

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壤 の 物 理 性

第 10 号 「土壌の圧縮および鋤床、盤層の生成」特集号

昭和39年3月

土の締固めと透水性について.....	多 田 敦.....	1
転動荷重を受けた地盤の挙動と締め.....	佐々木 次 郎.....	9
干拓新田における盤層の形成過程について.....	米 田 茂 男.....	20
犁底盤について.....	山 田 忍.....	31
畑の畜力耕起による耕盤形成と今後の問題点.....	佐 藤 清 美.....	39
総 合 討 論.....		56

土 壤 物 理 研 究 会

京都市左京区北白川 京都大学農学部土壌学研究室内



岡本雅美

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に必要な事業
- 第4条 本会の会員は正会員及び賛助会員の2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 300円
- 賛助会員 1口年額 5,000円
- 第6条 本会に次の役員をおく。
- 会長1名、副会長1名、評議員若干名及び幹事若干名。役員の出選は総会において行ない、その任期は1年とする。但し再任をきまげない。
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を召集する。
- 第8条 本会の経費は会費その他の収入をもつてあてる。
- 第9条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。
- 付 本会の事務局は当分の間下記におく(昭和37年6月現在)
- 京都市左京区北白川
京都大学農学部土壤学研究室内

「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は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つて執筆すること。枚数は16枚程度(刷上り4頁)を一応の標準とする。
- (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・綜説〕 土壤の物理性に主眼をおき、広い視野に立つて記述したもの。
- 〔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状をつける。報文のみ初刷りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。

発送年月日		受付年月日	
種別		原稿枚数	
表題		図表数	図 枚表 枚
著者名		写真数	葉
所属		別刷	30部+ 部

- (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あてのこと
京都市左京区北白川 京都大学農学部内

土壤物理研究会編集委員会

土の締固めと透水性について

多 田 敦

(東京大学農学部)

I ま え が き

農業工学的手段を用いて水田基盤を造成または改良する場合の基礎となる問題として、火山灰土の圧縮（突固め）とその透水性におよぼす影響について述べる。第5回シンポジウムの際に 分野を異にする研究者の間に用語の点で互いに理解しにくい個所があったように思われるので、できるだけ用語の説明を入れながら記してみたい。

題名の「締固め」とは、土を密にすることで、著者が行なった締固めは JIS 規格に準じて土を突固めたものである。

II 供試土の一般的な性質

表 1. 供試関東ロームの一般的な性質

採 土 地； 東京世田谷 東京農大用賀農場
 採 土 深； 0~10 cm, 80~90 cm (立川ローム層)
 土 壤 型； 玄武岩質火山灰に由来する火山灰土
 主要粘土鉱物； アロフェン

粒 度 表土	0.002 mm 以下	0.002~0.02	0.02~0.2	2.0~0.2
心土	0.002 mm 以下	0.002~0.02	0.02~0.2	2.0~4.0
供試土塊 心土 (炉乾土)	0.25 mm 以下	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0

腐植含量 表土 15.66% 心土 2.77%
 真比重 表土 2.56 心土 2.77

不攪乱土の性質 (心土)

仮比重 0.45 間ゲキ率 83%

飽和透水係数 10^{-2}cm/sec のオーダー

構造 カベ状構造 (顕微鏡観察) 表土は団粒状構造

間ゲキの性質	表土	固 相	PF 4.2~ ~7.0 水分	PF 4.2 ~2.5 水分	0.1 mm 以上の間 ゲキ量
	心土	固 相	PF 4.2~7.0 水分	PF 4.2~2.5 水分	

供試した土は、いわゆる関東ロームで、本テーマに関連するおもな性質は表1のとおりである。(表1は関東ローム水分系研究グループの成果を引用したものである。¹⁾)

自然構造の土(不攪乱土)では透水性が大きく、間ゲキ率も心土で83%と非常に大きい。一方、高pFの水分を多量に含み、自然含水比は心土で140%をこえ、また粘土含量はよく分散させると40%をこえる。

II 突固め曲線のあらわれ方とその原因について

火山灰土のように自然含水比の高い土では突固め曲線〔JIS A1210に定められた方法²⁾すなわち内径約10cm、高さ約12.7cm、体積1000cm³の金属製円筒形モールド中に土を入れ、重量2.5Kg、直径5cmの円形金属突棒を規定落下距離、規定回数落下させて突固めた土の乾燥密度 γ_d (土壌学でいう仮比重)と突固め時の土の含水比の関係曲線〕は、乾燥過程(土の含水比をだんだんにへらしながら突固める場合)ではピークをあらわさないことが久野氏により明らかにされた。³⁾ その原因について、われわれの研究グループでは火山灰土の土塊の収縮特性を主要因子の一つとしてあげた。⁴⁾ 久野氏もまた最近拘束水と自由水の仮説を用いて説明せんとところみている。⁵⁾

ここではこれらの原因に加えて、土塊の破断(粒径分布の変化)、水分、収縮・膨張の非可逆性の要素などを重ね合せて曲線のあらわれ方を説明したいと思う。

本実験の供試土は、生土の状態では4mmフルイでふるいわけた土塊である。突固めはJIS規格の用具を用い、JISに準じて行なったが、ただJISでは3層を重ねて1000cm³とするが、本実験では層の積み重なりの影響を除去するため1層のみにした。したがって全体積はJISの1/3である。供試土はJISのように同じ土をくり返して使用せず1回ごとに新しい試料を用いた。なお乾燥過程の突固めはJISに規定されていない。

図1のように、普通の土では乾燥過程、湿潤過程(土の含水比をだんだんに上げながら突固める)ともにピークがあらわれ(γ_d の最大値がある)、両者の形はほぼ等しい。一方関東ロームでは特殊で、図2の上の図のようになる。この特異な様相を発現させる要素は下の図のように分けられる。要素は γ_d の増加に作用するものを(+)に、減少に作用するものを(-)に図示した。これらのグラフは突固めの力と関係してくると思われるが、詳細については今後発表したい。

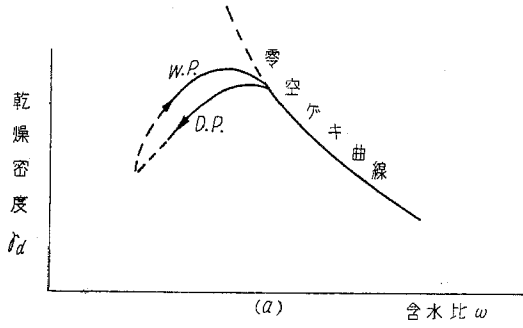
まず乾燥過程から述べると、土の含水比が高いときには、過剰水分が残ったり、封入空気が抜けにくいので γ_d は小である。水がしみ出る状態の含水比は150%付近以上であった。

含水比がへるにしたがって過剰水分はなくなり、水による潤滑作用で γ_d は上昇する。この含水比の範囲は、水が土塊の表面に偏在するために、また潤滑作用が持続されるためには多分子層が必要であることなどのためにかなり広い。

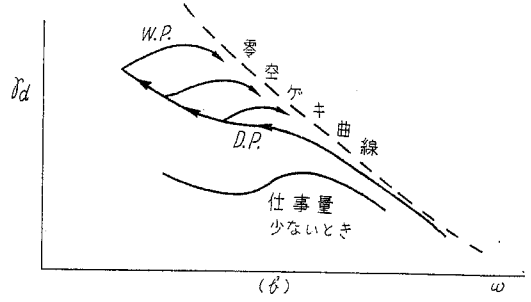
この範囲以下に含水比がへると潤滑作用がへり、土塊間の摩擦が増加して γ_d は低下する。これらの潤滑作用のあらわれる水分範囲は、突固めの力によってかわることが予想される。

さらに乾燥したところで影響をあらわすのは土塊の収縮である。乾燥するにしたがい土塊は収縮し、見かけの γ_d は上昇するから、その突固められたものの γ_d も上昇する。その数値を表2に示した。土塊の収縮量および膨張量と含水比(pF値であらわしたものの)の関係は、 $8 \times 2 \times 2$ cmの整形土塊について竹中氏がもとめている。⁶⁾ 一方突固めに供試した4mm以下の土塊の収縮量を顕微鏡下で測定すると、

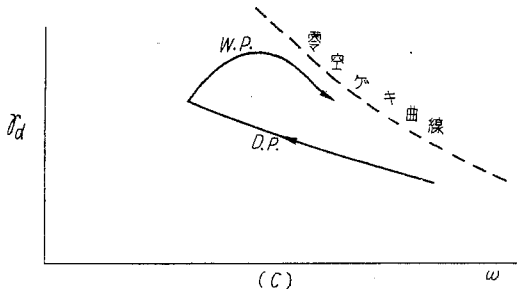
D.P. 乾燥過程
 W.P. 湿潤



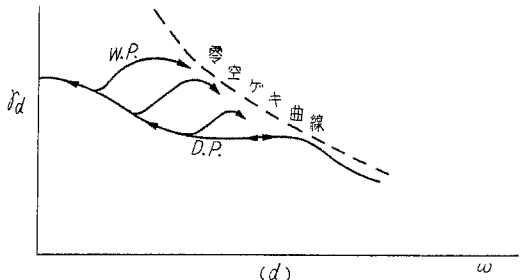
(a) 非火山灰土
 関東ローム水分系グループ
 (ピークあり)



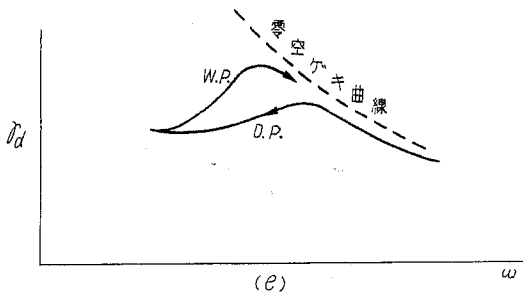
(b) 関東ローム心土
 久野悟郎「土の締固め」
 (D.P.ピーク不明瞭)



(c) 関東ローム心土
 関東ローム水分系グループ
 (D.P.ピークなし)

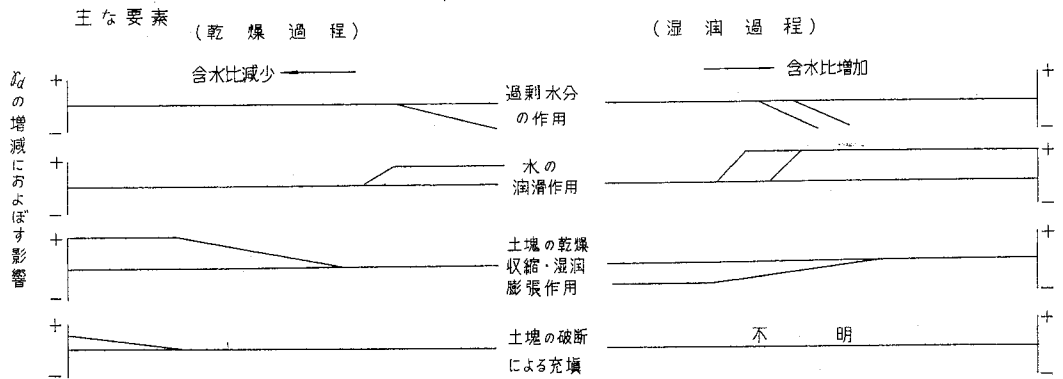
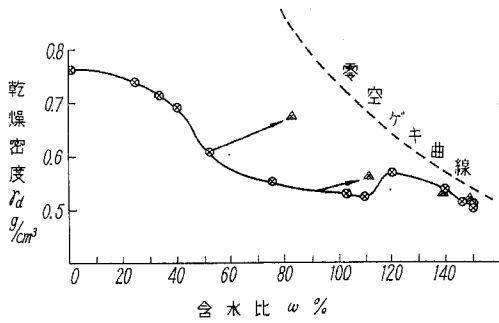


(d) 関東ローム心土
 (D.P.ピークわずかにあり)



(e) 関東ローム表土
 (D.P.ピークわずかにあり)

図1 突固め曲線 ($r_d \sim w$) のあらわれ方



主な要素は、ほかに土粒子間の摩擦力による(-)に作用するものがある。これは突固め曲線の含水比120%から110%における r_d の低下にあらわれている。

図2 関東ローム心土の $r_d \sim \omega$ 曲線とその要素

最終収縮率は整形試料の最終収縮率と平均的には等しいことがわかった。したがって整形試料で求められた収縮量を用いて土塊の収縮が r_d におよぼす影響を計算した。すなわち0%収縮(自然含水比付近)のときの突固め実測値 $r_d = 0.51$ を基準にし、土塊が収縮しただけその体積はへり、見かけの r_d は上昇するとして計算した。

収縮がおこりはじめてから含水比40%前後までは実測値と計算値はよく一致する。それ以下の含水比では、突固めの r_d の上昇は収縮量による上昇量を上まわってくる。この含水比40%以下の領域では土塊の破断の影響が顕著になる。突固め前後の土塊の粒径分布を団粒分析によって求め、0.25mm以下の土塊量を比較すると表2の最下欄のようになり、炉乾土の破断が大きい。つまりこの領域では土は土塊の破断によりつまってゆく割合が大きい。

乾燥過程では以上のような要素が組合わさって図2の上の曲線があらわれている。図1の(c)では突固めの力が大きいために、水が潤滑作用を行なう水分範囲が収縮のあらわれる含水比にまでおよぶため

ークがでないものと思われる。

表2 土塊の収縮が突固め r_d におよぼす影響

含水比%	15.0 自然含水比	14.4	14.3	10.6	7.5	5.1	4.1	2.4	0
pF	<2.5	2.7	3.0	4.2			5.5		7.0
収縮量 線収縮率	% 0	% 0	収縮 はじまる	% 1			8% ~12	% 10	% 10
突固実測 r_d	0.51	0.51	0.51	0.52	0.55	0.60	0.69	0.73	0.76
計算値 r_d *	—	0.51	0.51	0.525			10% 0.70	0.70	0.70
土塊の破断 ** 倍	—	—	—	—	1.5	1.4	—	—	3.5

- * 収縮量0%のときの実測 $r_d = 0.51$ をもとに線収縮量から体積の減少を計算して求めたもの
突固め後の0.25mm以下の土塊量%
- ** 突固め前の0.25mm以下の土塊量%

湿潤過程においては、土塊の乾燥収縮。湿潤膨張がヒステリシスをえがく含水比 (pF 4.2付近, 含水比10.6%付近⁶⁾)をこえて土塊を乾燥させると、土塊は再び湿潤させても完全には膨張して体積を回復しないで収縮の効果を残したまま突固まる。一方、添加した水は大部分は潤滑剤としてはたらし、水分が過剰にならぬ限り r_d は上昇する。さらに水分が増し過剰になると r_d は低下する。すなわちピークを生ずる。

なお火山灰土心土の pF 4.2~5.5 あるいは4.5付近の水が乾燥に対して非可逆的であることは美園氏ら⁷⁾水分系グループなど⁸⁾が明らかにしている。

ここまで乾燥させない場合には、湿潤過程の曲線はほとんど乾燥過程の曲線の上をもどってくる。なお、この他の要素も条件によっては大きな影響をもってくるであろう。

非火山灰土は収縮量少なく⁹⁾水分の非可逆性も少なく¹⁰⁾また土塊の構造性が関東ロームのように発達していないために¹¹⁾土塊の破断の影響もちがってきて、水の潤滑作用と過剰水の作用との要素のみが大きく働く。このため、乾燥過程、湿潤過程はともに明瞭なピークができる。乾燥、湿潤過程両曲線のピークの水分軸上でのずれは、等量の水分量に対して添加水がなす潤滑作用の方がはじめから持っていた水の潤滑作用より大であることを示している。

関東ローム表土については、心土の突固め曲線とにているが、特徴が心土ほど顕著にあらわれないので省略する。

IV 突固めと透水係数の関係

図3に示すように飽和透水係数 K_{sat} (真空中に減圧し間ゲキから空気を完全に追いだしてから脱気水で飽和したときの透水係数 cm/sec) は自然含水比近くで締固めたとき最小になり、突固め時の含水比が減少するにしたがって大きくなる。この現象については徳永氏¹²⁾も見出している。

このことは γ_d が増大するにしたがって、すなわち図3の下に示すように固相容積百分率の増加にしたがって透水係数が増大することになる。従来の γ_d が最大の付近（間ゲキ量最小の付近）で透水係数が最小になるという常識とはちがう現象である。

これは次のように説明される。

(1) 風乾土では、大間ゲキが多く残るような構造に締固められる。生土では、間ゲキ径が小さいように締固められる。

これは限界負圧の比較、吸引法による間ゲキ分布の測定、土壤薄片顕鏡法などでたしかめられる。

限界負圧とは、土柱へ毛管水のメニスカスをやぶって空気が浸入する負圧である。限界負圧が小さいものは間ゲキ径が大であり、大きければ間ゲキ径が小さいことがわかる。吸引法では吸引圧と土柱から脱水される水の量によって間ゲキの大きさとその量の関係を知ることができる。

(2) 生土突固め土は、V.で述べる現象を呈するような水分を多量にもっている。生土突固め土の方が、間ゲキ率の小さい風乾土突固め土よりも透水係数が小さいという現象には、これらの水分と土の結びつきの関係も原因の一つになっていることが考えられるが詳しくは別に発表したい。

ただしこれらの現象は図3のような乾燥過程の突固めの場合であり、湿潤過程の場合には突固め時の含水比や乾燥密度と透水係数との関係は条件によつてちがってくる。

V 透水係数にあらわれる関東ローム生土、炉乾土の相違

図4のように、生土突固め土においては、透水係数が 10^{-5} cm/sec 近辺にまで突固まれば、動水勾配を大にすると透水係数は大になる。すなわちダルシー法則 $v = kJ$ の $k = \text{一定}$ が成立せず、 k は J の増加とともに増大する。

一方、炉乾土突固め土（透水係数を下げるために炉乾土をすりつぶして粒径を小さくし、突固め土の間ゲキ径を小さくしたもの）は、 k のオーダーについては生土突固め土と同じであり、間ゲキ径は限界負圧によると生土突固め土の径より小さいにもかかわらず、 k は J によつてかわらずに $v = kJ$ が成立する。

原因については火山灰土に特徴的である水の保持形態が関係しているものと思われるが、詳細は別に発表したい。

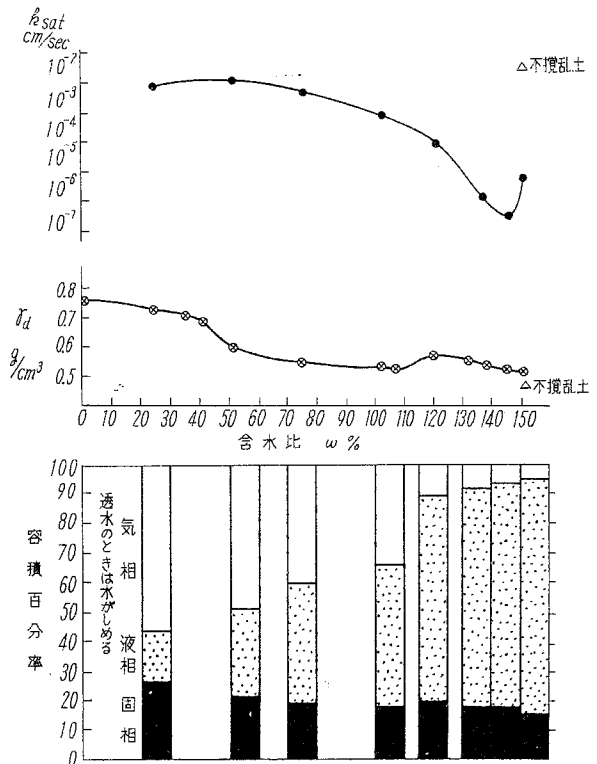


図3 k_{sat} , $\gamma_d \sim \omega$, 3相分布の関係
〔乾燥過程突固め〕

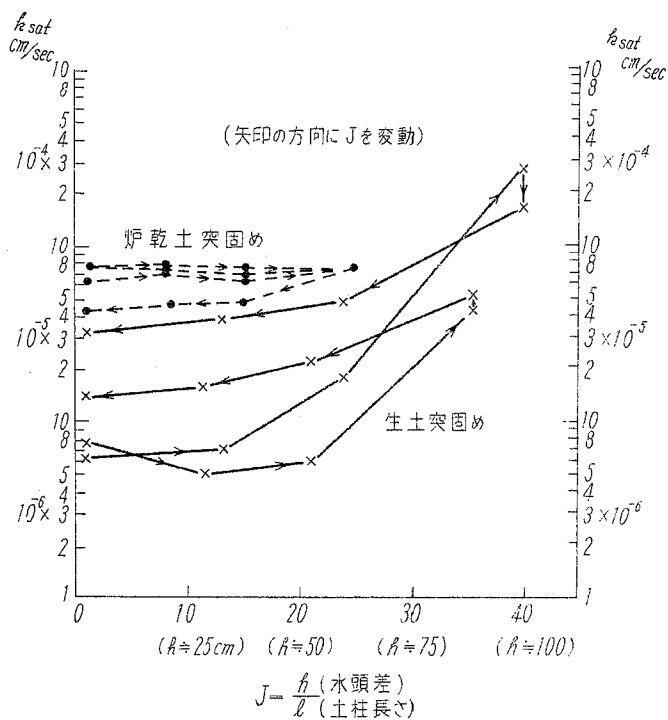


図4 透水係数にあらわれる生土・炉乾土の相異

VI あとがき

関東ロームの物理的な性質が工学的性質に大きな影響を与えている一つの例として、突固め曲線のあらわれ方とその透水性との関係をとらえてみた。

この研究はまだ未完成で、今後突固め曲線のあらわれ方と強度との関係、突固め曲線とその他の工学的な挙動との関係、突固め曲線と突固めの力、透水性と動水の力の関係などを土壌物理の側面から検討、整理する方向へ研究をすすめてゆくつもりである。

この研究は総合研究「関東ロームの水分系の研究」それから発展した「関東ロームの土道の研究」の中で行なわれたものであり、考察にあたってはこれらの研究グループの成果をおおいに使用した。

