

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壌 の 物 理 性

第 24 号

昭和46年 4 月

巻 頭 言.....	国 分 欣 一	1
遠心力場における水分張力について——遠心法についての考察——.....	山 本 晴 雄	3
毛管水領域（土壌溶液中）における養分の挙動.....	山 崎 慎 一	7
毛管連絡切断含水量について.....	推 名 乾 治・野中仙三郎	14
土壌の粘弾性挙動.....	吉 田 力	17
土壌の付着性について——毛管力との関係——.....	秋 山 豊	21
農業機械と土壌水分量の関連について.....	八 木 茂	27
シンポジウム質疑応答と総合討論.....		32
土 粒 子.....	田 淵 俊 雄	37
会 務 報 告.....		39

土壤物理研究会会則

- 第1条 本会は土壤物理研究会と称する。
- 第2条 本会は土壤の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行なう。
- 1 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - 2 土壤の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - 3 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - 4 その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は正会員、学生会員及び賛助会員の3種とする。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | | |
|------|------|---|---------|
| 正会員 | 年 | 額 | 1,000円 |
| 学生会員 | " | | 600円 |
| 賛助会員 | 1口年額 | | 10,000円 |
- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とし、選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名、副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員から互選される。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事 若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

「土壤の物理性」投稿規定

- (1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- (2) 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行なう。ただし内容についてはこれを著者に依頼することがある。
- (3) 投稿には400字詰横書きの原稿用紙を用い、用語、図表等は関係学術雑誌の規定にならって執筆すること。枚数は16枚程度を一応の規準とする。
- (4) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壤の物理性に主体をおくものとする。
 <報文> 他誌に未発表のものに限る。書き方は方法、結果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用文献を明らかにすること。
 <論説・総説> 土壤の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。
 <資料> 既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。
 <解説> 物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。
- (5) 原稿には下記形式の送り状をつける。報文のみ印刷りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。

発表年月日		受付年月日	
種別	原稿枚数	図表数	図枚、表枚
表題	写真数		葉
著者名	別刷	30部+	部
所属			

- (6) 別刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。

付記：投稿及び会誌編集に関する通信は下記宛のこと
(担当幹事 寺沢四郎)

東京都北区西ヶ原 (〒114) 農業技術研究所
土壤物理研究室内土壤物理研究会編集委員会

巻 頭 言

基 礎 と 応 用

国 分 欣 一

家を建てる時柱と梁が縦横にがっちり組んで始めて骨組ができる。これがしっかりしているから屋根瓦ものせられる訳である。

技術も基礎になる理論と応用が一体となって確固たる技術になりうると思う。例えば土壌物理性に関する応用問題には水田圃場整備がある。これの目的とするところは機械化であって、区画拡大工事や用排水、農道の整備などが行われる。そこには当然土木施工上やトラクターの走行性とか作物生産上の諸問題がある。これらの問題を解決するためには基礎となる理論の解明が必要である。土木施工上、耕耘、トラクターの走行性に関して土の粘弾性、そ性、軟化、硬化や付着、摩擦などがあり、さらに敷衍して現地における土壌構造、土壌支持力の問題に連る。畑関係では古くから畑地かんがいの問題があり、その解明には水の運動に関して浸潤、浸透の理論から土壌構造、透水性さらには植生に関して作物の水分生理の問題などがある。

応用問題の解決には基礎理論の裏付けが必要なことは今さら言を要しないが、これらの一連のものが一体となって始めて技術の発展につながるものと考えられる。基礎だ応用だと云っても境界はそんなに明確なものがある訳ではなく、理論の発展そのものはそれだけで充分意義があるが、技術の発展にはどちらが欠けてもいけないものと思われる。

このような問題の解決には一人でかたづけることは困らんであって、自らそこには分担が生ずる。また色んな角度からつめる必要があり、それらの研究者、技術者の間に交流が必要になるのは当然であり、そのような交流の場として本研究会の存在意義の一つがあると思われる。

かつては土壌物理性に関する測定法と云えば、風乾細土を使ってトントンと叩いて円筒につめて粗状態とか精状態の仮比重や容水量を測定していた。すなわち室内における云わば静的な測定が中心であった。それが現在のように現地における動的な見方が発展して来ると如何に室内において精密な測定が出来ても現地に適用する場合にふれが問題になる。しばしばこの測定値が現地の性質をどれだけ代表しているのだろうかという疑問がわくことがある。そこでサンプリングの方法が問題となり、現地の状態の把握一分布の法則性に目を向ける必要が生じる。現地の土壌は不規則ならそれなりに何らかの法則性があるのではないだろうか。その辺を明かにする必要があるはしないかと思われる。それには統計的手法を取入れる必要があるだろう。

米過剰問題から政府は生産調整に踏切り、転作が本格的に打出されて来た。従来も水田高度利用の見地

から若干の水田への畑作物導入はあったが、局部的であり、また条件の許すところに限られていた。今度
はそれに対応しうる圃場整備のやり方、用排水管理方法の確立などが全面的に要望され、適作物の選定と
併せて技術的な解明が必要になって来た。その中には土壌物理的問題が重要な一面をなしていると思われ
る。

終りに臨み、本年度から当研究会では編集委員会を強化して発足することになった。これは益々会誌の
幅と奥行を深めて充実して行きたいと云う念願から出たものに外ならないので会員の皆さんの一層の御協
力をお願いする次第である。

遠心力場における水分張力について

—遠心法についての考察—

山 本 晴 雄*

1. はじめに

1907年に Briggs および McLane らが水分当量の研究において遠心法をとり入れた。すなわち重力の1000倍の遠心力に抗って土壌に保持される水分を測定した。わが国においても、遠心含水当量試験法¹⁾として用いられている。

1938年に Russell および Richards²⁾ らが土壌を自由水面と連絡さす方法を考案し、水分張力を求める遠心法を理論的に確立したといえる。更に1952年に Croney³⁾ らが Russell らの測定法を若干修正して用いている。

わが国においては、1953年に美園⁴⁾ が火山灰土壌の土壌水分系に関する研究において用いて以来、地力保全基本調査事業⁵⁾ などにも取入れられ、一般的な分析法として広く普及した。

これらわが国において普及した遠心法は Russell らの自由水面と連絡する方法と異なり、土壌の単位体に遠心力を働かせ、水を振り切るという方法をとってきた。すなわち、「 f なる遠心力を土壌水に働かせて、その遠心力と平衡状態にある残留水分の土壌水分吸引力値は $-f$ に相当する」となす立場であった。しかし、遠心法に關しての論議が十分なされていたとは言えず、竹中⁶⁾、中村⁷⁾⁸⁾らにより問題点が論じられていた。また、二、三の著書⁹⁾¹⁰⁾では理論的に異なる二つの立場が紹介されていた。

1967年、岩田¹¹⁾¹²⁾は遠心法の原理を考察して、土壌水と自由水面との間のポテンシャルの差を測定して吸引力を求める事をあきらかにし、実験条件として、外部から自由水面を与えなくとも試料下端の毛管孔隙の水が自由水の役割をする事を理論的に明確にした。

そこで筆者¹³⁾らは Russell らの方法まで立返り、それと従来法ならびに岩田のいう方法とを実験的に検討した。

2. 遠心力場における水分張力

1. 計算式の考察

法線加速度系において、質量 m が半径 r の円周上を角速度 ω で等速円運動をする場合、質量 m におよぼす遠心力 F は

$$F = mr\omega^2$$

であらわされる。いま $m=1$ として常圧下の毛管負圧に換算すると

$$hg = r\omega^2$$

$$pF = \log r + 2 \log n - 4.95 \dots \dots \dots (1)$$

となる。これが従来から用いられている計算式である。この計算式は単位体におよぼす遠心効果であって、水を振り切る状態で、遠心されつつある土柱内において、遠心力に抗って毛管的に保持されている土壌水の振切面に生ずるメニスカスの表面圧、または土壌中にはたらく毛管ポテンシャルが考慮されていない。

実際には振り切り界面の毛細管に遠心力に抗って保持されている水と土層中の水が水理学的に連続したものと考えられる。従って試料の厚さが大きくなると試料上端に働く力は図-1の r_1 から r_2 まで $r\omega^2$ を積分した型でなければならない。

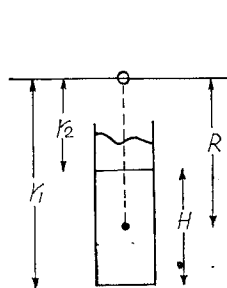


図 1 (2)式の関係

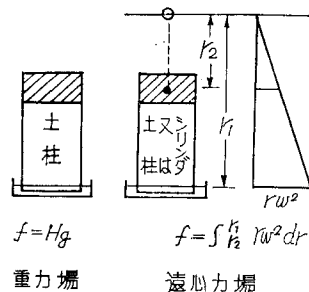


図 2 遠心力場における土柱法

* 北海道立中央農業試験場

$$hg = \int_{r_2}^{r_1} r\omega^2 dr$$

$$h = \frac{1}{2} (r_1^2 - r_2^2) \frac{\omega^2}{g} = (r_1 - r_2) \frac{r_1 + r_2}{2} \frac{\omega^2}{g}$$

$$= H \cdot R \frac{\omega^2}{g} \quad (H = r_1 - r_2, \quad R = \frac{r_1 + r_2}{2})$$

$$pF = \log H + \log R + 2 \log n - 4.95 \dots\dots\dots(2)$$

結局、遠心力場での土柱は重力場で行なわれる土柱法や水柱吸引法を圧縮したものにほかならない。図-2はその関係をあらわす。遠心力場のそれが異なる点は重力場における土柱はどの位置をとっても重力は一定であるとみなしうるのに対し、遠心力場においては、遠心力 rw^2 は回転半径 r が大きくなるにつれて著しく増大する点である。

2. (1), (2)式の実験上の比較

100cc 管につめた土壌を2,430 rpm で回転した時の土柱の水分分布は図-3のとおりである。土柱の水分分布

表-1 供試土壌の性質

土 壌	CEC me/100g	腐植 %	粗砂 %	細砂 %	シルト %	クレイ %	土性
黒石原	37.0	15.2	2.7	13.6	47.2	36.4	SiC
*有珠-b	15.6	1.8	4.5	60.9	24.2	10.4	SL
*樽前-c	48.5	12.8	2.3	41.7	43.9	12.1	L
豊 浜	45.7	2.0	12.0	33.2	27.4	26.0	LiC
*長沼沖積	19.4	2.3	0.1	17.0	51.9	31.0	SiC

* 0.25mm篩別

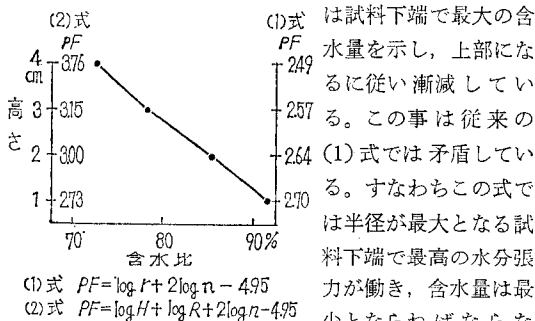


図-3 土柱の水分分布とpF値
(2,430rpm) 樽前C土壌

従来の(1)式についても、小型遠心機を用いた場合、試料が小さいがために H を1cmとみなし、 $\log H=0$ とし

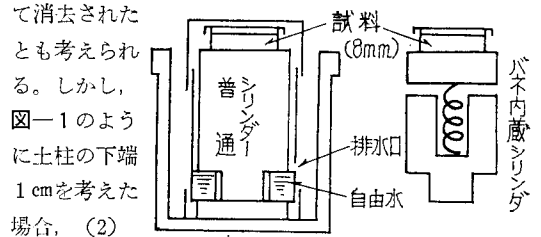


図-4 遠心筒とシリンダー

て消去されたとも考えられる。しかし、図-1のように土柱の下端1cmを考えた場合、(2)式において $\log H=0$ で、 $pF = \log R + 2 \log n - 4.95$ の求める水分張力の位置は下端より1cmの点であって、(1)式のように下端より0.5cmの点ではない。

従って、従来の方法ではやや低張力側にかたよっていたと思われる。

以上の事より(2)式が採用されるべきと考えられる。

3. 実験上での自由水面

実験上、自由水面を外部に求める場合と試料下端に求める場合がある。前者はRusselらの方法であり、後者は岩田の方法である。

自由水面を試料下部に求める場合は100cc管を用い、試料下端より2cm、3cmの点の水分を測定した。

自由水面を外部より求める場合は図-4のような遠心筒とシリンダーを用いた。

1. 自由水面を外部に求める場合の問題点

遠心力場で平衡に達した試料ならびにシリンダーは回転の漸減停止に伴い、水が再上昇するおそれがある。また圧力勾配をつけ、自由水面と試料とを連絡さすシリンダーの材料に適当なものをえらばねばならない。水の再分布については次のような実験により回避しようと考えられた。

高さ5cmの石こうシリンダーに試料をのせ、十分飽水させ、シリンダー下端にリングを置いて3200回転で脱水した。一定の平衡状態にした後、回転を停止し、試料を左右対称に半量を取り出し、含水量を調べた。残りの半量はシリンダー下端に約1mmの自由水面を回転停止までに要する時間7分30秒間(佐久間製作所)与えたのち、取り出し含水量を調べた。豊浜土壌は変化がなく、黒石原土壌はもとの含水比の1.3%の増分を示した。遠心力場ではシリンダー下端を毛管水帯と仮定してもこの増分より小さいであろうと推定される。この程度であれば無視しようと考えられる。

参考までにもう一つの方法として、図-4のようにシリンダーにバネを内蔵させ、 pF 2.4相当の力以下では

表-2 遠心力低下に伴う土壌水分の変化の推定

脱水時間	土壌	(a) 遠心停止直後の水分	(b) 続いて自由水面を与えた水分	a-b	a-b/a × 100
		3時間	豊浜		
3時間	黒石原	39.1	39.6	0.5	1.5

数値は含水比

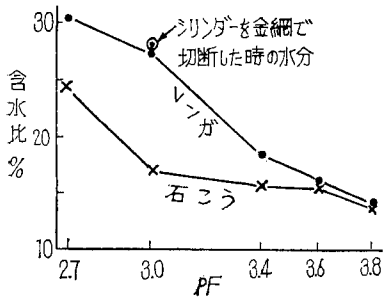


図-5 バネ内蔵シリンダーと材質(有珠b土壌)

自由水面との連絡が断たれる試みをした。結果は図-5のようにシリンダーにレンガを用いたものは上下シリンダーの境界で連続が断たれた。石こうの場合はある程度、目的が達せられたが、高 pF になるとやはり上下シリンダーの境界面に問題がある。遠心力場での水の再分布については厳密な検討はできず、推定の域を出ない。従って、素焼きシリンダーでは自由水面を外部より与えない岩田の方法と直接比較した。

シリンダーの材質についてはレンガのように孔隙のあ

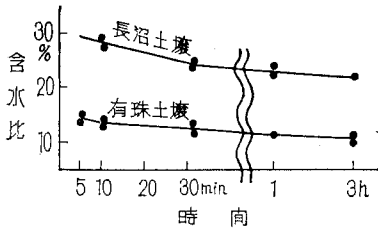


図-6 素焼シリンダーによる pF3.80 (3470rpm) の平衡時間

らしいものは水理学的連続が断たれ易い事を考えると、石こうや素焼きの方が適当と考えられる。しかし、石膏は水にとけやすい欠点をもっている。素焼きの場合は透水性が心配であるが、図-6のようにほぼ1時間で供試土壌を平衡にさす事ができるので、実用的には素焼物シリンダーが適当と考える。

2. 自由水面を試料下端に求める場合の問題点

岩田のいうように試料下端を自由水面とみなせる事は実験上、非常に便利であり、実用的でもある。これは Russell らの方法を更に発展させた方法ともいえる。しかし、圧力勾配を試料土そのものでつけるので、粗粒質の土柱は水理学的連続が断たれ易い事と細粒土の土柱では logging 現象がおきる場合がある。

図-7 のように0.25mmで篩別した砂の場合、pF 3.0以

上になると水理学的連続もあやしくなる。すなわち、異なるpF値で同値のあるいは逆転した含水量をとる事がある。

結局、砂の土柱そのものを長くして圧力勾配をつけるのは限界がある。又下端より1cmの点では砂にかぎらず含水量がばらつく傾向がある。

細粒質の土壌は water lodging 現象を生じ

平衡に要する時間も長い。図-8のように長沼土壌では3時間でも水分分布が逆転する場合がある。このような土壌では試料の厚さを薄くして、圧力勾配をシリンダー(多孔質物)でつけるのも一つの方法と考える。

3. 外部より与えた自由水面と試料下端を自由水面とみなした場合の比較

自由水面をシリンダーを介して与えた場合と試料下端

を自由水面とみなした場合と比較するに、得られた結果はほぼ同値を得た。図-9のように pF 3.0, 3.4, 3.8 で0.3~0.6%の差であり、pF 2.7ではやや大きく2.5%の差であった。

岩田の方法

をモデル実験

によって観察

するため、重力場すなわち1gの場で0.2~1.0mmの毛細管を用いて、図-10のような実験をした。毛細管下端が連絡ある場合には自由水面を与えようが、与えまいが

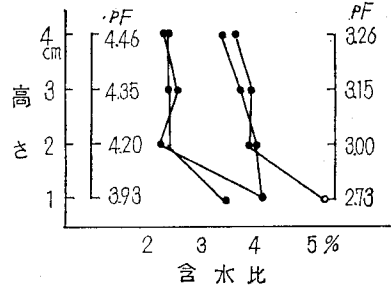


図-7 砂の水分分布(1時間)

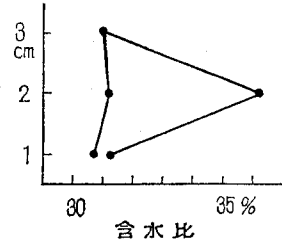


図-8 長沼土壌(Silty clay)の水分分布(2430rpm-3時間)

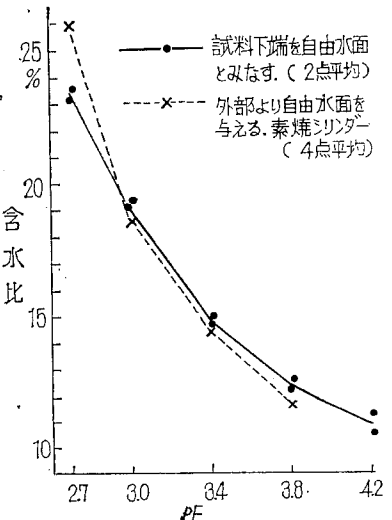
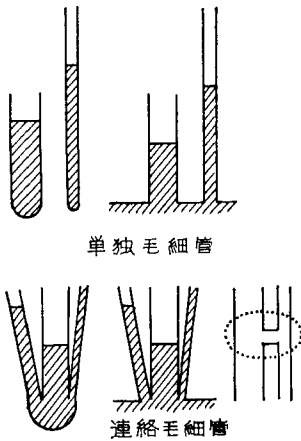


図-9 (2)式による試料下端を自由水面とみなす場合と外部より自由水面を与える場合のpF水分曲線(有珠b土壌)

する。図-10のような実験をした。毛細管下端が連絡ある場合には自由水面を与えようが、与えまいが



図—10 1gの場合で自由水面を与える場合と与えない場合の毛管上昇高

4.95」を採用しなければならない。

遠心法を検討するにあたって、実験法を Russell らの方法までさかのぼって検討したが、外部より自由水面を与えなくとも試料下端を自由水面とみなす岩田の理論を実験的に裏付けることになった。

遠心法については批判的な意見¹⁴⁾もあり、解明あるいは工夫されねばならない問題がある。すなわち毛管水の領域について、あるいは試料の圧密などである。

さらに遠心法を発展させるために安定した低速遠心機の開発が望まれる。

毛管上昇高はほぼ同じように観察された。

むすび

土壌水は水理学的連続のもとで脱水され、遠心力場での土柱法といえる。従来の(1)式はこの点を考慮していない。従って遠心法では自由水面とのポテンシャルの差を測定することによって水分張力を求める(2)式「 $pF = \log H + \log R + 2 \log n -$

引用文献

- 1) 土質工学会：土質試験法，111～118 (1969)
- 2) M. B. Russell and L. A. Richards：The Determination of Soil Moisture Energy Relation by Centrifugation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 3, 65～69 (1938)
- 3) D. Croney, J. D. Coleman, and Pamela M. Bridge：The Suction of Moisture Held in Soil and Other Porous Materials., Road Research Technical Paper No. 24, 19～23 (1952)
- 4) 美園繁，寺沢四郎，木下彰，須藤清次：火山灰土壌の土壌水分系に関する研究., 農技研報告, B 2, 95～124 (1953)
- 5) 農林省振興局：地力保全基本調査における土壌分析法, 地力保全対策資料第1号, 50 (1959)
- 6) 竹中肇：遠心法についての一考察, 研究の資料と記録, No. 13, 東大, 33～34 (1963)
- 7) 中村忠春：pF 測定法について, 研究の資料と記録, No. 16, 東大, 24～34 (1967)
- 8) ————：現実的な pF 測定法, 農業土木学会土壌物理研究部会 第7回研究討論会資料 (1968)
- 9) 寺沢四郎：土壌水の吸引力 (pF) の測定法, 土壌の物理性, No. 11, 12, 77～79 (1965)
- 10) 山崎不二夫監修：土壌物理, 95, 養賢堂, (1969)
- 11) 岩田進午：遠心法の原理について, 東海近畿地域土壌の物理性測定に関する検討会資料 No. 2 (1967)
- 12) ————：遠心法による pF の測定について, 土肥誌 39, 177～178 (1968)
- 13) 湯村義男, 佐藤雄夫, 山本晴雄：遠心力場における水分張力について, 土肥学会講演要旨集, 第16集 (1970)
- 14) Helmut Kohnke：Soil Physics, 47—48 McGraw-Hill, Inc.

