に岩田⁽²⁾ が指摘したように、遠心力の場では問題が多いものと考えられる。従って脱水面の境界条件も同時に問題となる。

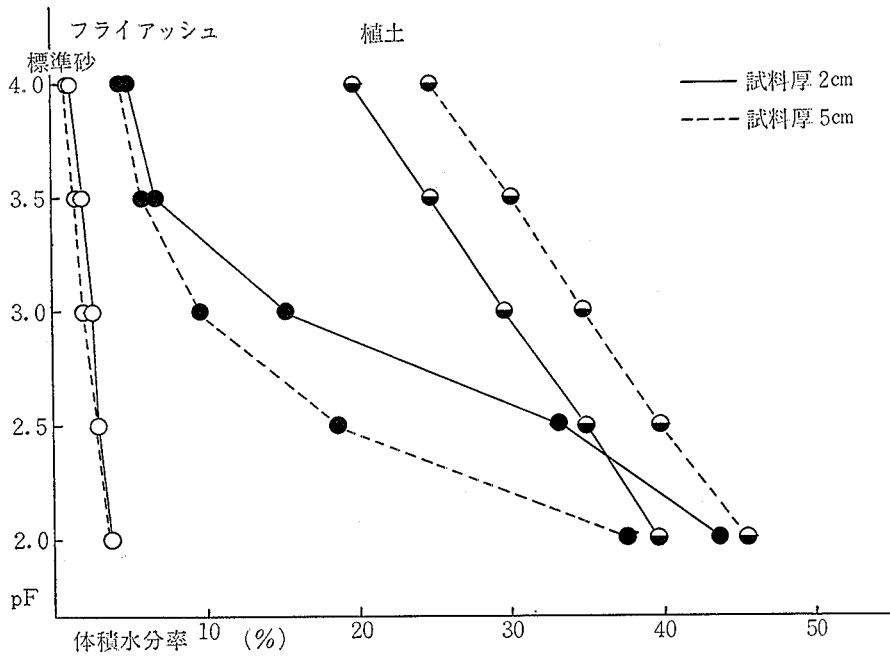


図-2 試料の厚さの影響

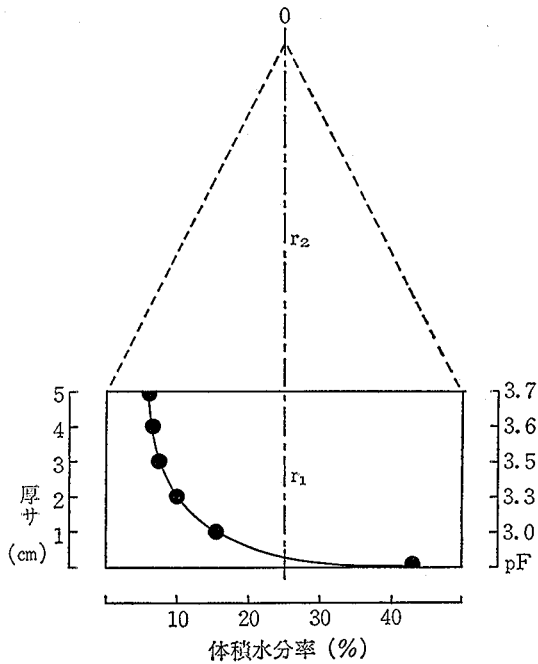


図-3 遠心法模式図

表-1 水分量の概算

中心の pF	2.0	3.0	4.0
2 cm 厚	42.7%	17.4%	8.3%
5 cm 厚	36.8%	12.4%	7.2%

さらに植土についてみると、厚さ 5 cm の場合が 2 cm よりも常に水分が多く、試料が未だ脱水過程にあることを示している。すなわち植土の場合には 60 分程度の脱水では平衡にならず、又厚さが大きいほどこの傾向は強い。なお植土では特に pF 値が大きい場合に、圧密と軽度のウォータロッキングおよびキレツがみられ、このことから遠心分離法の適用上の問題点が指摘できる。すなわち遠心分離機による測定は粘土分が一定量以上の場合には適用不可能ではなからうか。これについては稿を新めて詳述する予定である。

II-3 脱水面の境界条件について

前章において試料内の水分に水理学的連続が成立していることが示唆されたので、ここでは脱水面に自由水面を設定することの是非について考究する。従来は脱水が圧力ゼロの状態と仮定するか、あるいは人工的に自由水面をつくったり⁽²⁾していたが、近年はこれを実験的に確かめようとする試みがなされている。須藤⁽⁷⁾は重力の場における実験で、脱水面が $-2 \text{ cm} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 程度の負圧を示すことを明らかにした。又筆者ら⁽¹⁾の実験では、ろ紙の種類によって脱水面の状態にわずかな差が生じることが明らかとなった。この種の実験は実際上遠心力の場で行なうことが困難であるので、ここでは相似率の成立を仮定して重力の場で測定を行なった。条件としては脱水面（試料の下端）を解放状態にしたものと、自由水面に接した状態で設置したものの2通りの場合について、それぞれ標準砂、フライアッシュを用い、蒸発を防止した上で排水実験を行なった。なお、植土の場合は土壌構造の変化や透水性の不良等測定上の問題点が多く、今回は対象外とした。そのうち給水後 48 時間の水分分布を示すと図-4 のとおりである。

この図からわかるように、標準砂の場合には一般に解放状態での水分分布のほうがより多い側にあり、又フライアッシュでは脱水面から 10 cm までは解放のときが多い側にあるが 20 cm 以上ではこの逆の傾向を示している。しかしながらこれらの値は相互間にいずれも有意な差を示してはならず、脱水面はほとんど自由水面と同一な状態とみなしうるものと考えられる。これが遠心力の場でも成立するか否かは問題があるが、試料の構造変化や蒸発の防止

