

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

# 土 壌 の 物 理 性

第 14 号

昭和41年3月

---

プララ耕及びロータリ耕より見た畑地の易耕性に就て.....	常 松 栄	1
大型機械による踏圧と畑作物の生育.....	鎌 田 嘉 孝	4
農業機械の走行可能性.....	金 須 正 幸	10
ホイール型農用トラクタのタイヤクローラ装置.....	佐 藤 勝 之 郎	15
土壌水のエネルギー概念 p F の工学的検討.....	竹 中 肇	21
土壌水分と硬さ土壌類型との関連.....	横 井 肇	26
第7回土壌物理研究討論会総合討論要旨.....		29

---

土 壌 物 理 研 究 会

東京都世田谷区世田谷 4 の461 東京農業大学農業機械研究室内

## 土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会と称する。
- 第2条 本会は土壌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 土壌の物理性 (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 500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、会計監事若干名及び幹事若干名。役員を選出は総会において行ないその任期は1年とする。但し再任をさまたげない。
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 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40年4月以降)

東京都世田谷区世田谷4の461

東京農業大学農業機械研究室内

## 「土壌の物理性」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枚程度を一応の規準とする。

(4) 投稿は以下に示す種別にしたが、その内容は土壌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》 土壌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宛のこと  
東京都世田谷区世田谷4の461 東京農業大学農業機械研究室内土壌物理研究会編集委員会

# プラウ耕及びロータリ耕より見た畑地の易耕性に就て

常松 栄\*

## 1. 前 言

農作業の最初に行なうのはプラウ耕であり、ロータリ耕である。その着手時期の判定は畑地の乾湿程度即ち土壤水分の大小が基準になっている。適度な土壤水分であれば、碎土が良く好適な播種床が出来上がるが過度であれば耕土は放てき、碎土共に不良で、特に埴土系では羊カンを切り倒した如き形状を呈するし、又乾燥に失すれば、人頭大の土塊がごろごろと放てきされる。ところが水分が適度であっても火山灰性土壤ではプラウの曲面に土粒が付着し、それが相互粘着して、耕土のスキわけをなして放てき、反転を行なわず、拙劣なプラウ耕地を呈す。ロータリ耕の場合でも亦同一結果を示す。従ってこれ等の作業を開始する場合の判定は土壤水分のみでなく、土壤粒子の状態、それを更に改良せしめる手段を講じてやる必要がある。つまり易耕性とは新しい考え方のもとに考究せねばならないと常日頃思っていたので、筆者なりの意見を述べて、討論の話題としよう。

## 2. 易耕性の意義

Baver 著 *Physical properties of Soil* に述べている *Soil Tilt* を耕耘用機械より意義づけると植物の成育に適当した物理的条件を土壤に持たせることである。この条件とは土壤の物理的環境つまり土壤構造が主であり、適度な換気性、成育に適した水分を常に保持し、過剰水を迅速に地下へ滲透排除せしめる等の条件を具備すべきである。この条件を満足させる構造の土壤つまり耕土であれば良好な耕耘性能を表わすものと解釈して良い。

この様な構造を保持せしめるには *Soil consistency* (結持力) の或る範囲に限られる。Atterberg 氏は *Clay* を使用して 1911年に報告し、ここで云う或る範囲とは流動下限と細棒限界の含水比で表示する *Consistency* なるもの部分に限られるのである。粘土を基準として決定されたいわゆる塑性指数がそのまま他の土壤に適用されない。我国の農耕地には各種の特性を有する火山性土壤があり、各種の泥炭土壤が存在する。これら土壤の結持力はどうかと云う広大な研究分野がある。

易耕性を判定するのに粒団化に関連した土塊の分布、孔ゲキ量を取り上げて。土水空気の上相構造の表示はこれが判定には役立つものであるが現在のところ、おのおのの土壤についての決定版が発表されていない。更に一つの判定の仕方として、*Penetrometer* が利用された。これは土壤が塑性を示す領域の中でのみ考えられるもので、測定数値が大であれば構造はきわめて堅密で、孔ゲキ量があったとしても作物根の伸延は困難である。この硬さの土壤を耕起しても作物の成育に適した状態を与えることは出来ない。つまり粒団化させることは出来ず、そのためには他の手段を構ずる必要がある。いい換れば測定数値の大小に応じて耕耘方法の選定の一助となるものと思われる。この方法は後述する。

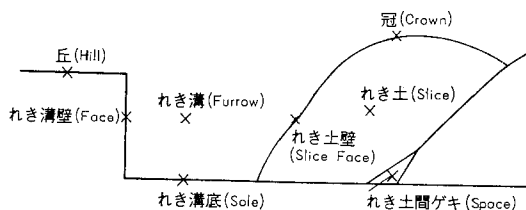
要するに易耕性とは作物の成育に適当した換気性と水分を保持し、過剰水は急速に地下へ滲透排除する粒団化した耕土である。この様な土壤の物理環境を持續させ、或は保持させる目的で使用するのが耕耘用機械である。

## 3. プラウ耕の種類

プラウは犁と共に耕耘用機械の重要な役目を果す一部門である。プラウ耕の目的は作物の発芽、根の伸延に適した土壤構造を与え、表面に散在している夾雑物を地中に埋没し腐敗分解を促進させて有機質を含有せしめる。従って耕土の表層を或る一定の深さで耕起反転放てき破砕の4種の作業をする機具である。これ等の作業のうち特に一作業を重点的に行なうことにより機具の種類とプラウ耕の種類が生じてくる。次にプラウ耕の種類を述べる。

### (1) 表土耕 Surface Plowing

一般に広く行なわれている耕土の表層 20cm 位の深さで耕起する。毎年大体同一深さで耕起しているの、この



第1図 れき土各部分名称

\*北大名誉教授

耕土を作土と云う場合もある。10cm位までの深さで耕起するのを浅耕とか削耕(shallow plowing)と呼んで區別してゐる。第一に耕起した土壤をれき土(Slice or Furrow Slice)と呼び各部の名称を図示した。

### (2) 深耕 Deep plowing

20~30cmの耕深で耕土を耕起するもので、れき土は原則として反転される。30~40cmの耕深で耕起するのを特に超深耕と呼ぶ。

### (3) 心土耕 Sub-soiling

表土耕を連年行なっていると、れき溝底が犁底で押付けられたり、耕馬やブラウマンの歩行により踏付けられ、又雨水により運ばれた微粒子の粘土分が沈殿して固結した盤状組織が出来る。この固結層を犁底盤(Plow-sole pan. Hardpan)と呼んでいる。ホイールトラクタが耕馬に代って使用されだしてからはれき溝底を走行するので、この底部を踏固めることが大となり、水の滲透を不良にしかつ作物根の伸延を一段と強く阻止するに至った。これを踏圧と呼び Penetrometerの使用により、容易にその固結程度を知ることが出来る。ここに易耕性と密接な関係がある。走行回数増加につれて土壤密度も増加するが、トラクタと作業機の重量とによって、その密度には差異がある。それである一定の密度に達す面になるとその固結度合はそれ以上増加せずにれき溝底全部に形成されて存在する。これを踏圧層と呼ぶし、Traffic compaction, Bulk density of soilといつてゐる。要するにトラクタと作業機のタイヤの走行による土壤の踏縮められた固結部である。この踏圧層を耕起と破碎つまり膨軟化せしめる目的で行なうブラウ耕を心土耕と特に呼ぶのである。

心土耕の深さは大体10cmが標準であるが30cmにも及びことがあり、耕巾は表土耕ブラウの刃巾の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ である。ドイツでは刃巾の $\frac{1}{3}$ 、耕深30cmで行なう心土耕を特別に心土溝耕(Rillen-Kultur)と称している。ホイールトラクタの普及によりれき溝底の踏圧層形成は益々はげしくなるので、これが解消には是非とも本耕を実施せねばならぬものである。

### (4) 心土破碎耕 Pan-breaking

心土耕の一種と考えられるがれき溝底の踏圧層の膨軟化のみでなく、更に深層の固結層を耕起破碎する耕法である。本耕は単独にブラウ耕する前に深さ40~100cm、のみ刃(Chisel)と称する刃巾6~10cmの堅牢な刃を犁柱の下端に装着させ、更に水平刃又は三角刃(Wing)と呼ぶ刃を、のみ刃の背部の両側に犁柱に螺着してある。水平刃の左右両端の巾は30~40cmである。この犁柱を1~3本を丈夫な枠組に固定してあるから、固結した盤

層中に貫入すると、耕土は割裂されると同時に水平刃により耕土が耕起され、全層に割目を生ずるから過剰水の地下への滲透を促進すると共に換気性を良好とする。けん引するトラクタの馬力の大小に応じて犁柱の数、深さが異なる。暗渠排水の効果を迅速に發揮せしめる目的で行われるのが常道であるが、犁柱一本に水平刃を除去し、犁柱の下端後方即ちのみ刃の後端に直径10cmの円柱を装着して、けん引すると土管暗渠の代用となる。これを弾丸暗渠とかもぐら暗渠と称し、簡易な暗渠排水となる。

本耕は過剰水の排除、耕土の換気性の促進及び降水の吸着保持等に大きな効果を發揮し更に作物根の伸延を容易ならしめる。又風化を促進するから土壤の粒団化に役立つところが極めて大である。易耕性との関係より見るならば作物根の伸延領域を拡大する作用を行なう重要な手段である。

### (5) 混層耕 Soil-layers mixing

火山灰地にて火山灰が堆積した下層に肥沃な土層があったり、火山礫層と火山灰層とを混和すると植生に有効であることが判明したので行なわれてる北海道独特のブラウ耕である。耕深は40~150cmにも及ぶもので、混層耕ブラウが使用される。発土板型と円盤型の両種があり、両者共に超大型クローラトラクタでけん引する。

以上ブラウ耕の種類を述べたが、深さ別に差異があるばかりでなく作物の成育に適した環境の生成のための手段である。けん引する動力源が畜力より機械力に移行し、機械力利用によって生じた踏圧を解消せしめるための心土耕並びに心土破碎耕が更に強大機械力の発達利用により特殊な心土破碎耕や混層耕が普及して来た。

## 4. ロータリ耕の種類

ロータリ耕とは一般に耕耘機で耕土を耕耘すると解してゐる。作土をブラウや犁で耕起せず或る深さだけを碎土して膨軟化し、作物の成育に適した環境を作るのが大きな特徴になつてゐる。我国で発達した耕耘機はロータリ耕の場合は搭載エンジンの出力の関係から耕耘する深さは大体15cm程度であるが、外国ではトラクタに直装する型式が発達し、我国にも輸入され、又国産化も行なわれて特有の名称が生じて来た。

### (1) ロータベータ耕

英国 Haward 会社の製品で Rotavator なる商品名で輸入されたが、耕耘深が22cmにも及ぶので深耕可能なので農家が好んで使用した。特に火山灰性土壤の牧草地の更新の場合にはブラウでは曲面に土壤が付着して完全な反転をれき土に与えられない。又土の付着を防

止するためにディスクプラウを使用してもれき土の反転は極めて不良であり、放てき作用がないから冠が突出して整地に労力を要する等の欠点があった。本耕はそれ等の欠点を排除し平坦で碎土良好な土地を形成してくれるので極めて迅速に普及した。そうして深く耕転するロータリ耕の一種としての呼称が決定づけられた。火山灰地ばかりでなく、他の多数の種類にまで使用されている。

(2) ロータリ・ハロー耕

耕転深が10cmに麦刈跡地の耕転や、プラウ耕後の碎土を行なうのである。西ドイツでは秋播麦類の収穫後に紫カブの播種床作りに良く行れる耕法で、スピードハローや回転碎土機が使用されている。我国では花型ロータが用いられ、特にプラウ耕後碎土専用に極めて広く各地で行なわれている耕法である。

以上述べたロータリ耕は作土の碎土を重点として行なう耕法である。特に乾固すると碎土に多大の労力を要する埴土では良好な播種床作成には極めて適当した耕法である。しかしながら過膨軟による植生の障害もないわけでもない。春の干天で土壤水分の急激な蒸発で発芽を害した事例もある。この例は火山灰性土壤に多く見られる。

5. 中耕

播種後地表面は雨滴に打たれ、風に吹かれると地表面に土壤の薄い皮膜Soilfilmが生じて暖気が土中へ浸入するのを阻止する。又雑草が繁茂してくると耕土を固結する。これ等の障害を除去する目的で中耕を行なうのが本来の使命であった。トラクタの普及につれてカルチベータもトラクタがけん引するので強力であるところから、ハロー及び播種機牽引のおり形成された踏圧部 Harrowsole を膨軟にする目的をもかねて知用カルチベータと牧草地の表面踏圧層や心土耕代用の心土踏圧層を膨軟化する重作業用カルチベータ Heavyduty cultivator が使用された。

畦間の耕土や牧草地の表面を膨軟化し、作物根の伸延を助長し、換気性を良好とならしめ更に降水による地表

面の滞水を地中へ急速に浸透せしめる等の効果を發揮する。言換えれば良好環境を耕土に与える手段となる。

6. 結言

作物の成育に適当した土壤の物理的環境とは適度な換気性、成育に適した水分、過剰水の迅速な地下への浸透等を具備した土壤構造を有することが易耕性と意義づけられ、その様な土壤構造を作りかつ保持せしめることが土壤耕転法である。