毛管水領域(土壌溶液中)における養分の挙動

山 崎 慎 一*

1. はじめに

毛管水の領域は圃場容水量から永久萎凋点までの間であり、pF で示せばほぼ pF 1.6 から 4.2 の間であろうと考えられる。この領域内に存在している土壌中の水は、土壌物理の部門では一般にこれを純相 (pure phase) すなわち純粋な水とみなして取り扱っている。しかし実際には、この土壌中の水は各種の成分が溶存している溶液と考えるべきものである。土壌溶液とは一体何を意味しているかについての明確な定義づけはなされていないが、土壌の液相内部の成分の挙動を取り扱う立場からは、これを土壌液液と呼ぶべきであるとする。

ところで、土壌溶液中の各種の成分の濃度を定量する場合、土壌中より液相部分を分離、採取したのち行なうのが普通である。土壌溶液を採取するには各種の方法があるが、いずれの方法を用いても土壌の液相部分の全部を取り出すことは不可能である。このため、実際には土壌の液相部分のある一部分が「土壌溶液」として研究の対象とされるということになる。この採取可能な土壌溶液の限界は、現在 (そしておそらく将来も) 最も有効な土壌溶液採取法であると考えられる遠心法による場合、遠心機の能力からみてほぼ永久萎凋点までである。したがって、畑土壌を研究の対象とした場合、毛管水領域における養分の挙動とは、土壌溶液中における養分の挙動とほぼ同意語であると考えてもさしつかえはあるまい。

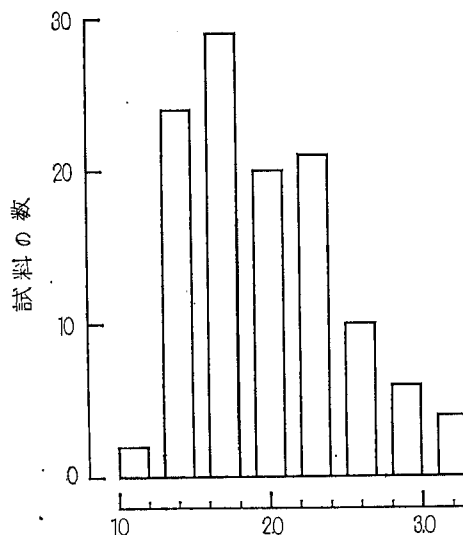
土壌溶液中における養分の挙動を考えた場合、特に短い期間に限定して土壌溶液の濃度組成の動態について考えてみた場合、最も大きな変化の動因となるものとして、土壌の水分含量の変動が考えられる。

この論文では、この土壌の水分含量の変化にともなう土壌溶液中の各種成分の濃度および組成の変化に重点をおいて調査した結果について考察をおこなった。

2. 結果および考察

1. 圃場容水量と永久萎凋点の比

土壌溶液の濃度は、前述のように土壌の水分含量によ



圃場容水量(pF1.6)の永久萎凋点(pF4.2)に対する比

図-1 圃場容水量 (pF1.6) / 永久萎凋点 (pF4.2) の値のヒストグラム

って大きく左右されることが予想されるので、まず圃場容水量と永久萎凋点とは土壌の水分含量がどの程度変動するかを、各種の土壌について、得られたデータ¹⁾²⁾³⁾から求めたものが図-1である。永久萎凋点 (pF4.2) に対する圃場容水量 (pF 1.6) の水分含量の比は土壌によってかなり異なっているが、大部分の土壌では 2.4 以下であることが知られる。この結果から、ある土壌の土壌溶液の採取を経時的におこなったような場合には、その土壌の各採取時点における水分含量の変動は、大きく見積っても 2.4 倍の範囲内にあることになり、したがって土壌溶液の濃度がこの範囲からいちじるしく逸脱した変化を示した場合には、水分含量の変化以外の要因によって生じた変化であるということが出来る。

2. 土壌溶液中の陽イオンと置換性陽イオンの量的関係

土壌溶液中の陽イオンの総量は、一応土壌の水分含量と土壌溶液の全陽イオン濃度の積であると考えることができよう。圃場容水量および永久萎凋点における土壌の

* 北海道農試

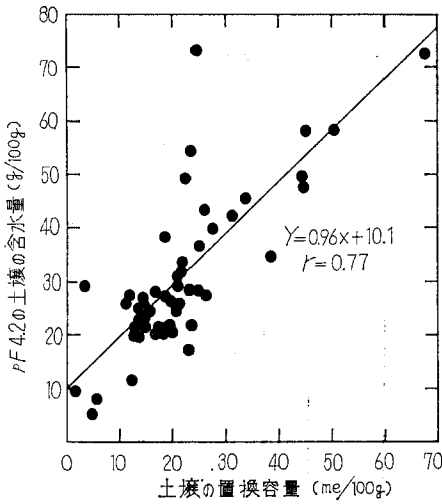


図-2 土壌の置換容量とpF4.2における含水比との関係

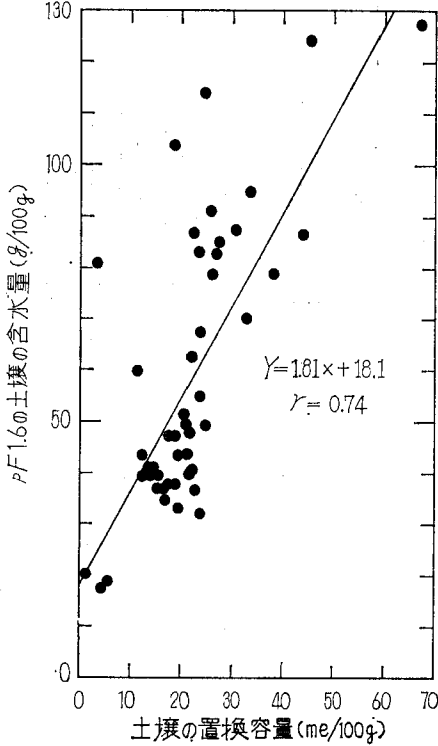
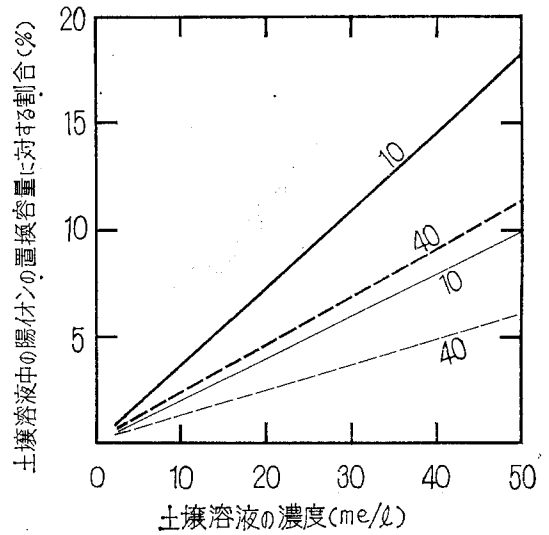


図-3 土壌の置換容量とpF1.6における含水比の関係

水分含量¹⁾²⁾³⁾と置換容量の関係を得られたデータから検討してみると、図-2および図-3に示すとおりであり、両者の間には高い相関が認められる。この結果から、土壌溶液中の総陽イオン量と土壌の置換容量との比が、土壌溶液の濃度とどのような関係になるかを、置換容量を10および40me/100gとして算出した例を図-4に示す。数多くの土壌溶液の分析結果からみて、通常われわれが



図中の数字は土壌の置換容量 (me/100g)、太線は含有量が圃場容量水の場合、細線は永久萎凋点の場合

図-4 土壌溶液の濃度と土壌溶液中の陽イオンの置換容量に対する割合との関係

興味の対象としている湿潤地帯の土壌では、土壌溶液の濃度が 25me/l を超えることは非常にまれであるといえる⁴⁾。したがって、図-4からあきらかなとおり、通常土壌溶液中の陽イオンの総量は置換容量の数%程度以内である。また土壌溶液中のたとえば Ca の量と置換性 Ca の量の比についても同様な結果であろうと考えられる。

3. 土壌の水分含量の変化に伴う土壌溶液濃度の変化
土壌の水分含量の変化について土壌溶液の濃度がどのように変化するかについて調べてみた。供試土壌は物理的、化学的な諸性質をいちじるしく異にしている三種類の土壌を用いた。その性質は表-1に示したとおりである。試料の調整は未風乾の土壌を 2 mm の篩を通してお

表-1 供試土壌の性質

土 壌 の 種 類	浮石土壌	沖積土壌	火山灰土壌
土 性	L S	LiC	LiC
pH (H ₂ O)	6.2	5.3	5.1
pH (N-KCl)	4.5	4.2	4.3
C (%)	0	2.7	8.5
N (%)	0	0.23	0.55
置換性 Ca (me/100g)	0.9	15.3	9.1
Mg	1.8	7.2	5.5
K	0.4	0.2	0.6
Na	0.3	0.2	0.2
比表面積 (m ² /g)	15.4	16.1	12.4
湿潤熱 (cal/g)	1.5	7.0	11.0

こない水分含量は、多、中および少の三段階にした。多水分処理は、バットに試料を均一に拡げスプレーで脱塩水を噴霧し、中水分はそのままの水分状態とし、少水分処理はバット中に拡げた試料をときおり攪拌しながら室温で乾燥させた。土壌溶液の採取は、上記の方法で調整した試料を、多、中水分処理では500g、少水分処理では1,000gを、それぞれ4個および8個の100ml容採土管に同量づつ充填（125g）密封し、低温恒温室（3℃）中で一週間放置して平衡に達せしめのため、14,000回転/1分（最大半径の部位で約20,000G）1時間の遠心分離でおこなった*。

表一 2 土壌の含水比と土壌溶液の濃度との関係

土壌の種類	土壌溶液の濃度*		土壌溶液の濃度 × 含水比 (含水比 - 強結合水**)
	含水比	× 含水比	
浮石土壌	29.4	24.7	23.1
	22.2	24.3	22.2
	15.6	20.3	17.4
沖積土壌	42.7	691	549
	34.5	688	512
	24.2	755	481
火山灰土壌	63.5	216	169
	49.2	230	166
	35.6	252	154

* Na+K+Mg+Ca (me/l) : 沖積土壌、火山灰土壌では No₃ の濃度を用いて計算しても同様な結果となる。

** 強結合水 (g/100g乾土) = 湿潤熱 (cal/g) × 100 ÷ 80

得られた結果を表一 2 に示す。土壌の水分含量と土壌溶液の濃度との間にはほぼ反比例の関係が成立すると報告されていることが多いが⁵⁾⁷⁾⁸⁾、必ずしもそうではないとの報告もある⁹⁾。土壌溶液を採取する場合、先述のように土壌溶液の全量を取り出すことは不可能である。したがって、上記の問題は、この採取されてきた土壌溶液の濃度、組成が土壌中に採取されずに残存している土壌溶液の部分と同一であるかという、土壌溶液の研究を進める上で非常に本質的な問題を含んでいる。

表一 2 の結果は、他の多くの結果と同様に、濃度と含水比との積はほぼ一定の値となるが、詳細にみると三種類中二種の土壌では含水比が減少すると積の値はやや増大している。この結果は、土壌溶液の濃度の上昇度合が土壌中の水分含量の減少度合よ

り多少急激のおこなわれていることを意味しており、土壌中に残存していた土壌溶液部分の平均的濃度は採取されてきた土壌溶液の濃度よりも希薄であることを示唆している。

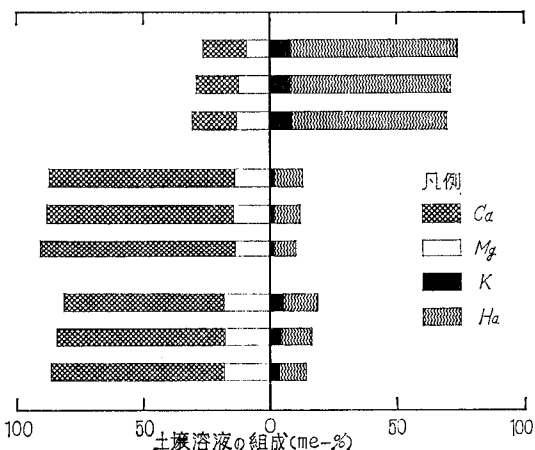
拡散電気二重層の説によれば¹⁰⁾、二重層内においては遊離の電解質 (free electrolyte) の濃度の分布は均一ではなく、土壌粒子の表面に近づくほどその濃度は低下するような濃度勾配が存在しているとされている。また土壌の固相に強く吸着されている水は、自由水とは異なり、溶媒として作用する能力が失われているとされており、この部分の水を Bouyoucos は Unfree water と名づけ¹¹⁾その量を土壌が凍結するさいの体積変化から、また Rode は「強結合水」と名づけ¹²⁾その量を土壌の湿潤熱から 1g につき 80cal の熱を生ずるとして算出することができるとしている。これらの説はいずれも、上記の土壌に残存した土壌溶液の部分が採取されてきたそれよりも濃度が低いという仮説が正しいことを示している。

そこで、Rode の方法によって、「強結合水」の部分と、土壌溶液の濃度の積を算出すると表一 2 に示すような結果を得る。積の値は水分含量の減少とともに低下しており、Rode の方法で算出した強結合水の一部は溶媒として働きうる能力を持っていることになり、この方法では補正することは不可能であることが知られた。

4. 土壌の水分含量の変化に伴う土壌溶液の陽イオン組成の変化

前項 3 に示した方法で得られた土壌溶液の陽イオン組成を図一 5 に示す。三種類の土壌とも水分含量が減少するほど、すなわち土壌溶液の濃度が上昇するほど、2個の陽イオンの割合が増加し、その分だけ1個の陽イオン

土壌の種類 含水比



図一 5 土壌の水分含量の変化に伴う土壌溶液中の陽イオン組成の変化

* 通常は30分の遠心分離で十分である⁵⁾

表一 3 土 壌 の 置 換 性 陽 イ オン 溶 液 の 陽 イ オン と の 間 の 平 衡 を 示 す 各 式

基礎となる理論	式	提 唱 者
Donnan の膜平衡	$\frac{(M)}{\sqrt{(D)}} \times \sqrt{\frac{(D)}{M}} = 1$	Vageler and Woltersdorf ¹⁵⁾
質量作用の法則	a) $\frac{(M)}{\sqrt{(D)}} \times \sqrt{\frac{(D)}{M}} = K$	Kerr ¹⁶⁾
	b) $\frac{(M)}{\sqrt{(D)[(M)+(D)]}} \times \sqrt{\frac{D}{M}} = K$	Vanselow ¹⁷⁾ Krishnamoorthy and Overstreet ¹⁸⁾
	c) $\frac{(M)}{\sqrt{(D)[1.5(D)+(M)]}} \times \sqrt{\frac{D}{M}} = K$	Krishnamoorthy et al ¹⁹⁾ Krishnamoorthy and Overstreet ¹⁸⁾
Langmuir の式	$\frac{(M)}{2(D)} \times \sqrt{\frac{D}{M}} = K$	Boyd et al ²⁰⁾
電 気 二 重 層	$\frac{(M)}{(D)} \times \sqrt{\frac{D}{M}} = K$	Eriksson ²¹⁾ Schofield ²²⁾ Bolt and Peech ²³⁾

* (M) : 置換性の1価の陽イオン
 (D) : " の2価 " M : 溶液中の1価の陽イオンの濃度(正確には活動度)
D : " の2価の " (" ")

の割合が減少するのが認められる。この現象は、用いた三種類の土壌にかぎって認められるものではなく、数多くの土壌について一般的に認められる現象であり¹³⁾¹⁴⁾、dilution and valency effect と名づけられている。この結果は、いうまでもなく土壌溶液の濃度が変化することによって土壌溶液の陽イオンと置換性の陽イオンとの間の平衡がずれることがその主要な原因となっている*。

そこで、いま土壌の置換性陽イオンと(土壌)溶液中の陽イオンとの平衡について考えてみよう。土壌の固相に吸着されている置換性の陽イオンと、これと平衡している溶液中の陽イオンとの量的関係を示す式を求めることは、古くから非常に興味のあるテーマの一つとなっており、数多くの研究者によってそれぞれ異なる物理化学的な基礎の上になつて幾多の数式が提唱されてきている。それらのうちの代表的なものを要約したのを表一3に示す。これらの式はそれぞれ異なつてはいるが、いずれの式も、もし土壌の置換性陽イオンの組成が一定に保たれているとすれば、溶液中の1価の陽イオンの濃度と2価の陽イオン濃度の平方根との比は、常に一定の値となることを示している。

土壌溶液の濃度が土壌の水分含量が減少することによって上昇すると、土壌溶液中の2価の陽イオンの割合が増加するのは、先述のように濃度の変化によって土壌溶液中の陽イオンと置換性陽イオンとの間でイオンの交換

反応が起ることがその原因であり、したがって土壌の置換性陽イオンの組成が土壌の水分含量が変化しても一定に保たれているということはありえないことである。しかしながら、2の項で検討したように、土壌溶液の濃度がある程度以下になると土壌溶液中の陽イオンの総量は置換性陽イオン数の数%程度以下となり、この数%のうちの一部がイオン交換反応にあずかるのであれば、土壌の水分含量が変化しても置換性陽イオンの組成は事実上一定であるとみなしてもさしつかえないことになる。

この結論から、通常の湿潤地帯の土壌では、土壌溶液中の1価の陽イオンの濃度と2価の陽イオンの濃度の平方根との比は、土壌の水分含量の多少とは関係なく一定の値となると考えられる。いわゆる ratio law がこれであり²²⁾、土壌溶液中における陽イオンの挙動には、先述の dilution and valency effect の定性的な関係よりさらに厳密な定量的な ratio law が成立すると推定される。

三種類の土壌について、土壌溶液中の活動度比、 $pK - \frac{1}{2}p(Ca+Mg)$ および $pNa - \frac{1}{2}p(Ca+Mg)$ の値と土壌の含水比との関係を表一4に示す。土壌の水分含量が変化しても土壌溶液中のこれらの値は一定に保たれており、表一3に示す各式から導き出された結論、ratio law が土壌溶液中においてもよくあてはまることを示している。

しかし、いうまでもなく上記の関係が成立するのは置換性陽イオンの量が土壌溶液中の陽イオンの量に比較して圧倒的に多量である場合にのみに限定される。土壌溶液の濃度がいちじるしく高い初期の干拓地土壌や濃度障

* このほかにも、溶解性の低い塩が土壌中に存在している場合には、土壌の水分含量の変化にともなう土壌溶液中の陽イオン組成の変動の原因となる。

表一四 土壌の水分含量の変化ともなう土壌溶液の活動度比の変化

土壌の種類	含水比	$pK - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg)	$pNa - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg)
浮石土壌	29.4	2.28	1.28
	22.2	2.23	1.27
	15.6	2.18	1.26
沖積土壌	42.7	2.73	1.72
	34.5	2.73	1.71
	24.2	2.72	1.72
火山灰土壌	63.5	2.39	1.93
	49.2	2.41	1.94
	35.6	2.40	1.95

表一五 土壌：水の比の変化による平衡溶液の活動度比の変化（干拓地土壌の例）

土 壤	土壌：水の比	$pK - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg)	$pNa - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg)
A	1 : 10	1.78	0.54
	1 : 5	1.74	0.46
B	1 : 10	1.61	0.21
	1 : 5	1.59	0.18
C	1 : 10	1.84	0.33
	1 : 5	1.74	0.25
D	1 : 10	1.86	0.51
	1 : 5	1.81	0.42