講演にあたっては 山崎不二夫教授はじめ研究グループの方々から御助言をえた。厚く感謝する次第である。

引用文献

- 1) 関東ローム水分系研究グループ；農土研別冊7号 pp. 1~109 (1963), 同5号 pp. 17~23 (1963)
- 2) 土質工学会土質試験法解説編集委員会編；土質試験法解説第一集 pp. 93~94 (1960)
- 3) 久野悟郎；東京大学理工研報告4 (5, 6) pp. 144~150 (1950)
- 4) 1) に同じ p. 102
- 5) 久野悟郎；「土の締固め」技報堂全書57 pp. 89~93, 技報堂(1963)
- 6) 竹中肇；研究の資料と記録12, pp. 23~27 東京大学農学部土地改良研究室(1962)
- 7) 美園繁ほか；農技研報告B(2) pp. 103~104, pp. 120~121 (1953)
- 8) 1) に同じ p. 71
- 9) 1) に同じ p. 97
- 10) 1) に同じ p. 71
- 11) 1) に同じ p. 20
- 12) 徳永光一ほか；「機械開墾の研究」岩手県農地林務部農地開拓課 (1962)

転動荷重を受けた地盤の挙動と締り

佐々木 次 郎

(農業土木試験場)

I はじめに

作物生産の立場から、機械の運行によってできる盤層の問題を掘りさげてゆこうとするまえに、これまでも各種の機会を通して得られた知識や経験を、地盤力学の観点からも整理しておくことは必要であると思われる。

工学的な目標、手段で行なう地盤転圧の一般原則と関連する研究成果のうち、ここでは関係の深い部面を取り上げた。転圧に伴う表層土の動きは耕地作業機の運行問題と、また内部変形は盤層の生成につながるものであるから、問題を表層と内部とに分けてみた。

II 土面の状態と定速前進する転動車輪の運動、表層土の動き

1 車輪、土面に働く接線力

水平な土面を車輪が一定の垂直荷重を受けて転動するとき、車輪と土面の間に働く接線力は、(1)車軸に推進力かけん引力だけが働く非駆動輪と制動トルクを受ける被制動輪のばあいは後向き、(2)車軸のまわりに駆動トルクの働く被駆動輪では前向きとなる。(第1図)

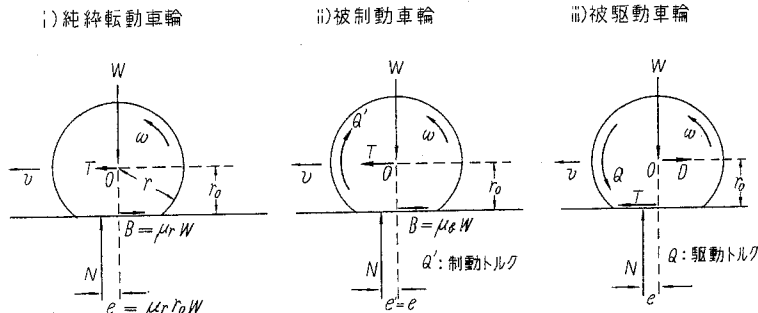
(後向きの接線力) = (抵抗係数) × (車輪に加わる垂直荷重)

接線力は、ころがり抵抗、土面抵抗または制動抵抗である。

(前向きの接線力) = (推力係数) × (車輪に加わる垂直荷重)

接線力は推進力となる。

接線力の大きさは車輪・土面間の相対運動(相対すべり)に支配され、相対運動はすべり比(slip ratio)で論ずることが出来る。抵抗係数(ころがり摩さつ係数、土面抵抗係数、制動摩さつ抵抗係数)と推力係数はともにすべり比の関数である(第2図)。



第1図 車輪・土面間の接線力

ここでは、最も基本的な、車軸のまわりに駆動トルクの働かない転輪のばあいについて、車輪の転動と表層土の動きを取り扱う。

2 純粋転動，破かい現象を伴わない車輪・土面間の相対運動

土面が弾性的だと、車軸にけん引力か推進力だけの働く車輪は、ころがり抵抗と地盤の垂直反力を受け、純粋転動 (pure rolling) をする。

低速度では、車輪が無回転状態で滑走 (固着現象) することもなく、また表層土がある深さにわたり、まとまって水平移動をすることも無い。

車輪は低速で水平土面を転動し、軸摩さつ抵抗は無視できるとすれば、加速抵抗、コウ配抵抗、空気抵抗はともに無視できるので、走行抵抗 (土面抵抗) はころがり抵抗に一致し、運動系の力のつり合い条件からつぎの関係が得られる。(第3図)

$$\left. \begin{aligned} T = R \doteq R_r = \mu_r W, \quad B = T = \mu_r W, \quad N = W \\ Ne = Br_0, \quad e = r_0 B / N = r_0 \mu_r (= r_0 \tan \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

NとP (TとWの合力) との着力点は一致する。

土面状態が塑性的なばあいの土面抵抗係数を μ_b ($\mu_b > \mu_r$) とすると、ゴムタイヤ型車輪の運動系についてつぎの関係が得られる。(第4図)。

$$T = B = \mu_b W > \mu_r W, \quad N = W \dots\dots(2)$$

この半径 r の車輪が変形して有効半径 r_0 ($r_0 < r$) で一定の低速 v を保って転動するのであるから、角速度を ω とすれば、車輪は土面上を $r_0 \omega$ の速度で純粋転動し、土面は単位時間に $(v - r_0 \omega)$ だけ前方にすべることになる。
($v - r_0 \omega$) は車輪の土面に対する相対速度でもあるから、すべり比を S とすれば、

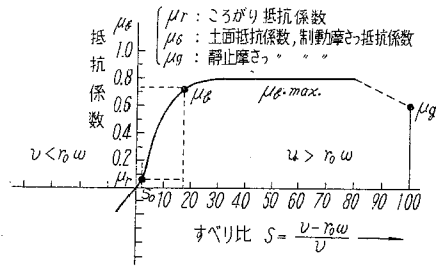
$$S = (v - r_0 \omega) / v \quad (v > r_0 \omega) \dots\dots(3)$$

一方、定速 V で弾性土面を純粋転動するばあいよりは、 $(\mu_b - \mu_r) W$ だけ多く土面抵抗を受け、それだけ余分のけん引力か推進力を必要とする。このことは、つぎのように考え方を置き換えて取り扱うことができる。

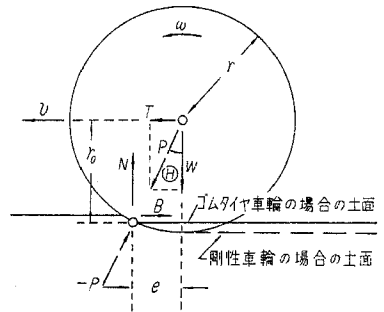
「角速度 ω で弾性路面を純粋転動するゴムタイヤ型車輪の車軸のまわりに Q' の制動トルク (braking torque) をかけ、定速 v の前進を維持させようとして $B = \mu_b W$ の土面抵抗を受け、単位時間当たり $(v - r_0 \omega)$ のすべりを生じた」として塑性的土面の表面運動を考察することができる。

Q' は、仮想的な制動トルクであり、式(2)と第4図からつぎの関係が求められる。

$$\left. \begin{aligned} Q' = Br_0 - Ne = Br_0 - W \mu_r r_0 = (\mu_b - \mu_r) W \\ T = B = \mu_r W + (Q' / r_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$



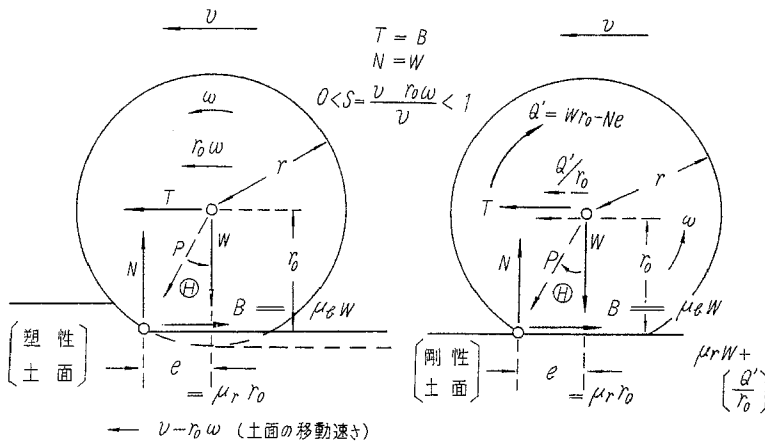
第2図 すべり比と抵抗係数の関係



第3図 純粋転動中の車輪に働く外力

(Q'/r_0) は、塑性土面上で車輪に定速 v の転動前進を行なわせるため、土面を進行方向に $(v - r_0\omega)$ だけ動かすのに必要な水平力である。

車輪が剛性のばあいも、地盤反力 N の着力点を通る不撓性仮想土面を転動すると考えれば、有効半径は r_0 となって、ゴムタイヤ型車輪のばあいと全く同じ取り扱いができる (第4図)。



第4図 クラックを伴わない、塑性土面と車輪との相対運動

3 車輪通過跡地のクラック発生

土面が弾性的なほど μ_b は小で、純粹転動の可能な状態では μ_r に一致する。逆に、土面が軟らかなほど大であるが、第2図の $\mu_b - S$ 特性曲線から、 S の増とともに急増し、 $S = 20 \sim 30\%$ で限界値 $\mu_b \cdot \max$ に達する。以後 S が増大しても限界値を維持するといわれるが、 $S = 100\%$ では突然落ちて μ_g に一致する。

いま、塑性地盤の支持力理論の概念を導入すると、対地圧の作用で地盤内に流動条件が成立することによって起こる地盤構成土の流動破かい現象は、まず接地端部に始まり、流動条件の成立する領域 (塑性域) 内の土を乱して強度を低下させる。塑性域にはさまれた接地部直下には弾性的性質をもつ堅い核部 (Kurdjumoff の核) ができるわけである。

塑性土面上の車輪の定速転動運動は、この核部が形成されることにより可能となる。

式(4)は、 $\mu_b > \mu_g$ 、かつ μ_b は μ_g とは異質のものであるから、表層土の進行方向への移動を許すが、クラックの発生は伴わない定速転動運動の可能な条件式である。

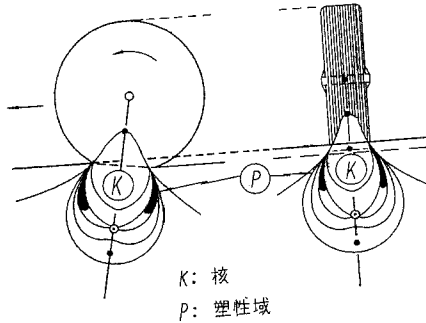
土面がまだ不安定で転動運動だけでは車輪の定速前進が不能なばあい、 $\mu_b \cdot \max$ 、かつ $B \cdot \max$ の限界条件下でさえ、車輪は核部表面の接触土を動かしながら、核部そのものも動かし、前方土を水平的に圧縮して土面抵抗係数を低め、 $S \leq 1$ の条件をつくりつつ定速前進を続ける。

しかし、土面の不安定度が低すぎて $S = 1$ の状態にあるならば、式(4)の仮想制動トルク Q' よりも大きな Q'' を必要とし、 Q' の運動条件ではも早や車輪の定速前進は不能で、土面には車輪の接地部後端に生じた塑性域にクラックが生ずる。クラック発生の条件は、

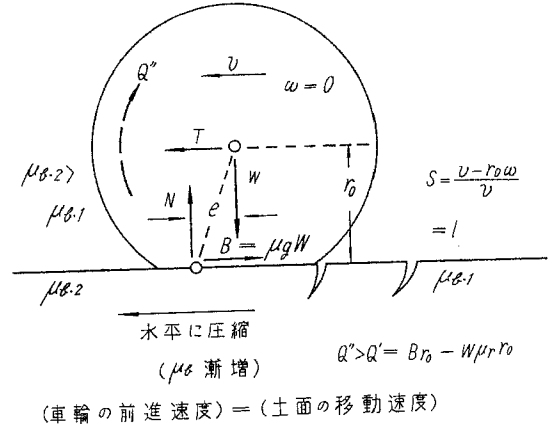
$$Q'' > Q' = B_{\max} r_0 - W\mu_r r_0 = (\mu_b \cdot \max . - \mu_r) W r_0 \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 $S=1$ 、 v は一定、かつ $r_0 \neq 0$ 。

よって、 $\omega=0$ 、 μ_b は μ_g となる。



第5図 車輪接地面下の塑性域



第6図 クラックの発生条件

すなわち、クラックが生ずると、車輪は無回転状態で核部に乗ったまま、土面から静止まさつ抵抗($\mu_g W$)を受け、核部とともに定速 v で引かれるか推される。この運動では、

$$T = B = \mu_g W \dots\dots\dots(6)$$

ただし、 μ_g は静止まさつ抵抗係数。

無回転状態で核部に乗ったまま前進する際、車輪は核部と一体となって前方土を水平的に圧縮し、その抵抗係数を落して式-(2)、式-(4) の関係を満足する転動運動を再開するが、やがてまえと同様の地盤状態の所に進んでクラックを発生させる。

前方に引かれるか推されて定速前進する車輪は、以上2つの運動状態を繰り返して通過跡地に規則正しい幅と間隔のクラック群を残して行く。

模型実験の結果によると、土層の密度が大きいほど、また土湿が締めめ最適含水比に近いほど、クラックの幅と間隔は狭くなり、到達深さも浅くなる。

4 車輪前面土のせん断すべり

車輪の荷重が過大で土層に完全破かいを起させない限り、表層土がなう軟で車輪が深く沈むと、定速前進に当って車輪は前回表土から相当の土圧を受ける。

車輪を定速前進させるには、この受動土圧に打ち勝って前回表土内にすべり面を形成させ、すべり面上載のすべり土をすべり面における粒子間まさつ抵抗に打ち勝たせてすべらすことが必要となる。すべりに要する水平力 F はつぎのとおりになる。

$$\left. \begin{aligned} F &= T - \mu_b W \dots (\text{転動前進, } S < 1) \\ \text{or, } T - \mu_g W \dots (\text{無回転前進, } S = 1) \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

この現象は表層土がある程度乾いて砂的な性格を示すときに強く現われるので、クーロンの直線すべ

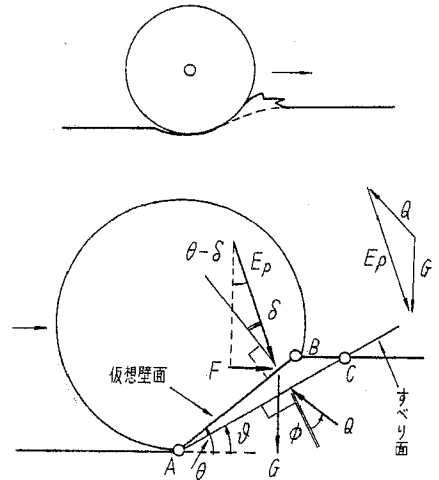
り面を想定すると、 F と受動土圧 E_p （粘着力のないばあい）または P （粘着力のあるばあい）との関係、受動土圧作用の限界条件はつぎのとおりである（第8図）。

$$E_p \text{ (または } P) = F / \sin(\theta - \delta),$$

$$\theta \leq \delta \text{ で } F = 0 \dots \dots \dots (8)$$

車輪が前面表土を切る、仮想壁面の水平面に対する傾角 θ が車輪・土面間の摩さつ角 δ に等しいか、それより小さくなると、も早や車輪は前面土からは土圧を受けることはない。

このせん断すべりの現象は、1カ所を繰り返して通るばあいには、初めの1~2回の通過で見られなくなる。また、すべり土がづぎづぎに持ち上げられ、崩れずに重くなって推されて行くこともある（第7図）。



第7図 車輪前面土のせん断すべり

Ⅲ 土面の沈下，表面土の水平移動量

土層が流動したり、完全破かいを起こさぬ限り、車輪の通過に伴う車軸方向への土の横移動は、進行、鉛直両方向の動きに比べて無視できる。ゆえに、通過回数と鉛直、水平各方向の変位とを関連づけ、前項までの諸現象の消長との関係をも明らかにすれば、締固め進度（degree of compaction）推測の目安にできる。

1 通過回数と表面の沈下，締固め度

車軸（ローラ）の通過回数を N ，各回の表面の沈下を ΔZ_N ，累加量を $Z_N (= \sum_1^N \Delta Z_N)$ とすると、つぎの $(N-Z)$ 実験公式が成立する。

$$Z_N = N (a + bN)^{-1}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} Z_N = Z_\infty = 1/b \quad (a > 0, b > 0) \dots \dots \dots (9)$$

$$C_N = Z_N / Z_\infty (\%) \text{ (degree of compaction)}$$

この公式は、一般の砂質土、塑性土、粘性土について、あらゆる転動型締固め機の転圧に適合する。

a ， b は定数で実験的に求める。

通過各回の締固め度 C_N は、多数の実験資料から、統計的におよそつぎの値を示す。

- C_1 ; $(\Delta Z_1 / Z_\infty) \times 100 (\%)$: 30~60%
- C_3 ; $(Z_3 / Z_\infty) \times 100 (\%)$: 55~75"
- C_6 ; $(Z_6 / Z_\infty) \times " "$: 70~85"
- C_8 ; $(Z_8 / Z_\infty) \times " "$: 80~90"
- C_{10} ; $(Z_{10} / Z_\infty) \times " "$: 80~90"
- C_{20} ; $(Z_{20} / Z_\infty) \times " "$: 90~95"
- C_{100} ; $(Z_{100} / Z_\infty) \times " "$: 98~99"

$N=8 \sim 10$ 回以降の沈下の増分は $0.1 \sim 0.05 \text{ cm}$ 程度の微量なものとなる。上表は転圧を可能とする土湿全域についてまとめたものであり、また盛土層の厚さは $30 \sim 35 \text{ cm}$ までのものについて取り扱っている。

つぎの項で述べるように、各回の表面土の進行方向への移動量の増分 ΔX_N は通過回数 $5 \sim 6$ 回ぐらいで0となることも考え合わせると、1カ所 $6 \sim 8$ 回通過で十分といえる。一般に、上表に示されるところより、 $C_{N=8} \doteq C_{N=10}$ の関係から、締固めの適正通過回数は、十分安全をみても、経済的に8回とみてよい。このばあいの締固め度 $C_{N=8}$ はつぎのようである。

$$C_{N=8} = Z_8 / Z_\infty = 80 \sim 90 (\%) \doteq 85 (\%)$$

(適正通過回数 $N=8$ における、実用上の締固め度)

ここでいう適正通過回数とか実用上の締固め度はいかなる締固め条件にも大体通用する数字であるが、しかし締固め度 C_N はそれぞれの与えられた条件下での極限沈下量に対する各回の累加量の相対比率であるから、条件によって締固め効果は異なるわけである。

2 表面土の進行方向の移動と通過回数の相関

車輪(ローラ)の通過各回における表面土の進行方向への移動量を ΔX_N 、累加量を X_N とすると、つぎの $(N-X)$ 実験公式が得られた。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_N &= m e^{-nN} \quad (\Delta X_N > 0, \text{ かつ一方向通過}) \\ X_N &= \sum_1^N \Delta X_N = m \sum_1^N e^{-nN} \\ \lim_{N \rightarrow \infty} \Delta X_N &= \Delta X_\infty = 0 \\ (\Delta X_{N=5} \text{ または } \Delta X_{N=6}) &\rightarrow \Delta X_\infty \end{aligned} \right\} \dots\dots (10)$$

ΔX_N は、初期の通過($1 \sim 2$ 回)では、 $2 \sim 20 \text{ cm}$ 、あるいはそれ以上に及ぶこともあるが、通過とともに急激に低減し、3回以降は $2 \sim 1 \text{ cm}$ 以内に落ち、 $5 \sim 6$ 回あたりからほとんど0になる。

このような ΔX_N の傾向を、(1) $\Delta Z_6 \sim \Delta Z_8$ が実用上0とみなせること、(2)車輪前面表土のせん断すべりが $N=1 \sim 2$ 回で見られないこと、(3)車輪通過跡地のクラックが $N=6 \sim 8$ 回以降は認めにくくなること、(4)地盤各深さに伝達される土圧が $N=5 \sim 8$ 回までに一定してしまうこと、などの実験的事実と考え合わせると、式(10)、(9)の相関公式は、転圧における地盤の締りと挙動を表面現象の消長から推測する有力な手掛りとなる。

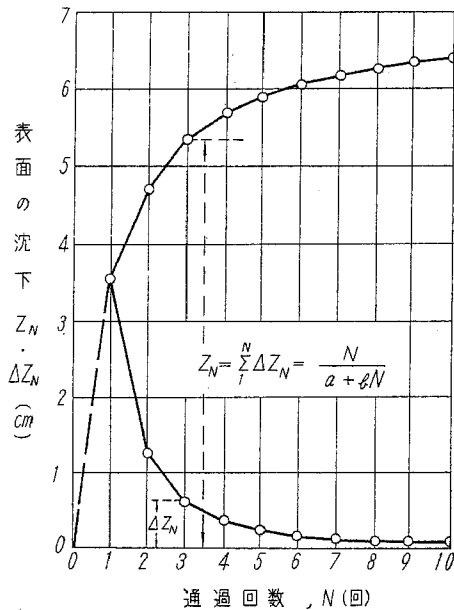
式(10)は1方向転圧のばあいについて求めた公式であるが、通過方向を任意回に反対としても、定数 m 、 n の符号を方向によって適切に取れば適用できる。たとえば、毎回交互に反対方向とする計算式はつぎに示される。

$$\left. \begin{aligned} X_N &= m \sum_{p=0}^{\left(\frac{N}{2}-1\right)} \left\{ e^{-(2p+1)n} - e^{-2(p+1)n} \right\} \\ & \quad (N: \text{偶数}; p=0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2}-1) \end{aligned} \right\} \dots\dots (10')$$