土壤構造を作り出す耕土の範囲は播種床と呼んでる深さ20cmたらずの浅い範囲ではなくなった。耕転作業を耕馬及び10PS位のエンジンを搭載している耕転機使用時代は別として現在の如く大型トラクタが動力源として使用される時にはタイヤによる踏圧により、土壤構造はますます悪変される。

そこでその範囲も拡大され作物根の伸延する領域についての土壤構造を考えねばならぬものである。

耕転法よりのべた如く1mぐらゐの深さまでの土壤構造を易耕性の観点から検討せねばならなくなった。

農機を研究するものは耕転用機具設計の基礎である土壤別にその比抵抗を知ってるが、実は表土耕時における数値であって、耕深1m或は1.5mにも及ぶ場合にはこの比抵抗は設計の参考にはならぬ。初歩より再出発すべきものがある。

これと同様に易耕性に就て研究する若き土壤物理研究者もまた耕土として少なくとも1mぐらゐまでの土壤についての構造の把握が必要となるべきである。Baverののべる粒団化に関連した土塊分布、土壤の硬さ、三相構造等も作土のみでなく少なくとも1mぐらゐまでを Sampling の範囲となすべきである。

我国には特殊な土壤が豊富にあり、粘土を主体とした Atterberg法以外の適切な表示法が案出されて良いと思う。それによりもっと適格な土質の改善法が単に物理的なもののみでなく、化学的手段を加味した独特の方法が機械の協力のもとに展開されるべきである。

お 知 ら せ

1. 会費2年度分以上の滞納者には会誌の発送を停止致しますので御了承下さい。
2. 会員数(昭和40年2月2日現在)は次のとおりです
 

九州・四国地方	133名
中国地方	40
近畿地方	74
中部地方	109
関東地方	250
東北地方	69

北海道地方	68
外国	4
計	747名
賛助会員	19名
3. 会誌在庫数	
No. 7.	33部 (a) 200
No. 8.	28部 (a) 200
No. 9.	19部 (a) 200
No. 10.	28部 (a) 200
No. 11~12	195部 (a) 400
No. 13.	220部 (a) 200

なお送料は実費負担願います。

# 大型機械による踏圧と畑作物の生育

鎌田 嘉孝\*

## 1. はじめに

近年大型機械のは場への導入が頻繁となるにつれて、従来の作業体系の場合と異なって、問題化しつつあるものに、大型機械の車輪による土壌踏圧がある。したがって、機械導入と土壌物理性との関連の中でも、この土壌踏圧の内容の解明は重要な課題の一つと考えられる。さらに易耕性 (Soil tilth) について考えるに当たっても、その定義については、わが国でもすでに米田<sup>(1)</sup>・木下<sup>(2)</sup>が詳細にのべているように、種々の議論があるが、農業技術的立場よりすれば、単に耕し易い物理的条件のみならず、その場に作付けられる作物の生育に好適な物理的条件をも重視したい。しかしこの点の究明はまだ端緒に終わったばかりであり、ここにのべる踏圧と作物生育との関係についても、現在までに火山灰土で、現象的に観察しえたものであること、および現在各地で行なわれている試験とは必ずしも統一の見解に達していない点もあるといった限定されたものであることをお断りして、以下に御報告する。

## 2. 導入条件と踏圧層の生成

機械導入による踏圧層の生成を考えるに当たっては、いつ・どこに・どのように形成されるかが問題である。この点については、既に一部報告<sup>(3)(4)(5)(6)</sup>したので、多くはふれないが、簡単に表示すると、第1～3表のとおりである。

第1表 耕耘法と土壌の物理性 (2年4作ほ場)

耕耘法	層厚 (cm)	土 壌 三 相			硬度 (mm)	透水係数 (cm/sec)
		固相	液相	気相		
小型ティラー ～かご車	2～7	25.3	38.9	35.8	11.6	$4.3 \times 10^{-3}$
	10～15	26.4	44.2	29.4	15.8	$4.3 \times 10^{-3}$
	20～25	25.0	45.5	29.5	17.3	$1.5 \times 10^{-2}$
	30～35	27.1	44.0	28.9	17.6	$8.2 \times 10^{-3}$
	40～45	25.3	47.6	27.1	18.1	$1.4 \times 10^{-2}$
ブラウ～ディス クハロー～ツ スハロー	2～7	26.5	44.0	29.5	11.6	$6.3 \times 10^{-3}$
	10～15	29.3	48.4	22.3	21.9	$3.5 \times 10^{-3}$
	20～25	30.7	50.3	19.0	21.3	$2.5 \times 10^{-3}$
	30～35	31.4	53.5	15.1	18.3	$6.7 \times 10^{-3}$
	40～45	25.7	50.3	24.0	18.1	$1.0 \times 10^{-2}$

\*長野県農試桔梗ヶ原分場

第2表 耕耘時の踏圧層の内容

	中層踏圧層	下層踏圧層
圧縮されやすい水分	pF 2前後	
位 置	10～20cm(黒色土層)	30～40(漸移層～ cm(黄褐色土層))
容積重 (g/cm <sup>3</sup> )	0.78～0.85	0.68～0.77
気 相	10～15%	10～15%
硬 度	mm	20～23
	kg/cm <sup>2</sup>	9.44～17.68
貫入抵抗*	高	低
透水係数*	低	高

\*中層と下層の比較

第3表 畦間踏圧と土壌の物理性

処 理	位置 cm	容積重 (g/cm <sup>3</sup> )	全孔 隙 %	PF 2.0時			硬度 mm	透水係数 cm/sec
				固相	液相	気相		
畦間無鎮圧区	0～5	0.703	72.7	27.3	49.1	23.6	17.4	$1.2 \times 10^{-2}$
	5～10	0.717	72.2	27.8	50.1	22.1	19.2	$2.6 \times 10^{-3}$
	10～15	0.771	70.1	29.9	57.1	13.0	20.5	$9.5 \times 10^{-4}$
	15～20	0.746	71.0	29.0	55.2	15.8	19.0	$1.6 \times 10^{-3}$
畦間鎮圧区	0～5	0.854	66.8	33.2	51.3	15.5	27.0	$5.2 \times 10^{-4}$
	5～10	0.841	67.4	32.6	50.4	17.0	26.0	$7.8 \times 10^{-4}$
	10～15	0.803	68.8	31.2	53.3	15.5	23.2	$8.0 \times 10^{-4}$
	15～20	0.789	69.4	30.6	52.4	17.0	21.1	$1.2 \times 10^{-3}$

すなわち、踏圧層の種類としては、

- (1)表層踏圧：草地における管理・刈取時に、ほぼ全面に形成する。
- (2)畦間踏圧：表層からの踏圧であるが、普通作物・そ菜の主として管理作業時に、特定の畦間に形成する。
- (3)中層踏圧：碎土・整地時に、ほぼ全面に近い形で形成するが、次作の耕起によって消滅し、また作業機種によっては形成しない。
- (4)下層踏圧ブラウによる耕起時に、スキ床面下に、全面～全面に近い形で形成し、ある程度累積される。とくに、(3)・(4)はブラウ～ディスクハロー (～ツースハロー) の作業工程によって形成されるが、いずれの踏圧層も根圏域内に生成されるのが普通である。したがって、踏圧層の形成は、作業機種・作業工程によるが、踏圧の程度は、導入時の土壌水分・導入回数との関連が深

く、これは個別の作業機種、作業内容から、作業体系・作付体系までの広範な影響を受けることを示すものである。

3. 踏圧と作物の生育

普通作物を対象とした場合、従来少なくとも表層30cm以内に緻密な層が存在することは、一応不利と考えられている。Page & Bodmanによれば、緻密な層（微細間ゲキの増加）の植生への影響を次のように解析している。

- ①根の伸長・肥大に対する抵抗力の増加
- ②根に必要なO<sub>2</sub>の減少
- ③土壤水分の移動が困難となり、根への有効水分の減少

そこで、上記の点に留意しながら、以下に試験例をあげる。

〔試験Ⅰ〕耕耘法と作物の収量

小型ティラー耕を対照とし、これとボトムプラウ～ディスクハロー～ツースハローの工程（プラウ耕）で耕起し、中・下層に踏圧層を形成させた場合の各種作物の収量は第4表のとおりである。もちろん両耕法の差異は、単に踏圧層の有無のみならず、耕深・土層別肥沃度の差異もあるが、小麦、ハクサイ、タマネギでは、なんら障害はみられず、収量的にも優るとも劣らぬ結果を示した。ただ大根については、根重は優るが、中層踏圧層（地表下10～15cm）の生成によって、クビレを生じ、品質の低下がみられる。この程度の踏圧では、既述の範囲（第1表参照）をこえてはならず、それほど極端な品質低下ではなかった。

第4表 耕耘法と作物生育 (百分比)

区名	年次・種類 項目	37年秋作				37年冬作				38年秋作			
		ダイコン		ハクサイ		タマネギ		コムギ		ダイコン		ハクサイ	
		根重比	総重比	根重比	総重比	球重比	子実重比	根重比	総重比	根重比	総重比	上物総重比	
対照耕区	標肥	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	増肥	91	91	93	116	98	91	94	111	104			
プラウ耕区	標肥	112	111	109	122	102	93	91	98	99			
	増肥	108	106	106	114	88	104	105	93	102			

〔試験Ⅱ〕踏圧と作物の生育・収量

1964年に、無鎮圧区（ボトムプラウ～大型ロータリー砕土）、鎮圧区（ボトムプラウで25cmに耕起後、その鋤床をプラウ装着のまま連続6回鎮圧）および鎮圧後心土破砕区（鎮圧区と同様に鎮圧後、さらに深さ40cm、間隔30cmにサブソイラーをかけた）を設け、とうもろこし、大豆および大根（2品種）を供試した。

本試験の場合、鎮圧操作上の欠かんとして、プラウ耕起溝の踏圧は、土壌がくづれるため、6回行なっても、それほど極端にはしまらなかったことと、心土破砕区は、間隔を細くしたために、かえて10～15cmの層間がやや緻密となったことである。これらのことは、容積重、三相分布・硬度・透水系数に明瞭にみとめられた。各作物の生育・収量は下表に示すとおりである。

第5表 踏圧と作物の生育収量

トウモロコシ									
処 理	生 育				収 量 kg/10a				立重 %
	稈長 cm	穂長	穂茎	穂重	芯重	子実重	同左 %	同左 %	
無鎮圧区	277.0	18.8	4.9	1,871	127	769.3	100	761	
鎮 圧 区	272.0	18.3	4.8	1,564	114	665.0	86	758	
鎮圧心土破砕区	285.0	19.6	5.0	1,936	125	792.1	103	758	
ダイズ									
処 理	生 育				収 量 kg/10a				立重 %
	稈長	分枝数	総節数	莢重	莢重	子実重	同左 %	同左 %	
無鎮圧区	67.2	5.9	50.4	142.2	119.8	232.2	100	692	
鎮 圧 区	62.7	6.1	52.3	135.9	126.6	237.0	102	694	
鎮圧心土破砕区	64.9	6.0	56.3	134.4	131.3	243.8	105	693	
ダイコン									
品種	処 理	生 育			収 量 kg/10a			変形根 (本)	
		葉長	根長	根茎	葉重	根重	同左 %		
宮	無鎮圧区	44.7	38.3	5.6	1,749	3,633	100	0	
	鎮 圧 区	40.1	38.3	6.1	1,991	4,366	120	0	
	鎮圧心土破砕区	44.2	38.3	5.9	2,008	4,191	115	0	
大	無鎮圧区	48.2	26.1	7.0	3,368	4,203	100	0	
	鎮 圧 区	45.7	26.7	7.1	3,326	4,583	109	714	
蔵	鎮圧心土破砕区	46.6	27.1	6.8	3,471	4,587	109	476	

トウモロコシ：11葉期頃までの生育は、無鎮圧区が草丈がやや優ったが、その後鎮圧区は依然やや劣ったが、心土破砕区は回復し、収かく期では無鎮圧区より幾分優った。収量も、心土破砕区≧無鎮圧区>鎮圧区の順であった。（鎮圧区の収量低下が、かなり顕著であるが、生育経過ならびに観察からはその影響は軽微であり、測定誤差の介入によるものと思われる）

ダイズ：生育初期では、無鎮圧区>心土破砕区・鎮圧区であったが、収かく期では、茎長では依然無鎮圧区が優ったが、分枝数・総節数・完全莢数はむしろ心土破砕区・鎮圧区で優った。収量は莢重では無鎮圧区がやや優ったが、子実重では顕著な差ではないが、心土破砕区・鎮圧区>無鎮圧区の順であった。

ダイコン：比較的地上部に抽出し易い宮重と抽出し難

い大蔵の2品種を供試した。両品種とも葉長は、無鎮圧区 > 心土破砕区 > 鎮圧区の順を示したが、根長・根径では、ほとんど差はなかった。宮重では地上抽出根長が鎮圧区でやや長い傾向がうかがわれた。根重は両品種とも、心土破砕区および鎮圧区は無鎮圧区に優っており、また前二者間では差はなかった。しかし地上抽出根長の小さい大蔵では、変形根数が心土破砕区・鎮圧区に多かったが、商品価値を著しく低下させるほどではなかった。