害の発生しているハウス土壌の場合などにはこの関係は成立しない。その例を表一五に示す。

ここで得られた結論は、土壌溶液の研究を進めていくうえで、非常に有意義である。土壌溶液の濃度、組成は非常に変動しやすい性質を持っており、土壌の内外部からの種類の影響を受けて絶えず変化していると考えられる²⁴⁾。したがって、その研究の主要な目標は土壌溶液の動態を土壌中の水の動き、作物の生育、施肥、降雨などの種々の外的条件の変化と関連づけて追跡していくことにある。この場合、採取時期によって土壌の水分含量が同一でないことが採取時を異にする試料間での土壌溶液の濃度、組成の比較を困難にしていた。しかし上記の結論から、土壌溶液の $pK - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg), $pNa - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg) の値は土壌の水分含量とは関係なく一定であることが知られ、これらの値の変化を追跡することで土壌溶液の動態の追跡が容易におこなえるようになる。そしてこの値に大きな変化が起ったような場合には、土壌溶液と外界との間に何らかの原因によって物質のやり

とりが行なわれたと解釈すべきであろう。施肥による例として、土壌に KCl を添加した場合の土壌溶液の $pK - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg) の値の変化を図一六に示す。土壌溶液の K の活動度比は施肥することで非常に急激に低下していくのが認められる。

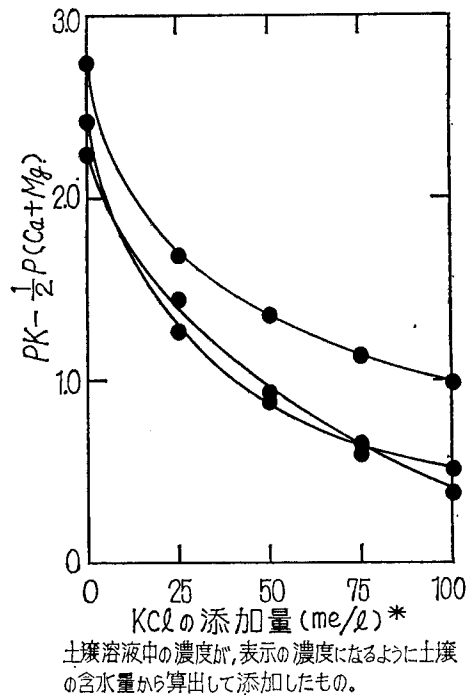
5. 土壌の水分含量が変化した場合の土壌溶液中の 1 価および 2 価の陽イオンの濃度の算出法*

当初の土壌溶液中の 1 価および 2 価の陽イオンの濃度をそれぞれ M および D (me/l) とし、いま土壌の水分含量の変化によって土壌溶液全体の濃度が n 倍になったと仮定しよう。その場合に、1 価の陽イオンが m 倍、2 価の陽イオンが d 倍の濃度になったとすると、m および d は

$$m = n - \frac{X + 2n - \sqrt{X^2 + 4n(X+1)}}{2}$$

$$d = n + \frac{X[X + 2n - \sqrt{X^2 + 4n(X+1)}]}{2}$$

であたえられる。ただし $X = M/D$ 、すなわち当初の土壌溶液中の 1 価および 2 価の陽イオン濃度の比である。この X の値と全体の濃度が何倍になったかの二つの値がわかると、その時の土壌溶液中の 1 価および 2 価の陽イ



図一六 KClの添加に伴う土壌溶液の $pK - \frac{1}{2}p$ (Ca+Mg) の値の変化

* 正確には濃度ではなく活動度です。

表一六 土壌の水分含量が変化した場合の土壌溶液中の1価および2価陽イオンの濃度の分析値と計算値

土 壌 の 種 類	1 価 お よ び 2 価 陽 イ オ ン の 分 析 値 お よ び 計 算 値						n'	X
		Ca+Mg (me/l)	定 量 値 に 対 す る ず れ (%)	K+Na (me/l)	定 量 値 に 対 す る ず れ (%)			
浮 石 土 壌	当	初	0.22	—	0.62	—		2.82
	分	析	0.32		0.78			
	計	算	0.34	+ 8	0.77	- 2	1.32	
	分	析	0.40		0.91			
沖 積 土 壌	当	初	14.1	—	2.04	—		0.14
	分	析	17.6		2.39			
	計	算	17.8	+ 2	2.28	- 5	1.24	
	分	析	28.1		3.08			
火 山 灰 土 壌	当	初	2.77	—	0.63	—		0.23
	分	析	3.94		0.74			
	計	算	3.63	- 8	0.72	- 3	1.29	
	分	析	6.14		0.95			
	計	算	5.40	-12	0.88	- 7	1.78	

オンの濃度は算出することが可能となる。

これらの計算式を用いて、土壌溶液の濃度は3の項で述べたように土壌の水分含量とほぼ反比例することから土壌の水分含量の変化の比の逆数を n' とし、この n' と X から前記の三種類の土壌で土壌の水分含量が変化した場合の土壌溶液中の1価 (Na+K) および2価 (Ca+Mg) 陽イオンの濃度を算出し、分析値と対比した結果を表一六に示す。計算値と分析値とのずれは大きい場合でも±10%程度、普通は±数%の範囲内にあることが認められ、実用上十分に役立つものであると考えられる。

3. おわりに

土壌溶液中における養分の挙動は、主として各種養分の土壌固相と土壌液相との界面における挙動によって支配されていると考えられる。土壌溶液中の養分と土壌固相表面との相互作用の一つは静電的な力によるものであり、その様相は主としてイオンの電荷と固相の電荷密度によって左右される。しかしこのほかに、静電的な力以外の力 (たとえばイオンの極性など) によって支配されている相互作用もあり、この場合にはそれぞれのイオンについて特有の様相を示す。

土壌溶液中における陽イオンの場合には、固相表面との相互作用は主として静電的な力に基づくものである

ので、これまでに述べてきたように比較的簡単に取り扱うことが可能である。一方これに対して、土壌溶液中の陰イオンの場合には、固相との相互作用がほとんど認められない Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} か、あるいは非常に強い結合をおこなうリン酸イオンとがある。したがって、土壌溶液中の陰イオンの挙動は非常に単純な様相のイオンの場合と、これとは逆に相当り複雑なリン酸イオンの場合とがあり、陽イオンの場合のように簡単には取り扱うことはできない。

さらに、土壌溶液中における養分挙動の動的側面を考えた場合には、土壌溶液中に溶存している養分の土壌中での移動のありさまをも明らかにしておく必要がある。この養分の移動は、拡散現象と、土壌中での水の移動とともに移動するいわゆる mass flow によるものがある。これらの現象、特に土壌中での水の移動は、土壌物理部門での興味ある研究テーマの一つであろう。土壌溶液中での養分の挙動について、今後さらに詳細な知識を集積していくためには、特にこの分野での研究の進展が期待される。

〔謝辞〕 試料の比表面積および湿潤熱の測定をしていただいた、九州大学農学部土壌学教室の和田光史助教授ならびに江頭和彦氏に感謝します。

引 用 文 献

- 1) 田上三夫：未発表データ
- 2) 毘 忠男： 〃
- 3) 塩崎尚郎： 〃
- 4) FRIED, M., and SAPIRO, R. E. : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **12**, 91 (1961)
- 5) 山崎慎一, 木下 彰：土肥 誌**40**, 301 (1969)
- 6) PAPER, F. W. : *Soil Sci.*, **12**, 209 (1921)
- 7) BURGESS, P. S. : *ibid.*, **14**, 191 (1922)
- 8) REITMEIER, R. F., and Richards, L. A. : *ibid.*, **57**, 119 (1944)
- 9) VAN WIJK, D. J. R. : *Proc. Dept. Conf. S. Africa, Div. Chem.*, **1929**, 461 (1929) ; *Chem. Abstr.*, **24**, 2222 (1930)
- 10) BOLT, G. H. : *J. Colloid Sci.*, **10**, 203 (1955)
- 11) BOUYOCOS, G. J. : *J. Agric. Research*, **8**, 195 (1917)
- 12) A. A. ローゼ：土壌と水, 山崎不二夫監訳東京大学出版会 (1963)
- 13) REITMEIER, R. F. : *Soil Sci.*, **61**, 195 (1946)
- 14) MOSS, P. : *Plant and Soil*, **18**, 99 (1963)
- 15) VAGELER, von P., and WOLTERS DORF, J. : *Z. Pflanzenernähr, Düng. Bodenk.*, **15**, 329 (1930)
- 16) KERR, H. W. : *J. Amer. Soc. Agron.* **20**, 309 (1928)
- 17) VANSELOW, A. P. : *Soil Sci.*, **33**, 95 (1932)
- 18) KRISHNAMOORTHY, C., and OVERSTEET, R. : *ibid.*, **69**, 41 (1950)
- 19) KRISHNAMOORTHY, C., DAVIS, L. E., and OVERSTREET, R. : *Science*, **108**, 439 (1948)
- 20) BOYD, G. E., SCHUBERT, J., and ADAMSON, A. W. : *J. Amer. Chem. Soc.*, **69**, 2818 (1947)
- 21) ERIKSSON, E. : *Soil Sci.*, **74**, 103 (1952)
- 22) SCHOFIELD, R. K. : *Proc. 11th Intern. Congr. Pure and Appl. Chem. (London)*, **3**, 257 (1947)
- 23) BOLT, G. H., and PEECH, M. : *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **17**, 210 (1953)
- 24) LINSER, H. : Die anorganische Bestandteil der Bodenlösung. in *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung*, 2 - 1, P. 353 Springer-Verlag, Wein (1966)

毛管連絡切断含水量について

椎 名 乾 治*

野 中 仙 三 郎**

1. 毛管連絡切断含水量の概念

毛管連絡切断含水量の測定は現在広く行なわれてはいない。しかし、畑作生産の場において、土壌—作物—気象系における水分移動を取り扱うときには、必ず問題となる概念で、難動毛管水点、毛管力遅滞点などとも呼ばれている、毛管張力の理論と測定が土壌水分エネルギーに着目して行なわれているのに対して、毛管連絡切断含水量の概念と測定は、あくまで毛管水膜の実態を明らかにしようとする立場から行なわれるのが特徴で、土壌中において、毛管水膜が連続して移動できる限界水分量を求めようとするものである。

ローゼの定義によると、毛管連絡切断含水量とは、この値をこえると、懸垂水が水消費の点または面へ連続体として移動できるようになる土の最少の含水量である。彼によると毛管連絡切断含水量のとき土壌中には、強結合水の最大可能量と弱結合水の相当量が含まれており、この値は隔離した土壌柱で懸垂水の蒸発実験を行なって決めるが、生長遅延含水量の値に等しいかまたはそれに近いとしている。

このようなローゼの考え方は、ワイドストエヤマクロウグリニのいう Lento capillary point の概念にも通じるもので、作物根の吸水に対する土壌の水分供給能力を示すものである。彼らは、1912年カンガイされた畑の水の運動に関する実験を行い、毛管水を最大毛管容水量、最適毛管水量（圃場容水量）、毛管力遅滞点（Lento capillary point）の三つに分類し、毛管力遅滞点付近の水分では、その移動が非常に遅くなるもので、その値いは吸湿係数のほぼ2倍に当るが、正確には決められないとしている。

わが国では真下が1960年に毛管移動水の性質を明らかにするため、吸水板を使用して、不攪乱土壌の水分を脱水させ、土壌水の移動が事実上停止する含水状態は、ほ

ぼ pF 2.7 に相当することを示している。

1960年椎名は畑地水分の減少機構を研究し、連続水膜を形成して迅速に根毛の吸水点に移動できる限界水分を連続水膜形成限界水分点と名づけ、同じく吸水板で脱水して、その値を求め、pF 値でほぼ2.7~3.0に相当することを明らかにしている。

2. 測定方法

ローゼのいうような、蒸発実験による方法も考えられるが、この測定法では相当の長時間を要することが予想され、多数の試料を処理するには問題がある。そこで、ここでは筆者等が行なっている吸水板（素焼板）による脱水方法について、具体的な測定法と問題点を述べることにあつた。

(1) 具体的測定法

原理：100cc円筒の一端に吸水板を密着させると、吸水板に直接接する土粒子の水分を除いて、大部分の土壌水は連続水膜を形成する限界水分量までは、移動して吸水板に吸水される。

試料および操作：100ccの定容採土器で採土する。採土した試料は実験室で毛管吸水させ、ほぼ最大飽和容水量の状態とした後、30cmの砂柱にのせ平衡状態（pF 1.5に相当する水分量）とし、これを吸水板に密着させ、土壌面蒸発を防ぎながら24~48時間後の土壌含水量を測定する。

表示方法：土壌の容積水分率で表示する。

(2) 測定方法上の問題点

a. 採土円筒内の水分量変化 100ccの採土円筒の平均含水量を求めて、毛管連絡切断含水量としているが、はたして円筒内に水分勾配がついていないかどうかどう問題がある。

そこで、砂土、砂壤土、壤土の三つの種類について、上記方法で測定を行なった後採土円筒内の吸水板よりの高さの異なる部位において含水量の測定を行なった結果を表一に示した。

* 農業土木試験場

** 宮崎県総合農業試験場

表一 吸水板からの高さによる水分変化

土 壤 別	吸水板からの高さ		
	0.5~1.5cm	2.0~3.0cm	3.5~4.5cm
砂 土	11.3%	11.7%	12.0%
砂 壤 土	36.5	36.7	36.8
壤 土	55.9	55.9	56.0

この結果からすくなくとも5cmの距離では、各部位でほとんど含水量は変わらず、連続水膜を形成して吸水板まで移動吸収される水量とその限界水分量が存在することは明らかである。

しかし、毛管連絡切断含水量が土壌の作物根への水分供給能力を示すものとする、作物根の吸水速度と吸水点からの距離に關係して定めなければならない値であると考えられる。これらの点について、さらに土柱の長い試料についての検討が必要である。

高さ50cmのガラス円筒に砂土と火山灰土とをてん出し、圃場含水量の状態、吸水板を上端に密着させ保留水分を吸引し各土層の5日毎の水分変化を測定した結果を表一2に示した。

表一2 高さ50cmの土柱の水分変化

高 さ	平 塚 砂 土					相 模 原 火 山 灰 土				
	0日	5日	10日	15日	20日	0日	5日	10日	15日	20日
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
45 cm	24.0	21.8	18.9	16.5	16.3	44.2	32.2	23.1	8.3	1.5
40	24.0	22.1	18.8	17.8	16.5	44.5	33.3	23.1	5.3	1.5
35	24.2	22.0	19.5	18.5	16.8	45.0	35.3	23.2	8.3	0.1
30	24.4	22.8	19.5	18.6	16.8	45.1	36.3	23.2	5.3	2.0
25	24.3	22.9	20.5	19.0	17.5	45.5	33.3	23.2	5.3	2.5
20	24.8	23.0	21.0	19.1	18.1	45.2	34.0	23.4	5.3	2.8
15	25.1	23.1	21.5	19.2	18.3	46.1	34.5	23.3	8.3	3.0
10	25.5	23.5	22.0	19.5	18.5	46.1	35.0	23.4	8.3	3.5
5	25.7	24.0	22.5	19.5	19.0	47.0	37.0	23.5	5.3	4.8

これをみると、50cmの距離でも時間をかければ、砂土で7~8%、火山灰土で15%程度の含水量は移動して吸水板に吸水されること、毛管連絡切断含水量まで完全に移動消費される距離はほぼ20cmであることなどがわかる。

しかし、これらは実際の畑地における吸水モデルとはやや異なっているので、さらに土壌の不飽和透水係数の測定とともに理論的、実験的な研究が必要であろう。

b. 吸水板の含水量と吸水力の関係 円筒を吸水板上に密着させて土壌水分を吸水させる場合、吸水板の含水量によって吸水力が変化することが予想される。このた

めに次のような実験を行なった。吸水板の最大吸水量を100としたとき、これの20%、40%、60%、80%の含水量状態の吸水板で同一試料の毛管連絡切断含水量を求めた。結果を表一3に示す。

この結果は、60%以上の吸水状態の吸水板では、毛管連絡切断含水量はやや高い値を示しており、吸引した水分で素焼板の孔隙が飽和して吸引力が弱まることがかかる。このことから、実験に当っては、常に吸水板の含水比が50%以下になるように注意することが大切である。

表一3 吸水板の含水比と毛管連絡切断含水量

土 壤	吸 水 板 の 含 水 比			
	20%	40%	60%	80%
砂 土	11.0%	11.0%	13.6%	24.3%
砂 壤 土	33.4%	36.7%	39.2%	45.0%
壤 土	55.9%	56.6%	60.1%	70.1%

c. 吸水時間 吸水時間すなわち素焼板上で放置する時間によって円筒内の水分量にどの程度の差異があるかをみると表一4のようである。この結果から24時間でいづれの土壌もほぼ平衡状態に達し、それ以降の含水量の減少は1%以下であることがわかる。

このことは、特別の土壌を除いて24時間の吸水でほぼ毛管連絡切断含水量が求められることを示している。

表一4 吸水時間による円筒内含水量の変化

土 壤 別	吸 水 時 間			
	12時間	24時間	48時間	72時間
砂 土	15.1%	11.0%	11.0%	10.7%
砂 壤 土	42.0%	36.5%	36.4%	36.3%
壤 土	62.7%	56.0%	55.9%	55.5%

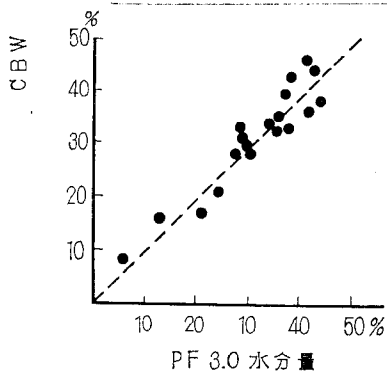
d. その他 毛管連絡切断含水量は、生長阻害水分点の指標となるものであるから、土層形態の異なる各土層から採土することが望ましい。

毛管連絡切断含水量は、それ自体作物土壌水分系における、一つの水分定数を表わすもので、pF値と関連させて考える必要はないわけであるが、総合的な判断を行なう場合などには、対応pF値がわかっている方が便利なが場合が多い。

そこで、筆者がいままでに各地の異なった土壌について、毛管連絡切断含水量とpF水分関係を測定したものについて、その相関関係をみると図一1のようである。

表—5 試料採取場所および土壌

	場 所	土 壌	備 考
1	新潟市内野町	海岸堆積砂土	
2	平塚市農土試圃場	沖積砂壤土	
3	群馬県藤岡市三ツ木	沖積砂壤土(畑)	
4	〃	〃 (水田)	ブルドーザで締固めて開田したもの
5	福島県石川町	花崗岩風化砂壤土	
6	神奈川県相模原市	火山灰性壤土(黒色)	
7	福島県石川町母畑	〃 (黒褐色)	
8	鳥取県倉吉市	〃 (黒色)	
9	新潟県大和町	〃 (黒褐色)	
10	福島県吾妻町	礫混り壤土(暗褐色)	2~5mm約20%含有
11	新潟県大和町	礫混り壤土(黒褐色)水田	2~5mm約15%含有
12	〃	〃 輪換畑	牧草に輪換して3年目
13	群馬県小持村	浮石混り壤土(灰褐色)水田	2~5mm約10%
14	〃	〃 畑	
15	〃	〃 輪換畑	水田と1年輪換 コンニャク
16	福島県吾妻町	洪積暗褐色壤土	
17	福井県三国町	洪積灰黒色植壤土	
18	山形県日河町	洪積赤褐色壤土	
19	新潟県小木町	洪積褐色植壤土	



図—1

これらから毛管連絡切断含水量は主としてpF 2.7~pF 3.2程度の水分量に対応しており、これらの値が生長有効水分量の上限界に相当するものと

考えられる。

3. あとがき

毛管連絡切断含水量の概念と測定法の概要を述べた。いくつかの試験結果から明らかなように、毛管水領域の中には、連続水膜を形成して、迅速に吸水の点または面に向かって移動できるものがあり、その限界水分量が存在する。従来生産力的水分定数を取り扱うには、水分エネルギーすなわち pF 理論によるものがほとんどで、このような土壌構造と吸水力およびその場によって定めら

れる実態的研究手法が用いられることはまれであった。もちろん、水分エネルギー理論は土壌水の研究を実態論的段階から、本質論的段階に高めるための有力な武器になりうるものではあるが、これを進める段階では、ここに述べたように土壌水の実態をより精確にしかも生産力関連を明確にしながら追求することは極めて重要であろう。