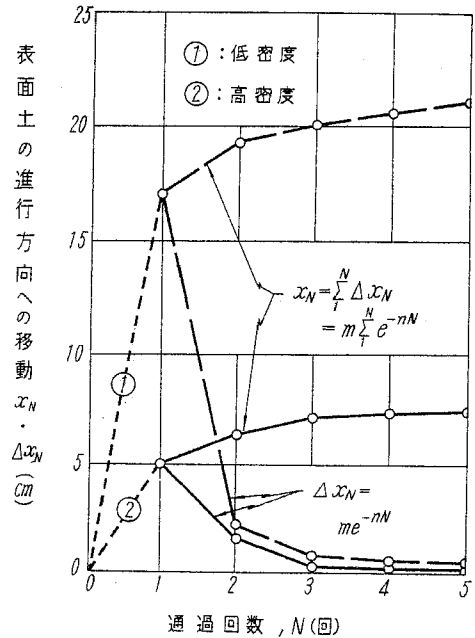
$$\text{or, } m \left[\sum_{p=0}^{\left(\frac{N-1}{2}\right)} \left\{ e^{-(2p+1)n} - e^{-2pn} \right\} + 1 \right]$$

$$(N: \text{奇数}; p=0, 1, 2, \dots, \frac{N-1}{2})$$

これより，“通過方向は必ず往復動とすべし”といったこれまでの通説は薄弱で，むしろ十文字掛けなどとするのが，施工上からも，締りを地盤全面に均斉にする点からみても有利であろう。



第8図 表面の沈下と通過回数



第9図 表面土の進行方向への移動量と通過回数

IV 車輪の通過と地盤の締り

力学上の計算を示して説明する必要がある事項と専門にすぎるものは避け，ここでは一応の概念を求めるのに必要な範囲に止めた。

1 地盤の変形，破かいと土中伝播土圧

接地面に一様に働く接地圧がある大きさよりも大きいと，ある領域内の地盤の各構成素片は，伝達応力によってすべり面を生じ，流動可能となる。接地面直下の土は圧縮で核部を形成し，これを取り巻く流動条件下の塑性域の土を，連続すべり面を形成させ，上方へと押し上げて入り込み，車輪は接触沈下をなす。

流動条件の成立する塑性域はまず接地端部に発生する。このときの接地圧を限界端荷重 q_a と呼び，接地圧がこれより大きくなければ地盤は有効に締まらない。

$$q_a = \frac{p_c \pi}{\left\{ \cos \phi - \left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) \right\}} \dots \dots \dots (11)$$

$p_c = C \cot \alpha$: (粘着応力または凝集力， C は粘着力で α は内部摩擦角)， ϕ : すべり面におけ

る応力と法線との間の角)

接地圧が q_a より大きいと塑性域は第 11 図のように下方へ伸び、接地面下の土は圧縮され、塑性域の土は核と入れ替わって上方に流動して地盤に部分破かいをもたらす。このような接地圧を塑性荷重 q_b と言い、有効な締りが得られるので“締固め最適強度”とも呼ばれる。

接地圧が一層大きくと、塑性域先端が接地面の中心鉛直線下方で合流するとすると、この時の接地圧を降伏荷重 q_c と呼ぶ。合流点を降伏点という。 q_c に接地圧に近いほど、車輪の沈下は大きく、急速に進む。 q_c を越えると、塑性域は降伏荷重のときのものよりも内側方、外側方へと広がり、ついに地盤は降伏して全般破かいし、核部も縮減される。

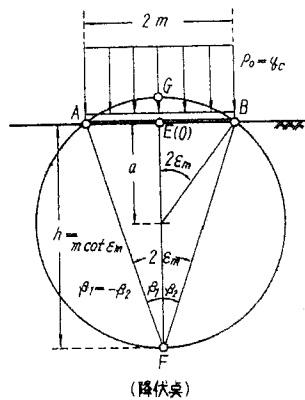
地盤構成土の乾燥密度を γ 、降伏点の深さを h とすると、

$$q_c = \frac{(\gamma h + p_c) \pi}{\left\{ \cos \phi - \left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) \right\}} \dots \dots \dots (12)$$

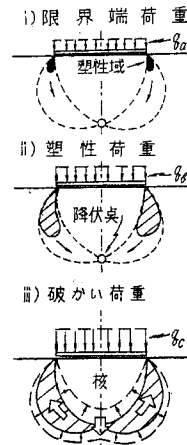
$$h = m \cot \epsilon_m \doteq 1.5 m \dots \dots \dots (13)$$

m : タイヤの半幅, ϵ_m : 第 10 図参照。

タイヤ幅 30 cm なら $h \doteq 2.3 \text{ cm}$, 幅 1.2 m のローラでは $h \doteq 90 \text{ cm}$ の計算となる。



第 10 図 降伏点の深さ



第 11 図 塑性域の生成, 発達

荷重の作用で地盤各部に伝わる伝達応力は深さにつれて急減し、載荷幅の約 1.5 倍の深さで接地圧の $\frac{1}{3}$ ほどに低減するというが、1 例に砂質地盤での汎用機械の実測例を示す。

4 t. 平滑胴ローラ	車輪直下 深さ 30 cm	$\dots 0.74 \sim 0.9 \text{ 噸}$	車輪直下 深さ 60 cm	$\dots 0.57 \sim 0.61 \text{ 噸}$
10 t. タンプ後復輪 (から積み)	" " $20 \sim 30 \text{ cm}$	$\dots 1.5 \sim 1.7 \text{ 噸}$	" " $30 \sim 50 \text{ cm}$	$\dots \doteq 1.3 \text{ 噸}$
スクレーバ前輪 (6 m^3 土砂満載)	" " $20 \sim 30 \text{ cm}$	$\dots 1.5 \text{ 噸以上}$	" " $30 \sim 50 \text{ cm}$	$\dots 1.5 \text{ 噸以下}$

スクレーパ後輪 : 車輪直下 …… 2.4 以上 車輪直下 …… 2.4 以下
 (6 m³土砂満載) : 20~30 cm 30~50 cm

D-6 ブルドーザ : 20~30 cm …… 1.2 以上 30~50 cm …… 0.7~1.2 "

実際の伝達応力測定値は、弾性地盤とした計算値より、接地面中心鉛直線に近い所ほど大きく現われる(応力集中)。砂質地盤ほど、接地面が狭いほど集中し、また粘性地盤ほど、接地面が広いほど集中しない。粘土地盤の応力集中係数は弾性地盤の係数に等しい。

2 限界締り深さと締りの断面的な推移

地盤内で圧縮量が0となる点を力学的に計算して締り深さを定めるには、弾性常数など各種の地盤常数を定めるためにも、また接地面下の対地圧分布の形を定めるにも仮定が必要であり、接地面積や接地圧自体の測定が困難であるため、計算と実際とに相当の開きが出る。ゆえに、実態面からの検討が必要であるが、調査方法のどれを取っても、それだけに頼る単一方式の判定では信頼性が乏しい。

ここでは、汎用機械を用いた地盤転圧での限界締りを、降伏点の深さを念頭におきながら、伝達土圧と支持力増加の関係、荷重・沈下曲線の特性変化、土壌硬度と貫入抵抗の断面的な分布の変化、その他三相分布、有効間げき量、土壌物理常数の変化から多面的に検討し、総合判定した結果を示してみた。

(1) 4トン汎用平滑胴ローラ

通過回数	よく締まっている深さ	限界の締り深さ
4回通過	10~20 cm内外	25~30 cm (最深35 cm)
8回通過	15~25 cm内外	30~35 cm (最深40 cm)
12回通過	15~25 cm内外	40~45 cm
散水8回通過	10~25 cm内外	25~40 cm

(2) 6トン汎用平滑胴ローラ

通過回数	よく締まっている深さ	限界の締り深さ
4~6回通過	15~25 cm	30~35 cm

(3) 中級ブルドーザ (D-6型程度)

通過回数	よく締まっている深さ	限界の締り深さ
4回通過	5~15 cm	20~25 cm
6回通過	0~20 cm	20~30 cm
12回通過	0~20 cm	30 cm内外

締固めの立場から、安全をみて総括すると、

汎用平滑胴ローラ (4~6トン) の限界締り深さ: 約30~35 cm

汎用の中級ブルドーザ (D-6型級) の限界締り深さ: 約25~30 cm

以上の結果は、土湿が締固めに比較的好適であったローム質地盤からやや砂質の地盤にわたる、多数の載荷試験結果からとりまとめている。また、機械の機関部から伝わる振動効果もこれらの結果に包括されているのである。

まえにも触れた応力集中度が土質によって異なるので、一般性を懸念されるとしても、伝播土圧は深さにつれて急減するから、締り深さに大きな開きは現われまいであろう。

下層が軟らかだと上層で応力は分散して締りは浅くなり、逆のばあいは応力は上層で集中して締りは

深まる。しかし、調査地盤の強度分布はすべて下方漸増型であり、この傾向は自然地盤の一般的特性でもあるから、上の結果はかなり一般性をもつ標準値と言えよう。

移動荷重の1カ所繰り返し通過で、断面的にみた地盤の締りはどのように推移するかは、表面と表層部および下位層の支持力増加の傾向、荷重・沈下曲線や三相分布、土壌硬度分布の特性変化を総括すれば、おおよそつぎに示すとおりである。

- (1)締りは、初め15～25cmあたりの表層下半部で急速に進む。(荷重がもっと小さいと、10～20cmと浅くなる)
- (2)つぎには、表層上半部で下から上へと急速に進み、初期の4回通過までには限界値に達してしまう。表層下半部とその直下を含めた領域では上から下へゆっくり進み、限界に近づく。
- (3)土湿が低目だと、機械を替えて伝達土圧を増さないと、表層下半部以深の締りを増進させることはできない。
- (4)土湿が高目では、空気と水の追い出しが困難であり、また土粒子間を伝わる有効圧力は、接地面下の土中に発生する間げき圧を差し引いたものとなり、表層下半部以深の締りは進まない。排水しないと、機械を重くしても効果はない。締固め限界における湿じゅん土の空気容積率は4～6%とされる。

V む す び

土の強度や地盤支持力を上げるための締固めでは、土質の改善や地盤表層土を置き換えたり、あるいは散水、風乾などの水分調整を行ない、またウオカブルで土質に適応した荷重形式の機具を選定して少しでも効果を上げることに努める。本来土の締固めには大きなエネルギーを要するうえ、湿じゅん環境のわが国では水分と締固めの特性が悪い有機質土や粒度不良の無機質土に到る処でぶつかり、実効を上げかねるのが実情である。

砂土に適する、40cm以上の中層的な締りをもたらず振動型の機具を除いては、一般的に用いられる機具のうち、転動型は表層的な20～30cmの締りを、やや中層的な効果があるゴムタイヤ型や衝撃型でも30～35cmの締りを与えるのにすぎない。

単時間の荷重作用の、単なる車輪通過ではもちろん、縦横に走行して極限に締りが達したとしても、締固め機械の多くは耕地作業機に比べて大型、重量型であり、締り深さはこれらの限界締り深さを越えないであろう。このことは、床締め田や大型機械化パイロットファームの畑地の地盤調査結果が示している。

これらの地盤面下に形成される締固め層がどの程度に締まるのかを推算することは、要因が複雑で、いまのところは実験室実験によらねばならない。この面の打解とともに、他の理化学的性質との相関関係、できれば相関公式、支持力や植生上の問題との結び付きを明らかにしたいものである。

表層土の動きについては、比較的乾いた、あるいは含水状態が落ち付いている表面状態の畑地、水田のばあいには本文の物理的、力学的取り扱いが適用できると考えられる。しかし一層塑性的、流体的な状態にある水田表層土の動的特性は、レオロジーの立場から考究しなければならぬ。

文 献

Ei, C.Y. (1956) : Basic concepts on the compaction of soils,

Proc. of A.S.C.E., Vol. 82, No. SM-1

久野悟郎・他1名(1952) : 転圧機械による土の締固めによる野外実験, 東京大学工学研究所報告, Vol. 4, No. 5・6

最上武雄(1948) : 土の力学, 河出書房

星埜和(1948) : 基礎の支持力論, コロナ社

久野悟郎(1963) : 土の締固め, 技報堂

佐々木次郎(1963) : 盛土転圧およびその台地漏水田の地盤処理への応用に関する実験的研究, 農業土木試験場報告, 第1号

干拓新田における盤層の 形成過程について

米 田 茂 男

(岡山大学農学部)

I 緒 言

児島湾沿岸を中心として展開する岡山県下の干拓新田のうち、とくに児島湾内部地域には、母材としての泥土堆積物の物理的および化学的性質が近似し、ただ干拓年次、従って開田後の年数のみを異にした水田が、堤防から内部に向って、ほぼ帯状に分布している。従って土壌生成作用に伴う各層位の組成変化、水田耕作に伴う盤層の形成過程、さらには地力の推移を追究する上に、他に比類のない研究材料を提供している。

著者は、これらの干拓地土壌を対象として生成的研究を行った結果、本地域の干拓新田の土壌は、主として溶脱作用と水田土壌生成作用によって規則的に変化すること、かかる変化の過程によって若干の類型に分類できること⁵⁾、かつ土壌の物理的性質の変化は、化学的性質の変化と密接な関連を有すること^{7,8)}、などを明らかにした。

とくに物理的性質の生成的变化の見地からすると、干拓初期の未熟土壌の易耕性は、きわめて劣悪であるが、生成の進行に伴って作土の易耕性は次第に向上する一方、干拓後約50年を経過すると明らかに盤層が形成され、作土と盤層の物理的性質の間に、著しい相違を生じることを知った。かくて本研究の結果から干拓新田における盤層の形成過程を、ある程度把握できることが判った。

別に川口および喜田^{1,2)}は、同じく児島湾干拓地の、開田後の年数を異にした干拓田を対象として、盤層の形成と、これに伴う土壌断面における物理的および化学的性質の変化について詳細な研究を行った。

以下これらの研究成果を総合して、干拓新田における盤層の形成過程について、若干の考察を試みる。

II 供試土壌の性格

供試土壌としては、天然型、微溶脱型、弱溶脱型および強溶脱型の4型、6種を用いた。これらの土壌および地下水の組成は第1表に示すとおりである。

干拓年次の新しい天然型と微溶脱型土壌では、土層の分化は発達せず、後者で第2層がややしまっているが、まだ盤層の形成は認められなかった。弱および強溶脱型土壌では、B₁G層に斑鉄、マンガン斑または結核が顕著に現われ、柱状構造も出現し、かつB₁G層の上部または全部が盤層に相当していた。

土壌の機械的組成は第2表に示すとおりで、粘土含量には若干の差が生じたがその大部分がHeavy Clay またはLight Clayで、土性はかなり近似していた。

次に土壌の化学的組成のうちで、とくに物理的性質と関連が深いと考えられる若干の性質を掲げる。

まず腐植含量をみるに、第2表に示すとおり、作土の含量は肥培管理の影響によって、次第に増加したが、第2層以下の含量は、アルカリ性溶脱の影響によって、古い干拓田では明らかに減少の傾向を示

した。

第1表 土壤および地下水の組成

No.	地点	深さcm	層位	干拓後の年数	PH	Cl ⁻ %	地下水位 地下水のCl ⁻
天然型土壤							
95F-1	児島干拓 7区	0-20	A ₁ G	2	7.4	0.92	45cm
2		20~	G		7.7	0.58	0.71%
微溶脱型土壤							
94B-1	児島干拓 6区	0-12	A ₁ G	12	6.7	0.06	52cm
2		12-42	A ₂ G		6.4	0.28	0.18%
3		42~	G		7.0	0.26	
弱溶脱型土壤							
89A-1	児島郡 興除村	0-13	A	60	6.3	0.02	65cm
2		13-48	B ₁ G		6.5	0.03	0.14%
3		48-84	B ₂ G		6.4	0.04	
82F-1	"	0-14	A ₁ G	130	5.6	0.02	60cm
2		14-44	B ₁ G		6.1	0.03	0.10%
3		44-60	B ₂ G		6.1	0.07	
強溶脱型土壤							
70C-1	倉敷市 豊洲	0-16	A	246	5.4	0.03	71cm
2		16-32	B ₁ G		6.3	0.02	0.09%
3		32-55	B ₂ G		6.8	0.02	
63A-1	都窪郡 吉備町	0-12	A ₁ G	323	5.2	0.03	112cm
2		12-23	B ₁ G		6.0	0.01	0.03%
3		23-58	B ₂ G		6.0	0.05	

第2表 土壤の機械的組成と腐植含量

No.	腐植 %	粗砂 2.0- 0.2mm %	細砂 0.2- 0.02mm %	シルト 0.02- 0.002mm %	粘土 0.002mm > %	土性
天然型土壤						
95F-1	2.63	0.8	6.8	40.9	51.5	Heavy Clay
2	2.90	Tr	3.1	44.0	52.9	"
微溶脱型土壤						
94B-1	4.20	0.4	10.5	42.7	46.4	Heavy Clay
2	2.37	0	18.2	37.8	44.0	Light Clay
3	2.44	0	20.1	37.4	42.5	"
弱溶脱型土壤						
89A-1	2.87	7.4	15.7	35.7	41.2	Light Clay
2	1.32	12.5	22.8	29.8	35.0	"
3	1.08	26.0	33.1	19.6	21.3	Sandy Clay loam
82F-1	7.06	2.3	20.7	36.2	40.8	Light Clay
2	1.70	1.1	11.3	42.7	44.9	"
3	1.58	0	23.0	44.9	32.1	"
強溶脱型土壤						
70C-1	3.86	7.8	32.3	32.1	27.9	Light Clay
2	1.47	2.8	35.1	30.2	31.8	"
3	1.74	3.0	34.1	32.8	30.2	"
63A-1	4.63	25.1	12.6	32.4	29.9	"
2	2.24	6.8	15.3	47.1	31.1	Silty Clay
3	1.08	2.7	17.6	42.9	36.9	Light Clay

塩基置換容量と置換性塩基の組成は、第3表に示すとおりで、前者は試料間で若干の差を生じ、粘土含量との間に関連性が認められた。

天然型土壤の置換性MgとNaイオンの含有率は著しく高く、1価カチオンの含量も12%をはるかに上回る高い値を示した。しかるに生成の進行に伴って、1価カチオンとMgイオンはまず作土から減少を始め、これが次第に下層土に進展し、強溶脱型土壤に至ると1価カチオンの含量も、ほぼ12%以下にまで減少した。

第3表 土壤の置換性塩基とマンガン含量

No	塩基置換容量 me/100g	置換性塩基 (置換容量に対する百分率)				塩基飽和度 V	Mn ₂ O ₃ 有効性	ppm HCl 可溶性
		Ca	Mg	Na	K			
天然型土壤								
95F-1	24.9	35.7	30.7	24.7	5.5	96.6	490	
	27.2	28.3	38.5	22.7	10.5	99.9	820	
微溶脱型土壤								
94B-1	26.4	28.8	24.4	9.6	4.4	67.2	770	2,365
	24.9	22.7	30.7	24.6	8.1	86.0	525	1,900
	23.1	23.6	34.2	27.1	14.0	98.9	285	1,900
弱溶脱型土壤								
89A-1	22.5	32.8	9.1	5.6	2.5	49.9	192	1,000
	20.0	32.3	31.7	11.9	3.8	79.6	286	1,170
	15.0	25.2	39.2	12.8	6.8	84.0	91	1,055
82F-1	30.7	29.7	3.4	4.3	3.0	40.4	330	875
	29.3	29.1	35.9	9.5	7.9	82.3	1,505	2,760
	24.6	24.7	37.2	14.3	9.0	85.1	470	1,805
強溶脱型土壤								
70C-1	17.3	43.4	6.9	4.7	1.6	56.5	60	700
	17.3	48.1	31.5	8.2	2.1	89.8	1,515	2,445
	16.6	38.2	39.3	9.7	3.1	90.3	150	795
63A-1	16.9	54.2	6.2	Tr	Tr	60.3	72	
	14.2	67.2	8.0	7.5	2.0	84.7	128	
	13.8	54.5	14.1	9.4	2.5	80.4	122	

次に有効性および塩酸可溶性マンガンの含量を検討するに、天然型と微溶脱型の未熟土壤においては、層位間に一定の傾向を生じなかったが、弱および強溶脱型の成熟土壤においては盤層の部位に著しく集積することが判った。川口および喜田¹⁾も盤層に活性マンガンおよび活性鉄が集積すること、また粘土はハロイサイトを主体とし、モンモリロナイト系のものをまじえていることを報じている。

III 水田土壤生成作用に伴う盤層の形成と土壤構造の変化

児島湾内部地域の新しい干拓地土壤の多くは、含塩アルカリ土型の埴土および埴壤土よりなり、かつ泥土堆積物は高度に水和されているため易耕性は極度に不良である。従って物理的にみた重粘なる干拓地土壤の熟畑化は、一に解膠分散状態を呈する一次粒子が凝固、粒団化して安定構造を発達する現象と

解釈できる。よって土壌生成作用の進行に伴って作土の易耕性がいかに向上するか、かつまた水田耕作によって盤層がいかに形成されるかの動的過程を究明した。

まず土壌の構造およびこれと関連ある諸性質として、土壌の懸濁液の分散状態と水中沈定容積、分散度、粗粒団と微粒団の粒団化度および透水度を既報⁹⁾の方法によって測定した。また水分定数として、HILGARD法による最大含水量と関法⁵⁾による水容水量を測定した。

1. 土壌の懸濁度および分散度

懸濁度 土壌懸濁液の分散状態と水中沈定容積の測定結果は、第4表に示すとおりである。

第4表 土壌の懸濁度、分散度および水分定数

No.	懸濁*1 状態	水中沈定 容 積 ml/g	分散率 %	容 水 小容水量 PF=3.0	量 %	最大含水量 PF=0
天 然 型 土 壤						
95F-1	卍	(全分散)	97.4	37.8		64.8
2	卍	"	94.1	58.7		90.3
微 溶 脱 型 土 壤						
94B-1	—	2.95	83.4	43.6		64.4
2	—	3.80	96.6	49.3		69.3
3	—	3.95	95.2	42.9		67.4
弱 溶 脱 型 土 壤						
89A-1	—	1.80	54.8	33.6		55.9
2	卍	(3.15)*2	99.1	31.5		50.1
3	+	1.90	95.6	22.3		42.4
82F-1	—	2.85	68.0	47.3		81.7
2	—	4.90	95.2	44.5		72.8
3	—	3.95	95.9	40.1		67.4
強 溶 脱 型 土 壤						
70C-1	—	1.63	53.8	30.2		57.1
2	+	3.55	100.5	29.0		48.7
3	卍	(全分散)	87.5	28.2		50.0
63A-1	—	1.65	50.0	31.6		56.0
2	—	3.15	77.3	29.7		45.8
3	—	4.10	89.0	33.5		50.3