なお1959~60年に当場で行なわれた別の試験<sup>7)</sup>でも、トウモロコシ・ダイズ・陸稲・長ニンジン<sup>8)</sup>を供試した結果は、トウモロコシ・ダイズ・陸稲では影響は無~僅少であったが、長ニンジンでは岐根・変形根の発生がきわめて多く、品質の低下が著しかった。この場合の土壌の物理的諸性質は既述の試験と同様の範囲内にあった。

〔試験3〕参考 沖積土における踏圧と作物の生育

火山灰土における〔試験2〕と、ほぼ同一設計で沖積

第6表 沖積土における踏圧と作物生育

トウモロコシ										
	8月5日			収 かく 期 (kg/a)						
	稈長 cm	莖数	生重 g	稈長 cm	莖数	稈重	子実重	立重 g		
無鎮圧区	194	3.0	1,140	224	2.1	36.3	36.2	727.0		
鎮 圧 区	162	1.0	640	196	1.4	22.3	41.6	726.5		

ダイズ										
	8月5日			収 かく 期 (kg/a)						
	草丈 cm	全葉数	生重 g	莖長 cm	総節数	莖重	子実重	100粒 重 g		
無鎮圧区	74	53	107	68	35.9	12.7	24.2	20.9		
鎮 圧 区	54	31	52	54	25.1	8.5	17.7	19.3		

ダイコン						
	葉長 cm	葉 数	根 長 cm	葉 重 kg	根 重 kg	根歩合 %
	無鎮圧区	43	22.2	27.8	379	463
鎮 圧 区	32	22.4	23.9	206	331	35.0

土壌で行った結果<sup>8)</sup>を参考的に表示すると第6表のとおりである。

これによると、土壌の物理性の面でも、火山灰土におけるよりも、もっと強調された形で現われている。すなわち、鎮圧後の固相は50%以上、気相は4%以下になっており、硬度も25~26mm、コーン支持力も10kg/cm<sup>2</sup>以上に達している。このような踏圧層の出現は、いつれの作物にも、直接的に、間接的に影響をおよぼしたのであるが、とくにダイコンとダイズの生育収量に強く現われるが、トウモロコシでは、初期生育では劣るが、収かく期では

生育収量ともに優る傾向を示した。ダイコンでは品質の低下のみならず、根長・根径も減少し、収量が低下したものである。

〔試験4〕畦間踏圧と作物の生育

主として管理作業によって形成される畦間踏圧の影響を、トウモロコシ・ダイズ・長ニンジン・レタス・大根について検討した結果は第7表のとおりである。

第7表 畦間踏圧と作物の生育収量

トウモロコシ										
処 理	生 育			収 量 kg/10a						
	稈長 cm	穂長 cm	穂差 cm	稈重	芯重	子実重	同左 %	立重 g		
畦間無鎮圧区	219.0	18.4	4.9	912.7	128.1	776.5	100	765		
畦間鎮圧区*	207.0	17.3	4.7	830.7	129.1	740.5	95	753		

ダイズ									
処 理	生 育			収 量 kg/10a					
	莖長	分枝 数	総節 数	莖重	莖重	子実 重	同左 %	立重 g	100粒 重 g
畦間無鎮圧区	96.9	5.7	46.5	250	123	280	100	687	27.4
畦間鎮圧区*	98.0	5.3	48.2	247	157	281	100	684	28.6

レタス									
処 理	結 球 株 (kg/10a)						不結 球 重		
	結球 重	平均 球重	外葉 重	株重	平均 株重	結球 重比	球重	総重 kg	
畦間無鎮圧区	1,730	0.479	1,342	3,072	0.851	100	194	3,266	
畦間鎮圧区*	1,168	0.356	1,036	2,204	0.671	68	332	2,536	

長ニンジン									
処 理	正 常 根			分 岐 根		全 収 かく 物			
	本数	根重	根重 比	本数	根重	本数	総根重	総根 重比	総根 重比
畦間無鎮圧区	9,190	1,466	100	2,238	387	11,428	1,853	100	
畦間鎮圧区*	8,460	1,345	92	2,698	547	11,428	1,890	102	

ダイコン kg/10a

処 理	生 育				正 常 根			分 岐 根			総 収 かく 物	
	葉長 cm	葉数 cm	根長 cm	根差 cm	葉重	根重	根重 比	葉重	根重	総葉重	総根重	総根 重比
畦間無鎮圧区	39.9	29.1	34.0	5.0	1,398	1,679	100	650	570	2,264	2,366	100
畦間鎮圧区*	37.9	27.0	34.3	4.9	1,569	1,987	118	362	371	2,033	2,427	103

\*畦間鎮圧区は3時期に分け8-4-8計20回、各畦間を大型トラクタの車輪で踏圧した。

トウモロコシ：草丈、稈長は踏圧により明らかに低下するが、生育初期ほど顕著である。また稈重・子実重・立重もわずかではあるが、低下の傾向を示した。



ダイズ：全生育期間を通じて、各形質にはほとんど差はみられなく、茎重・子実重・百粒重でも差はみられなかった。

レタス：踏圧によって結球数は減少し、不結球数の増大がみられた。これに伴い結球重の低下が著しかったが、これは踏圧操作の際、生葉の破損が甚しく、このため生育不良、生育遅延をきたしたところによる大きいものと思われる。

長ニンジン：踏圧により葉長はやや低下の傾向を示したが、正常根の根長・根径は逆にやや優った。しかし正常根の根数・根重はやや低下の傾向を示し、分岐根も幾分多かった。

ダイコン（みの早生）：葉長・葉数に幾分踏圧の影響がみられたが、根重ではむしろ優った。

踏圧と作物生育との関係については以上の経過であるが、他に各地の火山灰土で行われた試験については、北農試畑作部<sup>⑨</sup>では、7回畦間踏圧した場合、菜豆・大豆では根量は明かに減少するが、収量には差はみられず、てん菜ではやや低下の傾向を示した。てん菜の場合12回踏圧すると、その後カルチペータを導入しても回復しないことをみとめている。農事試畑作部<sup>⑩</sup>では、踏圧と施肥位置あるいは肥沃度とは強い関連があり、これらの如何によって障害出現の有無・度合が異なるとしている。

茨城農試<sup>⑪</sup>では、作土下の踏圧によって、甘しょ、大豆・大根は明かに劣り、陸稲・落花生では、ほとんど影響がないとしている。しかも甘しょでは、株際を踏圧しても、かなり影響があることをみとめた。川延<sup>⑫</sup>も、大根では畦間踏圧は影響なしとしている。

以上の諸結果よりみれば、火山灰土では、作物への影響は根菜類に大きく、その他の一般作物ではそれほど大きくはないのではないかと推察される。

#### 4. 踏圧と易耕性との関連

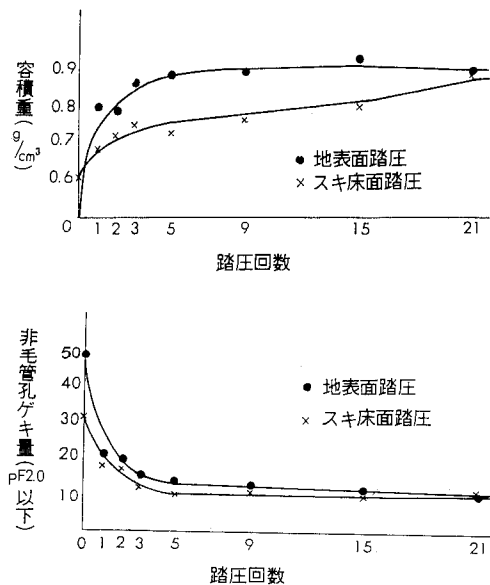
既述のように、踏圧と作物生育との関係は①根に対する抵抗②酸素供給③有効水分の3因子が考えられ、これらの因子は、ある面では同時の、あるいは表裏の密接な関係をもちつつ作物に働きかけるのであるが、このうち、どれが支配的要因となるかは、土壌の種類・肥沃度・気象条件などによって異なることが予想される。ともあれ、一般的には、踏圧を現象的には容積重の増大とみなし、植生との関係では通気(aeration)と機械的抵抗(soil strength)の両面より追究されつつあるようである。

##### (1) 通気について

土壤空気中のO<sub>2</sub>濃度と各種作物の生育との関係につい

ては多数の報告があるが、Gill & Miller<sup>⑬</sup>は、通常10%以上を必要とするが、根が機械的障害がない場合には1%でも生育は可能としている。Chang & Loomis<sup>⑭</sup>は1~2%を限界としている。農事試畑作部<sup>⑮</sup>では、O<sub>2</sub>を1.5%に維持した場合、その影響の受け方は作物の種類・器官によって異なるとしており、とくに甘しょ・ダイコンなどの塊根・根部に影響を受けやすいとしている。位田<sup>⑯</sup>はキウリは土壌中のO<sub>2</sub>が20%までは多いほど生育が良いが、ナスは20%より10%が良く、トマトでは10%と20%で大差がないとし、さらにトマト・インゲン・キウリ・ダイコン・ばれいしょなどは通気効果が高くミツバ・サトイモ等は通気が不良でも生育することをみとめている。野本<sup>⑰</sup>らは、 $\alpha$ -ナフチルアミンによる根の酸化力を測定し、ヒエ・陸稲>アワ・甘しょ>ばれいしょ・ダイズ・大小麦の順としている。

非毛管孔ゲキ量と生育については、Kopecky<sup>⑱</sup>はスーダングラス6~10%、小麦・エン麦10~15%、大麦・てん菜15~20%とし、Baver<sup>⑲</sup>はビートでは3%になると、根の50%は根グサレを起すという。既述のように、火山灰土での耕耘時における踏圧でも、ほ場含水量時(pF<sub>2.0</sub>として)の気相は10~15%以上を維持しており、生育の外観的観察からも、とくに障害を受けたとも思われぬ。また連続踏圧回数が21回の場合でも、車輪接地面より10cm間はpF<sub>2</sub>以下の孔隙は10%以下となり問題があるが、10cm以下では10%以上を維持しており、あまり問題はないのではなからうか。



第1図 連続踏圧回数と容積重・非毛管孔ゲキ量

山本<sup>9)</sup>は土壤物理性改良の日途として、ほ場含水量時の気相15%以上としているが、上記の結果と併せて推察すると、火山灰土では、pF2.0時に保有する気相(非毛管孔隙とみなして)が10%前後が最低の線ではなからうかと思われる。一方、Lemon & Erickson<sup>10)</sup>は、根の表面は水の被膜で覆われており、O<sub>2</sub>は水に溶け難い点に留意し、絶対的O<sub>2</sub>%よりも、O<sub>2</sub>の供給速度としてのO<sub>2</sub> diffusion rateを重視しており、Stolzy<sup>11)</sup>らやLetey<sup>12)</sup>らは、根の伸長とO<sub>2</sub> diffusion rateとの関係について、 $20 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ を限界とし、最適を40としている。

いづれにしろ、火山灰土では機械踏圧と通気については、なお今後検討を要するが、概して、無視しえないまでも、問題となるケースは比較的少ないものと推察される。

## (2) 機械的抵抗について

容積重と strength (ペネトロメータによる測定)とあるが、両者を切離すことはなかなかむづかしい。根の伸長や収量と容積重や strength が、ともに強い相関を示すことは phillips<sup>13)</sup>やScott<sup>14)</sup>らが見とめている。一方 Taylor<sup>15)</sup>らは、同一容積重でも水分条件によって Strength は異なり、しかも容積重が高いほど僅かの水分変動によって Strength の変動も大きいことを明かにしており、植生との関連も、踏圧層の位置が浅いほど、乾燥年で、栽植密度の高い作物で被害が著しいとしている。そして一応の限界として、棉については約 23kg/cm<sup>2</sup>で根の生育遅延を、約 30kg/cm<sup>2</sup>では生育停止するとしている。長崎<sup>16)</sup>らは、大根では 6 kg/cm<sup>2</sup>で生育が停止したり、変形根を生ずるが、レープでは何等異常がないとしている。上述の試験結果でも、大根では 5~6 kg/cm<sup>2</sup>でも変形根や分岐根が出現する場合のあることを観察している。

一般的には、山中式硬度計で24~25mm以上では根の伸長が阻害されるとされているが、表層土では水分の変動が激しく、硬度計でもペネトロメータでもそのよみは測定時期によってかなり変動する。従って、作物への影響は、どの位置が、どの水分時に、どの位の抵抗を示したかが問題になるのではなからうか。

## (3) 有効水分について

踏圧と水分供給については未検討であり、触れることはできないが、美園<sup>17)</sup>は土壤の圧縮によってpF1.7~3.0の孔隙の増加を招来し、これによって有効水分量の増大をみとめ、山本<sup>9)</sup>は、表層30cm以内の有効保水量(pF 2~3) 52mm以上を目途としている。現在までの測定結果では、踏圧による固相の増大は、液相の増大をもたら