今後この定数の定量化をさらに合理的に行なう方法の開発とともに、この定数と作物生産との関連からの研究が盛んになることが望まれる。

参 考 文 献

- 1) Widtsoe, J. A. and W. W. Mclaughlin(1912): The movement of water in irrigated soils, 115, Utah Agr. Exp. Sta. Bull.
- 2) A. A. ローゼ (山崎不二夫監訳) (1963): 土壌と水 52.83 東京大学出版会
- 3) 椎名乾治(1963): 蒸発散による畑地水分の減少機構に関する研究 99~115. 農土試報告1号
- 4) 椎名乾治(1965): 畑土壌における生産力的水分定数の測定例 土壌物理研究28, 農土学会土壌物理研究会
- 5) 真下育久 (1960): 森林土壌の理学的性質とスギ、ヒノキの成長に関する研究 17~20 林野土壌調査報告11号

土 壤 の 粘 弾 性 挙 動

吉 田 力*

1. ま え が き

Scofield の提起した土壤水のエネルギー指数 pF は土壤の保持する水の量的な把握から質的意義づけが行なわれた¹⁾。そしてこれは土と水の関係に着目して再整理され²⁾³⁾、土壤水の状態量から、ある限られた範囲内では土壤の状態量としての理解がなされ⁴⁾、土壤の粘弾性挙動、また強度特性と深い関係を持つものとして重視されてきている。作物の分野における pF の取り扱い、水分の吸収、養分、水の移動、乾燥の課題に応え、その適用範囲は広い。

一方土の力学的挙動を、クリープ、緩和現象から、粘弾性体として解析することは、土と水の関係をうかがわせる最も基本的な方向を与えるものといえよう。これらの現象の把握はいろいろ試みられ、そのモデルも提起され⁵⁾⁶⁾、土の挙動をレオロジカルな観点から追求するという新しい方向を示すものといえる。これらのモデルは大別して線型、非線型を示すものに分けられる。理論的には前者の考えがより取り扱いやすいという特徴はあるが、土そのものは本質的には後者の方がより実情に近い。ここでは土の粘弾性挙動を線型としてとらえ、充填による土壤の変化を加味しつつ、クリープ特性、 pF と貫入抵抗の関係について若干述べる。過去のシンポジウムでとりあげられた問題については紹介程度にとどめることにする。

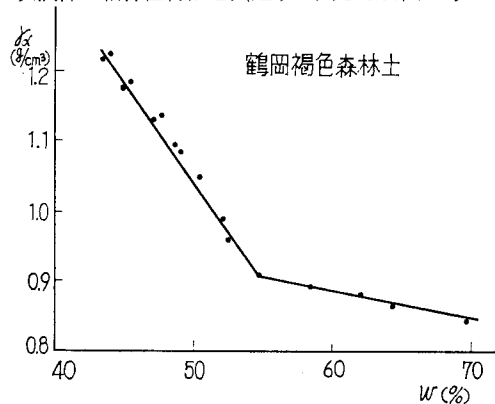
2. 力学的転移点

土の場合の力学挙動は不連続な変化は考えられず、土粒子間をむすびつける水の状態量により決まる二次転移点とみなされる。ゾルとしての挙動を示していた高含水比の土は、含水比が少なくなると次第にゲル状を呈してくる。この状態を示す点、すなわち沈降体積の pF はおよそ -1.5 とされ⁷⁾、コンシステンシー状態は液体から Voigt 体へ変わる。次に LL (液性限界) についての pF の検討は⁸⁾、力学的転移点としてとらえられる。PL (塑性限界) は pF 3 付近とされ毛管水の連続性がこの点を

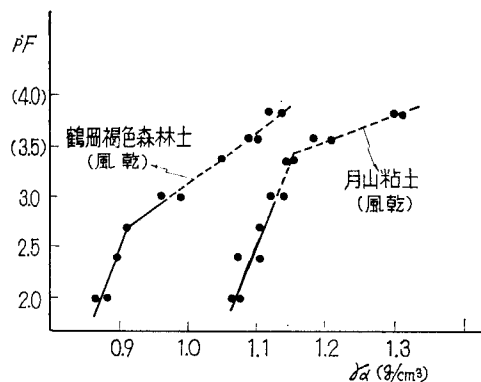
境にして問題となる。LL-PL 間ではパーガース体とみなされる⁹⁾。また JIS による最適含水比とこの点はほぼ一致するものとみなされ、生土、風乾土の締固め特性も明らかにされている¹⁰⁾。収縮限界は pF 4.2 と考えられ、速度過程としての認識が指摘された¹¹⁾。土の力学挙動を扱うさい重要な問題の一つである、軟化、硬化現象も pF 概念に基づき説明された¹²⁾。このように pF 、レオロジーの導入により転移点をとらえると、土の特性の理解はより一層容易なものとなる。

3. 充填の問題

供試体の粘弾性特性を決定する大きな要因と考えられ



図一 (a) 遠心脱水と充填の関係



図一 (b) 遠心力による充填

* 山形大学農学部

る土の状態量としての乾燥密度 ρ_d 、含水比 w の取り扱いについて考える。軟らかい土では、土壌の状態量は土壌水の状態量と等価になり得るものと考え、これを pF で論ずることが可能となる。しかし不飽和系の土では勿論、飽和系でも pF 1.5 (実用的には2.0程度) 以上の固い土では土粒子間の摩擦による影響がより顕著になるものと考えられよう。

1. 遠心力による充墳

図一1-(a), (b)はそれぞれの遠心力場で平衡に達した土壌の ρ_d と w 、遠心力と ρ_d の関係を示したものである。粘土鉱物、生土、風乾土によって若干のちがいはあろうが、 ρ_d -遠心力の関係で一般には折れ点がみられ、遠心力により充墳特性が異なるものと思われる。 pF - w 曲線にはこの関係がみられずスムーズな変化をしている。このように充墳という観点から遠心 pF をみると、これは、側方拘束、排水自由、締固めエネルギーを変化させた特殊な締固め試験として利用することができる。遠心法については色々問題もあるが、実験が非常に簡単であるという特徴の故に、わが国では広く用いられ、その実用的な意義も検討されてきている¹³⁾¹⁴⁾。

2. 一定荷重による充墳

JIS による突固めは衝撃荷重を用いているが、ここで

は静荷重による締固め特性について若干述べる。この方法によれば供試体のコントロールが比較的容易である。図一2は同一含水比の試料をモールドで載荷重を変えて求めた ρ_d - \log (荷重 P) の関係である。ある範囲では、

$$\log p = a + b \rho_d$$

という直線関係が認められる。しかし P が小さくなると直線からはずれる。これはモールド内壁の摩擦による影響と理解され、含水比、 P により異なる。図一3は飽和度と P の関係であり飽和度90~95%まではほぼ指数関係を示す。土壌の状態量は P により規定されることを考えると、土の力学的挙動を扱う場合、充墳特性と P の関係は今後さらに明らかにさるべき問題である。

4. 遅延特性

1. 線型性の問題

土は一般に非線型挙動に示す。イニシャルセットの除去 (実験では荷重を瞬間的にかける)、歪硬化の概念の導入といった実験上の問題を克服することによって、限られた範囲内では線型として把握しようところみられ、新しい方向を示した。また粘弾性体としての土は熱レオロジー的単純性の仮定の導入により、温度-時間-周波数の換算則の成立が検討され、さらにこれは基準 pF を力学的転移点にとることにより、その等価性が実験的に調べられようとしている¹⁵⁾¹⁶⁾。このような研究を可能にしたのは供試体作成¹⁷⁾も含めて実験技術が進んだためであろう。

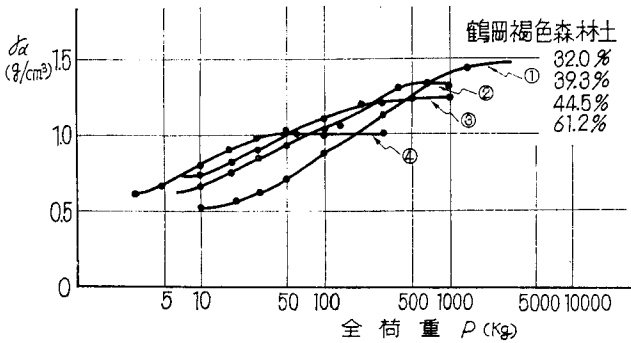
2. 土のスペクトル

土の粘弾性挙動をより基本的に把握しようとするには遅延、緩和現象に着目して整理することになる。そしてその解析にはスペクトル表示が便利である。土の遅延スペクトルは一般にクサビ型になり遅延スペクトルに基づいて土をパーガース体とおく近似の意味が明らかにされた¹⁸⁾⁴⁾。またねり返しによる遅延スペクトルの変化を水の自由化という観点からの検討¹⁹⁾、土の充墳状態によるスペクトルの変化、くり返し荷重の影響等²⁰⁾も検討され、かつ広い範囲にわたる測定の可能性も明らかにされた¹⁵⁾ 図一4は ρ_d と遅延スペクトルの関係を示す。

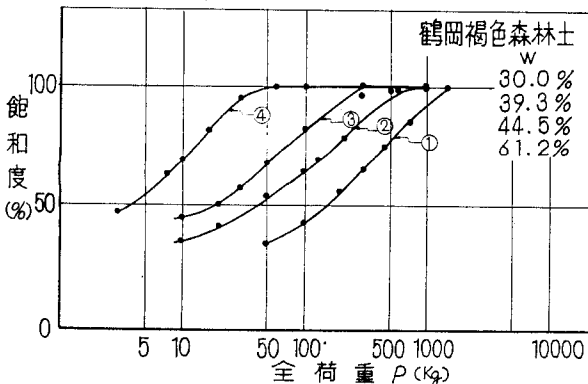
3. 貫入抵抗と遅延スペクトルの関係

スペクトルは供試体の状態に強く影響されるということは明らかであり、粘弾性特性を反映するものであるから、土の強度との間に一定の関係があることが推測される。ここで一定荷重で含水比を変化させた供試体についての貫入抵抗 (2.5mm貫入のCBR値) との関係を求めると図一5のようなほぼ直線関係がみられた。

5. 貫入抵抗と pF



図一2 静的締固め



図一3 飽和度-荷重

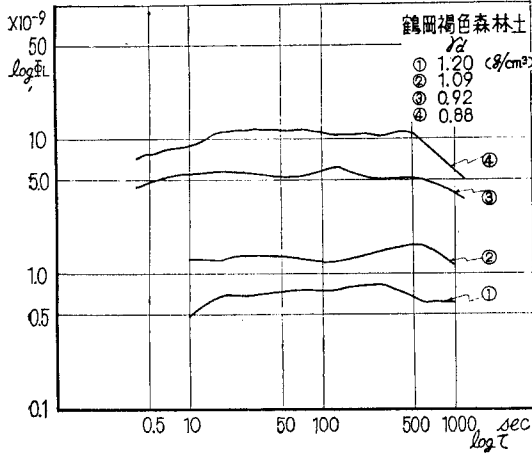


図-4 遅延スペクトル

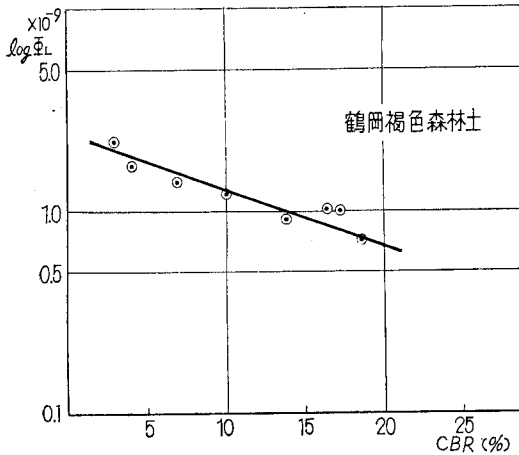


図-5 CBRとスペクトル

pF と強度の深いつながりは、降伏値、一軸強度、コーン指数、支持力など強度試験の結果の理解やその対応をめぐっているいろいろな pF 領域でとりあげられてきた²¹⁾²²⁾。貫入の問題は貫入のメカニズムが複雑であるので、経験的な値として主に用いられてきたが、この理論的な検討も、土壌の物理特性と関連させながら行なわれている²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾。ここでは先に述べた充填のちがいがどのように貫入抵抗に影響するかを、pF、 r_d を中心に若干整理してみる。図-6は pF—log CBR の関係で、ある範囲では直線となる。これは締め荷重を一定にし、含水比を変化させた試料に関するものである。しかしこの関係は締め荷重の高含水比側からピークまでの範囲についていえる。また充填の方法が異なればこの関係はみられない。以上のように土の強度はある限られた範囲では土壌水の状態量 pF と良い対応を示すが、固い土では土壌の状態量である乾燥密度、すなわちそのよう

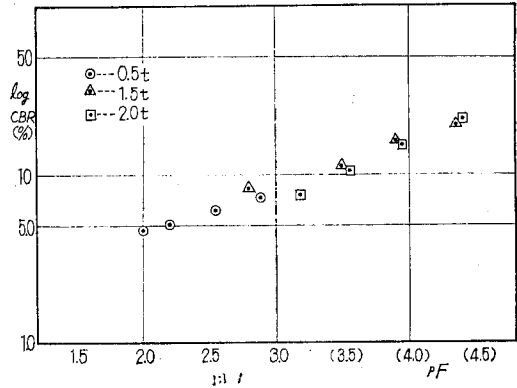


図-6 log CBR—pF

な密度を生じた原因である p に大きく影響される。

6. あとがき

土の粘弾性挙動を考える場合、力学的転移点は重要な意味を持つ。すなわち各点を境にして力学模型は異なり、このような理解が土の挙動を正しく把握することになろう。またこれは強度特性とも直接関係し、それは最適含水比、一般に pF 3 の点を境に著しく異なる。この点は毛管水の連続性が失われる点としても知られている。しかしこの値は対象となる目的により、それぞれ持つ意味が違ってくるであろう。すなわちここで若干とりあげた充填の方法によりその点の持つ意味は異なり、粘弾性挙動を扱う場合、特に重要となろう。

引用文献

- 1) 山崎不二夫・八幡敏雄・須藤清次：関東ロームの物理的性質，農土研別 7，1—14 (1963)
- 2) 岩田進午：土壌水のエネルギー概念について，土肥誌，32，572—580 (1961)
- 3) 妹尾学：土壌水エネルギー指数 pF による土壌構造の考察，農土論集 14，11—15 (1965)
- 4) 須藤清次・安富六郎・山崎不二夫：土の力学的性質および状態量について，材料17，175 275—278 (1965)
- 5) 村山朔郎・柴田徹：粘土のレオロジー的特性について，土木論集，40 1—31 (1956)
- 6) 須藤清次・東山勇・山崎不二夫：固い土の力学的性質，農土論集，14 21—26 (1965)
- 7) 安富六郎：土壌のコンシステンシー，土壌の物理性，11—12 9—23 (1965)
- 8) 徳永光一：pF 土壌水分系による土の物理的、力学的性質に関する二、三の研究，農土研，25，1号 18—24 (1957)
- 9) 東山勇・須藤清次：土の力学的転移点 農土論集，14，27—31 (1965)
- 10) 須藤清次・安富六郎：関東ロームの工学的特性，農土研別7 92—93 (1963)

- 11) 竹中肇：収縮挙動より見た土の工学的性質，農土論集 14 32~35 (1965)
- 12) 安富六郎：火山灰土壌の土工の諸問題 土壤の物理性，18, 36~44 (1968)
- 13) 須藤清次：遠心 pF とその測定法，土壤の物理性，22 35~40 (1970)
- 14) 中村忠春：pF 測定法について，研究の資料と記録，(16, 東大) (1967)
- 15) 東山勇・吉田力：土の緩和スペクトルについて，農土講演要旨，44 151~153 (1969)
- 16) 東山勇：土壌の力学的挙動，土壤の物理性，20 19~24 (1969)
- 17) 東山勇・吉田力：一軸強さに及ぼす温度の影響，農土講演要旨，43 240~242 (1968)
- 18) 須藤清次：土の力学的模型序論，研究の資料と記録，14 69~74 (1965)
- 19) 安富六郎・須藤清次：土のねりかえしによる遅延スペクトルの変化について，農土講演要旨，41, 24~25 (1966)
- 20) 須藤清次・東山勇・吉田力：土の粘弾性について，農土講演要旨，42 208~210 (1967)
- 21) 安富六郎・竹中肇・須藤清次：工学的にみた土の剛性率降伏値と pF について，農土論集，14 49~53 (1965)
- 22) 例えば，山崎不二夫監修土壤物理，養賢堂
- 23) 東山勇・須藤清次：土壌のコンシステンシー測定，土肥誌 37-1(1) 18~27 (1966)
- 24) 金須正幸：農業機械の走行可能性，土壤の物理性，14 10~15 (1966)
- 25) 吉田勲：コーン指数に関する 2, 3 の考察について，土壤の物理性，19, 3~8 (1968)
- 26) 新垣稚裕：農地の地耐力，研究の資料と記録，17, 43~56 (1969)
- 27) 吉田力：CBR 試験における二、三の検討，農土講演要旨，45, 157~159 (1970)

農林省登録腐植酸肥料

フミン酸肥料懇話会

会員メーカー (ABC 順)

アツミン

日本重化学工業株式会社

東京都中央区日本橋小網町2-14(洋糖ビル)

フミゾール

北炭化成工業株式会社

埼玉県戸田市川岸1丁目1-20

エスコン

日本水素工業株式会社

東京都千代田区有楽町1-10(三信ビル)

テルナイト

帝石テルナイト工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷1-31

土 壌 の 付 着 性 に つ い て

——毛管力との関係——

秋 山 豊*

1. 序 論

土壌が農器具や衣服など他の固体表面へ附着する性質は、実際面の立場からは農作業の阻害要因として認められ、土壌物理学や土質工学の分野では、土壌粒子間のぎょう集性や剪断抵抗性などととも、土壌の変形や流動に対する抵抗性を意味するコンシステンシー（結持性）の一要因として認められてきた。

しかしながら土壌の附着性に関しては、これまで若干の研究が報告されているだけで附着の機構についてはもちろん測定法についても検討を要する点が多く、実際面においても附着軽減の十分な対策が確立されていないようである。このことは藍が耕うんのさいの犁体附着の問題に関連した報告においても指摘しているところである¹⁾。

筆者らは土壌の附着性の測定法と機構について研究を続けてきたので、それらを要約して以下に報告する。なお土壌の附着性に関する研究は一般にあまり知られていないようであり、研究の歴史的な発展の過程に非常に重要な問題があるので紹介し参考にとする。

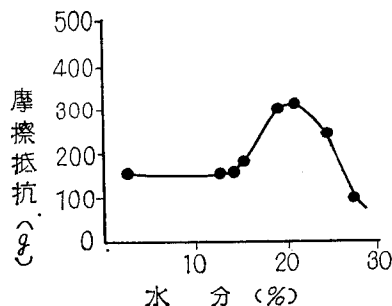
2. 研究の歴史

(1) **Atterberg** の研究²⁾ 土壌の附着性に関する研究の端緒は Atterberg らによって開かれたようで、附着性を初めてコンシステンシーに関係する重要な性質としてとらえた。すなわち湿った土壌表面にニッケル製のヘラをずらしたとき、ヘラに土壌が附着しなくなる限界の水分を“Klebegrenz”（sticky point：粘着点と同意語）と呼び、このときの水分が土壌の流動性を示し始める水分（液性限界水分）にほぼ一致することを見出した。

(2) **Hardy** らの研究³⁾ Hardy さんも粘着点について研究を行ない、粘着点の水分と粘土含量との間に密接な関係を認め、粘着点の水分は粘土粒子の周囲に厚い水膜が形成され、粒子間的小孔隙の多くが飽和されたときの水分を表わすことを推定した。このように Atterberg や Hardy らの粘着点の研究によって、附着性が水膜と関係