*1 卍……完全分散，卍……強分散，卍……弱分散，+……微分散，—……凝固

*2 () は転移点を示す。

天然型土壌の各層位は、ほぼ完全分散の状態を呈し、沈定容積は識別できなかった。しかるに溶脱土壌の作土は、いずれも凝固沈定し、沈定容積は1.63~2.95ml/gの範囲を示した。第2層および第3層の場合は、試料によって懸濁状態に差異を生じたが、弱および強溶脱型土壌の盤層の沈定容積は、3.15~4.90ml/gと、作土に比べて顕著に大きいことは、注目に値する。

分散度 各土壌の分散率は、懸濁度の場合とほぼ同様の傾向を示した。すなわち天然型土壌の分散率は95%に近い高率を示したが、溶脱土壌の作土の分散率は、天然型土壌のそれに比べて明らかに低

い値を示した。かつ生成の進行につれて、分散率はおおむね低下する傾向を生じたが、盤層および下層土の分散率は、作土に比べて著しく大で、その多くが天然型土壤に近い高率を示した。

天然型土壤の全層位および微溶脱型と弱溶脱型の土壤の第2層位以下が、高度の分散度を示したのは、置換性1価カチオンの含量が、すべて12%以上の値を示すことから、アルカリ化作用の影響によるものと推定される。これに対して溶脱土壤の作土の分散度が低いのは、置換性1価カチオンの含量が12%以下に低下していることと、脱水による水和度の低下に基づくと考えられる。しかして強溶脱型土壤の盤層では、同じく1価カチオンの含量は12%以下を示すのにかかわらず、高度の分散度を示したのは、脱水が十分に進まないため、まだ水和度が高い水準に保たれているためと解釈できる。

2. 容水量

最大容水量と小容水量の測定値をみるに、第4表に示すとおり、おおむね粘土含量の多少との間に関連性を示した以外は、土壤類型別にみても、層位別にみても、一定の傾向は存在しなかった。

3. 粒団化度

粗粒団および微粒団の粒団化度の測定値は第5表に示すとおりで、天然型土壤の両粒団化度はきわめて小さく、とくに安定な構造単位をほとんど欠いていることが判った。

次に溶脱土壤の作土の粒団化度を比較するに、微溶脱型土壤において、すでに粗粒団および微粒団は顕著に発達し、かつ弱および強溶脱型に至ると、わずかながら粒団化は一そう発達する徴候を認めた。しかして粒団化度の相違は、むしろ第2層の試料間で顕著に発現した。すなわち微溶脱型土壤においては、粗粒団の粒団化度はいまだ天然型土壤のそれと大差なく、かつ微粒団の粒団化度も天然型土壤に比べて若干高い値を示す程度に止った。しかるに盤層が形成されると粗粒団の粒団化度は著しく増大し、弱溶脱型をへて強溶脱型に至ると、粒団化度は更に顕著に増大する傾向を示し、後者においては作土と大差を認めない程度にまで発達した。これに対して微粒団の粒団化度は、弱および強溶脱型の各試料間で大差なく、いずれもが微溶脱型土壤に比べると明らかに増大はしたが、その程度は粗粒団の場合に比べると、はるかに僅少で、作土のそれに比べて著しく低い値を示した。

天然型土壤に耐水性粒団を欠いているのは、粘土の脱水が不十分で水和度が高いこと、置換性1価カチオンおよびMgイオンの含有率が高いことに基づく。また微溶脱型から強溶脱型へと生成の進むとともに、作土の粒団化が向上したのは、乾燥と湿潤が反覆されたこと、置換性塩基の組成に変化を生じたこと、有機物含量が増加して結合作用を発揮したこと、更には作物の根系の作用も加わってくることなどに基づくと考えられる。川口および喜田²⁾は、作土層では種々の原因により土壤は攪乱されて粒団は破壊されるとともに、分散した土壤粒子は有機物および活性鉄により再び結合されると推察している。

次に盤層について考察するに、微溶脱型土壤ではまだ明確な盤層の形成は認められず、置換性1価カチオンとMgイオンが多く、活性酸化物の集積も進まず、水和度も高い水準にあるため、第2層の粒団化度は低い値を示した。しかるに弱溶脱型土壤に至ると、置換性1価カチオンとMgイオンの含有率がやや大きいことと、水和度も高いことによって、構造単位に相当する安定な微粒団の形成は作土に比べると劣るが、活性酸化物の結合作用によって、安定度のやや劣る粗粒団はかなり多く形成され、強溶脱型土壤の盤層においては、置換性塩基の組成変化と活性酸化物の集積の増加によって、粗粒団の形成は一そう進行する傾向を示した。

4. 透 水 度

GILBOYの変水位透水量測定装置を用いて、風乾細土を容器に密の状態につめた場合の透水係数kを測定した結果は第5表のとおりである。

第5表 土壤の粒団化度と透水量

No.	粒 団 化 度 %				透 水 係 数 cm/hour	
	粗 粒 団 *1		微 粒 団 *2		k ₁	k ₂
	4-2 mm	>0.25 mm	>0.05 mm	>0.01 mm		
天 然 型 土 壤						
95F-1	3.9	11.8	1.1	0.6	0,02598	0,00133
2	6.3	7.8	1.5	1.5	0,00895	0,00137
微 溶 脱 型 土 壤						
94B-1	31.8	64.5	61.6	69.5	0,00917	0,00599
2	4.2	6.7	4.2	5.7	0,00361	
3 弱 溶 脱 型 土 壤						
89A-1	38.1	77.1	81.6	83.6	0,24902	0,20667
2	18.6	27.7	9.7	18.9	0,04415	
82F-1	28.3	58.7	63.8	66.4	0,01773	0,01613
2	15.2	19.8	7.3	21.0	0,00445	
強 溶 脱 型 土 壤						
70C-1	30.2	67.4	76.2	78.9	0,17729	0,14197
2	31.1	49.0	7.3	11.4	0,04582	
63A-1	36.3	66.9	74.9	80.3	0,06160	0,06021
2	40.2	61.6	11.1	21.5	0,03218	

*1 湿式篩別法による。

*2 A.S.K法による。

まず天然型土壤の透水係数をみるに、本試料は含塩量が多いため、第1回目の測定値k₁に比べて第2回目の純水50mlを用いて試料を洗浄した後に測定したk₂の値は、著しく低下した。このことは自然土壤の除塩が進むと、透水量が低下することを示唆している。しかしk₂の測定値は、層位間で大差はなく、ともにきわめて低い値を示した。しかるに微溶脱型土壤の透水量は、天然型土壤に比べると明らかに増大し、第1層では約7倍に、また第2層と第3層でも約3倍に近い値を示した。

次に弱および強溶脱型に属する試料間の透水係数を層位別に比較すると、測定値に著しい差異を生じ、一定した傾向は存在しなかったが、共通的な現象として、各土壤において作土の透水係数は微溶脱型土壤のそれに比べて著しく増大した。しかし盤層および下層土の透水係数は作土に比べて明らかに低く、おおむね盤層に比べて下層土の透水量がさらに小さい傾向を認めた。

5. 土壤断面における水の分布および容積重と孔隙量の変化

川口および喜田¹⁾は、児島湾干拓地の、干拓後20年ないし30年を経過した5ヵ所の水田土壤を対象として、土壤断面における水の分布、容積重および孔隙量の変化、酸化還元状態および活性酸化物の移動集積などを、盤層の形成との関連性において究明した。その結果を要約すると次のとおりである。

(1) 土壤断面における水の分布

干拓後排水が進むにつれて地下水位は低下し、下層土の水分は次第に減少していた。同一土壤断面

中では盤層の水分含量が最もすくなく、盤層を境にして断面中の水の分布状態がことなっていた。古い干拓田の作土は、新しい干拓田の作土に比べて容水量に対する水分割合が大であったが、これは古い干拓田ほど盤層がちみつで、不透水性が大であって、盤層によって上下の水分体系が切断されたからである。

作土の排水は干拓後漸次良好となるが、干拓後200年以上経過している古い干拓田においては盤層の発達により再び不良化していた。盤層自体の水分含量は減少するも、その上層の湿潤度はましていた。

(2) 土壌断面における容積重および孔隙量の変化

土壌水分の減少によって、下層土は収縮して容積重は次第に大きくなると共に、亀裂が入り、柱状構造が発達していた。そして空気がより深く入りこみ、下層土は酸化的になっていた。

干拓後耕耘管理によって鋤床層がまず作土直下につくられ、その後この層に作土から還元溶脱された鉄・マンガン等が最大集積したと考えられた。

耕耘管理や活性鉄・マンガン等の集積によって、盤層では干拓後の年数が経過するにつれて容積重は一層大きくなり、孔隙量は減少しており、その結果盤層はちみつになっていた。古い干拓田では盤層がちみつであるので作物の根系の伸長が阻害され、また盤層の透水性がわるいので作土の排水が阻止されており、作物の低収量の一原因と考えられた。

IV 土壌生成作用に伴う土壌緊硬度の変化

溶脱作用および水田土壌生成作用の進行に伴って干拓地土壌の緊硬度にいかなる変化を生じるか、とくに盤層の形成によって作土と盤層の凝集力にいかなる相違を生じるか、さらには化学的組成の変化との間にいかなる関連性を示すかを究明した。

本実験においては、土壌の緊硬度および緊硬限界に関する物理的性質として、圧砕度、針入度、固結度と連結度、可塑性限界、液性限界および可塑指数を既報⁹⁾の方法によって測定した。

1. 圧 砕 度

各試料を用いて、予めネン和成型した試片の圧砕抵抗と含水量との関係曲線を求め、次に該曲線より若干の含水量における圧砕度を求めた結果は、第6表のとおりである。

圧砕度の試料間差異を検討するに、可塑性限界において若干の差異を生じ、含水量の減少に伴って試料間差異は一そう顕著に現われた。

天然型土壌の圧砕度は、層位間で大差を生じなかったが、溶脱土壌に比べるとおおむね高い値を示した。しかし作土の圧砕度は、微溶脱型から弱溶脱型をへて強溶脱型に移るにつれて顕著に減少し、土壌の生成につれて作土の凝集力は低下することが判った。

次に溶脱土壌の各層位の圧砕度を比較するに、各試料ともに第2層の圧砕度は第1層のそれに比べて明らかに大で、かかる現象は微溶脱型土壌においてすでに認められる一方、盤層の発達した強溶脱型土壌では、とくに顕著に現われた。かつ盤層の圧砕度はおおむね天然型土壌のそれと大差ない値を示した。

2. 針 入 度

HILGARD法によって最大容水量を測定した後、本試料を用いて針入抵抗と含水量との関係曲線を求め、次に該曲線より若干の含水量における針入抵抗を求めた結果は第6表に示すとおりである。

第6表 土壤の圧砕度および針入度と含水量との関係

項目 No. 含水量	圧 砕 抵 抗 kg			針 入 抵 抗 kg		
	可塑性 限 界	10%	5%	15%	10%	7%
天 然 型 土 壤						
95F-1	8.0	15.0	24.6	2.45	3.97	5.75
2	7.5	18.7	24.5	3.40	5.80	7.35
微 溶 脱 型 土 壤						
94B-1	5.5	8.8	14.9	3.10	4.70	5.40
2	5.5	9.5	21.3	3.50	5.20	5.85
3				4.10	5.00	5.50
弱 溶 脱 型 土 壤						
89A-1	4.0	6.2	13.4	1.25	1.55	1.90
2	5.0	7.7	17.5	1.80	3.20	4.40
3				1.00	1.60	2.25
82F-1	4.0	13.0	16.1	1.25	1.66	1.95
2	8.0	14.0	26.0	4.25	5.50	6.50
3				2.80	3.50	3.90
強 溶 脱 型 土 壤						
70C-1	4.0	3.8	8.1	0.95	1.20	1.35
2	6.0	9.3	22.5	1.90	4.05	6.10
3				1.55	2.45	3.80
63A-1	4.0	3.9	5.0	0.80	1.20	1.55
2	7.5	11.6	17.3	2.25	3.25	3.85
3				2.00	3.10	3.50

まず各土壤の作土の針入度を比較するに、天然型と微溶脱型の両土壤の針入度には大差はなく、かつ弱および強溶脱型の各試料の針入度に比べて、すこぶる高い値を示した。しかして作土の針入度は弱溶脱型をへて強溶脱型に移るにつれて明らかに減少し、前記の圧砕度の場合と同様の傾向を示した。

次に層位別の針入度を比較するに、天然型および微溶脱型土壤の下層土は、作土に比べて若干高い値を示すように止ったが、弱および強溶脱型土壤では、盤層の針入度は作土のそれに比べて著しく高い値を示した。また下層土の針入度は盤層に比べて、むしろ低い値を示す場合の多いことを認めた。

3. 固結度および連結度

各試料のネ和成型試片の切断抵抗より固結度を、また風乾細土を用いて粒団を破壊することなく、毛管力にて吸収させて成型せる試片の切断抵抗より連結度を求め、次に両測定値より剛性率を算出した。これらの結果は第7表に示すとおりである。

まず固結度を比較するに、天然型および微溶脱型の未熟土壤の作土は、成熟土壤の作土に比べて著しく高い値を示し、かつ層位間でも大差を生じなかった。しかるに生成の進行につれて、作土の固結度は次第に減少する傾向を示したのに対して、盤層の固結度は土壤類型間で大差はなく、生成に伴う変化はほとんど認められなかった。

各土壤の作土の連結度の変化にも、固結度の場合と同様の傾向を生じた。しかして連結度の場合は、

第7表 土壤の緊硬限界と切断抵抗

No.	緊 硬 限 界		可塑指数	切 断 抵 抗		
	可塑性限界 %	液性限界 %		固結度 A kg	連結度 B kg	剛性率 B/A × 100
天 然 型 土 壤						
95F-1	27.6	62.4	34.8	10.7	5.2	48.6
2	32.5	98.9	66.4	12.0	6.8	56.7
微 溶 脱 型 土 壤						
94B-1	28.9	71.1	42.2	10.1	2.1	20.8
2	28.7	79.9	51.2	10.2	2.5	24.5
弱 溶 脱 型 土 壤						
89A-1	25.4	56.9	31.5	7.3	0.9	12.3
2	21.9	55.8	33.9	11.0	1.9	17.2
82F-1	37.0	71.2	34.2	6.8	0.6	8.8
2	25.9	73.1	47.2	11.7	2.6	22.2
強 溶 脱 型 土 壤						
70C-1	23.8	48.0	24.2	5.7	0.4	7.0
2	17.0	45.6	28.6	11.4	1.7	14.9
63A-1	23.0	51.8	28.8	5.0	0.5	10.0
2	18.0	55.8	37.8	10.9	1.6	14.7

微溶脱型においてすでに著しい低下を生じるとともに、生成に伴う連結度の低下は、固結度に比べるとはるかに大であった。かつ第2層の連結度も固結度の場合と異なり、生成に伴って明らかに低下したが、その程度は作土に比べると小さかった。かくて弱および強溶脱型土壤においては、作土と盤層との間の差異も固結度の場合に比べて一そう顕著に発現した。

各土壤の剛性率の変化も連結度の場合ときわめて近似した傾向を示し、各層位とも生成に伴って減少する一方、各層位間では、第2層が高い値を示した。

ネン和成型した試片の切断抵抗である固結度が、天然型土壤と溶脱型土壤の作土間で顕著な差異を生じたのは、両土壤間の置換性塩基の組成の相違に起因すると考えられる。しかるに、これら土壤の第2層の固結度に差異がみられなかったのは、天然型と微溶脱型の両土壤では、置換性NaイオンとMgイオンが凝集力の増大に作用したのに対して、弱および強溶脱型の土壤では、むしろ活性酸化物が凝集力の増大に作用したものと推定される。

これに対して粒団を破壊することなく測定した連結度では、粒団化の影響が盤層の連結度に反映して、粒団化の進んだ弱および強溶脱型の盤層の連結度は、天然型土壤の第2層に比べると著しく低い値を示す一方、活性酸化物の膠着作用によって、それぞれの作土に比べると連結度は高い値を示した。

4. 緊 硬 限 界

GASAGRANDE液性限界測定装置を用いて、まず各試料の液性限界を測定した。

次に前記の圧碎抵抗と含水量との関係曲線および成型試片の圧碎状態の特徴などから可塑性限界を求め、さらに液性限界から可塑性限界を控除して、可塑指数を求めた結果は、第7表に示したとおりである。

弱溶脱型と強溶脱型の4試料の作土と盤層をそれぞれ比較するに、盤層の可塑性限界の値は作土のそれに比べて明らかに小さく、これに対して液性限界の値は作土と盤層で大差はなく、従って可塑指数は各試料とも盤層が作土に比べて明らかに高い値を示した。

このように成熟土壌では、作土と盤層の緊硬限界と可塑指数に関して、一定の傾向を生じたが、天然型土壌と微溶脱型土壌では、第1層と第2層の粘土含量には大差がないにもかかわらず、液性限界と可塑指数はいずれも第2層の測定値が第1層に比べて著しく高い値を示したが、供試土壌がそれぞれ1点づつであることから、ここに得られた第1層と第2層の差が普遍性を有するか否かは明らかではない。

V 要 結

児島湾内部地域に分布する干拓新田を対象として、水田耕作に伴う盤層の形成過程を中心として、土壌の生成作用による土壌の構造および緊硬度の経時的变化を追究し、次の結果を得た。

- 1) 作土の易耕性は土壌生成作用の進行に伴って明らかに向上した。すなわち粒団化度と透水度は増大し、懸濁度、分散度および凝集力は減少した。
- 2) 作土の易耕性が向上した理由として、置換性1価カチオンとMgイオンの含有率が減少したこと、乾燥脱水によって粘土の水和度が減少したこと、乾燥と湿潤が反覆されたこと、腐植含量が増加し、栽培作物の根系の作用が加わったこと、以上の諸点を指摘することができる。
- 3) 盤層の形成によって、作土と盤層との間の物理的性質に顕著な差異を生じた。すなわち盤層は作土に比べて分散度、水中沈定容積は大で、また粗粒団は活性酸化物の集積によって増大したが、安定なる構造単位の形成は作土に比べて著しく少なく、透水度も小であった。また緊硬度を比較しても、盤層の圧碎度、針入度、固結度および連結度は作土に比べて大で、盤層の凝集力は作土に比べて著しく高い値を示した。
- 4) 盤層と作土の物理性に差異を生じた理由として、盤層の乾燥脱水が進まないため粘土の水和度が大きいこと、活性酸化物が膠着剤として作用すること、試料の一部では未だ置換性NaイオンとMgイオンの含有率が作土に比べて高い値を示すこと、以上を指摘することができる。

これは要するに、強溶脱型土壌の盤層の凝集力が大きいことは、本層がちみつで、かつ孔隙量の少ないことと相俟って、作物の根系の発達を阻止し、また透水度の劣ることは、おそらく排水を不良化すると考えられ、本型土壌において地力低下を生じていることの原因の一つをなすものと推定される。

易耕性を、作物生育培地としての、土壌の物理的環境を規定する土壌性質なる見地から、その良否を判定する場合、水田と畑地の土壌では、本質的に異なることが判明した。すなわち重粘質の天然型土壌に示される分散性と凝集力の著しく大きいことは、畑作物に対しては明らかに不良環境を生じる反面、水田においては、必ずしも水稻の生育に対して極端な不良環境を生じるとは限らないことである。かつ本干拓地土壌では、生成の進行に伴って、裏作の麦類の生育収量は明らかに向上する反面、ちみつな盤層の形成は、古い干拓田における水稻の収量低下の一因をなすことが推定された。従って水稻を対象として論ずる場合は、古い干拓田の易耕性は、むしろ低下の方向に進むとも解釈できる。

文 献

- 1) 川口桂三郎・喜田大三：土肥誌，28，97（1957）
- 2) 川口桂三郎・喜田大三：土肥誌，28，153（1957）
- 3) 関豊太郎：土肥誌，15，294（1941）
- 4) 米田茂男・川田登：岡大農学術報告，2，1（1953）
- 5) 米田茂男・川田登：岡大農学術報告，2，8（1953）
- 6) 米田茂男・川田登・河内知道：土肥誌，26，57（1955）
- 7) 米田茂男・河内知道：土肥誌，30，367（1959）
- 8) 米田茂男：土肥誌，30，388（1959）
- 9) 米田茂男：土壤の物理性，2，24（1960）

犁底盤について

山 田 忍

(帯広畜産大学)

I はじめに

北海道の畑地では、作土と心土との境に堅密な層が出来ているところがあり、これを犁底盤と称している。その厚さは大体1cm内外にすぎない。多くの作物の根はこれをつき抜けて下層に伸長することが出来ないため生育は不振となる。この犁底盤はどうして出来るか、その経過を明らかにすると同時に対策についても研究したので、その結果を御報告申し上げ御批判を仰ぎたい。尚、犁底盤の出来方などについての研究は主として本学土壌学研究室の田村助教、農業工作研究室の小野教授等によって行なわれた。

II 犁底盤の出来やすい土とその特性

犁底盤を調査してみると未耕地には見られないが、早いものは開墾後数年にして出来始めるところもあるが、30年以上経過しても出来ないところもあり、明らかに出来やすい土壌と出来難い土壌のあることが推察出来る。そこで犁底盤の出来る経過を研究する前に、犁底盤の出来易い土とはどのような土か。その特性を調べることにした。

犁底盤の悪影響になやまされている帯広市川西町農耕地約2万ヘクタールについて詳細な土壌調査を行なって土壌区分をし、区分された土壌区と犁底盤生成の有無について調べて見たところ、犁底盤の出来る場所は僅か二つの土壌区に過ぎなかったが、その面積は農耕地の約半分を占めていた。そしてこの二つの土壌区は共に十勝統C統乾性型火山灰土に属することが明らかになった。

犁底盤の出来難い土壌区の中には、出来やすい土壌区と堆積年代もその母材も全く同じくしながら、堆積場所がちがうため土壌化過程も異にし、ちがう土壌区として取り扱っているものがある。これを十勝C統湿性型火山灰土、同じく適潤型火山灰土と呼んでいる。そこで、この乾性型火山灰地と湿性型火山灰地について、それぞれ未耕地と耕作年次のちがうところを選定して、作土と心土と犁底盤について土壌硬度を測定してみた。この場合、湿性型には犁底盤が出来ていなかったが、犁底盤の出来る位置についての硬度を測定してみた。その結果は第1表、第2表の通りである。