し、保有水分量は増加する。

踏圧と孔ゲキについては一部検討されているが<sup>9)10)</sup>、連続踏圧後の孔ゲキ分布の変化は第8表に示すとおりで、踏圧回数の少いうちは pF2.0~3.8 の孔ゲキ量は増加するが、さらに踏圧回数を増すと、pF2.0~3.8 の孔ゲキは減少し、pF3.8以上の孔ゲキが増加するようである。従って、ある限度をこえた踏圧は、水分エネルギー

第8表 踏圧回数と孔ゲキ分布

踏圧回数	層厚 cm	孔ゲキ量(V%)			対全孔ゲキ比(%)		
		<pF 2.0	pF2.0 ~3.8	pF 3.8<	<pF 2.0	pF2.0 ~3.8	pF 3.8<
0	0~10	45.0	19.1	17.4	55.2	23.4	21.3
	10~15	37.6	22.0	20.4	47.0	27.5	25.5
	15~20	24.0	20.1	30.8	32.0	26.8	41.0
1	0~10	16.4	25.4	28.2	23.4	36.3	40.3
	10~15	20.4	23.6	27.5	28.5	33.0	38.5
	15~20	22.8	16.8	33.3	31.3	23.0	47.5
9	0~10	8.4	25.8	31.9	12.7	39.0	48.3
	10~15	16.3	26.1	28.3	23.1	36.9	40.0
	15~20	25.7	19.3	30.5	34.0	25.6	40.4
15	0~10	7.7	23.3	33.4	12.0	36.2	51.9
	10~15	18.5	24.9	27.8	25.9	35.0	39.1
	15~20	23.7	18.5	31.8	32.0	25.0	43.0

的にも、量的にも不利になることが予測されるのであるが、今後さらに検討を要する。

## 5. 総括

以上火山灰土における大型機械導入による土壤踏圧と作物生育との関係について、ここ数年間にえられた成績をのべてきたが、元来火山灰土壌は粗しょうで、孔ゲキが多いという性質をもっているため、踏圧の被害も、耕耘時・畦間踏圧を含めて、主として根菜類に現われやすく、その他の作物には影響は比較的少ないようである。すなわち、ダイコン・ニンジン、テン菜・甘しょ・ばれいしょにやや強く、小麦・トウモロコシ・菜豆・ダイズ・陸稲・落花生・ハクサイ・レタスなどでは出にくいように思われる。しかし同じ根菜であっても、てん菜・大根・人参など直根性のものといふ類とでは、その形態の特徴よりみて、踏圧の影響の受け方には自ら差異があるのではなからうか。

また易耕性との関連でみるならば、まず通気の点では、よほど極端な圧縮を行わない限りは、非毛管孔ゲキ量(pF2.0以下として)が10%以下に低下することは少ない。畦間踏圧によっても車輪接地面より10cmまでは、通気性からも、機械的抵抗の面でも障害的に作用すると思われるが、10cm以下では、非毛管孔ゲキは10~15%

を維持している。これよりすれば、火山灰土では通気性の面では、きわめて有利な条件にあると思われる。とすれば、根に対する抵抗力としての Soil strength が強く浮び上がってくるが、Soil strength は同一容積重でも、土壌水分含量によってかなり変異する。当地方では、地表下 30cm 前後の層位でも、作付下でかなり水分変化がみられ、これが硬度計やコーンペネトロメータの示度に著しく変化を与えている。このことよりすれば、植生との関連については、作付期間中の、どの時期の、どの水分時の「硬度」や「コーン支持力」を規準にすべきかが問題であるが、いずれにしろ、根の伸長・肥大に際し、その活動を維持し、しかもそれほどエネルギーを要せずして吸収しうる最低の土壌水分条件下での「硬度」「コーン支持力」が問題ではなからうかと思われる。

さらに、根の貫入または根量と収かく目標物との関係は、必ずしも一致しない場合のあることは、しばしば観察されることである。

このことは根量と同時に、根の機能的面の検討の必要性を示唆するものであろう。しかも、作物の各器官に与える土壌の物理的環境についての検討も必要であり、これには作物の生育段階とその生理生態的特性の把握との関連で解明されねばならないであろう。

#### 引用文献

1. 米田茂男：土壌の物理性 No. 2 (1960)

2. 木下 彰：土壌の物理性 No.13 (1965)
3. 鎌田 ち：日土肥誌講要 No.10 (1964)
4. 同上：日土肥誌講要 No.11 (1965)
5. 同上：農業技術 20, 7 (1965)
6. 長野県農試桔梗ヶ原分場：土壌肥料試験成績書(昭和38, 39年度)
7. 長野県農試：長野県農業試験場研究集報第5号(1962)
8. 長野県農試：低位生産地調査事業成績書(昭和38, 39年度)
9. 北農試畑作物土壌改良研究室：試験研究成績書(昭和38, 39年度)
10. 農事試験作物土壌肥料研究室：試験研究成績書(昭和38, 39年度)
11. 茨城県農試：関東東山土壌肥料ブロック会議資料(昭和38, 39年度)
12. 川延謙造：農園38, 11 (1964)
13. W.R.Gill, R.E.Miller: Soil sci. soc. Amer. proc.20(1957)
14. Chang. Loomis: L.D.ベーパー, 土壌物理学(野口, 福田訳)より
15. 農事試験作物作付体系第2研究室：試験研究成績書(昭和38年度)
16. 位口藤久太郎：土壌の物理性No.8 (1963)
17. 野本ら：日土肥誌 20, (1950)
18. Kopecky: Proc. 1st Intern. Congr. Soil sci. 1 (1927)
19. 山本 毅：昭和39年度土壌肥料中央会議報告
20. E.R.Lemon, A.E.Erickson: Soil sci. Amer. proc. 16 (1952)
21. L.H.Stolzyら：soil sci. Amer. proc. 25 (1961)
22. J.Leteyら：soil sci 91 (1961)
23. R.E.phillipsら：Agr. Jonr. 54, (1962)
24. T.W.scottら：Agr. Jonr. 56 (1964)
25. H.M.Taylorら：Soil sci 96 (1963)
26. 長崎ら：土壌の物理性 No.9 (1963)
27. 美園 繁：日土肥誌 53 (2, 8, 9, 10) (1963)

# 農業機械の走行可能性

金 須 正 幸\*

## 1. 研究の意義

農業機械面から見た走行可能性の意義としては、つぎのようなものが考えられる。

- 走行性予知——基盤整備の指針、機械の導入利用の指針
- マップ作成——機械の導入、利用の指針
- 土壌常数と走行性との関連把握——機械改良開発の基礎資料
- 土壌条件表示法の統一——研究の再現性

走行性予知あるいは走行性マップ作成のためには、測定法はできるかぎり簡便で、しかも単一値で表現しうるものが望ましいが、機械の改良開発のためには、理論的解析を行なえるような精細な測定を行なうことが必要である。

### 走行性に関する因子

走行性に関与すると思われる因子を分類すれば、つぎようになる。

#### a 土に関する因子

グループ1. 土の材質を表示するもので、土の固有の性質を示す。ふつうあまり変化しないものと考えてよい。

例：粒径分布，比重，鉱物的組成有機物含量など。

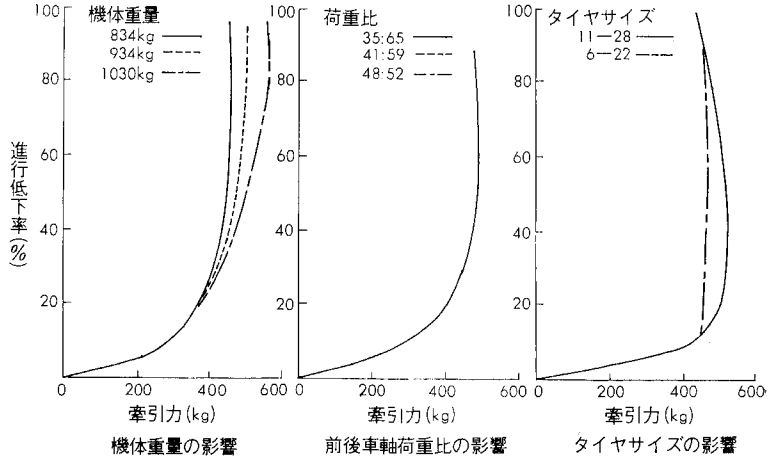
グループ2. 土の実際の状態を表示するもので、たえず変化する。

例：含水量，孔隙量，透水性，草生状態など。

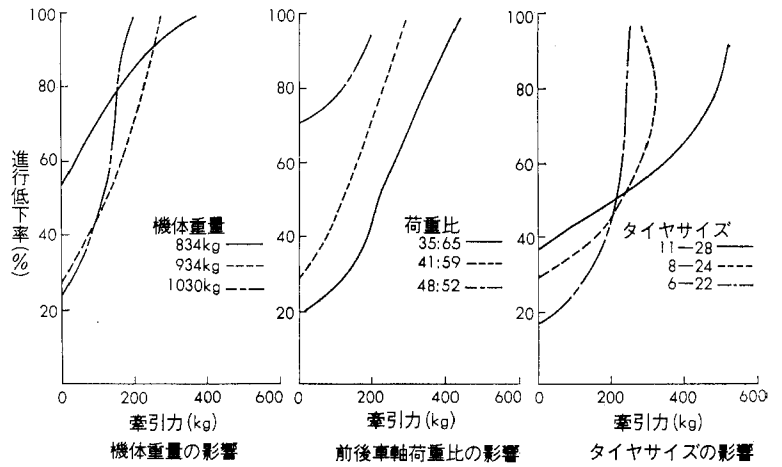
グループ3. 第2のグループは土の比表面や吸着力などにより影響されるので、土の挙動を表すには充分でない。そのため研究対象に間接に関連のある性質を簡易な測定法によって指数として表示したもの。

例：支持力比，塑性指数，貫入指数，矩形板沈下量など。

\*農業機械化研究所



第1図 牽引性能に及ぼす機体因子の影響（コンクリート）



第2図 牽引性能に及ぼす機体因子の影響（柔軟土壌）

#### グループ4. 力学的計算に使用しうる数値

例：変形，強度，透水性などに関する値

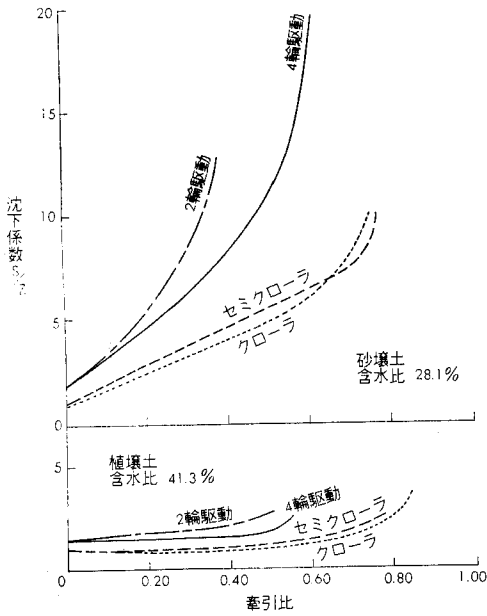
#### b 機械に関する因子

(i) 機械自体に関する因子：走行性に関係のある機械自体の因子としては、機械の総重量，前後車軸分担荷重，走行部の形状およびサイズ，タイヤ空気圧などが考えられる。コンクリート上および柔軟な土壌にお

けるこれらの因子がトラクタの牽引力におよぼす影響の一例を第1図および第2図に示す。

(ii) 運転状態に関する因子：機械の運転使用状態、たとえば牽引抵抗の大きさ、位置および方向、走行速度、振動なども走行性に影響を及ぼす。

第3図は牽引抵抗によりトラクタの沈下係数（トラ



第3図 牽引比と沈下係数の関係

クタの沈下量と 小型矩形板に 30kg の荷重をかけたときの沈下量との比) が変化する状態を示している。

### 3. 沈下量および牽引力の理論的算出

M.G. Bekker によれば走行部沈下量は次式によって求められる。

$$z = \left( \frac{p}{k_c/b + k\phi} \right)^{1/n} \dots (1)$$

ここに z : 沈下量 (cm)

b : 接地巾 (cm)

p : 接地圧 (kg/cm<sup>2</sup>)

n : 沈下指数

k<sub>c</sub> : 凝集力に関する変形係数 (kg/cm<sup>n+1</sup>)

kφ : 摩擦に関する変形係数 (kg/cm<sup>n+2</sup>)

すなわち沈下量は k<sub>c</sub>, kφ, n, b によって求められる。

また最大牽引力は次式によって求められる。

$$DP = 2 b \ell c \left( 1 + \frac{2h}{b} \right) + W \tan \phi \left\{ 1 + 0.64 \left( \frac{h}{b} \cot^{-1} \frac{h}{b} \right) \right\} - \frac{2}{(n+1)(k_c + k\phi b)^{1/n}} \times \left( \frac{W}{2\ell} \right)^{\frac{n+1}{n}} \dots (2)$$

ここに DP : 最大牽引力 (kg)

ℓ : 接地長 (cm)

h : ラグ高さ (cm)