することが示唆された。

(3) **Haines** や **Nicols** らの研究⁶⁾¹⁰⁾ 彼らは土壌の附着性を初めて耕うんのさいの金属と土壌間の摩さつ抵抗の要因としてとらえた。すなわち Haines らは土壌と金属間の摩擦抵抗を、水分のことなる場合について測定した結果、図—1 に図示したように摩擦抵抗は少水分の範囲ではほとんど一定であるが、ある水分に達すると水分の増加にともない急増しついに最高に達し、水分がさらに増加すると再び減少しはじめることを見出し、この現象についてつぎのように説明した。a. 少水分段階で摩擦抵抗が一定であることについて；この水分範囲では土壌水分はおもに土壌粒子の周囲に水膜として存在し、粒子間隙の多くはごく微細な隙を除いて不飽和の状態にあり、金属板と土壌粒子間に形成される水膜は非常に少なく、したがって金属板と粒子間には水膜の表面張力にもとづく応力の発生がなく、金属板に作用する応力は一定の外力だけであるために摩擦抵抗にも変化がないものと推定した。b. ある水分範囲で摩擦抵抗が水分にともない増加したことについて；土壌水分が増加し、小さな粒子間隙から順次飽和されると、金属と土壌粒子間にも水膜が形成され始めそれにともない両者間に水膜の表面張力にもとづく応力すなわち附着力が発生し、これが荷重として作用するために摩擦抵抗が増大するものと推定した。c. 多水分段階で摩擦抵抗が水分にともない減少したことについて；この段階では粒子間隙の多くは飽和するために、金属と土壌間の水膜は急速に肥厚し、これが両者の間で潤かつ剤の役割を果す結果、摩擦抵抗が減少しはじめるものと推



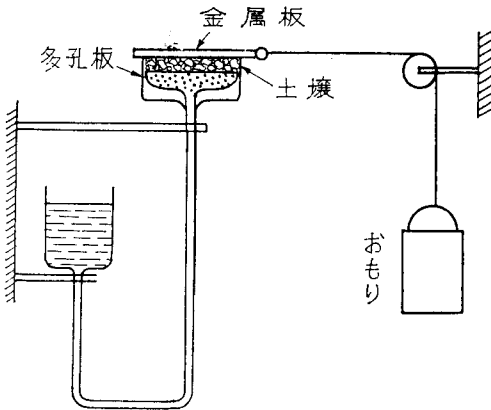
図—1 土壌／金属間の摩擦抵抗と水分の関係 (Haineら)

* 農業技術研究所化学部

定した。

このように、土壌の付着力いかにえれば土壌と附着板間のけん引力は、主として水の表面張力に基づく毛管力によって発生し、これが土壌および附着板に対して、外力（機械的荷重など）とは荷重の性質はことなるがやはり一種の垂直荷重として作用するために、摩擦抵抗が増大することは、 つぎにのべる Payne らの研究によって支持された。

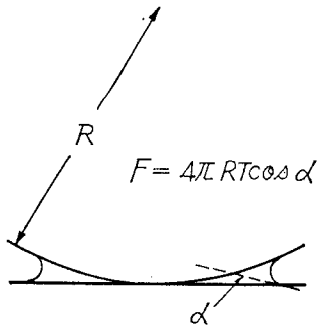
(4) **Payne** らの研究⁽⁴⁾ Payne らはこのことを、図一2のような装置によって附着板（金属）に外力（垂直荷重）を加えた場合と、相当荷重の水分張力（毛管圧）



図一2 土壌／金属間の摩擦抵抗の測定装置 (Payneら)

を作用させた場合とのそれぞれの摩擦抵抗の計測値が、低張力の範囲（飽和近傍）ではほぼ一致することから裏づけした。なお Payne らは摩擦抵抗 (S') と外力（垂直荷重, σ) との間には、剪断抵抗 (S) と外力（垂直荷重, σ) とに関するクーロンの公式と類似の、後者 (σ) を変数とする前者 (S') の一次式が成立することを認め、その定数 (C_a) を付着力として取扱っているが、この点については理論的に論議の余地があり、筆者は後記のように別の見解に立って考えている。

(5) **McFarlane** らの研究⁽⁵⁾ McFarlane らは、



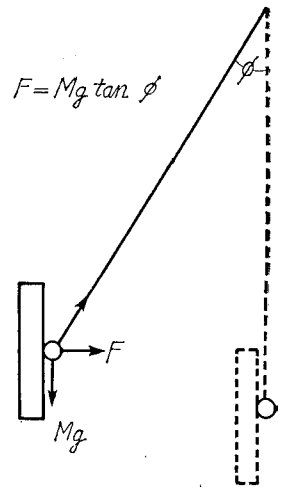
図一3 水膜の毛管力 (Mc Farlanesら)

小ガラス球（1個）が薄い水膜の毛管力によって附着板へ附着する強さ（付着力, F ）を、球の半径 (R) 水膜の表面張力 (T) および附着板の潑水度 (α) の関数として次式のような簡単な理論式（計算式）で表わした（図一3）。

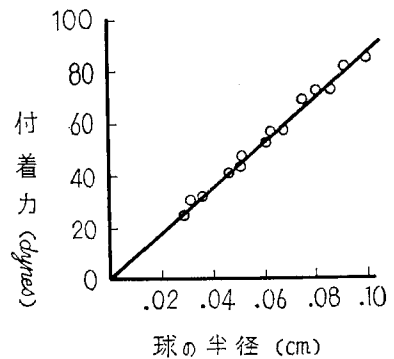
$$F = 4\pi RT \cos \alpha \dots (1)$$

（ただし π : 円周率）

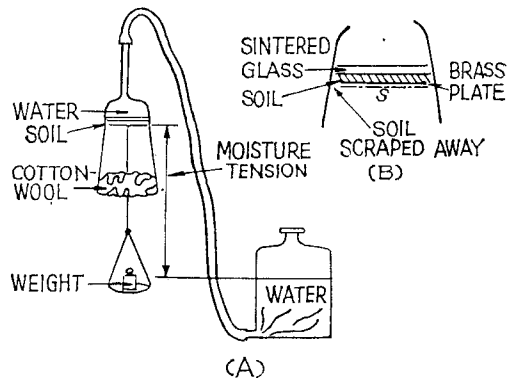
この計算式については途中の算出の過程が示されていないので詳細は明らかでないが、



図一4 振子方式による付着力の測定法 (Mc Farlaneら)



図一5 小ガラス球の付着力と粒径の関係 (Mc Farlaneら)



図一6 引きはなし方式による測定装置 (Fountaine)

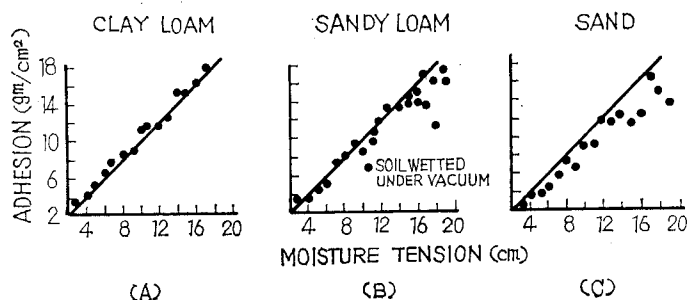


図-7 付着力と水分張力との関係 (Fountaine)

筆者らが導いた理論式⁸⁾から推定して、水膜が薄くかつ付着板が強い親水性 ($\alpha \neq 0$) の場合に限り成立するものと考えられる。McFarlane らは、図-4 のような振り子法によって種々の粒径 (R) のときの付着力 (F) を計測した結果、図-5 に図示したとおり実測値と理論値 (計算値) との間によい一致を認めた。

(6) Fountaine の研究⁵⁾ Fountaine は図-6 のような引きはなし方式による、土壌の付着力の測定法を考案し、付着力と水分張力や付着板の撥水性との関係など付着機構について実験による検討を試みた。その結果付着力と水分張力 (毛管圧) との関係については図-7 に図示したように、低水分張力の範囲において付着力はほぼ水分張力に一致することを認めた。この実験結果は McFarlane らの研究結果とともに、水の表面張力に基づく毛管力が付着力のおもな発生原因であることを強く支持することは明らかである。

(7) 松尾らの研究⁹⁾ 松尾らは Fountaine とはことなるがやはり引きはなし方式の測定装置を考案し、これによって土壌の付着力が粘土およびシルト含量と密接な関係があることを明らかにし、その関係を毛管力に基づいて説明した。

3. 土壌の付着力の測定法および機構に関する検討結果

従来の付着性に関する研究の経過は以上のとおりであ

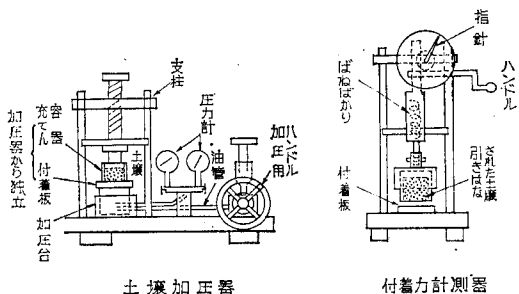


図-8 引きはなし方式による付着力の測定法

り、測定法については付着力を摩擦抵抗の垂直荷重外力に対する関係から間接的に算出する方法 (摩擦方式) と、土壌が付着板の法線方向へ引きはなされる際の抵抗力として直接計測する方法 (引きはなし方式) との二つの方式が開発され、付着力の定量的測定が可能となった。一方付着の機構については、付着力と水分 (張力) および粒径組成とくにシルト以下の含量などと

の関係について若干の実験による検討が試みられた結果、付着力の発生原因がおもに水の表面張力に基づく毛管力に帰着することがほぼ明らかになった。

しかしながら従来の研究では、測定法に関しても測定装置や測定操作法 (測定条件) などについて、一方機構に関しても付着力と付着板の撥水性および孔隙分布 (とくに小間隙量) などとの関係について、いずれも詳細な検討が行われていないことから、これらについて検討した結果を以下に要約して報告する。

1. 測定法に関する検討²⁾

摩擦方式と引きはなし方式とがあるが、土壌間の付着力の比較や測定値と理論値との比較などを目的として、絶対値が直接計測される後者の方式についてまず検討することとし、なかでも松尾らの方法は Fountaine らの方法に比して現地において農機具などへ土壌が付

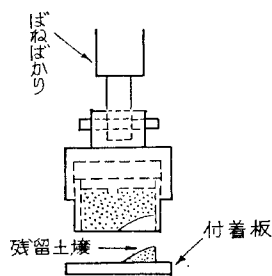


図-9 引きはなし時の土壌の残留

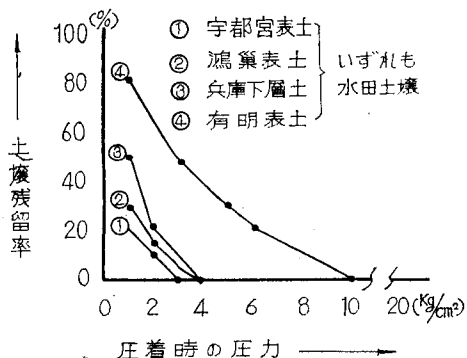
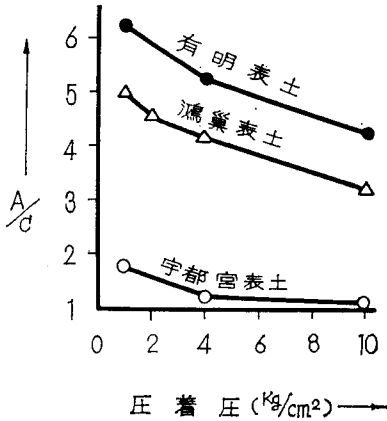


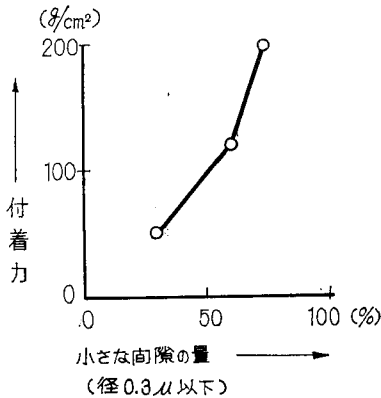
図-10 圧着時の圧力 (圧着圧) と土壌残留率との関係

着する条件に近くまた付着板の交換や、土壌を付着板へ圧着させるさいの圧着強度(圧)の調整が容易なことなどからこれを採ることとし、その装置について若干の改良を施すとともに測定操作法についても検討した。

(1) 測定装置(図一8) 改良後の装置の概要は図一8のとおりであり、付着板および充てん容器、土壌加圧器および引



図一11 圧着圧と付着力(A)の凝集力(C)に対する比(A/C)との関係



図一12 付着力と小間隙量との関係

る。

(2) 測定操作法 測定操作は目的に応じてことなることも考えられるが、筆者らは土壌間の付着力の比較などを目的とし、種々の土壌の付着力を共通操作によって測定できる一つの操作法として、飽和土壌からの一定圧着圧平衡水分での測定を行なうための操作法について検討したのでそのおもな点について述べる。

① 圧着圧と引きはなし時における土壌の残留(図一9)との関係 代表的な土壌についてこの関係を検討した結果は図一10に図示したとおり、引きはなしの際の付

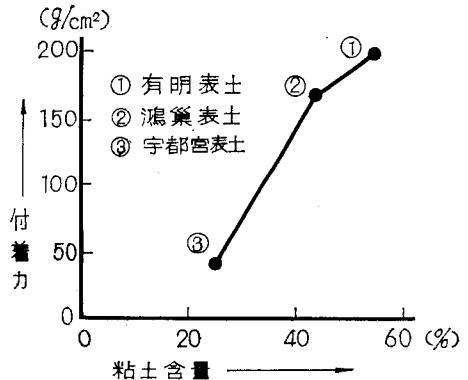
着板への土壌の残留は、いずれの土壌についても付着板への土壌の圧着が強い圧着圧(強度)で行なわれた場合ほど減少し圧着圧 4 kg/cm² 以上の場合には非常に重粘質な有明表土を除く他の土壌ではほとんど認められなくなったが、有明表土では圧着圧 10 kg/cm² 以上の場合にはじめて認められなくなった。このように、圧着圧は 4 kg/cm² 以上とすれば多くの土壌について付着力の正確な測定が可能であることから、土壌間の付着力の比較などのためには圧着圧は 4 kg/cm² 以上とすればよいことが明らかとなった。

② 付着力(A)のぎょう集力(C)に対する比(A/C)と圧着圧の関係 圧着圧の増加にともない土壌の残留割合が低下する現象は、強く圧着した場合ほど粒子と付着板間の毛管力による付着力(A)に対し、粒子間のそれによるぎょう集力(C)が増大する(A/Cが減少)ためと推定されるが、実験の結果も図一11に図示したようにこの推定に一致した。

2. 付着機構に関する検討

(1) 付着力と小間隙量との関係 付着力が毛管力によって発生するとすれば、付着力と小間隙量との間には密接な関係が推定され、検討した結果は図一12に図示したとおりであり、小間隙が多い土壌では付着力も大きいことが認められた。これは小間隙の多い土壌では一般に毛管力も大きいことを示唆するものと考えられる。

(2) 付着力と粒径組成(粘土含量)との関係 この関係についてはこれまで松尾らによって検討され両者の間に密接な関係のあることが報告されているが、筆者らも測定条件を変えたことからこの関係について検討した結果、図一13に図示したようにやはり両者の間に密接な関係が認められた。この現象は筆者らの解析した均一球粒子集合体モデルについての付着理論³⁾によればつぎのように説明される。すなわち粒径Rの均一粒子集合体と



図一13 付着力と粘土含量との関係

付着板間の毛管力による付着力 (F) の強さは、

$$F = k/R \quad (2)$$

(ただし k は水の表面張力, 土壌の水分 (張力) および付着板の水をはじく強さに関係する係数)

と表わされ、粒径以外の水分、付着板の撥水性などの条件がほぼ同じ場合には毛管力による付着力の強さは粒径に反比例することになる。したがって粘土粒子 (2μ 以下) は砂粒子 (200μ 以上) に比して、粒径が $1/100$ 以下であるので前者の付着力は後者のそれに比して 100 倍以上も強いことになり、一般に粘土など微細粒質部分の多い土壌の付着力が大きいことは明らかと推論され、実験の結果を説明できた。

3. 付着力と付着板の撥水性との関係

土壌の付着力が付着板表面の撥水性にえいきようされることは、周知のように土壌がテフロンやパラフィンなど撥水性の強い (親水性の弱い) 器物よりも、ガラスや金属など撥水性の弱い (親水性の強い) 器物に付着しやすいことから推測されるが、両者の詳細な関係については従来説明されていないのでこの関係について検討した。検討の結果は図-14 に図示したとおり、付着力と撥

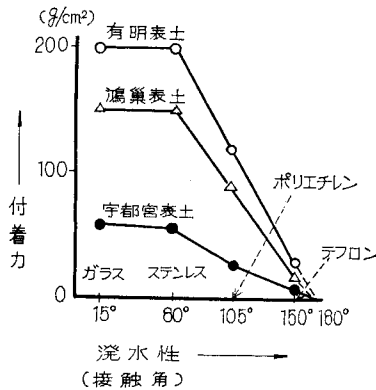


図-14 付着力と撥水性との関係

水性との関係に特徴ある傾向が認められた。すなわちいずれの土壌についても親水性器材 (接触角 90° 以下) のガラス板やステンレス板に対する付着力にはほとんど差異が認められず、そ水性器材 (接触角 90° より大) のポリエチレン板やテフロン板に対する付着力に差異が認められた。このように付着力への付着板の撥水性のえいきようが、接触角 90° 以下の親水性の範囲では非常に小さく、接触角が 90° より大きいそ水性の範囲では接触角 (撥水性) の増加にともない顕著となる現象の理論的説明はかなり困難であるが、筆者らはこの現象を均一球粒子集合体モデルについての付着理論³⁾ のなかで、毛管力が土壌内 (粒子間) 間隙と付着板上の間隙とのそれぞれ

の間隙の形に支配されることに立脚して説明できることを明らかにした。

4. 今後の検討課題

1. 測定法に関して

(1) 付着試料の水分張力の調整 ここにのべた測定法は土壌間の付着力 (絶対値) の比較をおもな目的として検討されたものであり、付着力と水分張力との関係など付着機構の微妙な関係を解明することを目的とする場合には、ポーラスプレートなどを通じて付着試料 (計測試料) の水分張力を厳密に調整する必要がある。

(2) 摩擦方式による測定法について 土壌の付着力の測定法として引きはなし方式と並んで、この方式の重要なことは藍らも指摘しているところであり¹⁾、今後十分に検討する必要がある。

なおはじめにふれたように、Payne らをはじめ一般に摩擦方式による測定では、付着力は垂直荷重 (δ) を変数とする摩擦抵抗 (S') の一次式における定数 (C_α) いいかえれば無荷重 ($\delta = 0$) のときの摩擦抵抗 (S') として取扱われているが、この点についての筆者の見解は以下のものであり、今後議論の必要がある。すなわち S' , δ および C_α の関係は、剪断抵抗 (S), 垂直荷重 (δ) およびぎょう集力 (C) に関するクーロンの式

$$S = C + \delta \tan \delta \quad (3)$$

(ただし δ は内部摩擦角)

に類似する次式

$$S' = C_\alpha + \delta' \tan \delta' \quad (4)$$

(ただし δ' は土壌と金属間の摩擦角)

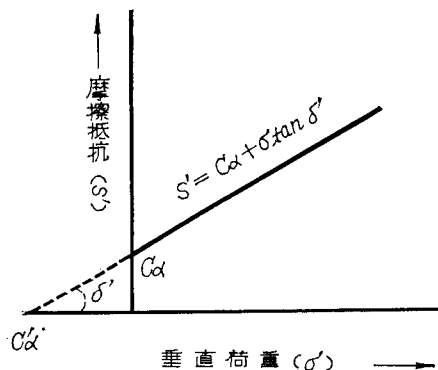


図-15 摩擦抵抗と垂直荷重との関係

として表わされている (図-15)。しかしながら筆者はさきに横井がぎょう集力は3式のように無荷重のときの剪断抵抗として表わすよりも、剪断抵抗を0にするに必

要な負の荷重いいかえれば張力として表わす方が適当であるという見解を提示していること¹²⁾、および付着力の主要な発生因子が付着板の法線方向に作用する毛管力であることなどを考慮すれば、付着力は無荷重 ($\sigma=0$) のときの摩擦抵抗ではなく、摩擦抵抗を 0 にするのに必要な負の荷重いいかえれば張力 ($C_{\alpha}'=C_{\alpha}/\tan \delta'$) として表わされるのが適当ではないかと考える。いいかえれば 4 式は次式

$$S' = C_{\alpha}' \tan \delta' + \sigma \tan \delta'$$

または

$$S' = (C_{\alpha}' + \sigma) \tan \delta' \quad (5)$$

のように表わされる方が妥当ではなからうか。

2. 付着機構に関して

(1) 付着力と水分および水分張力との関係 これらの関係は付着機構のなかでももっとも重要な関係であり今後詳細な検討が必要であろう。

(2) 付着力とぎょう集力との関係 この関係は現地における付着性の問題を考える上に非常に重要な関係で今後の重要な検討課題の一つとなろう。

(3) 付着機構における粘性の役割 静的条件下では毛管力が付着機構の支配要因となるが、現地など動的条件下では毛管力の他に粘性にもとづく因子も要因となることが推定され、レオロジカルな研究が今後必要となろう。