第1表 犁底盤の出来る地帯の土壌硬度(北農式土壌硬度計(50kg加圧)にて測定。数字の大きいもの程、硬度が高い)

層位 (深さ)	未耕地	既 耕 地				調 査 地
		耕作7年	耕作30年	耕作40年	耕作50年	
作土 (0~10cm)	18	16	16	16	16	帯広市川西町
犁底盤 (10~11cm)	16	19~27	27~45*	27~45*	27~45*	十勝C統乾性 型火山灰地
心土 (11~20cm)	15	14~18	14~18	14~18	14~18	

* 明らかに犁底盤と認められる土の硬さ

第2表 犁底盤の出来難い地帯の土壤硬度

層位 (深さ)	未耕地	既 墾 地		調査場所
		耕作10年	耕作30年	
作土 (0~10cm)	21	18	18	帯広市川西町 稲田
犁底盤の位置 (10~11cm)	18	18~19	21~28	十勝C統湿性 型火山灰土
心土 (11~20cm)	21	21	22	

すなわち湿性型火山灰土においては耕作30年を経過しても作土と心土との境は多少硬くはなっているが、犁底盤を生成するにいたっていない。

そこで犁底盤の出来やすい乾性型火山灰土と出来にくい適潤型と湿性型火山灰土について土壤の理化学的特性を比較してみた。その結果は第3表のとおりである。

第 3 表

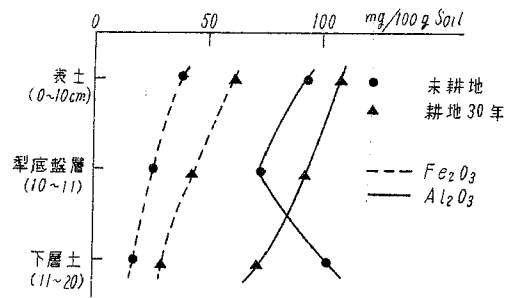
犁底盤の出来方 火山灰土の種類	出来やすい	出来にくい	
	十勝C統 乾性型火山灰土	十勝C統 適潤型火山灰土	十勝C統 湿性型火山灰土
pH	5.8	5.8	4.8
腐植%	5.0	15.0	34.0
置換容量(M・E)	12.8	30.4	51.2
置換性塩基(M・E)	3.9	10.9	4.3
飽和度%	32.2	35.9	8.4
耐水性団粒5mm以上%	15.0	43.0	24.0
粘土含量%	3.0	8.0	20.0

上の成績からみると母材を同じくしながら、犁底盤の出来やすい火山灰土と出来にくい火山灰土との間に腐植の含量、置換容量、耐水性団粒含量に大きな差異のあることが推察できる。

Ⅲ 犁底盤の出来る経過

土層中に盤層が出来る場合、作土から溶脱した R_2O_3 が下層土に集積して固結することは一応は考慮に入れる必要がある。現地で土層を掘下げて犁底盤を観察してみると外観からは R_2O_3 の集積は認められない。耕作30年を経過してすでに犁底盤の出来ている土壤について作土、犁底盤、心土の可溶成分をTammの方法で測定して、未耕地のそれと比較してみたところ第1図に示すように犁底盤に R_2O_3 の顕著な集積は認められず、未耕地のそれと大差がないことから、 R_2O_3 の集積による固結作用が犁底盤の生成に与ついているとは考えられない。

そこでさきに犁底盤の出来やすい土と出来にくい土について明らかに差異のありと推測した腐植，耐水性団粒について耕作年次の経過に伴ってどのような変化を来しているかを調べてみた。その結果は第4表A，B，第5表A，Bの通りである。



第1図 乾性型火山灰地における未耕地と犁底盤の出来ているところの作土，心土，犁底盤の可溶性R₂O₃。

第4表 (A) 耕作による腐植量の変化 (Tuilin法)
(乾性型火山灰土)

層位 (深さ) cm	未耕地 %	既耕地			
		耕作7年	耕作30年	耕作40年	耕作50年
作土 (0~10)	9.68%	9.28%	5.84%	3.75%	2.83%
犁底盤 (10~11)	6.00	2.25	1.36	1.04	0.63
心土 (11~20)	2.56	1.77	0.31	0.63	0.42

第4表 (B) 耕作による腐植量の変化 (Tuilin法)
(湿性型火山灰土)

層位 (深さ) cm	未耕地	既耕地	
		耕作10年	耕作30年
作土 (0~10)	24.01%	13.51%	11.51%
犁底盤の位置 (10~11)	22.23	17.01	12.32
心土 (11~20)	24.62	21.00	17.11

第5表 (A) 耕作による耐水性団粒含量の変化 (Bryant法 0.5mm以上)
(乾性型火山灰土)

層位 (深さ) cm	未耕地	既耕地			
		耕作7年	耕作30年	耕作40年	耕作50年
作土 (0~10)	20.3%	8.5%	10.1%	12.9%	6.3%
犁底盤 (10~11)	26.8	7.0	5.4	4.7	4.4
心土 (11~20)	30.0	11.2	15.1	15.8	14.4

第5表 (B) 耕作による耐水性団粒含量の変化 (Bryant法 0.5mm以上)
(湿性型火山灰土)

層位 (深さ) cm	未耕地	既耕地	
		耕作10年	耕作30年
作土 (0~10)	22.5%	19.5%	19.5%
犁底盤の位置 (10~11)	32.0	34.2	37.5
心土 (11~20)	21.5	46.1	53.0

上の成績からみて犁底盤の出来やすい土は、耕作年次の経過に伴って作土と犁底盤の腐植の含量が減少し、犁底盤の出来る頃には極端に少くなっている。犁底盤の出来にくい土では作土の腐植の含量は減る量が少ない上にはじめから含量が多いから耕作30年たっても乾性型の未耕地よりもむしろ多い。耐水性団粒も犁底盤の出来やすい土は耕作年次に伴ってどんどん減少していくが、犁底盤の出来にくいところでは、その減少はあまり目立たず心土はむしろ増加している（この原因は今のところ判らぬ）。

土壌の団粒形成に主役を果しているものは腐植と粘土である。この火山灰土においては、粘土の含量は初めから少いが湿性型においては風化に伴って増加しているが、適潤型においては必ずしも粘土含量が多いとはいえない。（第3表）

又、降下堆積時代やその母材まで同じでありながら乾性型火山灰土は適潤型や湿性型火山灰土より腐植の集積の少いことは、一面この乾性型火山灰土の腐植は集積のかたわら分解が促進されていることを物語っている。

このようなことから考えると農家の耕作法そのものが同一であったとしても、耕作に伴って腐植の消耗は湿性型や適潤型より乾性型に早く、それに伴って耐水性団粒も減少して単粒化していくことは想像にかたくない。そして単粒化された土はいわゆる弾性を失っているから踏圧に際して圧密され、土の硬度は硬くなるはずである。

北海道において現在耕作は主として馬にたよっている。そしてブラウイングに際しては一頭ひきの場合には馬は丘を歩き、しかもこの馬の踏圧は相当のもので圧密が加わり、土の硬度も増加する。もしこのような状態になった作土を翌年耕作するときは、前年より硬度が増しているため馬の抵抗が増加するが従来通りの耕し方をすれば当然作土は浅く耕され、作土の下部は耕起されずに残る。この深さは大体1cm内外と見る。そしてこの耕起されずに残された作土は、翌年更に踏圧を受けて硬度を増してますます耕起されにくくなり、これがやがて犁底盤という形で残っていくものと見る。

このような考えから北海道の犁底盤は馬が丘を歩くだけに作土の一部とみる。（内地のように耕起の際、溝を歩くと圧密を受けるのは心土の上部であるから条件が変わってくる）

又、湿性型あるいは適潤型火山灰は腐植の含量がもともと多く、このため団粒も多いが、この腐植が乾性型のものより分解しにくいいため耕作による消耗が少く、犁底盤の生成を妨げているものと解する。

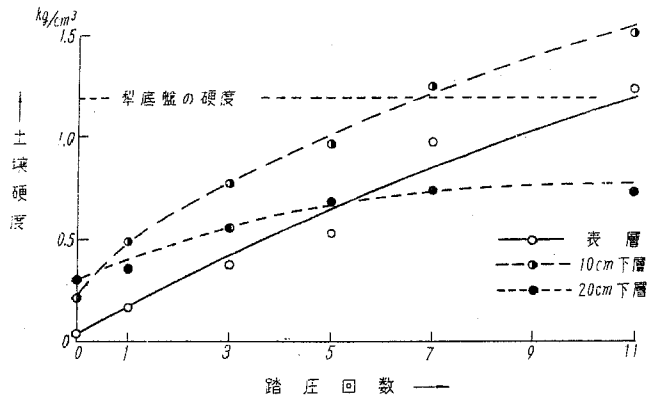
このような調査から見て腐植の含量の少い沖積土においては犁底盤は出来やすいとの考えでこの点を調査してみたところ、このような土も明らかに犁底盤は出来ていた。

IV 犁底盤の出来やすい土と出来にくい土

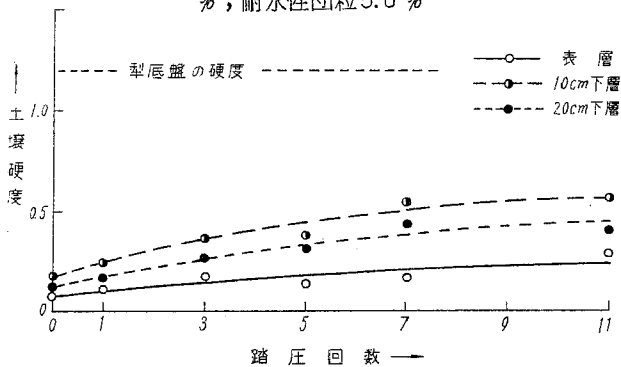
についてのトラクターによる踏圧試験

北海道においては現在農耕は主として馬耕に頼っているが、漸次トラクター耕にうつりつつある。そしてトラクター耕の場合には馬耕とは比較にならぬ程の踏圧を受けるだけに作土の圧密化は将来問題となる可能性が多い。そして先に述べた犁底盤の出来る理由が作土の踏圧が大きな役割を果しているとの推論が正しければ、この犁底盤の出来やすい土と出来にくい土では、トラクターの踏圧による土の圧密化に大きな差異があってもよいはずで、この点を実験によって確かめてみた。

これには犁底盤の出来やすい土と出来にくい土を同じような条件で大体作土の硬さの程度に積み重ねて、その上をトラクターで踏圧をした（小松トラクター6.6馬力）。そして踏圧回数を増すにつれて土壌



第2図 トラクター踏圧による土壤変化(犁底盤の生成すると考えられる土壤)耕作10年, 腐植5.8%, 耐水性団粒5.0%



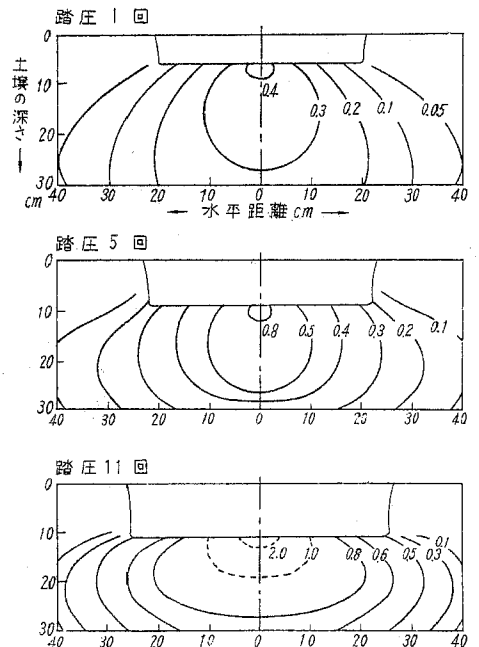
第3図 トラクター踏圧による土壤硬度変化(犁底盤の生成されないと考えられる土壤)耕作10年, 腐植13.7%, 耐水性団粒14.0%

又、土壤の深さによる等、硬度曲線を見ても、第4図、第5図に示す通り犁底盤の出来やすい土は同じ踏圧回数で全般に土壤硬度が高くなるが、犁底盤の出来にくい土では、土壤硬度が全般に低くばかりでなく、その等高度分布曲線から見て踏圧を受けると土が圧密するにはするが、一部分は横に流動する傾向がうかがわれた。

以上の結果から今後トラクターによる耕作の場合、踏圧による土壤硬度の増加は犁底盤の出来やすい土にその傾向が著しいことが推察されるばかりでなく、このような土は踏圧回数の増加に比例して土壤硬度も増加するので、作物の生育観点からしても踏圧回数を少なくする何らかの措置をとる必要のあることを

硬度がどのように変わるかを調べてみた。この際踏圧によって土も流動するので、これをわかりやすくするため、土3cmの厚さごとに石灰をまいて土と石灰のサンドウィッチを作っておいた。その結果は、第2図、第3図のとおりである。

すなわち犁底盤の出来やすい土では、トラクター踏圧7回で地表から10cmのところを犁底盤と同じ硬さになり、踏圧11回で地表もその硬さになったのに対して、犁底盤の出来にくい土では、踏圧11回に及んでもどの深さの土もその硬さは犁底盤よりはるかに少ない数値を示し、踏圧3回以上になると硬さの変化は殆んどみられなかった。



第4図 土壤断面等硬度曲線(犁底盤の生成されると考えられる土壤)絶対土壤硬度 kg/cm^2

暗示している。

V 犁底盤対策

犁底盤が出来ると多くの作物の根はここで伸長がとまり、結局生育そのものに悪影響を及ぼすものであるから当然対策を講じなければならぬ。

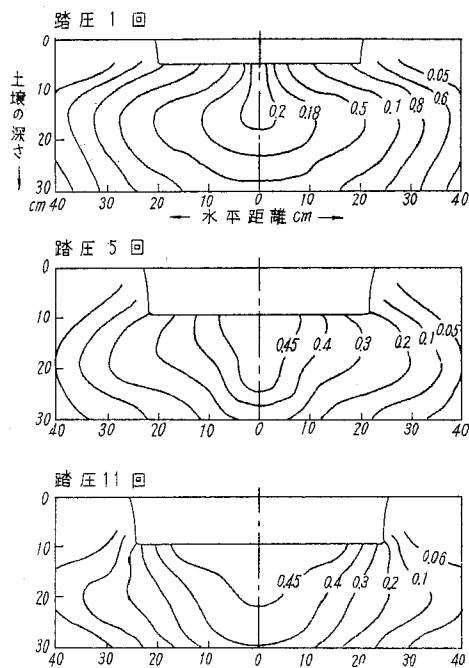
対策には二通りある。先ず犁底盤は未耕地になく明らかに耕作法そのよろしきを得なかったことにあるから、耕作法そのものの改善である。そして犁底盤の出来る原因が腐植の消耗による土壌の単粒化にあるから、たえず有機物を施して土壌の単粒化を未然に防ぐことにある。

対策のその次は犁底盤が出来た場合これをこわす方法である。深耕をすれば犁底盤はもちろんこわれる。しかし土壌そのものが犁底盤が出来易い形になっている以上、単に犁底盤をこわしても耕作を続けると再び出来始めることは、その出来る経過から考えても明らかである。そこでこのような場合深耕をしながら土壌の団粒化を計る手段を講ずればよい。土壌の団粒化には有機物を補給するののも一つの手段である。これには堆肥を施すことも考えられるが、従来の経験からすれば堆肥を施しても思った程団粒化が進まない。

土壌の団粒化を計るため土壌改良剤の施用が進められている。しかし現在市販の土壌改良剤では、乾性型火山灰土の団粒化にはさして有効でないことは、この方面の数多くの研究からも推測にかたくな。

又、火山灰土の団粒化に客土が考えられる。この場合客土材料の粘土鉱物の種類が問題となる。筆者等の試験ではモンモリロナイト型の粘土鉱物を主体とする粘土であれば、その効果は期待出来るが、カオリナイト型の粘土鉱物ではその効果は期待薄である。

次は作物栽培による土壌の団粒化である。赤クロバーの根が土壌の団粒化に大きな力のあることは、Williams が提唱して以来、日本でも追試の結果、その事実は認めている。赤クロバーは元来深根作物である。もし赤クロバーが土壌の団粒化にききめがあるなら、犁底盤対策として大きな希望をいだかせるが、犁底盤の出来ているところに栽培しても根がこの犁底盤をつき抜けて下層まで伸びるかどうか誰れも試験をしていない。又、赤クロバーがその効果を認めたととしても、牧草類は主として飼料として考えられているので、北海道とすればこの問題を無視しては実用的でない。そこで赤クロバーを交えたいろいろの荳科牧草と禾本科牧草としてチモシイを、又、荳科作物として大豆をそれぞれ供用して、俣試験で人工的に犁底盤をつくった土について栽培試験を試みた。その結果、大豆、チモシイを除いた他の荳科の牧草は何れも犁底盤をつき抜けて根が下層まで伸びることが判り、その上作土の団粒化も促進され、又犁底盤もこのためやわらかくなるなど一石三鳥の効果のあることが明らかになった。その成績は第6表A, Bに示すとおりである。



第5図 土壌断面等硬度曲線(犁底盤の生成され難いと考えられる土壌)絶対土壌硬度 kg/cm^2

第6表 (A) 荳科牧草栽培による耐水性団粒の変化
(Bryant法 0.5mm以上)

作物名	大豆	スイート クロバー	アルサ イック クロバー	赤 クロバー	チモシイ	赤クロバ ー,チモ シイ混播	ラジノ クロバー	アルファ ルファ
耕作前%	15.0%							
耕作2年目の 作物収穫後	12.5%	18.2%	14.5%	22.2%	14.7%	20.0%	18.5%	17.7%
耕作前を100 とした場合の 耕作後2年目 の割合	83	121	110	148	98	133	123	118

第6表 (B) 荳科牧草栽培による犁底盤の硬さの変化
(山中式硬度計 kg/cm²)

作物名	大豆	スイート クロバー	アルサ イック クロバー	赤 クロバー	チモシイ	赤クロバ ー,チモ シイ混播	ラジノ クロバー	アルファ ルファ
耕作前	0.70							
耕作1年目	0.83	0.34	0.61	0.41	0.72	0.47	0.43	0.28
耕作前を100 とした場合、 耕作後1年目 の割合	118	48	87	58	102	67	61	40
耕作2年目	0.75	0.25	0.45	0.21	0.64	0.22	0.36	0.21
耕作前を100 とした場合、 耕作後2年目 の割合	107	35	64	30	91	31	51	30

特に注目すべきは禾本科牧草は乾性型火山灰土の団粒化にききめが期待出来なかったし、その根は犁底盤をつきぬけることが出来なかった。又、赤クロバー、チモシイを混播した場合、赤クロバーのみが犁底盤をつき抜け、チモシイは犁底盤の上のみはびこっていた。更に以上の成績を実証するため乾性型火山灰土で既に犁底盤の出来ている農家の畑に赤クロバーを栽培して、犁底盤の硬さの変化を調べてみたが、前の枠試験と同じような傾向が認められ、赤クロバーが犁底盤をやわらげる上において実効果のあることがわかった。

第7表 農家圃場における赤クロバー栽培による犁底盤の硬さの変化
(山中式硬度計 kg/cm²)

調査年次	調査開始 前の秋	1年目の 秋	2年目の 秋	3年目の 秋	4年目の 秋
栽培作物	大豆	赤クロバー	赤クロバー	大麦	大豆
犁底盤の硬さ	0.90	0.80	0.54	0.58	0.50
調査開始前の硬さを 100とする同上割合	100	90	60	64	56

VI ま と め

畑地における犁底盤は出来やすい土と出来にくい土があり、そして腐植の含量の少い耐水性団粒の少い土において耕作法よろしきを得ないで腐植が消耗して土壌が単粒化したとき、耕起の際家畜の踏圧によって作土が緊密化し、この作土の下部が耕起されずに残ったものが犁底盤の出来始めで、その後耕作の際の踏圧によって硬さを増し、作物根の伸長を妨げるようになる。そしてその対策として土壌中の腐植を消耗しないような耕作法の改善も必要であるが、犁底盤がすでに出来たところでは荳科牧草を栽培すると、牧草の根は犁底盤をつき抜け、犁底盤をやわらげると同時に耐水性団粒も増加し、犁底盤対策として実用的方法といえる。

畑の畜力耕起による耕盤 形成と今後の問題点

佐藤清美

(農事試験場 畑作部)

畑の耕起は人力から畜力さらに機械力の利用へと発展しつつあるが、このような推移は必然的に耕耘形式の変化を伴い、畑土壌の構造や理化学的性状に質的な影響を及ぼしいろいろの問題が提起されている。わが国における畑の畜力耕起による耕盤形成についての問題もその一つである。畑作業の畜力化は水田作業に比べ技術的にはむしろ容易であるはずにもかかわらず、最も重労働である耕起作業にすら畜力を利用する割合が低く、依然として鋤による人力耕起作業が主体となっている。この原因として考えられる技術的な問題点としては、犁耕の際に犁体各部に土の付着が多く、犁の性能が著しく減殺される犁耕困難な火山灰質埴壌土が主な畑作地帯に広く分布していることと、この地帯の農家は畑の犁耕を継続すると作土中または作土の下層部が硬化しいわゆる耕盤が形成され、作物の生育収量に悪影響を及ぼし畑の生産力が低下するという根強い観念を抱いていることが挙げられる。

以上のようなことから1952年に畑犁耕による耕盤形成の実態を明らかにする目的で実態調査を行ない、さらに耕盤形成の経過および機構を解明するため、形成された耕盤の理学的性状および作物の生育に及ぼす影響を知るため圃場試験を実施した。またこれに引続き耕盤に対する技術対策を考究するに必要と考えられる試験の一部を実施した。

I 畑の畜力耕起による耕盤形成の実態

関東地方で最も問題の多いと思われる茨城・千葉・神奈川の県下にわたり、現に畑犁耕を継続実施している農家各県50戸を対象とし、アンケート調査を行ない、そのうち問題の多いと思われる9ヶ所を選び現地の実態を調査した。