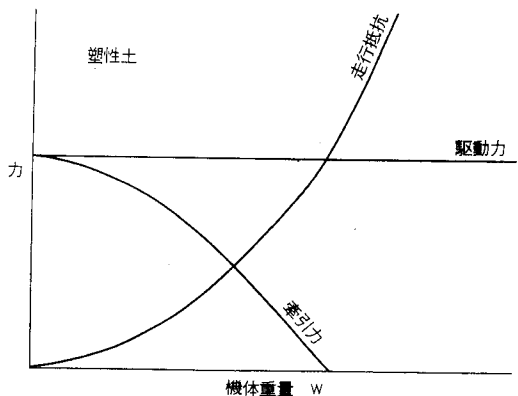
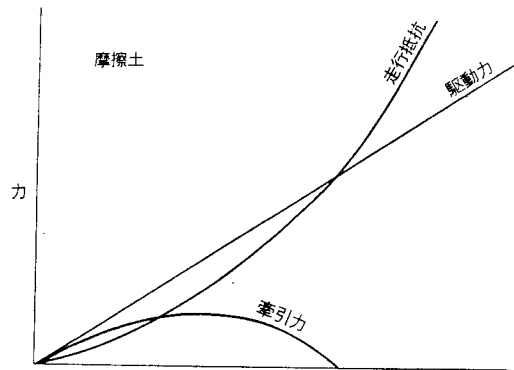
W : 機体重量 (kg)

c : 凝集力 (kg/cm<sup>2</sup>)

φ : 内部摩擦角

上式の第1項および第2項は駆動力であり、第3項は走行抵抗である。

乾燥した砂のような摩擦土の場合は、c ≃ 0, n ≃ 1 であるから、(2)式の第1項は消去することができ、駆動力はWに比例する。これは沈下量が少ない場合のみ適用しうるのであって、沈下量が多いときは走行抵抗はW<sup>2</sup>に比例して増加する。したがって牽引力は重量の増加とともに減少する。このような土では重量は牽引力に影響はするが、正比例するわけではない(第4図)。

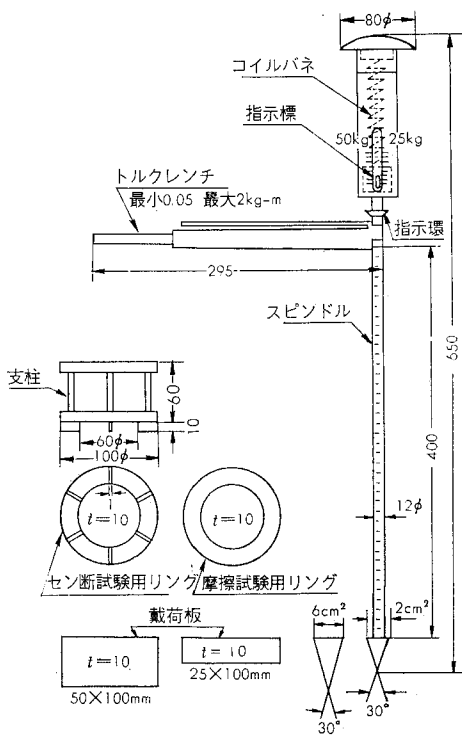


第4図 機体重量と牽引力との関係

湿潤な粘土のような塑性土の場合、φ ≃ 0 で n は砂

の場合より小さい(1/2程度)。したがって(2)式の第2項は消去されるから、駆動力は接地面積にのみ関係する。一方走行抵抗は $W^2$ に比例して増加するから牽引力は $W$ の増加とともに急激に減少する。

このように機械の走行性は土壌の凝集力、内部摩擦角、沈下指数、変形係数などによって影響され、それに応じて接地部の形状や大きさ、あるいは機体重量などを変えなければならない。したがって機械の改良開発のためには、これらの土壌定数を把握することが必要であって、農業機械化研究所においてはSR-2型土壌抵抗測定器(第5図)により、この種の測定を行なっている。



第5図 SR-2型土壌抵抗測定器

すなわち本測定器は円錐貫入抵抗、矩形板沈下量、剪断抵抗および摩擦抵抗を測定することができ、矩形板により沈下指数および変形係数が求められ、剪断抵抗から凝集力および内部摩擦角を求めることができる。

#### 4. 土壌の走行性測定法

走行性に関する土壌測定法として望ましい条件はつぎの通りである。

- (1) 正確に走行性を表現しうること。
- (2) なるべく単一の数値で表現しうること。(理論的解析の場合はこの限りでない)
- (3) 簡単な計器で測定しうること(操作容易、軽量、

安価)

- (4) 短時間に多数点を測定しうること。
- (5) 泥ねい中での取扱いに耐えられる構造を有すること。
- (6) 測定者による誤差の少いこと。
- (7) データ整理の簡単なこと。

現在一般に行なわれている土壌測定法としては、つぎのようなものがある。

円錐——静貫入、動貫入、(こねかえしの影響を測定するものもある)

平板——矩形板、円板

剪断——ベーン、リング、トラス、その他

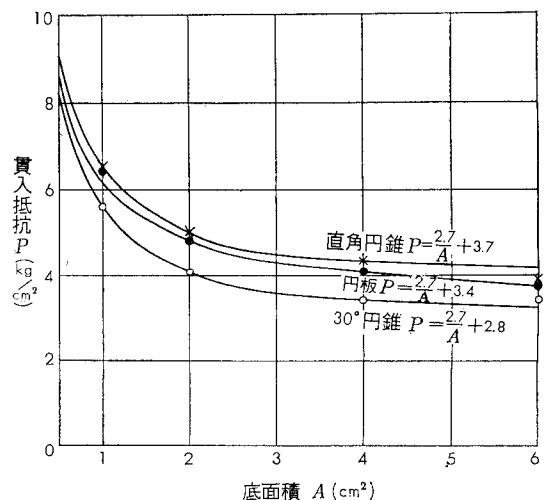
簡易法——足跡、手指、鉛筆

これらの測定法はいずれも一長一短があり走行性的に正確に表現する段階には至っていない。また各計器の形状、大きさも千差万別である。円錐について主なものを掲げれば第1表のようである。

第1表 各種円錐諸元

名 称	先端角度	長 さ	直 径	断 面 積
山 中 式	30°	40 mm	18 mm	2.54cm <sup>2</sup>
SR-2 (小)	30	30	15.96	2.0
同 (大)	30	51	27.66	6.0
T N -4	30	37.8	20.2	3.2(1/2cm <sup>2</sup> )
W E S	30	37.8	20.2	3.2(1/2cm <sup>2</sup> )
コーンペネト	30	56	30	7.07
ロ				
動貫入試験器 (小)	60	26	30	7.07
同 (大)	60	43	50	19.6
P - 21	90	円錐部5 円筒部10	10	0.78

このように多種多様なものが用いられているのには、それぞれの目的に応じた理由があると思われるが、将来



第6図 各種先端部底面積と貫入抵抗との関係

は漸次統一の方向に持って行くべきであろう。

なお円錐、直角円錐、円板について、底面積と貫入抵抗との関係を求めると第6図のような傾向があり、次式で表わされる。

$$P = \frac{2.7}{A} + x \dots\dots\dots(3)$$

ここに P：貫入抵抗 (kg/cm<sup>2</sup>)

A：底面積 (cm<sup>2</sup>)

xの値は土壌の種類および先端部の形状によって変る。また矩形板 (25×100mm) に 30kgの垂直荷重を加えた場合の沈下量 z (cm)と、円錐 (頂角30°, 底面積 2cm<sup>2</sup>) 貫入抵抗の深さ15cmまでの平均値 C (kg/cm<sup>2</sup>) との間には、ほぼつぎのような関係が認められた。

$$C = \frac{7}{z} + 2 \dots\dots\dots(4)$$

#### 4. 走行難易判定法

機械の走行難易は、走行部の滑りおよび沈下程度、旋回の難易、わだち跡走行の難易など各種の状態を総合して判定すべきであるが、いま数値的表現の比較的に容易な進行低下率および走行部沈下量により走行の難易を判定する基準について私案を掲げれば第2表の通りである。

第2表 走行難易判定基準

進行低下率	走行部沈下量	走行・牽引の難易
0~10%	0~2 cm	容 易
10~20	2~5	や や 難
20~30	5~10	難
30~40	10~20	きわめて難
40%以上	20cm以上	不 能

- 注 1. 駆動耕耘作業には進行低下率の項は適用しない。  
2. クローラ型の場合は進行低下率は上表の1/4とする。

進行低下率の測定に際しては、基準となる無負荷走行時の測定は圃場内で行なわず、コンクリートまたは土道上で行なわないと、不当に低い進行低下率を得ることになる。

また走行部の沈下量は沈下したラグ先端部までの深さで表示すると、ラグ高さの高いものは沈下量が多くなりやすく適当でないので、つぎのような平均沈下量で表示することが望ましいと思われる。(第7図)。

$$s = s_1 - h + \frac{A}{P} \dots\dots\dots(5)$$

ここに s：平均沈下量 (cm)

s<sub>1</sub>：ラグ先端部沈下量 (cm)

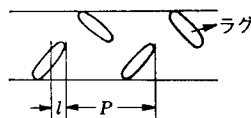
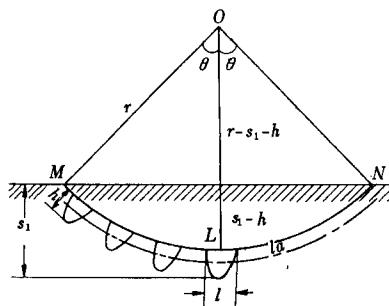
h：ラグ高さ (cm)

A：ラグ1個の断面積 (cm<sup>2</sup>)

P：ラグのピッチ (cm)

いまラグの断面形状を矩形および三角形とした場合の(5)式を例示すれば次の通りである。

矩形ラグの場合



第7図 走行部平均沈下量の算出法

$$s = s_1 - h \left(1 - \frac{\ell}{P}\right) \dots\dots\dots(6)$$

三角形ラグの場合

$$s = s_1 - h \left(1 - \frac{\ell}{2x}\right) \dots\dots\dots(7)$$

#### 5. 走行部沈下量の予知

小型矩形板 (25×100mm) に30kgの垂直荷重を加えた場合の沈下量 z と走行部沈下量 s とは、同一機械についてはほぼ一直線上にある。いま s/x を沈下係数と名付けよう。沈下係数は走行部の形状、大きさ、あるいは機体重量により異なるが、その関係は次式で表わされる。

クローラ型

$$\frac{s}{z} = \frac{19.4W}{w^2 \ell} + 0.55 \dots\dots\dots(8)$$

ここに W：機体重量 (kg)

w：履帯巾 (cm)

ℓ：接地長 (cm)

セミクローラ型

$$\frac{s}{z} = 2.60 - \frac{1}{\frac{W_f}{W_r} + 3} \left(6.17 - \frac{58W_r}{w^2 \ell}\right) \dots\dots\dots(9)$$

ここに W<sub>f</sub>：駆動されない車輪 (通常前輪) の分担荷重 (kg), W<sub>r</sub>：クローラ部の分担荷重 (kg), W, ℓ はクローラの場合と同じ。

ホイール型

$$\frac{s}{z} = 2.60 - \frac{1}{\frac{W_f}{W_r} + 3} \left(5.55 - \frac{3W_r}{w^2 dm}\right) \dots\dots\dots(10)$$

ここに W<sub>r</sub>：駆動車輪の分担荷重 (kg)

- w : タイヤ巾 (cm)
- d : リム径 (cm)
- m : 駆動輪数

したがって機械の諸元がわかっていたら(8)~(10)式より沈下係数が求められるから、機械を走行させようとする圃場の矩形板沈下量 z を測定すれば、機械の沈下量 s を推定することができよう。また沈下係数を算出することにより、各種機械の走行性の優劣を判定することも可能であろう。第3表に各種車両の沈下係数を示す。

6. 走行性に関する土壌分級

矩形板あるいは円錐により単一値で走行性を表現することは、現段階ではまだ危険が多く、とくに表層20cm

以内に硬い土層がある場合には経験にもとづく総合的な判断が必要となるが、一応の目安として矩形板および円錐による土壌の分類を示せば第4表の通りである。

第3表 各種車両の沈下係数無負荷走行時

機 種	沈下係数
歩行用トラクタ (籠車輪)	0.9
ホイール型トラクタ (ゴムタイヤ)	1.5
ク ク (水田車輪)	1.0
セミクローラ型トラクタ	0.9
クローラ型トラクタ	0.9
コンバイン (セミクローラ型, クローラ型)	0.9
湿地用ブルドーザ	0.6
水陸両用車	0.0

第4表 走行性に関する土壌分級

階級	小型矩形板 沈下量 (垂直荷重 30kg)	円錐指数 (底面積cm <sup>2</sup> ) (0~15cmの 平均)	土壌分級	走 行 難 易				
				ホ イ ール 型			ク ロ ー ラ 型	
				無負荷走行 または駆動耕耘	牽引作業	備 考	無負荷走行 または駆動耕耘	牽引作業
A	0~0.5cm	8kg/cm <sup>2</sup> 以上	きわめて良	きわめて容易	容易	—	きわめて容易	きわめて容易
B	0.5~1	8~6	良	容易	やや難	ゴムタイヤ 作業限界	きわめて容易	容易
C	1~3	6~4.5	やや不良	やや難	難	水田車輪必要	容易	やや難
D	3~7	4.5~3	不良	難	きわめて難	旋回困難	やや難	難
E	7~13	3~2	きわめて不良	きわめて難	不能	旋回不能	難	極めて難
F	13cm以上	2以下	危険	不能	不能	自力脱出不能	きわめて難	不能

引 用 文 献

1. 金須正幸：トラクタの走行可能性に関する研究
2. 農業機械化研究所：昭和39年度研究成果
3. 同上：昭和40年度研究成果概要
4. S.J.Knight, D.R.Freitag：Measuring Soil trafficability
5. OTAC：Research Report. No. 5
6. M.G.Bekker：Theory of land locomotion
7. M.G.Bekker：Off-the-road locomotion.