5. 要 約

付着性に関するこれまでの研究の歴史と筆者らの測定法および付着機構に関する研究の概要を紹介し、土壌の付着力の主要な発生因子が水の表面張力に基づく毛管力であることを明らかにするとともに、このことを基礎として測定法および付着機構についての今後の検討事項についても述べた。

文 献

- 1) 嵐 房和：火山灰土壌の転うんの諸問題，土壌の物理性第18号，p.27 (1968)
- 2) 秋山 豊・横井 肇：土壌の付着性に関する研究（第1報）—付着力測定法について，土肥誌，39 (No. 11)，491 (1968)
- 3) 秋山 豊・横井 肇：同上（第2報）—付着機構の理論的解析，土肥誌投稿予定
- 4) ATTERBERG, A.: DIE PLASTIZITÄT DER TONE, INTERNATL. MITT. BODENK., 1, 10(1911)
- 5) FOUNTAINE, E. R.: INVESTIGATIONS INTO THE MECHANISM OF SOIL ADHESION, J. SOIL SCI., 5, 251 (1954)
- 6) HAINES, W. B.: STUDIES IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS, J. AGR. SCI., 15, 178 (1925)
- 7) HARDY, F.: AN INDEX OF SOIL TEXTURE, J. AGR. SCI., 18, 252 (1928)
- 8) MC FARLANE, J. S., AND TABOR, D.: ADHESION OF SOILS AND THE EFFECT OF SURFACE FILMS, PROC. ROY. SOC. A, 202, 224 (1950)
- 9) 松尾憲一：粒徑組成と土壌の物理性に関する研究，農技研報B14, 323 (1964)
- 10) NICOLS, M. L.: METHODS OF RESEARCH IN SOIL DYNAMICS, ALA. AGR. EXPT. STA. BULL. 229, 28 (1929)
- 11) PAYNE, P. C. J., and FOUNTAINE, E. R.: THE MECHANISM OF SCOURING FOR CULTIVATION IMPLEMENTS, NATL. INST. AGR. ENGIN. TECH. MEMO., 116, 11 (1954)
- 12) YOKOI, H.: RELATIONSHIP BETWEEN SOIL COHESION AND SHEAR STRENGTH, SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION, 14, 9 (196-)

農業機械と土壌水分量の関係について

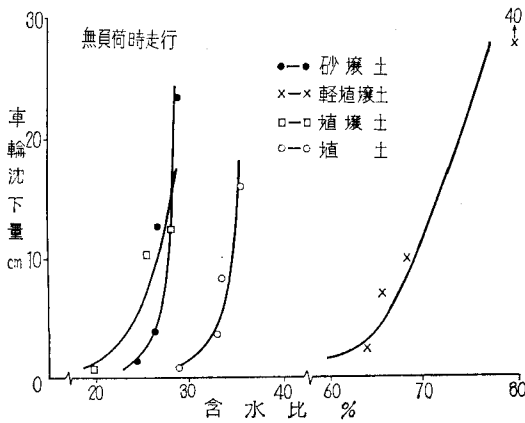
八 木 茂*

農業機械で土を対象とするものには農業用車両の走行性、耕耘(ロータリ耕, プラウ耕), 田植機などがある。ここではトラクタの走行性, ロータリ耕, プラウ耕について考えてみる。

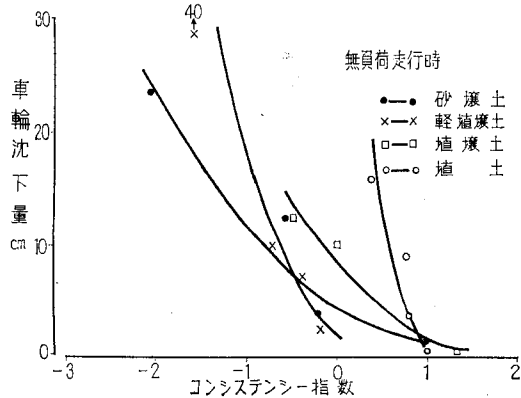
I. トラクタの走行性

1. 土壌の水分量との関係

土壌水分量を含水比で表わし, トラクタ無負荷走行時の車輪沈下量との関係は図一1のようになる。含水比の増加にしたがって沈下量も増加するが, 土壌の種類による違いがある。



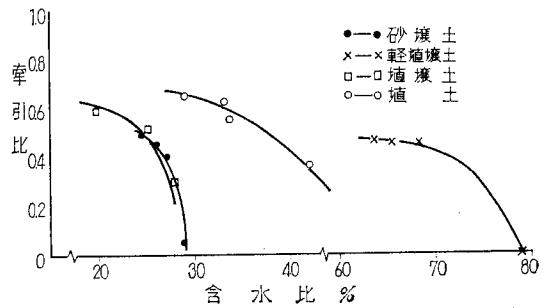
図一1 含水比と車輪沈下量



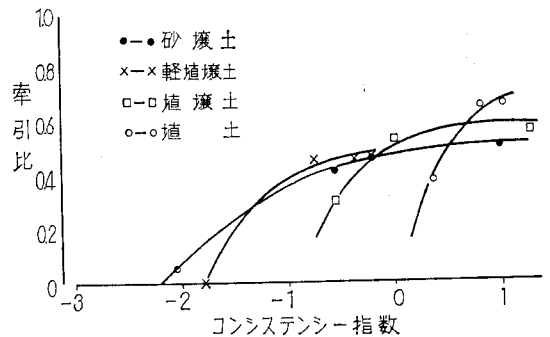
図一2 コンシステンシー指数と車輪沈下量

この含水比をコンシステンシー指数によって表わすと図一2のようになる。コンシステンシー指数が1より大きくなると沈下はほとんど起らない。

牽引負荷走行時の走行性能を進行低下率50%ときの牽引力を機体総重量で割った牽引比によって表わし, この牽引比と含水比との関係は図一3のようになり, 牽引比は塑性限界付近で最大となり, 液性限界より含水比が大きくなると急激に減少している。



図一3 含水比と牽引比



図一4 コンシステンシー指数と牽引比

含水比をコンシステンシー指数で表わせば図一4のようになり, 各土壌においてもコンシステンシー指数が1付近で最大になっている。牽引比が0となるコンシステンシー指数は土壌の種類によって異なっていて, 粘土含有量の多い土壌の方が大きい値を示している。

以上土壌水分量と走行性との関係について述べてきたが水分量のみで判定することは無理があると思われる。つぎに水分量と2次的な関係にある土壌の物理性との関

* 農業機械化研究所

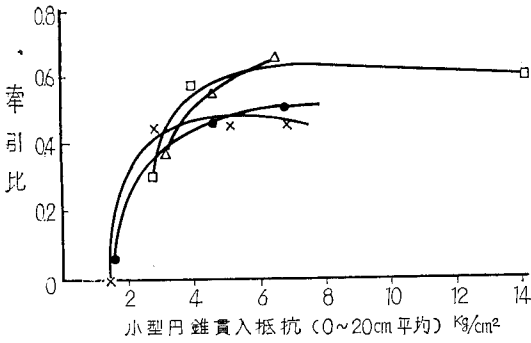


図-5 円錐貫入抵抗と牽引比

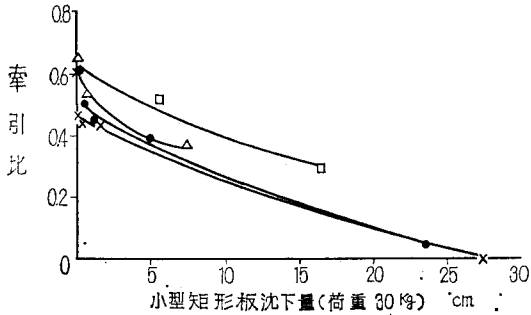


図-6 矩形板沈下量と牽引比

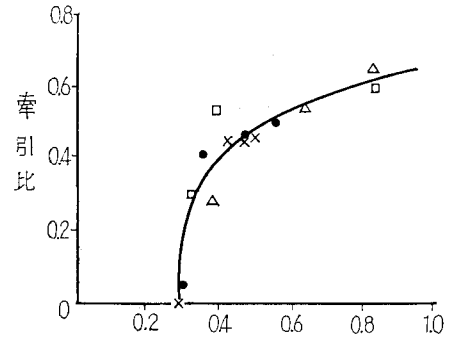


図-7 剪断抵抗と牽引比

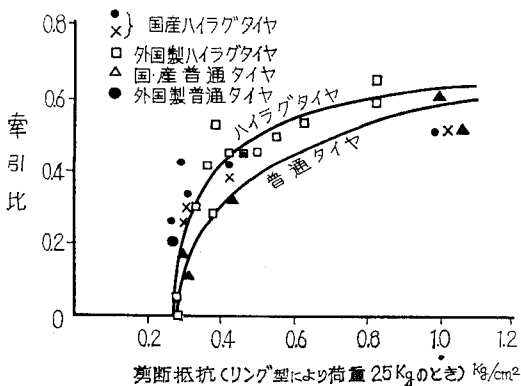


図-8 ハイラグタイヤと普通タイヤ

係について考えてみる。

2. 土壤の物理性ととの関係

土壤の物理性と走行性能との関係を求めるために、農機研式土壤抵抗測定器SR-2型によって求められる土壤の物理性、すなわち円錐貫入抵抗、矩形板沈下量、剪断抵抗について考えてみる。

(1) 円錐貫入抵抗と牽引比 図-5のような関係になり、小型円錐では1.5~2.0kg/cm²程度で走行不能になっている。牽引比の値は土壤の種類によって異なっている。

(2) 矩形板沈下量と牽引比 図-6のようになり、土壤が乾燥しているときには矩形板沈下量が小さくほとんど0になるので牽引比との関係が不明瞭になる。また土壤種類による差がある。

(3) 剪断抵抗と牽引比 図-7のように各土壤間の差はほとんどなく、ほぼ同一曲線上にプロットされる。剪断抵抗が0.3kg/cm²付近で走行不能となっている。牽引比の推定には剪断抵抗によって行なうことが適当であろうと思われる。

剪断抵抗と牽引比との関係を、普通タイヤとハイラグタイヤについて図示すれば図-8のようになる。これによれば走行不能となる土壤条件はハイラグタイヤでも普通タイヤでも変わらないが、土壤が固くなるにしたがってハイラグタイヤの効果があらわれてくる。そして剪断抵抗が1.0kg/cm²以上になれば両者の差はまたなくなってくる。したがって、ハイラグタイヤは極軟弱地における走行を可能にすることよりも中程度に湿っている土壤(剪断抵抗で0.4~1.0kg/cm²)での牽引力の増大に効果があるものと思われる。

以上走行性能についてみてきたが、走行性と水分量とは直接的な関係はなく、むしろ水分によって土壤の物理性が変化して、それによって走行性が影響を受けるものと思われる。

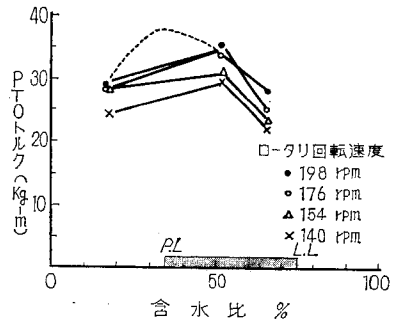


図-9 含水比とPTOトルク

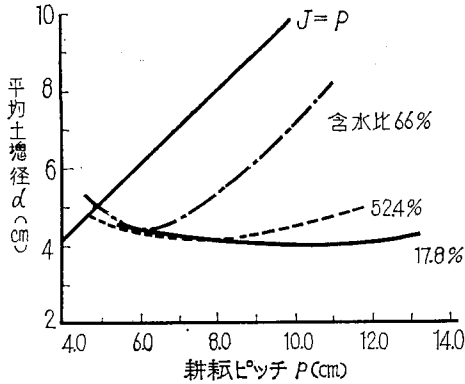


図-10 含水比別の耕うんピッチと平均土塊径

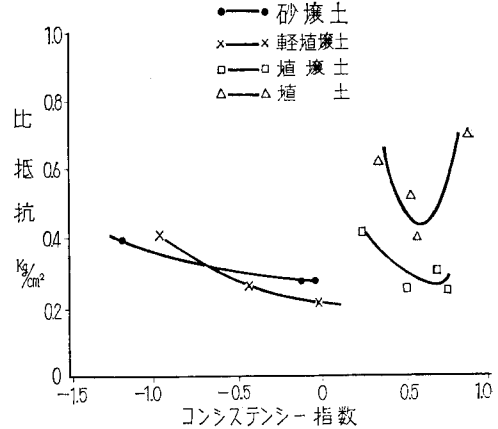


図-13 コンシステンシー指数と比抵抗

II. ロータリ耕

1. 土壌の水分量との関係

ロータリ耕耘時の所要トルクと含水比との関係のみると図-9のようになり、含水比が増加するにしたがって、各耕耘ピッチにおいても同じ様に上に凸の曲線を示

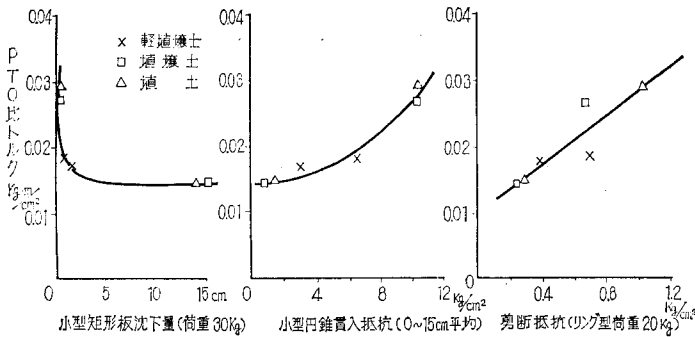


図-11 土壌の物理性と比トルク

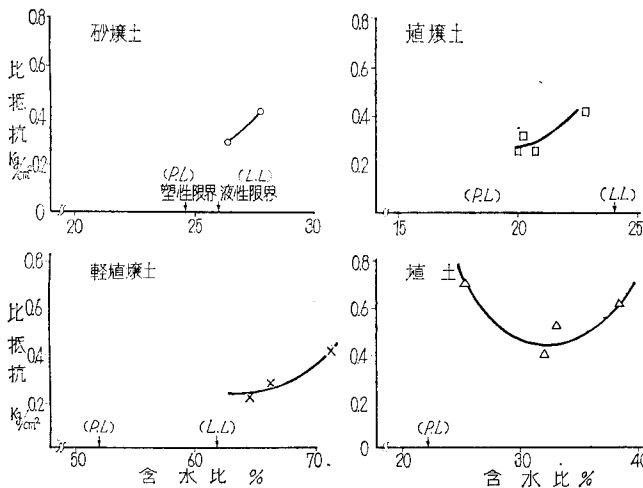


図-12 含水比と比抵抗

す。しかしこの実験においては含水比の測定点数が少ないので塑性限界付近のところの測定が行われていないのではっきりしたことは分らないが Nichols のいう剪断抵抗と含水比との関係から考えてみると塑性限界付近の

要トルクが最大となるものと思われる。(Nichols によれば塑性限界付近の剪断抵抗が最大となる。) したがって図中の点線が示すようになるものと思われる。

耕耘における重要な性能である碎土効果について、耕耘ピッチと平均土塊径との関係は図-10のようになる。含水比が高い場合には耕耘ピッチと土塊径とはほぼ比例的な関係を示すが、含水比が低くなると耕耘ピッチとは無関係である。これはロータリのカバーや均平板によって碎土性能が影響されるためと思われる。

2. 土壌の物理性との関係 (図-11)

土壌の物理性とロータリ耕の所要トルクとの関係のみる。ここでは耕耘所要トルクを耕耘断面積で割った比トルクで表わしている。

(1) 小型矩形板沈下量と比トルクの関係は双曲線になり、土壌による違いはないが矩形板沈下量が 0 に近づくとき比トルクの推定するのに問題がある。

(2) 円錐貫入抵抗との関係は各土壌とも同一曲線上に表わされる。

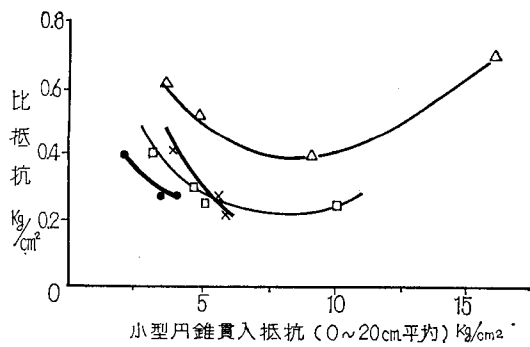
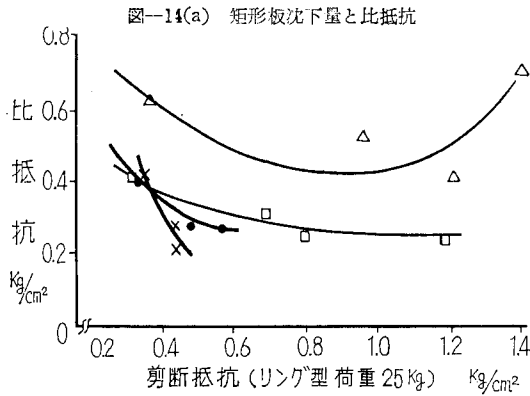
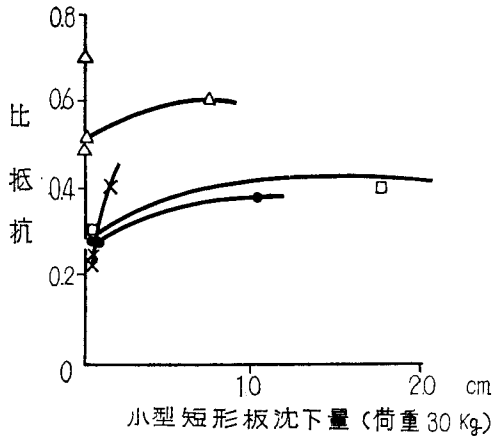
(3) 剪断抵抗と比トルクとの関係はほぼ直線上に分布している。したがって所要トルクの推定には取扱いが便利である。

III. プラウ耕

ここではプラウの牽引抵抗を耕耘断面積で割った比抵抗によって表わし、比較検討してみる。

1. 土壌水分量との関係

各土壌における含水比と比抵抗との関係を図-12に示す。これをコンシステンシー指数で表わせば図-13のようになり、埴土、埴壤土においては0.5付近で比抵抗が最小の値をしめしている。砂壤土、軽埴壤土についても



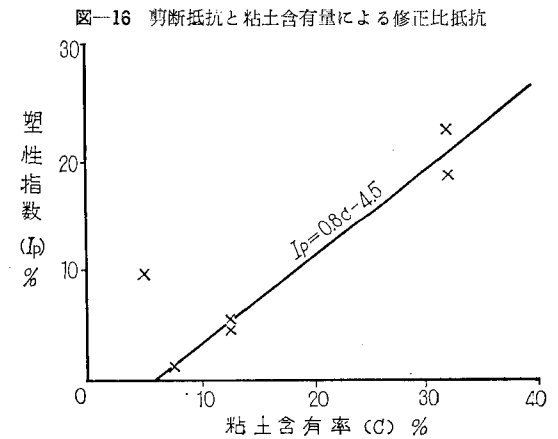
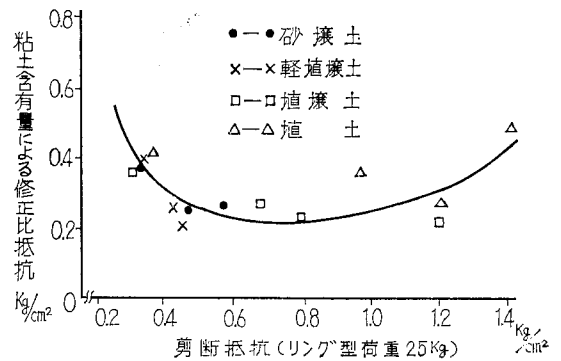
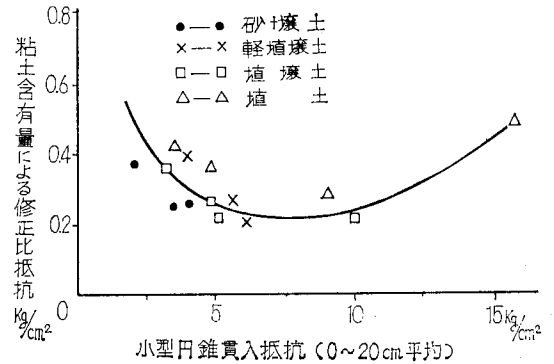
同様なことがいえるのではないと思われる。