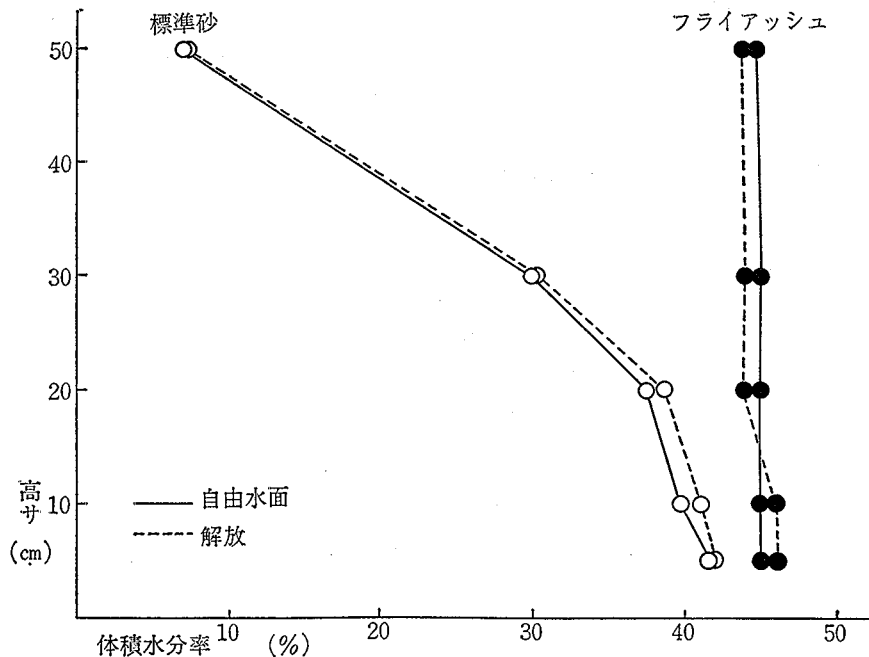


図-4 境界条件の影響

等に充分配慮すれば、遠心分離法による測定は脱水面を自由水面とみなして解析がすすめられるものとする。

III ま と め

これまでに論述したように、遠心分離機によって C.M.E. を測定し、それを畑地かんがい上の土壌水分下限界としたり、pF-水分曲線を求めたりすることには、従来の方法に関する限りかなりの問題をふくんでいる。特に C.M.E. については、以下のように考えるのが妥当なのではなかろうか。

1) 試料内の水分には水理学的連続が成立している部分が存在するので、従来のように単に遠心力 f の対数をとって pF とするのではなく、試料の厚さに応じた pF 値を考えてゆかなければならない。実用上は試料の厚さを 2 cm にすれば、解析上の問題点がほぼ消去できるので合理的である。

2) 脱水時間を 1 時間と限定した場合には遠心分離機による C.M.E. の決定は、植土等の細粒土壌に対しては適用すべきではない。一般的には、透水係数や粘土分含有率等の因子の大小によって適用性を判定する際の指標とすべきである。

3) 重力の場合における解放状態の試料の脱水面は、ほぼ自由水面と等しいので、条件を同一にすれば、遠心力の場合における測定についても同様な考え方が成立しうると考えられる。

このように C.M.E. を畑地における土壌水分の下限界とするには、理論的にも、又測定上からも問題が多いので、現状ではむしろその他の方法で与えられた pF 2.7~3.0 の土壌水分量を下限界としたほうが適当であろう。しかしながら実際の畑地では、土壌水分が均一ではなく、pF 3.0 のときにかんがいを行なうと決定しても、どこの位置の土壌水分を測定しているのかによってかんがいの時期が異なってくる。すなわち、畑地における土壌水分消費の機構や不均一性、代表性等が明らかとなつて、はじめてかんがいの時期ならびに水量を決定する数値としての、土壌水分下限界の意義が明らかとなつてくるものとする。

参 考 文 献

- | | |
|--|---|
| (1) たとえば、松田松二・山田宣良：香大農学報，22-1, 24~28 (1971)。 | (4) 桜井雄二・富士岡義一・三野 徹：農土講要旨，S. 45, 221~222 (1970) |
| (2) RUSSELL, M. B., RICHARDS, L. A.: <i>Soil Sci. Soc. Amer. Proc.</i> , 3 65~69 (1938)。 | (5) 山本晴雄：土壌の物理性，24, 3~6 (1971)。 |
| (3) 岩田進午：日土肥誌，32-11, 52~58 (1961)。 | (6) 中村忠春：土壌物理研究，2, 16~19 (1965)。 |
| | (7) 須藤清次：土壌の物理性，22, 35~39 (1970)。 |

RATIONAL DETERMINATION OF SOME SOIL MOISTURE CONSTANTS

III. On the Centrifuge Moisture Equivalent

Matsuji MATSUDA and Noriyoshi YAMADA

Summary

Though the centrifuge moisture equivalent is defined by J.I.S., there are many doubtful points to be solved in the definition from the theoretical point of view. They are, for instance, neglecting the existence of hydraulic continuity of soil moisture in the sample under the centrifugal force and the boundary condition of the bottom of the sample.

Results obtained are summarized as follows;

- (1). Under the centrifugal force, there exists the hydraulic continuity of soil moisture in the lower layer of the thick samples. Therefore, the thickness of the sample must be determined not to occur this inequality of soil moisture behavior in the sample. (So, the thickness of 2 cm is considered to be satisfactory.)
- (2). Dehydrating time of 1 hour (J.I.S.) is too short to the case of clay, because of low permeability of such samples.
- (3). It may be well assumed that the bottom of the sample has almost the same hydraulic potential as free water level.

(1972年6月5日 受理)