1 アンケート調査の結果及び考察

アンケート調査の各項目を整理集計した結果およびこれに対する考察を加えるとおおむね次のとおりである。

(1) 畜力耕起による耕盤形成の有無

畑の畜力耕起によって耕盤ができると一般にいわれているか、また実際に畜力耕起を継続した体験から耕盤ができているか、との間に対して第1表のとおり答えている。畑の畜力耕起によって耕盤ができると一般にいわれていると答えた農家は茨城の82%が最も多く、千葉72.5%、神奈川55%であった。3県の平均でみると70%となり、かなり一般的にいわれていることがうかがえる。次に実際に畜力耕起を継続実施している体験から耕盤ができると答えた農家は茨城の72%が最も多く、つづいて千葉神奈川の順となり平均63%となり約60%強の農家が耕盤ができることを認識している。次に耕盤ができていると答えた農家96戸について耕盤の硬さの程度、耕盤のできる位置および耕盤ができるまでの経過年数などを調べた結果は第2表のとおりである。耕盤の硬さの程度については、農家の感覚による判定であるから相互に比較することは適正でないが、膨軟な作土に比べての比較的硬さであって絶

対的な硬さが問題になっているのではないということがうかがえる。

第1表 耕盤形成の有無

調査項目 県別	調査戸数	耕盤形成の有無				
		できると一般にいわれている	できないと一般にいわれている	できている	できていない	不明
茨城県 (調査農家に対する%)	50	41 (82)	9 (18)	36 (72)	11 (22)	3 (16)
千葉県 (同上%)	51	37 (72.5)	14 (27.5)	31 (61)	20 (39)	—
神奈川県 (同上%)	51	28 (55)	23 (45)	29 (57)	22 (43)	—
(同上%)	152	106 (70)	46 (30)	96 (63)	53 (35)	3 (2)

第2表 耕盤の硬さと位置及びできるまでの経過年数

調査項目 県別	耕盤が できている農 家数	耕盤の硬さの程度			耕盤のできる位置				耕盤のできるまでの経過年数			
		やや かたい	かたい	非常に かたい	15cm 以下	18cm	21cm 以上	不明	3年 以下	4年	5年 以上	不明
茨城県 (調査農家に対する%)	36	13 (36.1)	18 (50.0)	5 (13.9)	12 (33.4)	14 (38.7)	10 (27.7)	—	15 (41.8)	8 (22.2)	6 (16.6)	7 (19.4)
千葉県 (同上%)	31	17 (55.0)	14 (45.0)	—	2 (6.4)	8 (25.6)	21 (68.0)	—	23 (74.5)	5 (16.5)	2 (6.0)	1 (3.0)
神奈川県 (同上%)	29	22 (76.0)	6 (20.6)	1 (3.4)	2 (6.8)	4 (13.8)	22 (76.0)	1 (3.4)	19 (65.6)	3 (10.3)	4 (13.8)	3 (10.3)
(計 同上%)	96	52 (54.0)	38 (39.5)	6 (6.5)	16 (16.6)	26 (27.1)	53 (55.1)	1 (1.2)	57 (59.4)	16 (16.6)	12 (12.5)	11 (11.5)

耕盤のできている位置についてみると、茨城では地表下15~18cm、神奈川、千葉では21cm以上と答えた農家が多い。これは畑の土性の差異による耕起の難易と関係し、畜力耕起の深淺の差によるものと思われる。畜力耕起をはじめてから耕盤ができたと認められるまでの経過年数は3~4年と答えた農家が59.4%で圧倒的に多い。

(2) 耕盤形成の有無と諸条件との関係

耕盤のできている農家とできていない農家とに分け、土性と畜力耕起の諸条件との関係についてみると第3表のとおりである。畑の土性と耕盤形成との関係を、耕盤のできている農家についてみると、茨城では圧倒的に埴壤土に多いが、千葉は壤土、神奈川は砂壤土に多い結果となっているが、3県下を通じての割合では埴壤土に多く形成されている。次に耕盤のできていない場合の土性としては全般的には砂壤土、壤土、埴壤土の順となっている。ここにいう埴壤土は、関東地方に広く分布する洪積層の火山灰質埴壤土と推定される。次に耕起の際犁体面に土の付着する程度との関係をみると、耕盤ができてい

第3表 耕盤形成の有無と諸条件との関係

調査項目 県別	耕盤形成の農業		畑の土性				耕起のさい土の付着		
	有無*	戸数	砂壤土	壤土	埴壤土	埴土	つく	ややつく	つかない
茨城県	a	36	1	1	34	—	28	6	2
	b	11	5	2	4	—	2	4	5
千葉県	a	31	8	13	8	2	17	10	4
	b	20	4	7	9	—	8	7	5
神奈川県	a	29	19	10	—	—	2	21	6
	b	22	15	7	—	—	2	12	8
計	a	96	28	42	42	2	47	37	12
	b	53	24	16	13	—	12	23	18
調査戸数に 対する%	a	64	29.2	25	43.7	2.1	48.9	38.5	13.0
	b	36	45.2	30.2	24.6	—	22.6	43.3	34.1

* 耕盤形成のできている農家…… a . できない農家…… b .

る農家の約半数は土がつくと答えている。これは前述のように洪積層の埴壤土に耕盤の形成の多いことと一致している。また耕盤ができない場合についてみると土がややつく、ないしはつかないという割合が大きい。

(3) 耕盤形成が土壌の理学的性状及び農作業に及ぼす影響

早ばつの害の現れる程度、雨後の排水の良否、霜柱発生の多少などについて調査した結果は第4表のとおりで何れも変りないと答えた農家が多い。しかし各項目とも約20%内外の農家が早ばつの害が早く現れること、雨後の排水不良、霜柱の発生の多いこと、碎土その他の農作業が困難になるなど悪影響があると答えている。

第4表 耕盤形成が土壌の理学的性状及び農作業に及ぼす影響

調査項目 県別	耕盤のできている農家	干魃の程度			雨後の排水				霜柱の多少				農作業		
		現れ易い	変りない	気付かない	よい	悪い	変りない	気付かない	多い	少ない	変りない	気付かない	し難い	し易い	変りない
茨城県	36	13	19	4	14	9	—	13	6	1	24	5	5	8	23
千葉県	31	1	29		2	4	10	15	4	0	21	6	8	1	22
神奈川県	29	6	17	6	8	6	7	8	9	3	15	2	1	4	24
計	96	20	65	11	24	19	17	36	19	4	10	13	14	13	69
調査戸数 に対する 割合%		21.5	67.0	11.5	25.0	19.8	17.7	37.5	19.8	4.2	62.5	13.5	14.5	13.5	71.9

2 現地実態調査の結果及び考察

(1) 調査の概要

調査対象地の選定は、アンケート調査の結果より下記の条件を備えている地点を各県3ヶ所づつ計9

ヶ所を選定した。

- 1) 畑犁耕実施年限が4年以上であること。
- 2) すでに耕盤が形成されていると認めていること。
- 3) その耕盤が硬いかまたは非常に硬いこと。
- 4) 耕盤がすぎどこの下(18~21cm)にできていて耕土の深いこと。

調査項目：土性および耕土の深さ・地形・土壤硬度の測定・土壤容積重・透水性の測定・土壤の機械分析・その他

(2)調査結果および考察

a)耕盤形成の有無

土壤硬度の測定値から畜力耕を行なっている圃場と、これに最も近接し自然条件が同一と考えられる人力耕を継続している圃場の同じ深さの硬度の平均を比較対照してみると第5表のようになる。

第5表 土壤硬度測定結果

調査 県 町 村 名	測定位置 18 cm				測定位置 21 cm				畜力耕	人力耕
	畜力耕 区の硬 度	人力耕 区に 対する 比率	人力耕 区の硬 度	比率	畜力耕 区の硬 度	人力耕 区に 対する 比率	人力耕 区の硬 度	比率	区土壤 含水量	区土壤 含水量
神奈川県西秦野村	7.4Kg	151%	4.9Kg	100%	7.03Kg	126%	5.59 Kg	100%	33.4%	33.9%
” 相模原町	7.2	212	3.4	100	10.46	156	6.68	100	40.1	40.2
千葉県 遠山村	10.0	174	5.74	100	12.12	157	7.70	100	44.8	45.4
” 富里村	5.5	159	3.45	100	5.62	132	4.24	100	42.5	43.1
茨城県 大谷村	7.5	361	2.08	100	9.25	246	3.75	100	46.3	42.0
” 沓掛村	14.22	559	2.54	100	10.54	612	2.7	100	39.7	36.0
” 大野村	10.74	357	3.0	100	135	450	3.0	100	29.8	29.1

注：測定は関農式押込土壤硬度計による。

この表からいずれの調査地でも畜力耕区は人力耕区に比較して硬いことは明瞭であるが、硬いということから総てが耕盤であると断言するのは早計である。耕盤形成の有無を土壤硬度を指標として判定するには次の条件を考慮しなければならない。

- 表土の厚さが普通畜力耕起を行なう耕深よりも深く、硬い層の下層が再び軟くなって心土に達するような場合は、硬度の測定値から直ちに耕盤が形成されていると判定される。
- 表土が浅く畜力耕起によっても心土に達するような場合は硬度の測定値のみでは耕盤の形成の有無を判定することは困難である。特に心土の硬度が高い場合はなおさらである。
- 近傍の同一土壤条件の圃場で人力耕起を継続しているものとの比較によって判定することが必要である。土壤硬度測定の結果、最も典型的な耕盤と認められた沓掛村の土壤硬度計の貫入抵抗線図と、これに隣接せる人力耕区のそれとを比較すると第1図のようになる。深さ18cmで人力耕区の約5倍、21cmのところでも6倍の硬さになり、大体24cm位が最高の硬さになり深くなるにつれ逐次軟くなっ

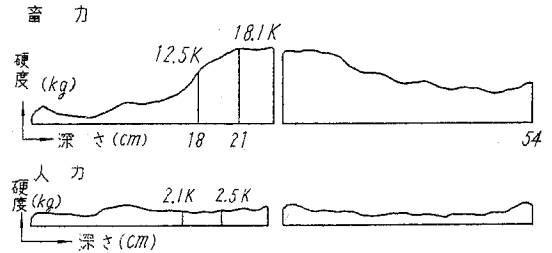
ている。

b) 耕盤形成の有無と土壤条件との関係

耕盤と土性およびその環境条件との関係は、特に土性による影響が大きい。すなわち洪積層軽鬆土のうち特に微細な粒子の多い埴壤土に多く形成され、壤土、砂壤土になるにつれ耕盤の形成され難いことが認められアンケート調査の結果と一致している。

c) 耕盤の特性

耕盤の容積重は上下の軟い層に比べやや大きい。したがって耕盤形成の要因は機械的圧縮によるものと推定される。明かに耕盤と認められた層の透水性は同一土性的人力耕起の圃場に比べ著しく低い。しかしその程度は不透水層としての性状を示すものではなくやや滲透が悪いと判断される。耕盤が作物の生育収量に及ぼす影響については明かな関係が見出し得なかったが、耕盤がかえって干害に対し好影響を持つといわれるところでは、耕盤が保水帯となることによる好影響とも考えられ、耕盤が悪影響があるといわれるところでは、耕盤の透水性の不良に基づく過湿の害の現われによるものと推定される。



第1図 人力耕と畜力耕を継続した畑の土壤硬度の差

II 耕盤形成の経過とその理学的性状について

実態調査の結果から畜力耕起の継続実施により、畑の土性によっては耕盤の形成されることがほぼ明らかとなったので、さらに耕盤形成の経過および機構を実証することと、形成された耕盤の理学的性状および作物の生育に及ぼす影響を知るため圃場試験を実施した。

1 試験方法

(1) 供試圃場条件… 鴻巣新屋敷洪積層埴壤土、耕土の深さ約36cm

(2) 試験区(2区制)

○ ケーブル犁耕区… 使用動力は乗用トラクタまたはガーデントラクタを使用し、ケーブル索引装置により和犁による耕起

○ 畜力耕区… 役畜を使用し、和犁により耕起

○ 人力耕区… 平鋤を使用して耕起

○ 無耕区… 雑草の抜取りのみ

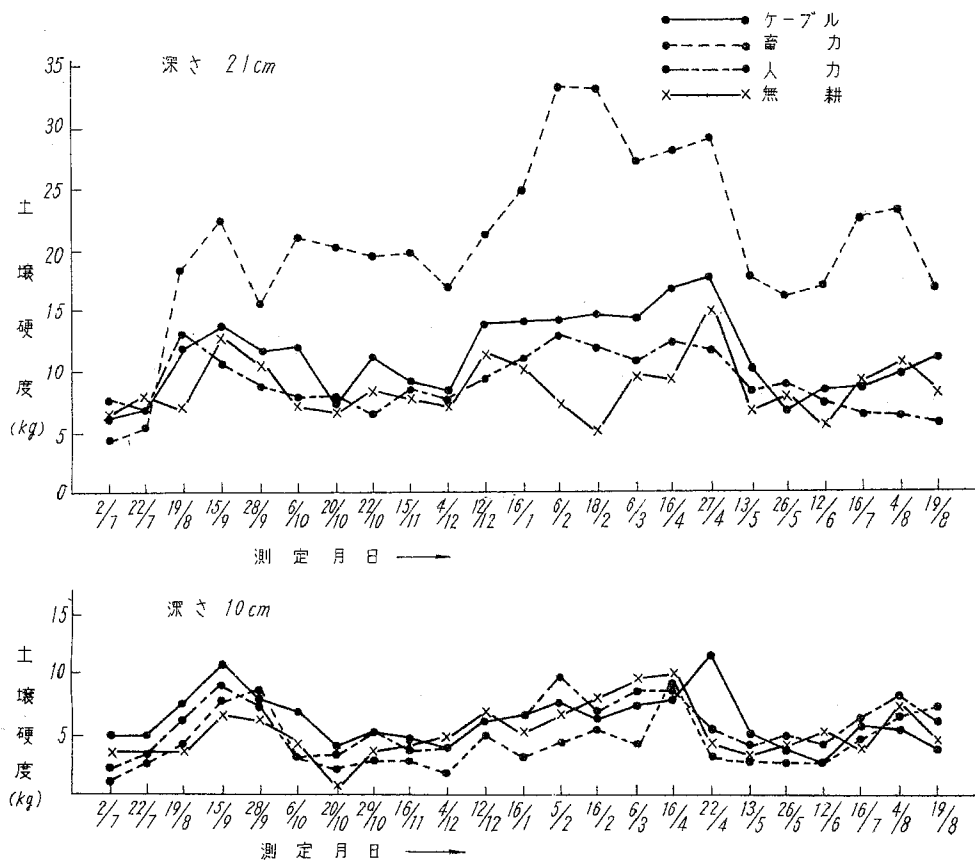
人力により深さ30cmに耕起し、既成耕盤を破砕した圃場にケーブル索引犁耕区・畜力犁耕区・人力耕区・無耕区の4区を2連に設けた。畜力犁耕区・ケーブル犁耕区は耕深15cm、人力耕区は耕深12cmを基準として約3~4週間ごとに耕起を行ない、耕起の所要カラ数・役畜の歩数・土壤含水量を測定し、さらに土壤表面の落ち付くのを待って土壤硬度・容積重を測定した。

2 試験結果

(1) 耕起法の差異による土壤硬度の変化

1952年7月より、53年5月まで10回の耕起を実施し、その間押込式土壤硬度計により土壤硬

度を測定した。(第2図) 測定の結果地表下21cmの部位の土壌の硬度は畜力耕区が他の処理区に比較して著しく高く、次にケーブル犁耕区がやや高い傾向を示しているが、人力耕区・無耕区では大差がなかった。地表下9cmの部位の硬度は各区とも大差がなく、それぞれの処理区は無耕区に比べやや低い傾向にある。以上の測定の結果からみて、ケーブル犁耕区の土壌硬度がやや高いのは犁の犁床圧と人の踏圧によるものであり、畜力犁耕区が著しく高いのは役畜の蹄による踏圧が大きく影響しているものと推定される。



注：押込式土壌硬度計による。

第2図 土壌硬度の変化

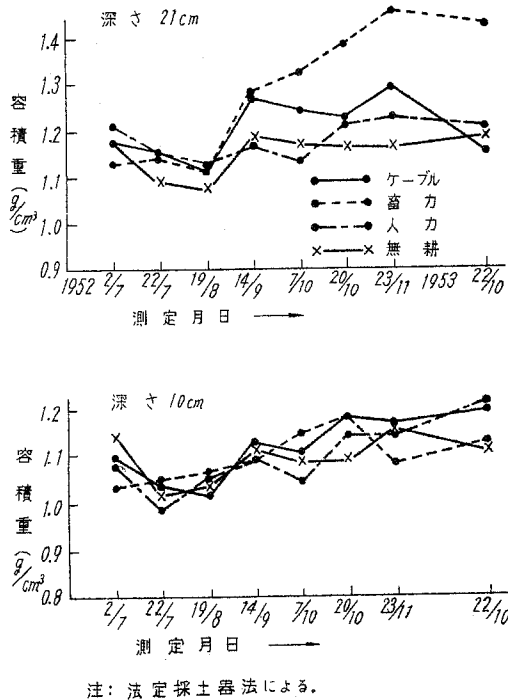
(2) 耕耘法の差異による土壌容積重の変化

容積重の測定結果は第3図に示すとおりである。地表下9cmの部位では各区とも大差はないが、21cmでは土壌硬度と同じように畜力犁耕区が著しく大きく、採取した部位が相当ち密になっているものと思われる。次いでケーブル犁耕区となるが、人力耕区および無耕区では大差がない。

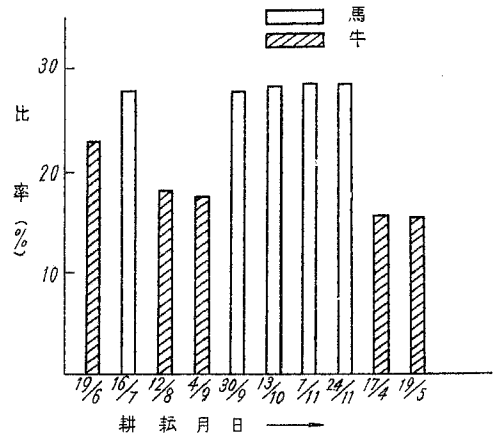
(3) 耕起作業における役畜の歩数と蹄跡の積算面積

耕起作業に要した役畜の総歩数から、試験区における蹄跡の積算面積を算出すると合計で試験区の約

2倍となり、計算上では試験全面積を2回ふみつけたことになる。(第4図) 田垣¹⁾は犁を索引する場合は短縮常歩とみなされるので、1回の耕起では蹄跡が重複することがないと云っているので、馬は耕起面積の約28%、牛では約18%の面積を踏みつけ、4~5回で全面積を踏圧する結果になる。



第3図 容積重の変化



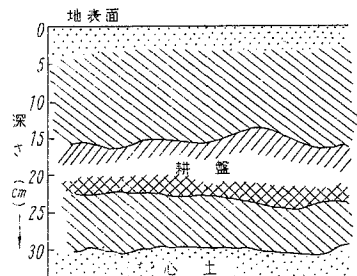
注: 1) 蹄跡の測定はモデリングゴム使用

2) 蹄跡 { 馬右前肢 16 cm²
牛 , 11 cm²

第4図 蹄跡面積の耕耘面積に対する割合

(4) 耕盤の位置と形状

畜力耕区とケーブル耕区のやや中央に幅60cm、長さ3m 深さ3.6cmの塹壕を掘り、指によって硬い層を露出させて測尺した。硬い層の位置は地表下15cmより2.3cmにおよび厚さは7~8cmとなっていて、位置については実態調査の結果とほぼ一致している。硬い層の形状は、その下面はやや平らであるが上面は相当の凹凸があり、全面に踏圧されていないことがうかがえる。しかし硬い層が断続せず一帯の層をなしていることから、全面に踏圧されていなくても踏圧の圧力分布は前後左右に拡張されているものと思われる。(第5図) Keen²⁾は羊による踏み固めを調査し、踏み固めの効果は地表下2~1.0cmにおよんでいると発表している。さらにこの硬い層の垂直面に添った土壌硬度を測定したが、畜力犁耕区では地表下15cmより高くなり20cmで最高に達し次第に低くなって心土に達するが、ケーブル犁耕区では中間が低く心土に近づくにしたがっ

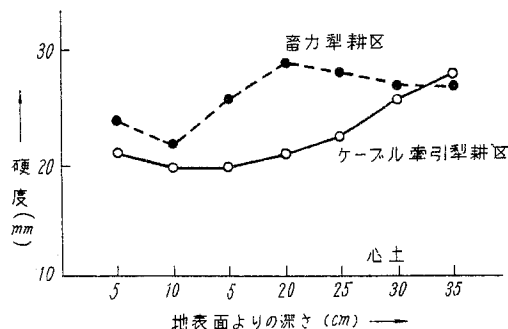


第5図 耕盤の形状

て高くなっている。(第6図) この硬い層を耕盤と呼ぶとすれば、耕盤は畜力犁耕を継続することにより耕起する深さの直下に形成され、厚さ約7~8cmの比較的硬い層が全面に広がったもので、その形成要因としてはすき溝を歩行する役畜の蹄による踏圧であることがほぼ明らかとなった。

(5) 耕盤の特性

i) 機械分析... 耕盤の形成には役畜の踏圧などの物理的要因のほか、膨軟な作土から土壤膠質物が下方に移行し沈積するような理化学的現象も加わることを予想し³⁾、国際公定法により耕盤と人力耕区のそれに相当する部分および地表より9cmのところの土壤を分析した。分析の結果は第6表のとおりであるが、人力耕区の方がやや粘土の含量が多く、耕盤は微砂が多かった程度でこの結果からは耕盤の特性を論ずることができない。



第6図 土壤断面の硬度

第6表 耕盤の機械分析

測定箇所	各種粒径		粗砂	細砂	微砂	粘土
		含水率%	0~0.2mm	0.2~0.02	0.02~0.002	0.002mm以下
人力耕区	上部	%	19.1	36.6	28.6	15.5
	9cm	%				
"	下部	%	16.0	37.0	27.4	19.5
	18cm	%				
畜力耕区	上部	%	17.6	38.8	31.2	12.5
	9cm	%				
"	下部	%	19.1	36.7	31.2	13.0
	18cm	%				

法：国際公定法による。

ii) 団粒分析... 耕盤の団粒化の状態をみるため、農研式団粒分析装置を使用して測定した。篩別後各篩上の土壤を乾燥秤量し、おのおの階級の百分率を出しさらに平均重量直径と団粒化指数を算出した。この測定は圃場試験当時、団粒分析装置がなかったのですので耕盤の形成の認められているものについて測定を行なった。