2. 土壌の物理性との関係

(イ) 小型矩形板沈下量と比抵抗との関係は含水比が塑性限界に近づくにしたがって矩形板沈下量が0に近づくために塑性限界以下の含水比での比抵抗がわかりにくい。

(ロ) 円錐貫入抵抗と比抵抗との関係は下に凸な曲線を主とし、土壌の種類による違いがある。

(ハ) 剪断抵抗と比抵抗との関係は円錐と同じような傾



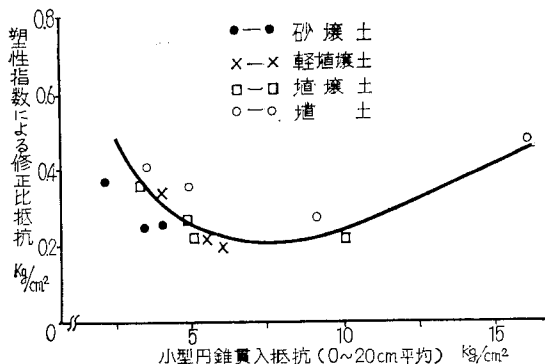


図-18 円錐貫入抵抗と塑性指数による修正比抵抗

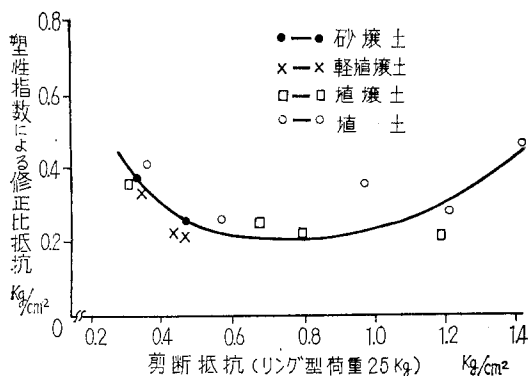


図-19 剪断抵抗と塑性指数による修正比抵抗

向があり、やはり土壌による比抵抗の違いがある。

これらの関係では土壌の種類による違いがあるが、これらをよくみると粘土含有量の多いもの程、同一測定値に対して、大きい抵抗値を示しているように思われる。これは土壌の粘りによるものではないかと考えられる。この粘りを表わすものに粘着点とのネバツキ限界とか呼

ばれているものがあるが、ネバツキ程度はコロイドの量によって異なるものであるとされている。このコロイドをいま、粘土以下の粒径の含有量と置換えて、粘土以下の粒径（ここでは0.005mm以下）によって各土壌間の比抵抗の差が生じるものと仮定した。そして測定比抵抗から粘土以下の粒径がしめる比抵抗を差引いて、それを粘土含有量による修正比抵抗として表わす。これを式で表わせる次式のようなになる。

$$F_1 = F \left(1 - \frac{C}{100}\right) \quad (1)$$

F_1 : 粘土含有率によって修正した比抵抗 (kg/cm²)

F : 測定比抵抗 (kg/cm²)

C : 粘土含有率 (%)

この粘土含有量による修正比抵抗と小型円錐貫入抵抗や剪断抵抗との関係を図示すれば図-15、図-16のようになり、ほぼ同一曲線によって表わされる。これによれば剪断抵抗の方が値のばらつきが小さいようである。

また Russel などがいっているように、粘土量と塑性指数との間に一定の関係があるといわれている。そこで今回使用した土壌について塑性指数と粘土含有率との関係は図-17のようになる。計算式は図中に示すとおりである。

これを前述の(1)式に代入して塑性指数による修正比抵抗を求めて図示すれば、図-18、図-19のように同一曲線上に修正することができる。

結 論

これらの方法によって比抵抗の推定はできるが、粘土含有率や塑性指数が分らない場合には問題がある。したがって現場で直接簡易な方法で粘土含有率や塑性指数が測定できる測定器が必要であろう。

シンポジウム質疑応答と総合討論

司会 田原 虎次（農工大） 安富 六郎（東大農） 増島 博（農事試）

講演者 山本 晴雄（北海道中央農試） 山崎 慎一（北農試） 野中仙三郎（宮崎農試）
秋山 豊（農技研） 八木 茂（農機研）

I 個別質疑応答

「質問」（山崎：北農試） 土壌水分の測定はどのようにされたのか、土壌をとり出して秤量したのか。

「答」（山本） 試料下端を自由水面とみなす場合は、下端より 2 cm と 2 cm の点の試料を厚さ 1 ～ 2 mm 削り取って測定した。

「質問」（関谷：園試） 1. シリンダー内の土壌の厚さは何 cm か、またそのサンプルは風乾土か、生土か。
2. 100cc 円筒の土層の深さは 5 cm であるがそれと薄層 8 mm との比較はだされたのか。

「答」（山本） 1. 試料の厚さは圧密されておおよそ 8 mm である。試料はバラッキをなくすため 0.25 mm で篩別したので、風乾土といってよい。 2. 質問は従来法による 100cc 管を使っただけの測定値と自由水面を与えた場合の測定値の比較と思われる。その比較は 1970 年の土壌肥料学会に報告したが、大差はみられない。しかし厳密には対象とする試料は薄層でなければならぬ。

「質問」（寺沢：農技研） 自由水面をつけない測定法は試料の下端にシリンダーをつけたものか、試料透過筒を用いて直接脱水したものか伺いたい。pF の計算式を用いる場合の基準水面はどこをとるか。土壌試料の下端ではないのか。

「答」（山本） (2)式 $pF = \log H + \log R + 2 \log n - 4.95$ において、自由水面を与えない場合は試料下端を自由水面とみなして、測定値を出している。試料を薄層にして、シリンダーで圧力勾配をつけ、かつ自由水面を与えない方法が土壌によっては考えられるという事で、その場合はシリンダー下端を自由水面とみなす。この方法は具体的には実験をやっていない。なお、本実験においてシリンダーを用いた場合はすべて自由水面を与えた。

「質問」（佐藤：水資公団） 土壌水分がなくなると 1 価イオンおよび 2 価イオンの脱溶液中の量はどのようになるのか。

か。

「答」（山崎） 土壌溶液中の量という意味であれば、土壌溶液中の陽イオンの量を、濃度と水分含量の積であるとみなせば、土壌の含水量が少なくなってくると 1 価イオンの量は減少して、その分だけ 2 価の陽イオンの量が増加することになります。

脱溶液中を土壌からの浸透水の意味にとれば、土壌水分が少なくなると通常浸透水はなくなるはずである。土壌の水分が少なくなった時点で降雨があって、そのさいの浸透水については横井氏の質問のところでお答えしている。（後記総合討論）

「質問」（川原：道南農試） 施肥（液肥を含めて）した場合の、土壌溶液におよぼす時間（一定になる時間）について

「答」（山崎） 実験データを持っておりません。易溶性の塩（たとえば NH_4Cl , KCl など）を、ほぼ圃場容水量附近の土壌に添加して 1 週間平衡させたものの土壌溶液を分析した結果では、土壌の含水量と添加量から計算した濃度にほぼ一致する Cl の濃度が検出された。おそらく、溶解するのにとりだけの水分があれば非常に短い時間で一定（全量溶解する）になるのではないかと考えます。

「質問」（福士：農技研） pF のスケールの中に負の値が示されてあるが、これを吸引圧が水柱で 1 cm 以下の状態と理解してよいのか、たとえば $pF - 1$ とは吸引圧水柱が 1 mm, $pF - 2$ とは吸引圧水柱 0.1 mm の状態と理解してよいか。

なおこのようなミクロスケールの吸引圧の状態を取扱うことが果して可能でしょうか、数学的には考えられるが、この点についても少し教えていただきたい。それから正圧の場合の表示（pF 概念の拡大）を考えておられるのか。

「答」（吉田） 会場で用いた表一は「土壌物理」

(山崎不二夫監修、養賢堂)から引用させていただいたものです。負の pF はご指摘のように理解されて結構だと思います。測定が可能かどうかよくわかりませんが恐らく可能だと思います。正圧については間隙水圧を考えていくことになると思います。

「質問」(宮内：東大農) 均質なCBR用供試体を作成するために、試料を何層かに分けてジャッキでスタティックに締固めるとのことであるが、その時の一層あたりの厚さ、載荷時間および一定の荷重を与えるまでの歪速度はどの位か。水分状態や土の種類によってそれらの効果は変化したか、その結果、どの程度の均一さが得られたか、 r_d 等で検討したか。

「答」(吉田) 試料作成は5層で行い、各層の厚さは載荷終了後2.5cmになるようにしました。載荷時間は2分間とし、時間一沈下曲線が一定値に近づく値を取りましたが、含水比、載荷重等によりこの関係は異なります。所定の荷重になるまでの試料の沈下速度は約1mm/secで行ないました。 r_d の均一の程度は試料の一層の厚さが2.5cmなので荷重、含水比等によってもちがいますがほぼ一定と考えてよいものと思われま

「質問」(湯村：東近農試) BLは表上で $pF=1.5$ 附近にあったが、これは吸引圧のある状態(正圧のかかっていない状態)のところにゾルとゲルの臨界点があると理解してよいのか。

「答」(吉田) $pF=1.5$ という値は沈降体積の pF 値であり、この点を境に土はビンガム体としてあつかわれるものと考えられております。

「質問」(足立：東大農) 表一1の塑性挙動の項でほぼLL~PL間は延性破壊、PL以下は脆性破壊と分けておりますが、延性、脆性の区別はどうなっているのでしょうか(たとえばひずみ量だけで考えられているのでしょうか)。

「答」(吉田) 脆性、延性の区別は土が降伏後破断にいたる間に流動が長く続くかどうかにより定まります。これは変形速度、温度、 pF 、応力状態によってきまるわけですが、この場合は塑性限界試験と関連させて、そのさい公定法の条件では主に含水比できまると考えても良いという考えにたっています。

「質問」(安富：東大農) pF 測定はどのような方法によってか、遠心法か、土柱法か。

「答」(吉田) pF 測定はすべて遠心法で行ないました。したがって測定値の範囲が問題となりますが、ここでは遠心力を便宜的に pF 表示したものとご理解いただきたいと思

「質問」(佐藤：水資公団) 付着力と小間隙量との関

係を説明するにあたり、径 0.3μ 以下の間隙量との関係で説明されているが、 0.3μ は pF 4.0相当径でもあり何か意図するところがあるか。

「答」(秋山) ここでは付着力の主要因である毛管力が小さな間隙に支配されているという理論解析の結果を実際の測定結果とって検討することをおもなねらいにしたために、ここで計測した最高の pF 4.0の相当径である 0.3μ よりも小さい間隙量について検討した。もちろん付着力と間隙分布との関係を詳細に検討するためには、種々の径の間隙たとえば pF 1.5以下、1.5~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0以上など種々の pF 相当径の間隙について検討することが必要で、これらについては別の機会に検討予定である。

なおこのように、ここではこれだけの測定結果から、毛管力の領域が pF 4.0以下にまでおよぶということを強調する意図はないが、このことは付着力が pF 4.0相当径の 0.3μ 以下の小間隙と密接な関係があること、とくに、付着力の大きい有明表土の場合には 0.3μ 以下の小間隙量が60%以上にも達していることを示す本実験結果によってある程度は肯定されるのではなからうか。ただし毛管水の領域の解明には土壌の付着性など力学性の側面からのアプローチの方法もあるが、熱力学的手法によるアプローチも有効と考えていることを付言したい。

II 総合討論

「質問」(川原：道南農試) 高濃度の場合1成分をどんどん加えて行くと1定限界まで1定イオンの比率で上昇するが、それ以上はそのバランスが変化してその成分が濃度を高める主要なイオンになって行くのではないかと思うが。

「答」(山崎) 土壌に施肥した場合、あるいは一般的にいえば土壌に何らかの電解質を添加した場合、土壌溶液中の陽イオンに関しては、添加されたイオンと土壌の置換性陽イオンとの間にイオンの交換反応が起り、添加した種類の陽イオンのみの濃度が選択的に上昇するようなことはなく、他の陽イオンの濃度も同時に上昇します。しかし、土壌溶液中の各種の陽イオンについてその濃度の上昇の割合を調べてみると、添加された陽イオン種の濃度の上昇割合がいちばん大きく、添加量が多くなるほど他の陽イオンの上昇割合との差は大きくなってきます。土壌にKClを添加した場合についてみると、土壌溶液中における各種陽イオンの濃度の上昇割合は $K > Ca > Mg > Na$ の順でした。添加された量がごく少量であれば、土壌溶液の組成にはさほど大きな変化は認められないが、土壌の置換性陽イオンの量に対してかなりの割

合の量の電解質を添加したような場合には、土壤溶液の濃度を上昇させる成分はいうまでもなく添加された成分（陽イオン）であるということになります。しかし、この変化は添加量の増加につれて連続的に変化する性質のものであり、一定の限界をこえると急にバランスが変化するような性質のものではないようです。一方、土壤溶液中の陰イオンに関しては、このような現象はなく、添加された成分がそのまま土壤溶液の濃度を高めていく主要な成分となります。

「質問」（寺沢：農技研） 土壤の含水比の違いにより cation の valency のちがいでよって土壤溶液中の cation の存在割合が異なるが、これはイオンの吸着力の違いによるものか。

「答」（山崎） 土壤の水分含量が変化すると土壤溶液の濃度も変化するが、この濃度の変化にともなって土壤固相の表面と土壤溶液中の陽イオンとの間の相互作用（その主要なものは静電気的な力に基づくものである）の様相をも変化する。そのさい電荷を異にしている陽イオン間で受ける変化の割合が同一でないことがこのような現象の原因となっています。すなわち、土壤溶液の濃度が希薄になるほど多価の陽イオンがより強く吸着されるようになり、その結果として土壤溶液中には多価の陽イオンの割合が減少することになります。イオンの吸着力の差によるものではなく、イオンの吸着力の差が（土壤）溶液の濃度の変化とともに変化するのがその原因です。

「質問」（中島田：東近農試） 土壤溶液濃度を主として支配するのはアニオンでまずアニオンが存在してそのアニオンと当量のカチオンが次に溶出してきてと理解している。土壤溶液中で NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- が存在しない場合にも、土壤溶液中にはカチオンが溶出しているが、これに対応するアニオンは HCO_3^- と考えてよいか。

「答」（山崎） 土壤溶液中に何らかの原因で溶質が添加された場合、それが電解質のものであれば、当然陰イオンと陽イオンが等量ずつ添加されるわけであり、陰イオンあるいは陽イオンの一方のみを添加することは不可能です。したがってまず陰イオンが存在し、次にその陰イオンを等量の陽イオンが溶出してきてと考えるのは合理的ではないようです。当初から同量ずつの陽イオンと陰イオンが存在しているわけです。

土壤溶液中の陽イオンの含量と陰イオンの含量とを比較すると、しばしばよく一致するといわれているが、詳細にみると多くの場合陽イオンの含量 > 陰イオンの含量（ HCO_3^- を加えていない）であり、その差は大きくてもせいぜい 2 me/l くらいである。また土壤溶液の陽イ

オン濃度の含量が 2 me/l くらいより低くなってくと通常 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} などは検出されなくなり、それぞれ硝酸銀法、Conway 法、塩化バリウム法を用いては定量できなくなる。この差に対応する陰イオンが一体何であるかが問題となる。

土壤溶液中の HCO_3^- イオンは土壤空気中の CO_2 と平衡しており、これらの関係は、

$$\frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 10^{-6.4} \quad [\text{H}_2\text{CO}_3] = 10^{-1.5} P_{\text{CO}_2}$$

にある。畑状態の土壤では土壤空気中の CO_2 はせいぜい数%程度であり、通常の土壤溶液の pH から考えると、上記の式から土壤溶液中の HCO_3^- の濃度はほぼ 2 me/l 以下であろうと考えられます。（山崎慎一：土肥誌投稿中）これらの事実から考えて、土壤溶液中に Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} が検出されない場合は土壤空気中の CO_2 の溶解に基づく HCO_3^- であると推定されます。なお、この場合の陽イオンは $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ で生成した H^+ および H^+ によって置換浸出されてきた陽イオンです。

もちろん、反応がかなりアルカリ性にかたよっている場合には、 CO_3^{2-} 、 SiO_3^{2-} 、さらに AlO_2^- などの存在も考えられます。

「質問」（横井：農技研） 乾燥後の降雨で Ca の方が Na より溶脱しやすいか。

「答」（山崎） 降雨のさい、雨水が土壤中に浸入していき、そこにあった土壤溶液を下方へと押し出すというように、いわゆる Piston flow みたいな現象が起きるとすれば（円筒中にきれいに充填した土壤に上部から水を加えるとこのような現象がおきます。）乾燥した土壤からのほうが、最初のうちは溶脱されてくる Ca の量は多くなるものと一応考えることが可能です。しかし実際の圃場条件下では、はたしてこのような piston flow がおきるかどうかはあきらかではありません。かなりの bypassing があるのではないかと考えています。また降雨がかなりの時間連続し、土壤中を雨水が通りぬけたものが流出してくるようになると、土壤溶液の濃度もかなり希薄になると思われませんが、このような場合には、土壤溶液（浸透水）の主要な溶存陽イオンは Na となると考えられます。

「意見」（中島田：東近農試） 1. pF 1.5~4.2 間の土壤溶液を低張力部分（pF 1.5~3.0）と高張力部分（pF 3.0~4.2）とに分割採取し、その間の濃度と組成の変化を調査したところ、ほとんど差はなく、C. E. C の極めて高い土壤で高張力部分の土壤溶液濃度が低い傾向があった。実用的には pF 3.0 くらいまで採取すれば十分に

ある。

2. 土壌水分の変動にともなう土壌溶液濃度の変化について、ハウスの比較的土壌溶液濃度の高い場合であるが、土壌溶液の変動割合は土壌水分の変動割合とほぼ一致した。

「答」(山崎) 電気二重層の説にしたがえば、高張力部分の土壌溶液の濃度は低張力部分のそれに比較して低濃度であると一応考えることが出来ます。しかし、これは土壌溶液を採取するさいに、採取操作の途中で土壌溶液中の各部分での濃度の再分布が起り、必ずしも上記のような結果にはならないともいわれております。また、土壌溶液の濃度がかなり高い場合にはミセルの厚さが収縮するので高張力部分まで採取してもミセル間溶液のみを採取することになり、このような場合には土壌溶液の濃度は高張力部分と低張力部分には差がないということになると考えられます。

土壌溶液の採取をおこなう場合、なるべく能率よくおこなうことが大切であり、その点からはなるべく高張力の部分まで採取するのが得策だと思います。また遠心機を利用することによって上記の目的は容易に達せられます。

「質問」(多田:農士試) 遠心分離後の供試体の厚さ方向への水分分布はどのような様相であるか。時間的に(回転時間によって)どのようにグラフがかわるか。Water lodgingを起した場合の土柱内水分分布はどのようなであるか。

「答」(山本) 回転時間は普通一時間で、その時の水分分布は図のとおりであるが、経時的な様相はみていない。

Water lodging現象の出る場合は2回、土柱上の水が濾紙で吸いとり、3時間回転した時の水分分布を紹介したが、ばらつきが大きく水分分布も逆転した。ここには紹介していないが、6時間で土柱上部で少水分、下部で多水分の一樣の傾向が見られた。それ以上は検討していない。

「意見」(中村:愛媛大) 沓過性のフィルターの性質に左右されることが多い。したがって含水分布関係は山本さんのとおりだが1時間以上ではその関係がランダムになる。しかし3時間以上脱水すると落着くようだ。ウォーターロッキングはその水をすてしまわねばならない。

「質問」(中村:愛媛大) シリンダー上に1cm厚さの試料をおくとその薄層上ではシリンダーとの過渡現象が生じてしまわないか。

「答」(山本) 過渡現象については検討していない。

「意見」(中村:愛媛大) 遠心脱水法は土柱5cmをたて自由水面をきめて、3時間脱水し薄層法で含水量を測定し(2)法で計算すれば手数も在来法と変わらない。それも面倒ならば在来法でやられて、その方法を明記すれば含水比数%以内の誤差でそれでもよい。なお、遠心機を改良するのならアームの長いものを開発出来ればよいと考える。

「答」(山本) 同感である。

「意見」(中村:愛媛大) film stageはフィルムが切断されないかぎり丈夫で連続している。遠心脱水法は、重力場下での平衡状態を測定しているのであるから、capillary funicular stageは圧縮されているがfilm stageで連続している。したがって、遠心脱水法もみすてたものではない。