# ホイール型農用トラクタのタイヤクローラ装置

佐藤 勝之郎\*

## 1. まえがき

農業構造改善事業が近年ようやく（緒）につき、大形農業機械化が進展するにつれて、その中核となる乗用トラクタが急速に導入されつつあるが、わが国の農業は欧米に比べてはるかに小規模でかつ集約的経営形態であるために、採算上ならびに機能上から、導入されるトラクタには高度の汎用性と作業の精度、能率が要求される。しかも近年農用トラクタの軽快な機動性が認められて林業用、土建用にも利用されることが増加してきたので、この方面からも農用トラクタは一段と複雑かつ高度な機能を備えることが必要となった。

このうち走行機能についての要求は次の(1)~(6)のとおりであるが、本文の“タイヤクローラ”はこれらの要求を一挙に満たす新しい走行装置である。

- (1) 有効か動時間が大きいこと
  - (a) 晴雨を問わず作業能力を発揮できる
  - (b) 付属装置着脱などの無駄な準備時間が少ない
  - (c) 作業場までの往復、あぜ乗り越しなどの機動能力が高い
- (2) ほ場条件に左右されずか動できること
  - (a) 超湿田でも沈下、スリップがなく十分な作業ができる
  - (b) 傾斜地でのケン引作業が安全にできる
  - (c) 粘質土、砂質土いずれの場合にも十分な走行作業性を発揮できる
- (3) 小区画での機動性がよく、作業精度が高いこと
  - (a) 湿田において旋回、後退が自由自在である
  - (b) 小区画は場のすみずみまで作業ができる

- (4) 耕地の改良造成、土建用など高負荷にも使用できること
  - (a) 土層改良の深耕作業ができる
  - (b) 開墾、耕地造成、土建用など不整地における重ケン引作業ができる
- (5) 路上走行性ならびに乗り心地が良好であること
  - (a) 未整備の狭い農道でも安全に走行できる
  - (b) 舗装路面での高速走行時でも乗り心地が良好である
- (6) 付属装置は構造簡単、取扱い容易でしかも安価であること

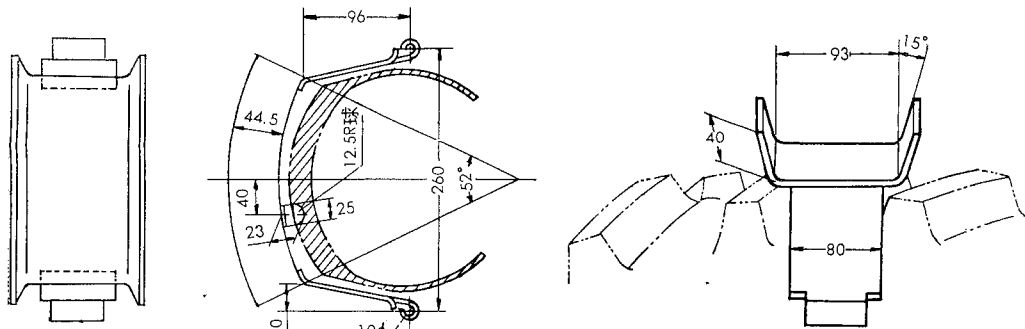
## 2. タイヤクローラの構造と機能の概要

### 2. 1 構造

第1図に示すようなラグを備えた多数のシューをチェーンまたはスキマを持つロッドなどで可とう（撓）かつ伸縮自在の連結具で連結した構造を有し、駆動タイヤ外周に装着したとき、互いのシューはその間隔がタイヤ外周に沿って伸縮自在にしゅう（措）動可能で、また各シューは前後左右にも揺動し得るものである。本構造を実施した仕様例を次に示す。

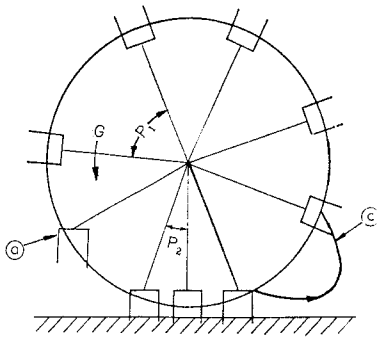
農用トラクタ R201用タイヤクローラ L903形	
全長×全幅	2300×279mm
シュー寸法	長さ260×幅118×高さ40mm
シュー数	9
結合方式	リングチェーン（太さ8mmφ）
重量	25kg（片輪）
シュー形状	第1図に示す

### 2. 2 機能



第1図 タイヤクローラの三面図

\* 三菱重工業株式会社

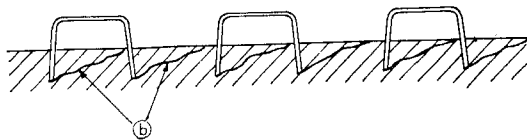


第2図 タイヤクローラの接地機構

- (1) シュー接地の際は、車輪の回転に伴ってその方向が第2図④のように、今まで半径方向を向いていたものが地表面に対し垂直方向となり、また車輪の駆動力によってシューピッチが $p_1$ から $p_2$ へと変化し、互いのシューは近接しかつシューのラグは常に地面に垂直にささり100%に近いケン引効率となる。
- (2) 接地したシューは第3図のとおり適当な間隔で数個が互いに接して地中に突きささって駆動されるので、⑥のようにノコ状の大きなセン断面積が得られ、接地の効率が高く、大きなケン引力を発生する。また接地面積は矩形で大きくなり、タイヤのみの場合にくらべて接地圧は約1/2に減少する。
- (3) 次いで接地シューが地表を離れる際は、タイヤの駆動力から解放され、その直後にその先行のシューとの連結チェーン（またはロッド）によって引張力を受けるため、第2図⑤のような軌跡をたどって移動し、附着した土は放てき除去される。
- (4) その後シューは次回の接地までは、上記連結チェーン（またはロッド）に加わる間けつ的な引張力によって、ことにシューの裏面に設けられた突起がゴムタイヤの斜めのラグに当たることによって、シューは前後左右に揺動し、附着土はさらに完全に除去され新たな状態で接地することになる。

3. タイヤクローラの性能理論

タイヤクローラの形状ならびに、これにより得られる走行性能 (Trafficability), すなわち車両を垂直方向に支持する能力 (浮走性) および水平方向にケン引力を



第3図 タイヤクローラの接地機構

発生する能力 (ケン引性) についての理論的根拠を実際と対比して説明する。

3. 1 シューの形状

シュー形状を決定する要因として重要なことは、

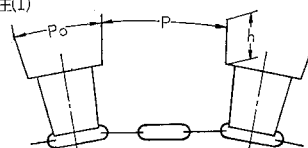
- (1) ラグにより土のセン断が最も有効にケン引力として利用できること
  - (2) ラグの間に土詰まりを生ずることなく、よく除泥作用があること
  - (3) 路上走行における乗り心地が良好なこと
- であって、タイヤクローラもこの見地から決定されたものである。

ピッチ  $P$ , 高さ  $h$  はクローラトラクタの履帯のラグについて多数機種を統計的にみると第1表に示すようにほとんどが  $P/h=3.5\sim 3.6$  と一定値を示している。タイヤクローラにおいては、第1表の図に示すように  $h=40\text{mm}$ , 固定ピッチ  $P_0=125\text{mm}$  で、 $P/h=3.15$  となり、おおむね上記一般値と同値である。また隣接シューのピッチ  $P$  については、静的には  $251\text{mm}$  で  $P/h=6.28$  であ

第1表 国産クローラトラクタ用シュープレートおよびタイヤクローラ用シューの寸法

履板突起寸法		$h$ (mm)	$P$ (mm)	$P/h$ 比
A		35	125	3.57
B		43	154	3.58
C		38	235	3.55
D		47	171.5	3.65
タイヤクローラ	静的寸法	40	<sup>1)</sup> $P_0$ 126 $P$ 251	3.15 6.28
	動的寸法	堅硬地	$P_0$ 126	3.15
			$P$ 210	5.25
	動的寸法	軟弱地	$P_0$ 126	3.15
$P$ 143			3.58	

注(1)



(2)  $P$  (動的寸法) 測定方法

$$P = \frac{l}{N \cdot n} - P_0$$

$l$ : 進行距離

$N$ : 車輪回転数

$n$ : シュー数

るが、既述のように独得の接地機構によって、作用中はこのピッチは大幅に変動し、土地条件により異なるが、堅硬地で  $P=210\text{mm}$ , 軟弱地で、 $P=143\text{mm}$  を示す (軟弱地では自動的に近接が大きくなる)。このときの  $P/h$  比は、第1表に示すように軟弱地で3.58と前記標準値に一致し、土地が堅くなるにつれてこの値は大きくなる。適正  $P/h$  比が従来的一般値よりも若干大きくなることは近年SLT (Spaced Link Track)に関する研究で知られ

ている理論に合致するもので、これはラグによるセン断面積がノコ状に大きくなるように、ラグピッチを大きくして堅硬地におけるケン引力を増大せしめるもので、タイヤクローラは堅硬地において自動的にこの原理に適応する。

3. 2 浮 走 性

軟弱地において車輪が沈下する場合には、M.G.Bekker<sup>(2)(3)</sup>の理論により、静的な沈下量は次式で与えられる。

$$Z = \left( \frac{P}{K_c/b + K\phi} \right)^{1/n} \quad (1)$$

ここに

$$P = W/lb$$

W: 車輪荷重

n: 土の沈下指数

l: 接地長 (片輪)

K<sub>c</sub>, Kφ: 土の変形係数

b: 接地幅 (片輪)

すなわち湿潤な粘土地では、一般にn=1/2であり沈下量は接地圧の2乗に比例して減少するが、接地圧が同じであれば接地部の幅が狭く細長いほうが有効である。タイヤクローラについては第2表に示すとおり、接地圧はタイヤの1/2に低下し、かつ接地面積はbよりもlのほうが大幅に増大するものであるから、浮走性向上にきわめて有効である。

第2表 タイヤクローラ応用装備の諸元

Specification of applicational equipment

装 備	全重量 (kg)	駆動輪荷 重 (kg)	接地面積 ※(cm <sup>2</sup> )	計 算 接 地 圧(kg/cm <sup>2</sup> )
タイヤのみ	1279	794	1260	0.63
タイヤクローラ	1317	829	2600	0.32
ダブルタイヤクローラ	1510	1003	5200	0.19
クローラ コンビネーション	1533	1126	9640	0.12

※ タイヤ沈下量25mm時

いま、非常に軟弱な粘質土について試算すると、

$$K_c = 2 \quad K\phi = 0.1 \quad n = 1/2$$

のとき、タイヤのみの沈下量Z<sub>w</sub>=10.4cm、タイヤクローラ装着時の沈下量Z<sub>c</sub>=3.3cmでタイヤクローラにより沈下量は1/3以下に減少する。

上記はタイヤの定常的な沈下を論じたものであるが実際に作業する場合には車輪のスリップにより排土作用を伴って、沈下はさらに助長されるが、タイヤクローラではスリップは次表のように大幅に減少するので、実際上の沈上防止効果はさらに顕著である。

3. 3 ケ ン 引 力

タイヤおよび履帯のケン引力は、M. G. Bekkerにより次式で与えられる。

$$H = H_m + H_s - R \quad (2)$$

車 輪	ケン引力	250kg	500kg
タイヤ		33%	90%
タイヤクローラ		10%	28%

(第8図から引用)

ここに

$$H_m = 2blc + W \tan\phi$$

$$H_s = 4hlc + 0.64 \left( \frac{h}{b} \cot^{-1} \frac{h}{b} \right) W \tan\phi$$

$$R = \frac{Kb}{n+1} \left\{ \frac{3W}{(3-n)bK\sqrt{D}} \right\}^{\frac{2n+2}{2n+1}}$$

$$K = K_c/b + K\phi$$

すなわちH<sub>m</sub>は第4図に示すように、タイヤまたはタイヤクローラの接地部底面において生ずる推力であり、ラグの有無にかかわらず発生する力であるが、H<sub>s</sub>は第4図(A)のように高さhだけ突き出したラグに起因する土のセン断側面において生ずる推力を示しており、タイヤクローラの場合にのみこれが有効に利用できる力である。