栃木県間々田の畜力耕は継続年限が12年であり、藤沢の畜力耕1)は継続年限3年、畜力耕2)は20年で隣接人力耕はいずれも無畜農家である。鴻巣の浅耕区は下層21cmのところ明らかに耕盤の形成が認められ、深耕区はその耕盤を破砕した圃場である。測定結果は第7表のとおりであるが、間々田の畜力耕は人力耕に比較して上下とも団粒が著しく少なく、鴻巣では形成された耕盤も、破壊された耕盤も共に団粒はやや少ない程度である。藤沢の畜力耕はいずれも人力耕より団粒が多いという結果になったが、機械分析と同じように測定値で耕盤の特性を論ずることは困難である。

第7表 団粒分析

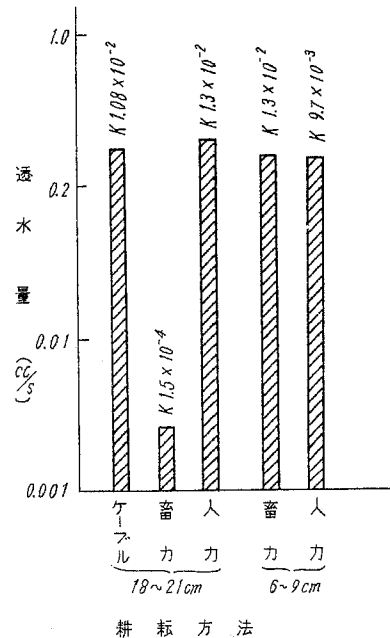
測定箇所		深さ cm	粒団の大きさ(%)						平均重量直径 mm	団粒化 指数
			10mm 以上	10~ 5mm	5~ 2.5mm	2.5~ 1mm	1~ 0.5mm	0.5mm 以下		
栃木間々田	畜力耕	6	0.59	1.41	2.99	6.27	21.83	66.91	0.26	—
		18	0.26	0.36	1.48	4.72	18.55	74.63	0.20	—
	人力耕	18	2.250	15.24	20.08	11.13	10.82	20.23	2.37	2.17
埼玉 藤沢	畜力耕(1)	6	0.73	4.53	16.50	25.91	23.59	28.70	0.82	0.52
		18	1.57	4.60	19.86	20.85	23.82	29.28	0.86	0.55
	人力耕(1)	6	0.71	3.00	14.60	33.03	20.80	27.84	0.75	0.39
		18	1.08	3.31	14.74	32.82	19.44	28.57	0.91	0.40
	畜力耕(2)	6	1.56	12.09	30.24	27.18	14.28	14.62	1.27	0.91
		18	4.47	10.16	22.96	28.67	17.20	16.51	1.40	1.09
" 鴻巣	浅耕区	6	0.55	1.49	8.85	15.59	28.48	45.01	0.66	0.50
		21	0.19	2.56	10.53	20.97	20.86	44.85	0.61	0.46
	深耕区	6	2.30	4.58	16.44	24.04	24.21	28.41	0.92	0.76
		21	0.23	3.67	11.70	18.17	24.98	41.22	0.65	0.44

iii) 透水性... 透水性の測定は、自然状態の土壤構造をなるべく破壊しないように採取した土柱について定水頭式透水性試験装置により測定した。なお透水係数 K ($\frac{cc}{sec}$) は Dacy の公式を適用し下式より求めた。

$$K = \frac{Q}{iFt}$$

K ... 透水係数
 Q ... 流量
 i ... 水頭勾配
 F ... 土柱断面積
 t ... 流速

測定の結果は第7図のとおりで耕盤またはそれに相当する部位の土柱については、人力耕区とケーブル犁耕区の透水性にはほとんど差が認められなかった。畜力犁耕区は両区に比べて著しく低くなっているが、6cmのところでは畜力犁耕区の方が高い低水性を示した。畜力犁耕区の耕盤の透水性が著しく低いのは、耕盤の部分の土壤構造がきわめて緊密に圧縮され重力水の通る非毛管孔隙が少なくなっているものと推定される。しかし耕盤の透水性が低いといっても不透水層と目さ



K ... 透水係数
 水温 $6^{\circ}C$
 注 土柱の長さ 18~21cm... 8cm
 6~9cm... 6cm

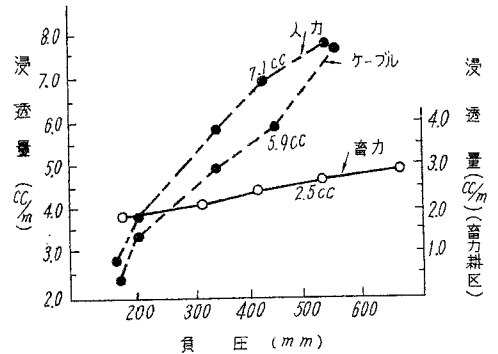
第7図 透水量と透水係数

れる粘土層の透水系数が $10^{-6} \sim 10^{-9}$ cc/sec であるのに比較すると、耕盤程度では不透水層としての性状を有するものでなく、やや滲透が悪い程度のもので判断される。また同一土柱について負圧を変化した場合の滲透量を測定したが(第8図)耕盤の部位の土柱では負荷をかけていっても、その滲透量の変化は少ない。これは土壤の構造がち密でかつ均一なためと思われるが、人力耕区、ケーブル耕区は圧力の変化により滲透量が増加している。

(6) 耕盤と植生との関係(土壤硬度の差異と大根の伸長)

方法: 播種 8月31日 1株5~6粒

供試品種名 早太り練馬
畦幅・株間 67cm x 48cm
元肥(10a当り) 米糠75Kg
 硫安105Kg
 過石60Kg
 塩加244Kg
追肥(10a当り) 硫安41Kg
間引中耕 2回
培土 1回
薬剤散布 3回(B・H・C)
収穫 11月11日



第8図 負圧を変化した場合の浸透量

播種床作り...表土を耕起することなく左右より1畝ずつ土を取って播種床を作った。

調査結果: 収穫した大根を根形のタイプによって分類した結果は第8表のとおりであるが、その百分率を求めると畜力耕区は他の処理区に比べて不整形根が多く、なかでも特に「寸詰り」が多い。これは大根の伸長部の土壤がち密なため根の伸長が阻害されたためと思われる。

第8表 大根の根の形状の割合

区分		大根の根の形状割合					計
		イ	ロ	ハ	ニ	ホ	
ケーブル区	本数	25	5	2	4	2	38
	百分率	65.9	13.1	5.2	10.5	5.2	100
畜力区	本数	5	13	3	14	1	36
	百分率	13.9	36.1	8.3	38.9	2.7	100
人力区	本数	20	2	8	4	3	37
	百分率	54.1	5.4	21.6	10.8	8.1	100
無耕区	本数	19	4	6	8	5	42
	百分率	45.3	9.5	14.3	19.0	11.9	100

注: イ ロ ハ ニ ホ
 正常 尖分れ 股分れ 寸詰り 尖曲り

3 圃場試験についての考察

圃場試験の結果、畜力耕区は他の処理区と比較して表土の下層部が硬化し、いわゆる耕盤の形成されたことが実証された。形成の主要因はその形成の過程からみて役畜の踏圧によるものであって、犁床圧の影響が極めて少ないことが明らかにされた。Free⁴⁾は犁床圧が土壌を締め固めることはほとんどなく、重量あるトラクタ・付属農具などが土壌を圧縮するため、その交通量によって硬さが異なりplow SoleよりもTraffic Soleというのが適切であるといっている。次に耕盤の特性を調査するため、その容積重・透水性・団粒構造などについて測定を行なったが、耕盤はほかの処理区の同一深度のものと比較して理学的性状の異なるものであることが明らかにされ、作物の植生におよぼす功罪については明確なる資料を得ることができなかった。ただ大根の栽培試験で観察されたことは、耕盤が大根のような深根作物の伸長に障碍になることであって、これは実態調査の結果とも一致している。涌井⁵⁾の試験では心土耕と普通耕の圃場における大根の伸長を調査したが、普通耕の場合は股分れが多く心土耕の場合は寸詰りが多かった。また茨城農試⁶⁾では耕盤が作物の生育および収量機構におよぼす影響について試験を行なったが、耕盤の影響は年により若干変動し一定の顕著な傾向は認められない。したがって耕盤の容積重・透水性などが総合してその年の天候に左右され、地形等と関係して植生に影響するものと推察される。

Ⅲ 耕盤の対策について

耕盤の対策としては耕盤の形成を未然に防止する方法と、形成された耕盤を破砕する方法とが考えられる。前者については役畜の踏圧による土壌圧縮の影響を少なくするため、耕起時期は踏み固めの影響の少ない土壌水分の場合を選定し、また役畜の歩行位置を変更し（溝歩きを丘歩きにする）、さらに蹄跡を耕起する犁の試作改良などがあげられる。

後者については心土耕および深耕による破砕と、深根作物の作付による自然破砕などである。

ここでは耕盤対策の試験として、次の項目について実験を行なった。

1 土壌の突固め試験

(1)目的

J I S規定の突固め試験器により構盤の形成されやすい洪積層埴壤土を供試して突固め試験を行ない、その土壌含水比と乾燥密度および土壌硬度との関係を明らかにして耕耘時期選定の資料を得るのが目的である。

(2)試験方法

突固めを終ったものはカラーを取りはずしてモールド上部の余分の土を削りとり、その重量と土壌硬度を測定した。測定後の試料はなるべく細かに砕いて適当量の水分を加えて含水比を変化させ、水分が均一になるようにかき混ぜて前述の操作を繰り返した。

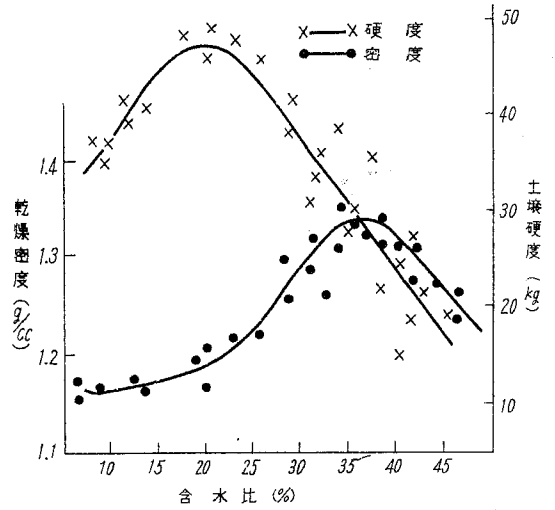
$$\text{突固まった土の乾燥密度 (g/cc)} = \frac{\text{湿潤密度 (g/cc)}}{\text{含水比} + 100}$$

(3)測定結果と考察

供試土壌の含水比を変化させて突固めを行なった結果は第9図のとおりで、水分の増加につれ逐次乾燥密度も増加し、35～40%で最大密度となった。つまりこの土壌では38%が突固めの最適含水比

ということになる。次に突固めた試料について、その土壤硬度を測定すると、含水比20%で最高となり乾燥密度が最大の場合、必ずしも土壤硬度が最大でないことが明らかになった。

一般に輕鬆土畑地の耕起は、犁体に対する土の付着を少なくするため降雨後2～3日目に行なうのが最適とされているが、この時期の含水比は40%内外の場合が多いので、役畜の踏圧によって最も突固めの容易な条件下で耕起を行なっていることになり、耕盤の形成を助長する結果となる。前述の圃場試験における耕起時の土壤水分をみると第9表のとおりで、最もしめ固め易い条件、いかえれば耕盤形成上最悪の条件下で耕起を行なったことになる。したがって耕起の時期は以上のようなことから含水比40%内外の時期をさけることが必要である。Weaver⁷⁾はトラクタを使用した際のDavidson Loamの仮比重に及ぼす影響をみるため、使用したトラクタの通過回数により、その走路中心線下と15cmのところを処理区とし、30cm、45cmのところを無処理区にして地表から7.5cmごとに仮比重を測定すると、タイヤ通過回数が10回と20回の場合は15cmおよび22cmの深さで押し固められ、適当な水分で毎年トラクタを使用することは耕盤形成の大きな要因であるといっている。



第9図 含水比と乾燥密度との関係

第9表 圃場試験における犁耕時の土壤含水比(%)

犁耕月日	試験区	ケーブル	畜力	人力
27.	6.19	41.5	41.4	42.2
	7.16	43.0	42.7	44.0
	8.12	39.4	40.0	38.3
	9.4	39.1	39.0	36.4
	9.30	39.8	41.9	40.1
	10.13	44.7	47.2	46.5
	11.7	46.9	45.1	45.3
	11.24	40.0	42.0	40.5
28.	4.17	34.3	35.4	31.4
	5.19	36.5	36.2	34.9

2 役畜および耕耘機具の接地圧測定試験

(1)目的

耕起時における役畜の踏圧、犁床圧および比較のため動力耕耘機のゴム車輪、履帯、ローラなどの接地圧と人間の踏圧をストレングージを添付した土圧計により測定し、耕盤形成の機構を知るとともに、畑耕起時の役畜の歩行位置決定の資料を得る目的で行なった。

(2)方歩

供試圃場：鴻巣新屋敷洪積層堆積土

測定計器：新興通信DS6-R型ストレンメータ

土圧測定部(第10図)

使用ゲージ 単軸ゲージ

供試機種および役畜とその重量

耕耘機 (ロータリ) 380Kg

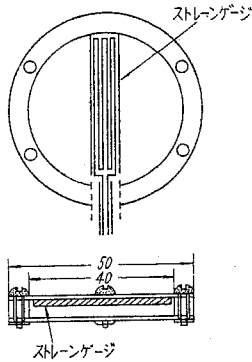
” (クランク) 450Kg

役畜 (馬) 550Kg

ローラ 18Kg

人間 58Kg

測定の方法：供試圃場を耕耘機 (ロータリ) により約 15cm に耕起し、その上を一キで均平にし容積量と土壌硬度を測定した。ゲージは測定部周辺の土壌構造を破壊しないように採土器で打抜いて第 11 図のような関係位置に埋設した。

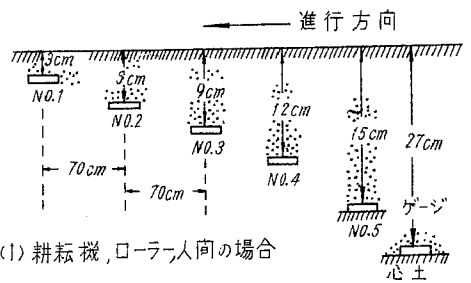


第 10 図 土圧測定部

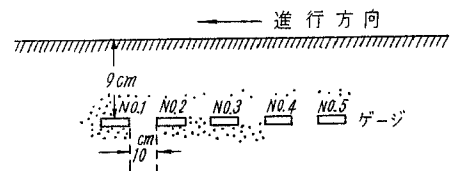
役畜を除いては所定の深さに埋設したゲージの踏圧は極めて容易なため、逐次深い方よりそれぞれの部位の接地圧を測定することができたが、役畜の場合はあらかじめ一歩 (1.58m) を測定し、ゲージに対し 4~5 完歩の位置より発進させゲージを踏圧させた。次に深層部における接地圧の変化をみるため、地表下 27cm まで耕起して逐次深さをかえ、最後に心土の土に設置して測定した。

(3) 測定結果および考察

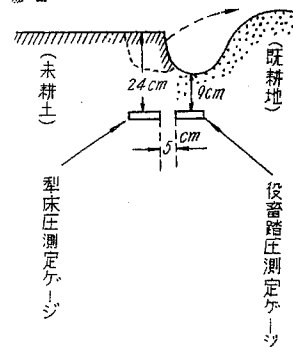
接地圧測定の結果は第 12 図のとおり埋設深さの増加により、逐次その接地圧は減少する傾向にあるが、測定位置 15cm のところで接地圧が増加しているのは下層に硬い未耕土があってゲージの支持が増加したためと推定される。役畜の接地圧は他の供試機種より大きく、特に索引作業によりさらに増加する傾向がある。それに反して犁床の接地圧はきわめて小さく、従来犁床圧が畑耕盤



(1) 耕耘機, ローラ-人間の場合



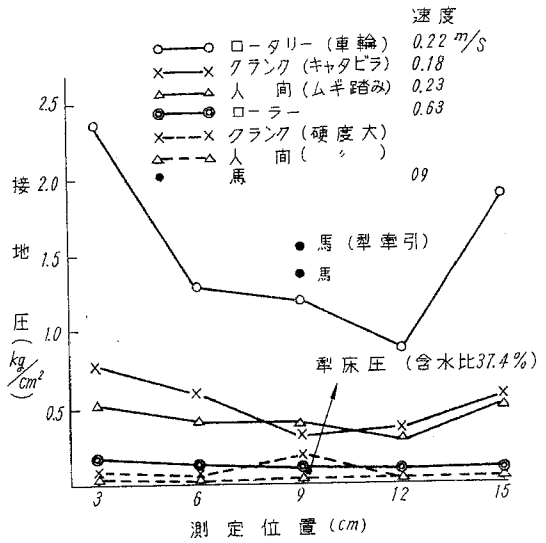
(2) 馬の場合



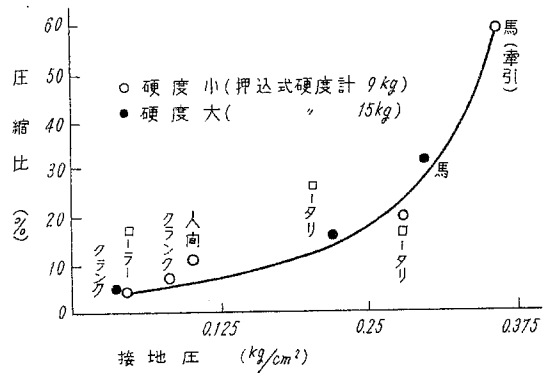
(3) 犁牽引の場合

第 11 図 土圧計埋設位置

形成の主要因とみなされていたが、犁床の接地圧よりも役畜の踏圧が形成には大きく影響していることが明らかとなった。また踏圧後、深さ9 cmにおける土壌の圧縮比を測定すると第13図のとおりで、接地圧の大きい場合は圧縮比の増加が大きく、接地圧の小さい場合はその変化が小さい傾向を示している。次に深層部における接地圧の変化と、心土と接地圧との関係を見ると第14図のとおりで耕深が増加すると接地圧は減少するが、心土に達すると急激に大きくなり耕耘機も役畜もほぼ同じ傾向にあることが判った。以上のことから土壌硬度の低い場合は、その接地圧が相当深層まで伝達され、わずかな硬さのものがあるとそれにより支持力が增大して接地圧が増大するものと推定される。したがって耕盤の形成される過程においては、役畜の踏固めた部位が支持力となって、次々と踏圧による接地圧が増大し、その累積によって耕盤に発展するものと推定される。なおこの結果より、耕耘機の接地圧も耕盤形成上軽視できないことが判った。以上のことから耕起時の役畜の歩行位置は丘歩きの方が踏圧の影響が少なく、その上踏跡も耕起されるので耕盤の形成を防ぐには有効であるが、犁の構造上からは索引偏角を大にしなければならぬので索引力の損失となり一頭で深耕を行なうことが困難になる。したがって役畜一頭の索引能力の範囲で耕盤の形成を未然に防止するにはいろいろ困難な問題があるが、索引抵抗を極力少なくするような心土犁やその利用法によってある程度目的を達成できる。William⁸⁾は、まず現在のトラクタブラウですきおこす場合、トラクタの車輪はすきおこした後に踏みつけて行くが、できればこれを改めてすきおこしていない土の上を通るようにすればよい。あるいはタイヤによる土圧を減らすために標準よりサイズの大きい低圧タイヤを用いてタイヤによる圧力が無



第12図 接地圧の差異



注：C 圧縮比
 A 踏圧前の容積重
 B 踏圧後の容積重

$$C = \frac{B-A}{A} \times 100$$

第13図 埋設深さ9 cmにおける接地圧と圧縮比との関係

視しうる程小さくなるようにするのがよいといっている。

IV 摘要

(1)アンケート調査の結果、畜力耕起による耕盤形成については一般農家の関心は高く、実際に畜力耕起を継続実施している農家もこの事実を認めているものが多い。

(2)実態調査の結果は、耕盤の硬さは作土の膨軟さに比べ比較的な硬さで絶対的な硬さが問題になっているのではないことが明らかにされた。

(3)圃場試験における土壌硬度の測定結果から畜力耕区は他の処理区に比較して表土の下

層が硬化し、いわゆる耕盤の形成されたことが実証された。形成の要因としては、形成の過程からみて役畜の踏圧によるものであって、犁床圧の影響はきわめて少ないことが明らかにされた。

(4)耕盤の特性を調査するため、その容積重・透水性・団粒分析などを行なったが、耕盤は他の処理区の同一深度のものと比較して理学的性状の異なるものであることが明らかにされた。

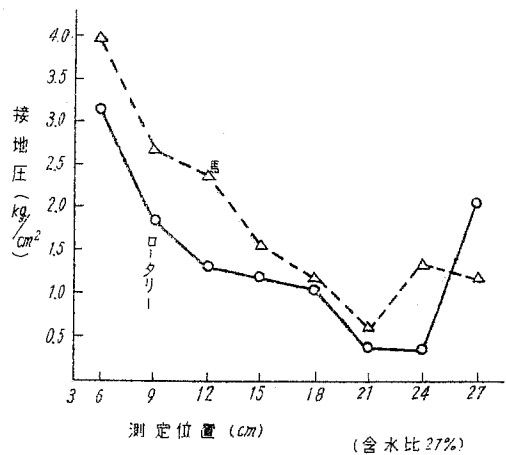
(5)耕盤形成の認められた圃場の土壌を供試して突固め試験を行なったが、水分の増加により乾燥密度も増加し35~40%で最大密度となった。

(6)役畜の接地圧は耕深が増加することに減少するが、心土に達すると急激に大きくなる。

V 機械利用上からみた今後の問題点

ここでは畜力耕起に起因した土壌の理学的性状の変化として、役畜の踏圧による耕盤形成の問題をとりあげたが、労働手段の変遷にともない畜力からトラクタに発展してきた現在では、これと類似した現象が再び問題となることが予想されるので、今後の機械化の方向と2~3の問題点を提起してみたい。