「質問」(安富:東大農) 力学的問題とpFとの関係について毛管水領域からどう解釈するか。

「答」(吉田) 比較的軟かい土では、土壌の状態量は土壌水の状態量であるpFで考えることが出来るので、粘弾性挙動とpFは良い対応を示す、固い土では r_d 、 e など、すなわちPで整理される、という考え方にしましたがあまりよくわかりません。

「質問」(中村:愛媛大) 試料の作成はいかにしたか。その場合のpFと r_d との関係は。

「答」(吉田) 供試体の作成は静荷重で含水比を変えたものとpF- r_d-w の関係より、これと同じ供試体を成形荷重を変えて作りしました。ここで行なった実験のpFと r_d の関係は全て遠心法で行なった遠心pFであるため、その点説明が充分でなかったことをおわびします。

「質問」(藍:農工大、安富:東大農) 付着力と付着板表面の粗さとの関係についてはふれられていないが、この関係についても重要と思われるので説明をいただきたい。

「答」(秋山) ご指摘のとおり付着の機構における付着板表面の粗さ(Roughness)の問題は重要であるが、この問題については充分な検討の機会がなく説明を省略させていただいた。ここに土壌についてではなく、1個の小ガラス球についてではあるが、薄い水膜の毛管力による付着力を付着板表面の粗さのことなる場合について振子方法(一種の引きはなし方式)で測定したMcFarlaneらの測定結果をあげて参考に供したい。

表面処理	平均粗さ(A°)	付着力(比率)
高級けん磨	150	100
500 カーボンラ ンダム紙	1,000	79
320 同上	4,000	51
150 同上	100,000	0

この測定例からは付着力が付着面の粗い場合ほど低下することが認められているが、粒度分布の複雑な実際の土壌では付着面の粗さの影響はこの例とは多少ことなることも予想される。

また、付着面の粗さの影響は付着力の測定をこの例のように引きはなし方式によるか、あるいは摩擦方式によるかでかなりことなるのではなからうか。摩擦方式による場合には付着面(摩擦面)が粗いとむしろ摩擦角(δ')が増し付着力は増加する場合が多いのではなからうか。

「質問」(藍:農工大) 付着力と付着板表面の潑水性との関係について、接触角 90° 以下の親水性の範囲では付着力に差がなく、接触角が 90° を超える疎水性の範囲では接触角(潑水性)の増加にともない急減したという説明があったが、われわれの測定結果(摩擦方式)では親水性の範囲でも差異が認められており、この関係は付着力の計測法によってもことなるのではないか。

「答」(秋山) 付着板の潑水性による付着力の変化の様相は、水分、水分張力、充てん密度などによって影響されるほか、ご指摘のとおり付着力を引きはなし方式で測定するか、摩擦方式で測定するかによってもことなるものと考えられきわめて複雑である。したがって、付着力と潑水性との関係を簡単に説明することはむずかしいが、均一球粒子集合体モデルについての付着力の理論的解析の結果によれば、そ充てん土壌の多水分時の付着力(付着板の法線方向のけん引力)は、親水性の範囲では差異がないが、そ水性の範囲では接触角とともに低下するというここの土壌についての測定結果と同様な関係があることが明らかとなった。

このことから、粒径分布のある実際の土壌の付着力と潑水性との関係は、均一球粒子集合体モデルの場合に比して一層複雑と考えられるが、本実験のように充てん密度がそ充てんに近く圧着平衡時の多水分状態では確率的に均一球モデルの場合に近似するのではないかと推定される。ただし、この関係は密充てんの場合や少水分の場合はもちろん、摩擦方式での計測の場合にもことなるこ

とが考えられることを重ねて述べさせていただく。

「意見」(横井:農技研) 引きはなし方式は表面そ度は一応消去して考えられ、潑水性との関係も静的なメニスカスとして計算できるが、摩擦付着の場合には動的な変化するメニスカスを考える必要があろう。

「質問」(安富:東大農) 走行性についてどう考えているか、ここでのべられたものよりもっと一般的なとらえ方はないか。

とくに土壌水分との関係ではどうか。

「答」(八木) 走行性とは trafficability と mobility の意味をもっていて、土の面から見た車両の通行に対する能力と車両の面からその走行能力を総称したものである。

「質問」(不明) 耕耘の最適土壌水分は。

「答」(八木) プラウ耕の場合にはコンシステンシー指数が 0.5 附近がよいと思われれます。

「質問」(横井:農技研) 原理的には、水分減少によってせん断は増加するはずであるが、ニコルスの測定した土壌は団粒構造であったと考えてよいのか。

「答」(八木) 団粒構造はあると考えられます。

「意見」(新見:毛管浄化研究会) 毛管水の特性に着目した汚水の浄化法について紹介。

毛管現象に関する研究特に有機物を多量に含む汚水の土壌中の挙動に関しては一般工学ではほとんど研究されて居られない。したがって、土壌浄化法(毛管浄化法を含めて)によって現在の衛生工学の欠けている部面が解決できるとすれば、それは土壌を専門に扱っているこの様な研究団体が積極的に協力しないかぎり不可能に近い。それは特に地球表面に近い土壌が一般工学ではあまりにも複雑すぎて取組みにくいからである。

米穀増産が頭打ちとなり、反面に公害対策が当面の最大課題になりつつある日本で土壌の研究者が若干でも余力をさいて衛生工学、一般工学に毛管現象の応用という面からだけでも協力願えることになれば幸と念ずるのである。

土 粒 子

土 壤 物 理 雑 感 ～新刊紹介をかねて～

最近数年間に土壌物理の本が次々と出版された。それも世界における土壌物理の中心と目されるソ連、英、日本（一寸ひいきしすぎか？）から、それぞれの研究の流れの特色をもって刊行された。

これは土壌物理の研究が一つの転機にさしかかっていることを意味するものではないだろうか。19世紀末から始まった土壌物理の研究がある段階に達して体系化されるようになり、そこから次の飛躍への胎動が始まっているのだと思う。

ソ連においては、ロジェ、ネルピンとチュノフスキ、カチンスキの大家の本がそろって出版された。末尾に示す目次を見ていただければ各書の特色は一目瞭然である。

ロジェの本は土壌水についての集大成といったオーソドックスな本であり、今後土壌水を研究する者にとっては一度は触れずに済まない本となろう。日本でほん訳された「土壌と水」にも述べられていない項目がいくつか新たに盛られている。

ネルピンの本は逆に、将来への出発点となるような本であり、近代物理の知識を土壌物理の中に押しこもうとしている。分子力、熱、電気、核、等他の本には見られないものが並んでいる。ポリウォーターで有名な物理化学者デルヤーギンと共同研究をしており、その薄膜理論が土壌水理論の基礎になっている。まだ十分に消化されていない気味もあるが、やはり土壌物理の歴史に残る本となろう。

このような対照的な本がソ連において出版されたことは大変興味深い。昨年訪ソした時の両氏に会ったが、このような差は両氏の個人的な差だけでなく、その属する研究所の差ではないかと思える。ロジェは世界に長い歴史をほこるドクチャエフ土壌学研究所に居り、ネルピンは物理、数学、生理学の農学への導入を目指して作られた農業物理研究所の所長である。

カチンスキはモスクワ大学教授をしているが、彼の本はその教科書として書かれたものである。前2書に比べて特色は薄い、ライシメータによる蒸発の研究や森林

の影響等が新味をそえている。

英米では、ペーパー以来成書の刊行がほとんどなく淋しかったのであるが、英国の土壌物理の大御所である Childs がやっと出版した。ロジェと違うのは、土壌水一般よりもやや浸透方面にウエイトがかつていることである。この点は日本と似ているが、これは彼が農業工学に関係しており排水を専門としている立場を反映しているのであろう。

日本では、山崎の本が出版された。これは水田農業という背景を反映して、飽和水の流れにウエイトがあるのが1つの特色であり、もう1つの特色はレオロジーの導入にある。

これも軟弱地での農作業という背景を反映しているのであるが、このような面が吹米の機械化農業諸国の中に余り見られないのは不思議である。いづれにしても、日本における土壌物理の現段階での到達点を示すものといえよう。このような本を他の諸国と同じ時期に手にすることができたのは大変に喜ばしい。

さらに水分ポラシヤルや拡散を中心とした本が Philip や Klute あたりから出れば一応出そろうことになる。

今後土壌物理を学ぶ人達がこれらの本によって現段階の学問内容を容易に理解し、将来の展望を適確につかむことができよう。ただ日本の本を除いて、その他の本が7～8千円と高いのは残念である（ソ連の本は安いが高訳が高い）。

○ロジェ「土壌水の基礎 I、土壌水の性質と運動」1965

- 1 土壌の間ゲキ
- 2 水の性質と関連効果
- 3 土壌結合水、蒸気水の吸着
- 4 " , 液状水の吸着
- 5 土壌けんすい水
- 6 自由重力水
- 7 土壌水の熱力学ポテンシャル
- 8 土壌水の運動

9 土壌水と植物

10 土壌水の形態

○ネルピン, チェドノフスキ「土壌物理」1967

- 1 土壌の組成, 物理化学的, 物理力学的性質
- 2 分子力とイオン電気力
- 3 土壌薄膜水
- 4 水分の平衡条件と保水能
- 5 土壌水分の運動
- 6 毛管多孔体からの液体蒸発
- 7 土壌温度場の存在についての課題設定
- 8 土壌の熱物理的特性
- 9 土壌表面の熱収支
- 10 土壌温度領域
- 11 土壌の電気伝導
- 12 土壌の誘電特性
- 13 電気浸透過程
- 14 土壌の磁気特性
- 15 土壌の自然放射能
- 16 土壌の人工放射能
- 17 土壌の物理性の核による研究方法

○カチンスキ「土壌物理Ⅱ, 土壌の水物理的性質と領域」1970

- 1 水の組成と性質
- 2 土壌水の形態
- 3 土壌の透水性
- 4 土壌の保水能, 容水量
- 5 土壌の昇水能と土壌水の可動性
- 6 土壌と植物の蒸発能
- 7 土壌含水量と水領域のタイプ
- 8 水分変動への森林の水文学的役割
- 9 土壌水領域の改良

○Childs「土壌水現象の物理的基礎」1969

- 1 材料の構造
- 2 土壌鉱物の構造
- 3 水の構造
- 4 水中浮遊粒子の平衡
- 5 土粒子の大きさ
- 6 土壌間ゲキ
- 7 土壌水圧と張力の測定
- 8 土壌水の静力学的平衡
- 9 土壌水運動の法則
- 10 透水性
- 11 土壌水運動の補助的表示
- 12 土層中の水の運動
- 13 表面浸潤
- 14 地下水の流れ
- 15 " " , 近似解
- 16 複素変換とホドグラフ
- 17 3次元排水流線網
- 18 地下水の非定常流
- 19 透水係数測定法

○山崎「土壌物理」1969

- 1 序 論
- 2 土壌の構成と構造
- 3 土壌水の形態
- 4 土壌水の運動
- 5 土壌の挙動
- 6 水田土層の水移動
- 7 畑地の物理
- 8 広域における土壌物理の諸問題

(田淵 俊雄)

会 務 報 告

(1) 事務局の移転

既に御通知申しあげましたように、昭和45年度より本会の事務局は農事試験場に移転し、12月11日に新旧引継ぎを行いました。

(2) 第1回事務局会議(旧幹事も出席)

〔出席〕 美園、国分、横井、寺沢、増島田淵、久保田(徹)、粕淵、長野間、根本

1. 新旧事務ひきつぎ

2. 事務局構成

会 長 国分欣一 (農事試)
副会長 田淵俊雄 (東大農)
幹事長 増島 博 (農事試)
編集幹事 寺沢四郎 (農技研)

〃 久保田徹 (〃)
庶務 根本清一 (農事試)
会計 長野間宏 (〃)

3. 会計監査

竹中 肇 (東大農)
粕淵辰昭 (農技研)

4. 会長推薦評議員

草野 秀 (農事試)
椎名乾治 (農土試)
山沢新吾 (教育大農)

5. 編集委員会の構成

編集委員長 横井 肇 (農技研)
〃 委員 藍 房和 (東農工大)
〃 〃 鎌田嘉孝 (長野農試桔梗ヶ原分場)
〃 〃 多田 敦 (農土試)
〃 〃 中野政詩 (東大農)

1) 新入会員・退会者

新入会員

前田乾一 農事試 365 鴻巣市大字鴻巣1227

退会者

小林 潤 兵庫県農林部耕地課

2) 会員の勤務先移動

佐久間敏雄 北大農 060 札幌市北9条西9丁目

南 松 雄 道立上川農試 078-11旭川市永山町

馬場 秀和 岩手大農 020 盛岡市上田3丁目18-8

佐藤 雄夫 県園試 960-02福島市飯坂町壇の東4

金 井 徹 県庁公害課 371 前橋市曲輪町66

佐藤吉之助 県肥飼料検 280 千葉市都町298

小浜 節雄 農林水産技術会議事務局

100 千代田区霞ヶ関農林省内

清水 弘三 チッソ旭肥料富士研究所

416 富士市鮫島2-1

藤 堂 誠 鳥取大農 680 鳥取市湖山町1-1

茨木 和典 九農試草部 861-11熊本県菊地郡西合志町須屋

— 編 集 だ よ り —

本会が発足してから、すでに12年余を経過し誌発行も24号に達しました。その間誌にもみられるように土壤物理の研究の基盤は一層強化され発展してきており、誌の内容も充実してきています。本会の事業の1つである誌発行についても、正式に編集委員会を発足させ、さらに内容の充実と拡大を計ることになりました。

従来の誌の編集方針は、偶数号をシンポジウム特集号とし、奇数号は自由投稿とすることになっていますが、昨年の総会で誌の増頁あるいは増刊の編集方針が打出されていますので、会員の積極的な寄稿を切に願います次第です。

編集に当たっての率直な苦言といえ、まず掲載原稿の収集に手間どり予定日までに発行できず遅れてしまう

ことです。むしろ、原稿がストックするぐらい、どしどし投稿していただければ、編集にも一段と張合いが生まれようというものです。本誌投稿規定にもあるように、オリジナルな報文から解説・資料、それに会員の声〈土粒子〉のらんまで多種多様な内容がもらえますので、ふるって投稿下さるようお願いします。

幸い、本誌シンポジウム特集号は、発表者の多大の協力により原稿の準備がスムーズにはこびまして、予定通りの発行ができました。記して厚く謝意を申しあげます。

次誌25号は、自由投稿にふり当てられますので、本年6月末日までにご寄稿下さるよう願います。なお、誌編集に当たってのご意見ご希望なども率直にお寄せ下されば幸甚です。

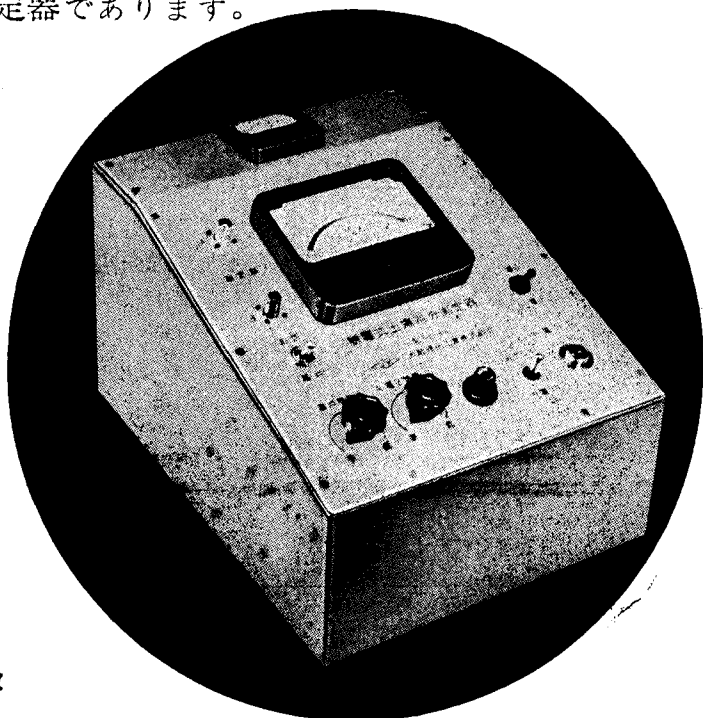
(久保田、寺沢)

農業技術に革新をもたらす

DIK誘電式土壌水分測定器

PATENT. p. 386877

本器は、在来の電気抵抗式、もしくは抵抗値を含めた静電容量式の水分計と全く異なり高周波誘電率のみによる土壌水分測定器で在来の水分計では得られなかったいろいろの特長をもつ全く新しい土壌水分測定器であります。



特 徴

- (1) 測定範囲が大きい
あらゆる土壌に対して、飽和～風乾に至る間の水分変化が的確に測定出来る。
- (2) 水分測定値が直線的である
 μA で表示される水分測定値は、圃場状態の実用的範囲において殆んど直線である。
- (3) 即応的である
埋没した感体は、直接土壌の誘電率を測定するので、測定時の水分をそのまま表示し時間的な遅れは全然ない。
- (4) 再現性がある
測定に当って、土壌には何の物理化学的変化も与えないで、連続的にくり返し測定ができ、同時にその再現性が十分に保証されている。

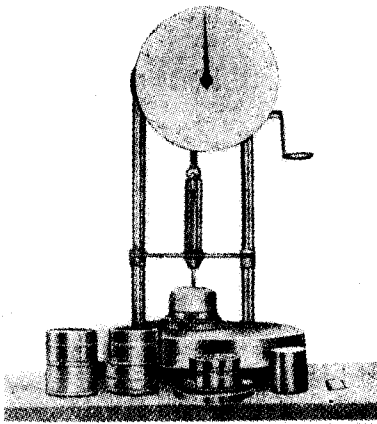


大起理化工業株式会社

東京都荒川区町屋2丁目1番1号
TEL 東京 (802) 2-1-9 代表

土壤学の権威山中金次郎博士の御指導に依る

各種土質測定器



(山中式土壤粘着力(付着力)測定器)

山中式土壤粘着力(付着力)測定器
山中式加圧透水性測定器 A 型
山中式透水係数測定装置 B 型
油圧式土壤固結力測定器
山中式土壤硬度計 A 型 B 型(平型) C 型(小型)
山中式容積重測定器
山中式現地容積重測定器
山中式最大含水量測定器
山中式ピペット分析装置
山中式凝集力測定器
其他土壤測定に関する諸機械器具設計製造



(山中式土壤硬度計)



製造発売元

株式会社 **山村製作所**

本社工場 東京都世田谷区奥沢7丁目40番9号(〒 158)

電話(03) 701-2334・7535

大井工場 東京都品川区南大井4-3-10(〒 140)

電話(03) 761-2032(代表)

堆肥不足に

テンポロン®



タバコ・蔬菜の苗床の土作りに
果樹園の土壤を若返らせ、樹勢を快復させる地力の素

メモ

テンポロンの主成分は熟成堆肥の成分である
アミン酸カルシウムを85%（完熟堆肥の約20
倍の濃度）を含んでいます。
したがって最近の堆肥不足をおぎなうために
最も適した化学堆肥です。

代表製法特許 日本第240330号

（類似品に御注意下さい）

発売元



製造元

三菱商事株式会社

本社／東京・丸の内 電(211)0211(代表)

天北化学株式会社

本社／東京・神田 工場／北海道・幌延

電話東京(252)4304

理研式酸度計

PHメーター

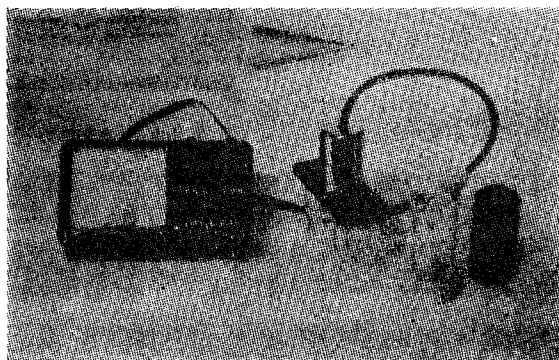
農産加工用、醸造用、
土壌調査用、酪農用、

簡易騒音計

疲労度検査器

ルクスメーター

各種科学計器



携帯用ケース付 ¥25,000

理研科学測定器研究所

東京都足立区伊興町前沼1254

電話 (899) 4874



土壤の物理性 第24号

(会 員 配 布)

1971年 4 月 25 日 発行

発 行 土 壤 物 理 研 究 会

埼玉県鴻巣市大字鴻巣1227

農事試験場内

電 話 0485-41-1231

振替口座 東京 17794