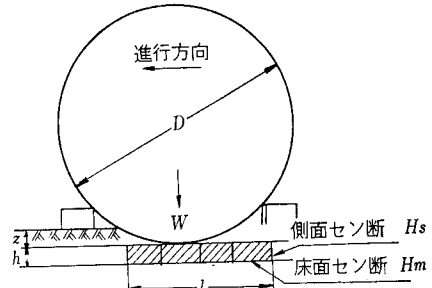
Rは車輪転動時の沈下に伴って生ずる動的な走行抵抗である。

ところで(2)式は下記のように書き換えられる。

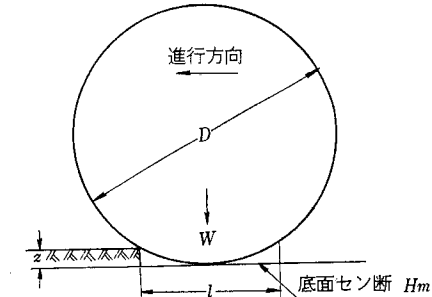
$$H = H_c + H\phi - R \quad (3)$$

$$H_c = 2blc \left( 1 + \frac{2h}{b} \right)$$

$$H\phi = W \tan\phi \left\{ 1 + 0.64 \left( \frac{h}{b} \cot^{-1} \frac{h}{b} \right) \right\}$$



(A) タイヤ クローラ



(B) タイヤ

第4図 車輪のケン引力発生機構

ここで、 $H_c$ は土の粘着力成分を示し、 $H\phi$ は土の摩擦  
力成分を示している。

すなわち乾燥した砂のような摩擦土の場合には、 $H_c$   
=0であり、ケン引力 $H$ はトラクタ重量 $W$ に比例した  
値となって、走行装置の形状による影響は微小に過ぎな  
い。たとえば、

$$c=0 \quad \phi=35^\circ \quad n=1$$

の場合、R201の最大ケン引力 $H$ は第3表に示すとおり、  
タイヤ519kgに対しタイヤクローラ575kgであり、タイ  
ヤクローラの砂地におけるケン引力増加は、10%程度に  
過ぎないことを示している。

第3表 沈下量および最大ケン引力計算結果

		(A)普通の土	(B)軟弱な粘土	(C)乾燥した砂
		$c=0.20$	$c=0.05$	$c=0$
		$\phi=30^\circ$	$\phi=10^\circ$	$\phi=35^\circ$
		$n=1/2$	$n=1/2$	$n=1$
		$K\phi=-2.0$	$K\phi=-0.25$	$K\phi=-1.1$
		$K\phi=1.2$	$K\phi=0.97$	$K\phi=1.1$
		(4項(1)地 に相当)	(4項(2)地 に相当)	
タ イ ヤ	$b=21\text{cm}$	Zcm	3.4	5.0
	$l=30\text{cm}$	$H_c$	252	61
		$H\phi$	550	147
		Rkg	171	149
		Hkg	631 (620)	59 (70)
$w_o=794\text{kg}$			128	
タ イ ヤ ク ロ ー ラ	$b=26\text{cm}$	Zcm	3.2	4.2
	$l=50\text{cm}$	$H_c$	680	170
		$H\phi$	730	180
		Rkg	181	150
		Hkg	1229 (1250)	200 (190)
$w_o=829\text{kg}$			128	

注 (1)  $Z = \left\{ \frac{3w}{(3-n) \cdot 0.4 \sqrt{L}} \right\} \frac{2}{2n+1}$  車輪の動的な沈下  
量

(2)  $H$  は車輪が沈下量 $Z$ の状態では発揮し得る最大ケン引  
力を示す。したがって、(1)地ではほぼ実測最大ケン引  
力に相当するが、(2)地では沈下が増大せぬ範囲(スリッ  
プ5%程度)での値とみなされる。

(3)  $w$ はウェイトトランスファを考慮して $w = w_o + (Hm + H_s) \frac{S}{L}$ として計算  $S$ =ケン引点高さ、  
 $L$ =軸距

(4) ( )内は(1)、(2)地での実験値(図7、9参照)

ところが粘性土の場合、特に湿潤な塑性土の時には、  
 $H\phi \neq 0$ となって、最大ケン引力は、 $b$ 、 $l$ 、 $h$ 、すなわち  
走行装置の形状により決まり、接地面積、ラグ高さが有  
効であるとともに、同じ接地面積であれば接地部長さ $l$   
の長いほうがより効果的であることを示している。

すなわち、タイヤ クローラは粘質土において特にそ  
の効果が著しいことを示している。

たとえば、

$$c=0.05 \quad \phi=10^\circ \quad n=1/2$$

の軟弱地の場合、最大ケン引力は、タイヤは $H=59\text{kg}$   
(内 $H_c$ 分61kg)、タイヤクローラは $H=200\text{kg}$ (内 $H_c$ 分  
170kg)となって3倍以上のケン引力を示し、しかも $H$   
の中で $H_c$ の占める率が支配的であることがわかる。

これは $W$ の増加に比例して $H\phi$ でも増加するが同時に  
沈下が進み、 $W^{3/2}$ に比例して $R$ が増加するために $H\phi$ よ  
りも $R$ の増加率が高く、トラクタ重量を増加しても意に  
反して急激なケン引力の減少をもたらすからである。

なお、比較的堅い土で表面がぬれていたり、草がはえ  
ていてすべりやすい場合はタイヤのみでは地面へ食い込  
まないの、いかに重量を増加してもスリップしてケン  
引力にならないが、タイヤクローラでは計算的にも第3  
表に示すように、タイヤの最大ケン引力631kgに比ベ  
タイヤクローラは1229kgと2倍近いケン引力を発揮す  
ることになり、これはよく実験値とも一致している。

第3表に、対応する実験値を後章から引用して( )  
内に示す。

#### 4. 機能の詳細と試験成績

タイヤクローラの機能の具体的内容について、試験成  
績を以下に詳述する。

##### 1 接地機構

シュアの接地動作の詳細過程を示す。

車速0.4m/s、スリップ率約10%、土壤は粘質土、落  
下式カタサ144mm、水分25.7%で表面に約50mmの  
か(禾)本科雑草がはえている状態における例である。

シュアはほぼ地面へ垂直に向かって接地、すなわちラ  
グの両先端がほぼ同時に接地する。これはチェーンの長  
さが円周方向に伸縮し得るガタをもっていること、なら  
びにシュアの重心がチェーンの形成する円周外方にある  
ことが重要な条件となる。

接地したシュアは、ゴムタイヤを介して車体重量を受  
けて、そのラグ先端が土層中へ押し込まれる。ここにシ  
ュア自身は地中に安定してささえられる。この点がゴム  
タイヤ外周に緊着する他の方式のすべり止め装置が、土  
の表層にのみ作用するのとくらべて、大きな相違である。

地中にかん(嵌)入したシュアは、車輪の駆動につれ

て、シュー下面、シュー側面および隣接シュー間の土のせん断力を反力として強大なケン引力を発揮する。

ケン引行程を終了したシューは、ゴムタイヤとの接触が解除され、同時にタイヤの駆動力によってシューは後方へけ（蹴）り出され続いてチェーンによりつり上げられ、再びタイヤ外周にかん合、この運動に伴ってシュー間およびラグの間に詰まった土は、放てき排除されるか、あるいはタイヤクローラとの密着がし緩して脱落しやすい状態になる。

2 除泥機構

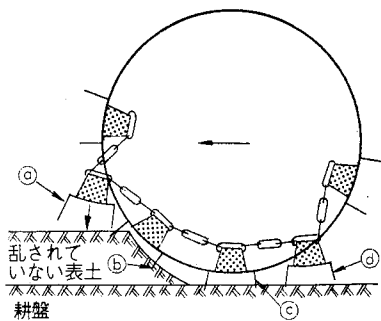
前項で、シューが地面から離れるときの状況を示した。その後においてシュー周辺に付着した泥土は、車輪の回転に伴って、逐次ハク離が進行して、新規に接地する時にはきわめて粘度の高い土壌も完全にハク離する。

この時の土の粘着性の程度は、タイヤクローラを装備しない前輪は、タイヤの太さが2倍になるほどに著しく土が付着するにもかかわらず、後輪はタイヤのラグが依然として露出しており、高いケン引力を発揮する。

湿田において、一般クローラが土詰まりを生じてスリップし沈下する状況下でも、タイヤクローラによれば確実に走行して作業が可能である。

3 軟弱地沈下性

タイヤクローラを装備すると接地圧が1/2以下になり、沈下特性が大幅に向上することは既述のとおりであるが、このほか第5図に示すように接地するシューは、



第5図 軟弱地走行機構

常に除泥された状態で新しい表土をかく乱することなく垂直に食い込み、そのせん断力を有効にラグに受けるので、たとえ最下部ラグに多少のすべりが生じて、新しく進入するラグが有効な推力を発生するので、車輪は沈むより以前に前進して、沈下が進行することはない。

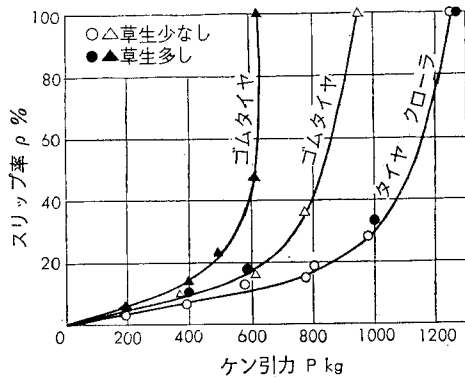
これに対してタイヤのみの場合は、スリップの発生はたちまちラグの間に泥詰まりを生じ、それに伴って表土が削りとられ、かく乱した上での車輪空転となり急速に自ら沈下する。

4 ケン引性能

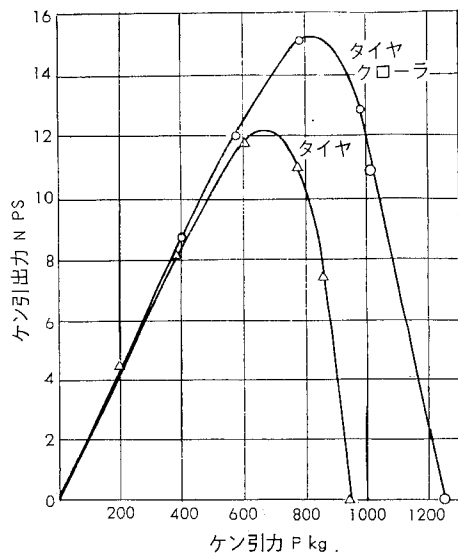
タイヤクローラのケン引力発生機構は、一般トラクタが土壌との摩擦力利用によるものと異なり、土の粘着力を利用したものであり、さらにシューの接地機構上高いケン引効率を得られるので、路面状況にかかわらず高いケン引性能を発揮できる。

特に粘質土壌において、ラグの側面せん断により高いケン引力を発生し、軟弱地においてもシューの除泥作用と相まってこの能力は卓抜である。次にその一例として農用トラクタR201の場合を示す。

- (1) 乾燥した堅硬地, (2) 水分が多い軟弱地

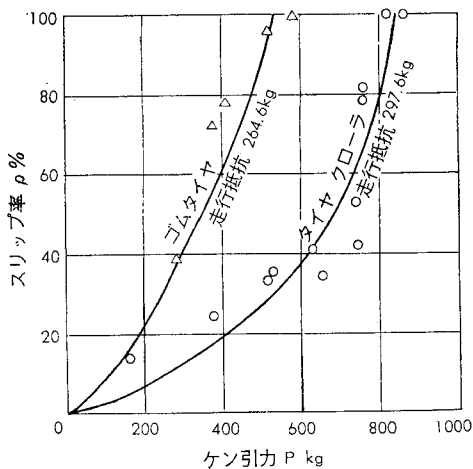


年 月 1963年5月  
 場 岡崎追進農場内牧草地  
 しょく(埴)土にて完全乾燥固結  
 落下式硬度40mm  
 機体重量 タイヤのみ1276kg  
 タイヤクローラ装着1326kg  
 負 荷 車 ジープ  
 第6図 堅硬地におけるケン引性能曲線



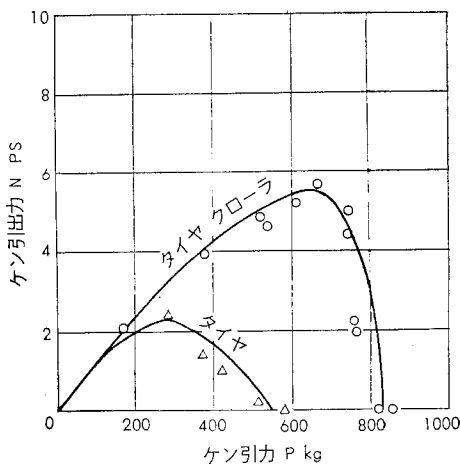
第7図 堅硬地におけるケン引性能曲線

において、タイヤのみの場合と比較した試験結果を、第8～9図に示す。



年 月 1963年11月  
 場 農機研人工ほ場No.3  
 代かき後落水した軟弱地  
 含水比34.0%  
 機体重量 タイヤのみ1245kg  
 タイヤクローラ装着1295kg  
 負 荷 車 土壌そう(槽)付属負荷装置

第8図 軟弱地におけるケン引性能曲線



第9図 軟弱地におけるケン引性能曲線

第6図・第8図において、(1)地すなわち堅硬地では最大ケン引力が、タイヤのみに930kgに対し、タイヤクローラ装着により1250kgとなり30%、(2)地すなわち軟弱地では550kgに対し、850kgと60%以上もケン引力が増大、それに伴って第7図・第9図に示すように、有効仕事に利用されるケン引出力が、1.3～2倍に向上し、