農業構造改善事業の推進によって、集約な我が国の農業においても省力効果をあげる方法として、より効果的な労働手段を選択しなければならない。その結果は、欧米と同じくトラクタを基幹動力とした大規模生産方式による新しい農業が展開されることは必須である。したがってトラクタ作業も従来の質耕作業のような部分的利用から、施肥播種、管理、収穫に至るまで一貫してトラクタを利用する体系的利用になるので、当然トラクタの走行回数も増加する。作付全期間を通してトラクタを利用するとすれば、走行回数の少ない作物で7~8回(麦、青刈飼料作物)多い作物で25回(牧草)平均14~15回も車輪で踏圧するので、畜力耕起と同じように土壌圧縮の現象がおこり土壌の理学的性状は変化し、やがては作物の植生に悪影響を及ぼすものと思われる。トラクタの利用年数の多い欧米では既に数々の問題が提起されているが、長野県でも深根性作物に悪影響があることを発表している。今後は機械の利用度が向上するにともない、深根性作物ばかりでなく普通作物に対しても欧米と同じような現象が発生するものと予知される。

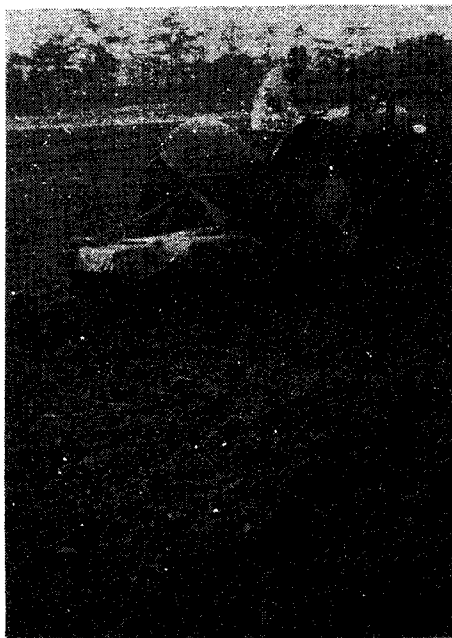


第14図 深層部における接地圧の変化

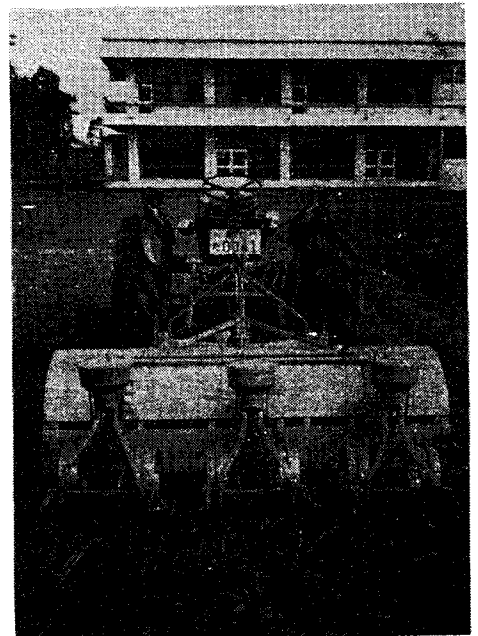
したがってこれが対策としては次のようなことが考えられる。

1) 作業行程を単純化してトラクタの交通量を少なくする。作業行程を単純化することはトラクタの走行回数を少なくするばかりでなく、作業能率を向上しトラクタの作業負担面積（適期に処理しうる面積）を拡大するためにも重要なことである。単純化の方法には、Combin（刈取—脱穀—袋詰め）や各種のHarvesterと、Seed Drillやplanter（作溝—施肥—覆土）のように一つの作業機で数種の作業を一行程で行なう専用機を使用する場合と、Rotary Seeder（耕耘—播種、第15図）やplow Roter（耕耘—碎土、第16図）、plow, packer（耕耘—鎮圧）のように作業目的の異なるものをセットするか、あるいは同時索引する場合（複合化）がある。この複合化の方法は、作業許容期間の短い我が国では特に重要であって、最近ではMinimum Tillageとして機械化の新しい研究課題とされている。今後は水田はもとより、畑地では機械化の経済性を維持するため圃場作業量の小さい耕耘整地作業に対してはMinimum Tillageが取り入れられることと思われるが、その場合土壌の構造がどのように変化するかについては今後の研究にまたなければならぬ。機械化（耕作性）を進める一方、それと表裏の関係にある作業精度（収穫性）とは絶えず平行しながら究明して行くことが重要である。

2) 畜力耕耘においても、役畜の踏圧が耕盤形成の主要因であることが判ったが、我が国においてもいずれはトラクタの踏圧（特に耕耘時）によって耕盤が形成されるものとみて間違いないだろう。現にPotato Diggerによる甘藷の掘取試験で、播種 除草剤散布 中耕 ツル切りにトラクタを入れた圃場と、全く人力作業のみの隣接農家の圃場とでは、耨と土塊の篩別においてその精度が異なり踏みかためた圃場では土塊が大きくなって篩別の程度が悪くなっている。これは踏み固めと作業との関係であるが、この踏み固めによって生ずる土壌の理学的性状の変化が作物の植生に及ぼす功罪を明らかにすることが重要である。



第15図 Plow Roter



第16図 Rotary Seeder

(3)形成された耕盤は、深耕や心土耕によって直接破碎する方法がある。深耕は洪積層火山灰土地帯で30~40馬力級で35cm, 40~50馬力級で40cmが可能であり、心土耕はそれぞれ45cm, 60cmまで作用することが容易である。しかしトラクタによって以上の作業は容易に実施できるが、破碎の効果、破碎の方法、破碎の効果持続年数が明確でないと効果的な作業法の対策がたたないので土壌の理学的性状からみた破碎に関する条件や効果を早急に解明することが必要である。

引用文献

- 1) 田垣住雄：実験馬学綜説，養賢堂 158~159 (1950)
- 2) Keen, B.A. and G.H. Cashen: Studies in soil cultivation VI. The physical effect of seep folding on the soil. J. Agri. Sci 22 (1932)
- 3) 米田茂男：地力の機械的増進法：農園 29 (1), 5~6 (1954)
- 4) Free, G.R: Traffic soles. Agri. Eng. 34 (8), 528~530 (1953)
- 5) 涌井学外2名：軽鬆土の耕耘に関する研究 (IV) 農業機械学会誌 12 (1-2), 29~31 (1951)
- 6) 茨城農試：畑犁耕が作物の生育・収量に及ぼす影響に関する試験・試験成績 (1953~1955)
- 7) Weaver, H.A: Fractor. use effect on the Volume Weight of David son Loam. Agri. Eng. 31 (4) 182~183 (1950)
- 8) Gill, W.R: Soil Compaction by traffic. Agri. Eng. 40 (7) 392 (1959)

(注) この報告は関東々山農試報告第20号(昭和36年11月)に発表している。

総 合 討 論

各講師の講演が終わったのち、美國繁氏の司会で1時間半にわたって総合討論がおこなわれた。農業機械化に関連する課題でもあり、講演者のもとより参会者から活発な質疑応答がかわされ、かつてない充実した討論がなされた。応答の要点をとりまとめると次のように整理される。(文責 寺沢四郎)

(1) 土壌の立地条件による物理性の変化

水田と畑では現地の物理性に明らかな相違が認められるが、その測定方法を確立する必要がある。干拓地においては土壌の物理性(耕盤の生成、易耕性、コンシステンシーなど)は経年的に変化しやすく、普通の水田においても、耕作方法によって団粒構造に明らかな相違が認められる。

(2) 耕盤層の物理性について

耕盤層は、土壌条件(例えば乾性型と湿性型による水分状態、腐植含量など)のほかに、機械耕作に伴う物理的な土壌圧縮によって、盤層の生成する深さ、層厚あるいは堅さなどに相違がみられる。

また盤層内の柱状構造の発達については、干拓地あるいは水田において、排水条件が重要な役割を果たすように考えられ、とくに酸化還元状態の変化と土壌構造の関係が密接のように思われる。

植物根が耕盤を貫入しない理由は、植物根の物理的貫入力及ばない(貫入抵抗が大きい)ことによるもので、養分の欠乏土層のためではないであろう。

耕盤層の位置は、土壌の管理によって変化し、干拓地でははじめ深い位置に耕盤が形成されるが、経年的に浅層に形成される傾向がみられる。

また、機械による犁底盤の形成は、火山灰土壌と非火山性土壌の物理性の相違、同種の土壌では有機物含量、土性、水分状態などの差違、土壌の圧縮効果に変化を与えることによって、かなり性格の異なった耕盤が形成されるように思われる。

(3) 耕盤層と透水性の関係について

水田の機械化に対する耕盤の役割は、地耐力と排水の難易と密接な関係がある。水田の透水性は、作物の生産性と機械導入の両面できわめて重要な問題であり、耕盤層と透水性の関係に注目する必要がある。

一方、耕盤のキ裂の発生は、浸透能を著しく高め、とくに粘土質水田においてこの傾向がみられる。このような耕盤層のキ裂の発生は土壌管理のうえで留意する必要がある。

(4) 耕盤層とすき床層の関連について

すき床層は、もともと生成論的にはポソドリゼーションをうけた集積層に相当し、作土と耕盤の間に生成するものと考えられる。他方、耕盤層は土壌の圧縮による物理的作用により形成されるものである。しかし、すき床層(集積層)と耕盤層は同じ層位に形成され区別できない場合があり、すき床層の生成論的意義がアイマイな現状では、“すき床層”の名称を用いない方がよいように思われる。

以上のとおり4項目にわけ討議内容を要約してみたが、質疑応答のうけとり方に、多少のニュアンスの相違があるものと思われるので、その点をお含みのうえ、参考にしていただきたい。



ダイキの

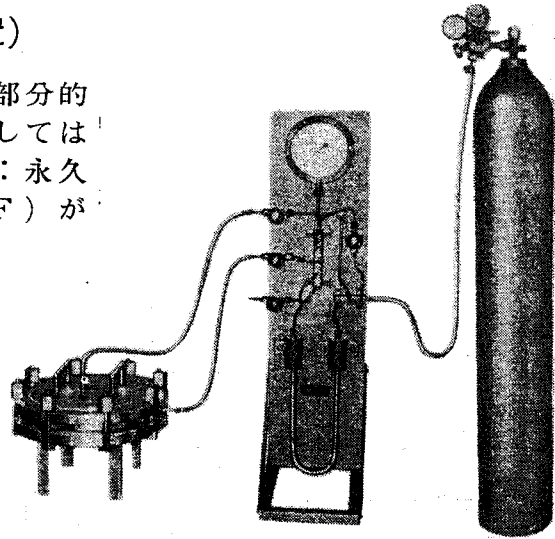
土壤物理性測定器械

加圧膜装置

(土壤溶液採集装置)

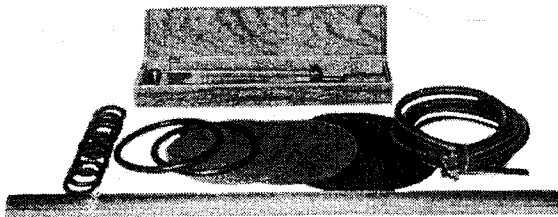
本器はリチャード型を部分的に改良し、加圧膜装置としては有効水分領（1～15気圧：永久萎凋点）の水分張力（PF）が測定できます。

また、土壤溶液の採集には、任意の張力範囲で、しかも変質されない多量の土壤溶液が容易に抽出できる装置であります。



本装置の特徴

- (1)測定法が簡便で、かつ同時に多数のPFが測定できます。
- (2)改良せる気密装置および配圧盤は堅ろうで、その調整操作も簡単です。
- (3)溶液の抽出径はステンレス材にて作られており、溶液組成の変質は完全におさえられています。



DIK実容積測定装置
 DIK団粒分析装置
 DIK透水性測定装置
 DIK土壤PF測定装置

DIK通気性測定装置
 DIK土壤巡還送風乾燥器
 DIK誘電式土壤水分測定器
 土壤硬度計・ピベット分析器

大起理化工業株式会社

東京都荒川区町屋 2丁目16番地 2号

TEL. 東京 (802) 2 1 9 1 (代表)

自記マンノメーター

硝子ゲージ管の水柱又は水銀柱の高さを
自動的に自記します。

主要製品

土壤溶液採取装置(リチャード型)
精密自記蒸発計
簡易自記水位計
自記蒸発散位計
森式風向風速自画器
農業用微気象測定器各種
その他各種測定器設計製作

主な納入先

農業技術研究所・東海近畿農業試験場
関東東山農業試験場・九州農業試験場
各地農業試験場・各大学農学部

東京都世田谷区玉川甲賀町1-22

合資会社 **ウイジン工業社**

代表社員 森 武保
技術士

電話 (70)0531

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 (いろは順)

フミゾール
(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

北海道炭礦汽船株式会社
東京都中央区日本橋室町2-1 (三井三号館)

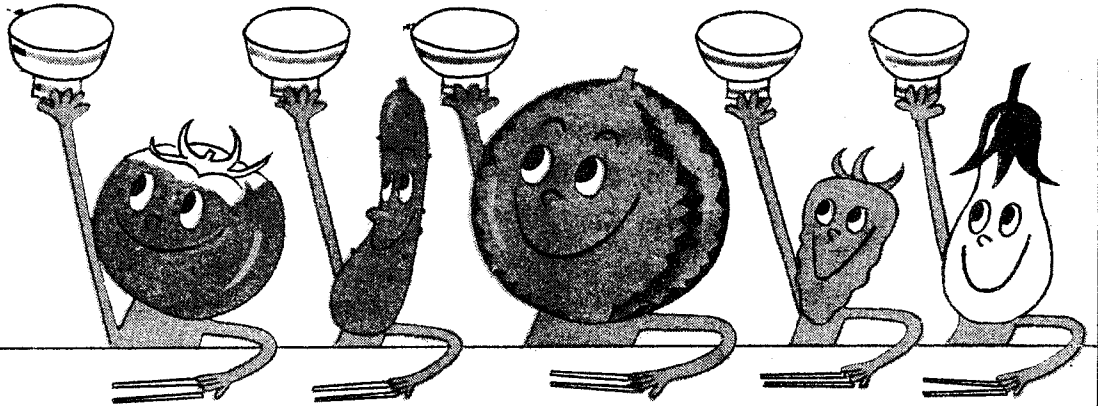
テルナイトアンモン
(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

帝石テルナイト工業株式会社
東京都千代田区平河町1-2 (中政連ビル)

アヅミン
(ニトロフミン酸苦土珪酸塩)

東化工株式会社
東京都中央区日本橋小網町2-14 (洋糖ビル)

くみ
あい **ゴセノル 100**  配給全購連  製造日本合成化学



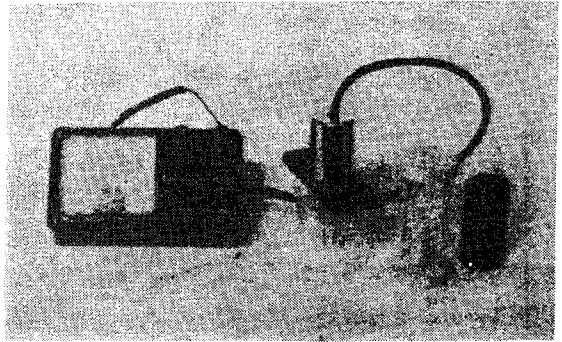
●トマトもキュウリもスイカも待っている 新鮮な空気と水を！ 果菜づくりはまず土壤改良剤で

理研式酸度計

PHメーター

農産加工用、醸造用、
土壤調査用、酪農用、

簡易騒音計
疲労度検査器
ルスクメーター
各種科学計器

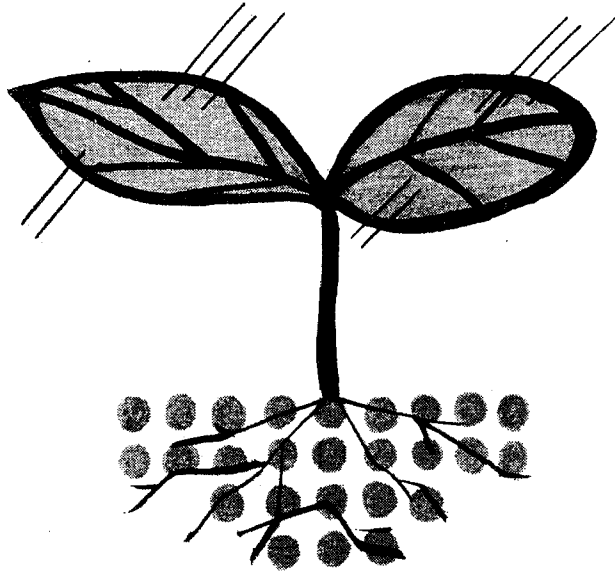


携帯用ケース付 ¥ 12,500

理研科学測定器研究所

東京都台東区神吉町5-2 (三鷹計器内)
電話 (871) 4307, 4925

よい土をつくりましょう！



強力土壌改良剤

クラレ ポバール1号

よい作物をたくさん得る秘訣は、土づくりが第一です。クラレポバール1号で通気・水はけ・水もちのよい膨軟な団粒構造の土をつくりましょう。今まで何かと苦勞の多かった土づくりが、極めて少量のクラレポバール1号で簡単にできます。特に重い土の場合や、通気を必要とする作物にはすばらしい効果をあげています。

〈資料贈呈〉 大阪市北区梅田8 / 東京都中央区日本橋通3の1

倉敷レイヨン株式会社

— お 知 ら せ —

討 論 会 後 記

今回の討論会は、昨年の開催地の京都から会場を東京に移し、東大農学部1号館において開催されました。この討論会を催すに当つては、東大山崎不二夫教授をはじめ、同研究室の方々に非常なお骨折りをいただき、盛会裡に終えることができました。記して厚くお礼申しあげます。

開催日の昭和38年11月27日は、まずまずの天候にめぐまれ、竹中肇運営委員長のもとに定刻午前10時より山崎不二夫教授の開会の挨拶につづいて、講師各位の講演がおこなわれた。最後に総合討論が1時間半にわたりおこなわれ、従来にならぬ活発な質疑応答がかわされました。講演ならびに討論の時間が短かく、今後の運営に参考にしたと考えます。このあと川口桂三郎会長より閉会の挨拶があり、土壌物理研究会が年々充実してきていることが強調され、将来ますます発展することを期して閉会しました。

討論会の参加人数は、予想より多くの出席がみられ100名を越える盛況でした。今回の参加者の多くは、土壌肥料学会、農業土木学会、農業機械学会、作物学会、農業気象学会などの関係者が出席され、各分野から土壌物理の重要性が指摘され、有意義な討論会を催すことができました。また、討論会のあと、午後5時半より東大三郎池にかこまれた静かな山上会議所において、懇親会を催した。

おわりに、ご多忙中のところ有益なご講演をお引き上げ下さいました講師の方々に深くお礼申しあげるとともに、終始討論会にご参加いただきました会員諸氏に謝意を表します。

総 会 報 告

討論会の当日、評議員会を開いたのち、総会で喜田大三幹事から研究会の活動状況、会計(次号に掲載)役員再任、次回の討論会などについて報告があり、御承認をいただいた。次回の討論会は本年秋に東京で「土壌の物理的性質の測定法とその意義」について開かれます。つきましては、次回の討論会に関して同封の資料を御参照の上、御返答下さい。

会 員 移 動

(39.2.10 現在)

新 入 会 員

光 沢 健 治	山口県岩国市大字室木2800 山陽パルプK.K. 岩国工場
二見 敬 三	兵庫県明石市北王子町 兵庫農試
直原 毅	〃 〃
秋本 俊夫	埼玉県上尾市上尾宿 埼玉農試
北原 健吾	埼玉県上尾市 上尾農試
平野 福 怡	〃 〃
柴 英 雄	〃 〃
田地野 直 哉	神奈川県平塚市中原1519 農業土木試
古 木 敏 也	〃 〃
鎌 田 嘉 孝	長野県塩尻市桔梗ヶ原 長野農試桔梗ヶ原分場
福 桜 盛 一	東京都北区西ヶ原 農 技 研
小 中 仲 夫	千葉県都町 千葉農試
丸 山 明 雄	京都市伏見区桃山町 林試関西支場
西 村 完 爾	高知県南国市大埴 高知農試
徳 橋 伸 仲	〃 〃
大阪窒業耐火煉瓦K.K. 日生工場	岡山県和気郡日生町

退 会 者

大久保 正 道	(山口県)
野 村 寛之進	(東京都、死亡)
佐々木 昭四郎	(岩手県)

住 所 変 更 (新住所のみ)

中 山 俊	大阪府北区梅田8 倉敷レイコンK K
中 島 文四郎	群馬県勢多郡柏川村月田1110
斉 藤 知 行	札幌市北三条西六丁目 道庁農業改良課
山 口 正 栄	旭川市永山町 農試上川支場
渡 辺 公 吉	北海道河西郡芽室町 北海道農試畑作部
鈴 木 清 司	埼玉県上尾市 上尾市農試
伊 藤 実	東京都目黒区駒場町862 東京教育大農学部
野 口 正 三	〃 〃
松 山 良 三	東京都中央区小田原町3の1 関東農政局構造改善部
山 崎 稔	京都市左京区北白川京大農学部機械
清 水 正 二	群馬県吾妻郡嬭恋村田代 嬭恋馬鈴薯原種農場
浜野繊維工業K.K.研究所	埼玉県浦和市大字西堀1828
関 好 博	長野県松本市鷹匠町 中信農業水利改良事務所
舟 戸 一 勝	埼玉県熊谷市熊谷2028 農林省官舎

編集後記

ここに第5回討論会の特集号をお送りします。この会誌が会員各位の試験、研究に大いに利用され、成果をあげていただくように願っています。

次号11は本年8月に発刊を予定しております。6月末日までに原稿をお送り下さい。また本会の活動について、会誌の内容・編集について御意見、注文、感想などをどしどし事務局へお寄せ下さるようお願いいたします。

(喜田大三)

土壌の物理性 第10号

(会員配布)

1964年3月10日 発行

発行 土壌物理研究会

(京都市左京区北白川 京都大学農学部土壌学研究室内)
(電話 京都 ☎ 8111 (京大) 学内 723, 振替京都 2295)

編集責任者 喜田大三

印刷 昭和堂印刷

(京都市上京区上長者町通室町西入)
(電話 ☎ 1659番)