20PS級トラクタで30PS級のケン引力を常に発揮できる。

なお本試験におけるケン引力計測は、トラクタのヒッチ点高さ30cmにおいて負荷車を水平に引張り、ケン引力 $P$ 、トラクタの平均速度 $V$ 、後輪の平均スリップ率 $\rho$ を計測したものである。

実際作業における使用例として、農用トラクタの代表的作業であるプラウ耕起について解説する。プラウ耕起は、その年の収穫はプラウイングで決まるといわれるほど重要なものである。既述したようにタイヤクローラによって、強大なケン引力を発揮、当然の結果として従来30PS級以上のトラクタによらなければできないとされた堅い牧草地の作業も20PS級トラクタで可能にしたものであるが、この他にさらに重要なことは、従来ホイールトラクタでは全く不可能で、考えも及ばなかった湿田のプラウ耕起が容易にできるようになったことである。

## 5. む す び

(1) ケン引力増大のため車体重量を増すという従来の方は、全く不要となり、20PS級の軽トラクタで30PS級の重ケン引作業が可能となり、営農用トラクタが耕地造成用、土建用にもそのまま利用できるようになった。

(2) 従来ホイールトラクタはもちろん、クローラトラクタでも不可能であった超湿田における作業、特にケン引作業までもが自由自在に可能となり、か動は晴雨論外であって、作業能率は格段に向上し減価償却の点もほとんど問題にならなくなった。

(タイヤクローラの特許：このタイヤクローラの新規性については、国内はもちろん海外主要国に対して教件の特許を出願中である。)

## 引 用 文 献

1. 農用トラクタカタログ、陸用内燃機協会編(昭38)P.13, 29, 47, 49
2. Bekker M.G., Theory of Land Locomotion, The University of Michigan Press (1962) P.186~288
3. トラクタの走行可能性に関する研究、農業機械化研究所編(昭39) P.1~11
4. 自動車工学ハンドブック、自動車技術会編(昭37)11章P.4

# 土壌水のエネルギー概念pFの工学的検討

竹中 肇\*

これまで農学の分野で発展して来たpF概念は、主として不飽和状態の土壌水の保持と移動の理解を深めるために大きい役割を果たしてきた。しかし今やpF概念は単に水の状態量に止まらず、土水系の状態量として種々の工学的課題に答えようとしている。この小論はpF概念の成立を歴史的にふり返り、これを工学的に正しく理解するための体系を具体的かつ平易に論及しようとしたものである。

## 1. 農学の分野におけるpF概念の成立

農学の分野における土壌水のエネルギー概念の源流をさかのぼるとBuckingham(1907), Gardner(1922)らの毛管ポテンシャル概念に到達する。不飽和土壌中の水を説明するために提出されたこの概念は、Thomas(1922)らの蒸気圧法、遠心法、Richard(1928)らの吸引法として展開をみせ、Schofield(1935)により具体的なpF概念として確立するに至った。同時代に全く独立にDerjaguin(1935)もpF概念を提出している。

このようにして成立したpF概念は農学分野において不飽和状態の水の保持と移動、作物根の水分吸収などの解析に大いに役立った。pF値を農学上の水分恒数と対

比させたのが第1表である。

pFの内容の正確な物理的記載は次のようになる(1)。

$$pF = \log(\mu_0 - \mu) \dots\dots(1)$$

$$\mu = (\partial G / \partial M)_p, \dots\dots(2)$$

ここで G: ギブスの自由エネルギー

M: 水のグラム数

$\mu$ : 土壌水のケミカルポテンシャル(重力場に対してなされる仕事量を水頭の単位で示したもの)

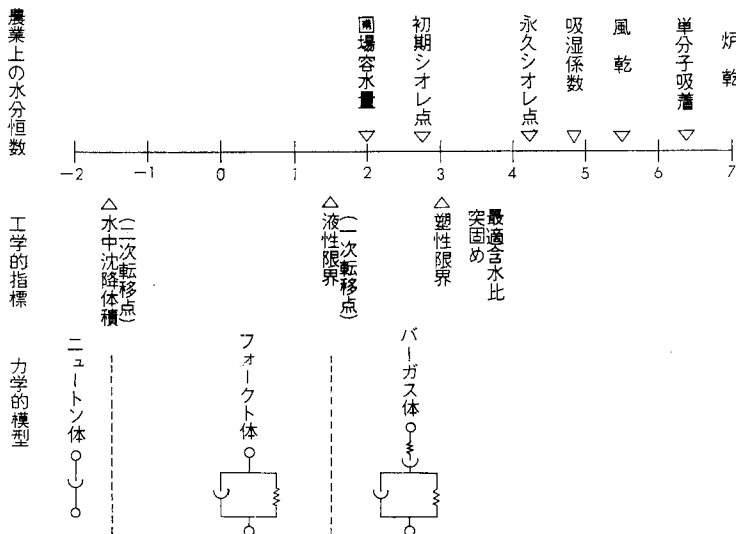
$\mu_0$ : 基準状態の水のケミカルポテンシャル

ここでの基準状態としては普通は1気圧常温がとられるが問題とする土壌水の内容によって適宜、選ばれる必要があることを強調したい。すなわち圃場含水量や初期シオレ点\*などは溶質を含んだ土壌水の移動に関与する恒数であるから、pFを考えるときの基準状態としては溶質を含んだ自由水をとるべきである。しかし吸湿係数などを問題にすときには、水の移動は溶質を含みぬ水分子により行なわれるから基準状態として純水をとる必要がある。

またpFは熱力学的な平衡状態について定義される量であるから、土-水系のどの点をとってもその値が等しいことに注目しなければならない。

土粒子界面の水のpFは高く、それより離れた水のpFは低いというような考え方は根本的な誤りを犯している。pFの部分的不均衡を相補するため、溶質の移動や相圧の差が生じているわけで平衡状態のpFはすべての点で等しいと考えるべきである。

\* 注: 初期シオレ点を遠心法により測定したpF水分と対応させてpF 3~3.8として定義する場合があるが、しかし正確にいうならば、このような場合、pFは固定的な土壌間隙内の水のエネルギー状態として定義さるべき性質のものであるので、テンションメータによる測定値と対応させるべきである。著者は陸稲、相橋などの水分吸収を現地圃場で実測し、初期シオレ点(より正確にいうならば生産制限水分点)としてはpF2.7を採用すべきであると考ええる。



第1表 水分恒数とpF

\* 東京大学農学部

現在のpF概念はその測定法を含めて未だ正しい理解と位置づけを与えられているとは云い難い。このような混乱に対処して、pFの内容を歴史的に考察し、これに正しい物理的位置づけを与えようと試みた岩田<sup>(3)</sup>の業績はあらためて評価しなおされるべきであろう。

## 2. 力学的作用による土の転移とpF

農学分野では土壌間隙を不変、固定のものと考え、この間隙内の水のエネルギー状態のみに着目してpFが定義されたことはすでに述べた。しかしpFは単なる水の状態量ではなく、土-水系の状態量として重要な意味をもつことが、Derjagin (1961) 須藤 (1963) 妹尾 (1965) らによって明らかにされるに至った<sup>(4)</sup>。

すなわち水中沈降体積状態より水分の少ない土は、ある応力状態に達すると塑性変形を起すことが観察される。分子レベルの粒から構成されている系では物質の転移点は圧力P一定の下で、温度Tにより規定される。しかし塑性変形で見られるように、土水系では温度Tが一定の条件下で、外力によりゲルがゾルに転移する現象を示すから、この系の状態量を外力により規定して転移点を定めることができることとなる。実際に土の含水量をかえて転移点のpFを測定した結果を第1表に示しておく。

なお当然のことながら、工学的な検討に際し化学ポテンシャルの基準状態としては溶質を含んだ自由水をとることは容易に首肯されよう。

物理的な転移の定義にしたがえば、水中沈降体積付近では含水比がわずかにかわると、強度が大きく変化して折れ点を示すので、水中沈降体積は二次転移点として定義せられる。またpF 1~2付近まで含水量を減少させると、強度は更に飛躍的に高まるので、この点は一次転移点として定義される。

また塑性限界や突き固め含水比の水分状態の土では土壌水の連続性が急激に不良になるから、強度の変化も不連続的になる。このときのpF値を遠心法により求めたpF水分と対応させると、pF 3~4であることが知られる。これらの点は農学上での土壌水の不連続状態を示す点であり、かつ一般畑作物で生産制限状態がみられるpF 2.7より大きい値を示しているのは、塑性限界や突き固め含水比を求めるときに外力により土がこね返され、pF 2.7以上の水でも連続水として作用するためである。

このような工学的な土の転移を考慮して、土の力学的模型をあてはめると、 $pF < -1.5$ では土水系はサスペンションであるので、ニュートン模型、 $-1.5 < pF < 1 \sim 2$ では土水系はミセルの相互接触により成り立ってい

るからスプリングとダッシュポットが並列に並んだフォークト模型が想定される。 $pF < 1 \sim 2$ 以上ではフォークト要素ならびに蜂の巣構造を意味するマックスウエル体とを直列につないだパーガス模型があてはめられよう。

転移はまた力学的な降伏条件、すなわち強さの問題である。すなわち強度を考えると粘弾性体としての土の理解が大切であるのみでなく、土の破壊条件を取扱うときには、二次元的なクローンモル理論 (1900) よりも3次元的なシュライヘルミーゼス理論 (1920) が有効であることが須藤らによって示された<sup>(4)</sup>。

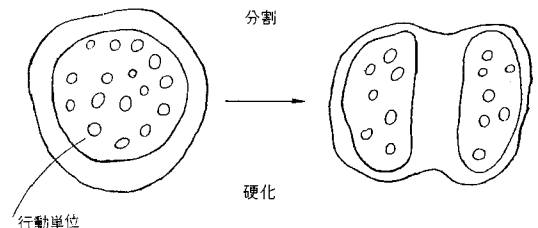
## 3. 土の軟化、硬化とpF

土工上においては、主として土の軟化現象が目され、鋭敏比、定格コーン指数として経験的に定義せられてきた。基礎の安定、施行機械の運行の難易を考えるとときには、土の軟化が重要であることは容易に理解しうるが、しかし土は外力を受けた場合、一方的に軟化のみを起すのではなく、時としては硬化を示す場合もある。土の軟化硬化現象はすべてpFの変化にもとずいて統一的に理解される<sup>(5)</sup>。

すなわち土の行動単位が、外力によって相互に接近する場合、pFの低下、土の軟化がおこる。\*(軟化)

一方、ねり返しによって行動単位内の水が間隙内に押し出され、pFの低下と軟化がみられる場合がある。(軟化)

ねり返しによって行動単位そのものが壊変をうける場合は、土壌構造の差異を反映して軟化や硬化がみられる。第1図に示したように、行動単位が細分されると



第1図 行動単位の分割による硬化

き、新たに生じた分割面に沿って、間隙水は拘束をうけるので見かけ上のpFの増大を生じる。(硬化)しかし、第2図に示したように、構造的に捕捉された水(構造的な非自由水)が自由化するときには軟化がおきる。(軟化)

又、含水量の少ない粗大粒子系が急激なヒズミをうけることにより硬化するダイラタン現象では、ねり返し注:ただしこの場合、軟化が観測されるのは、土粒子が親水性に富む場合で、疎水性の場合には、土粒子のかみ合いによる強度増加がpFの低下を上回り、土水系全体の力学的強度としては硬化の様相を示す場合もある。



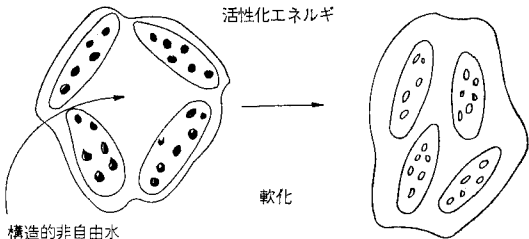
によりpFの増大がみられる。(硬化)

現実にはここで述べた諸現象が複雑にからみあっているが、これら軟化、硬化の要因を一括して第2表に示しておく。

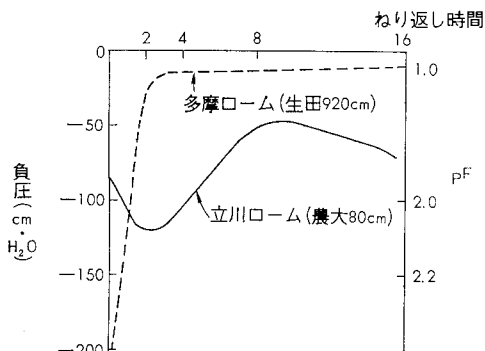
第2表

操作	ねり返し	放置した場合の可逆性
軟化 (pFの低下)	1. 行動単位の接近 2. 行動単位内の水の自由化(チクソトロピ) 3. 構造的な非自由水の自由化	おおむね非可逆 可逆 非可逆
硬化 (pFの増大)	4. 行動単位の離反(ダイヤラタンシ) 5. 行動単位の分割	可逆 非可逆

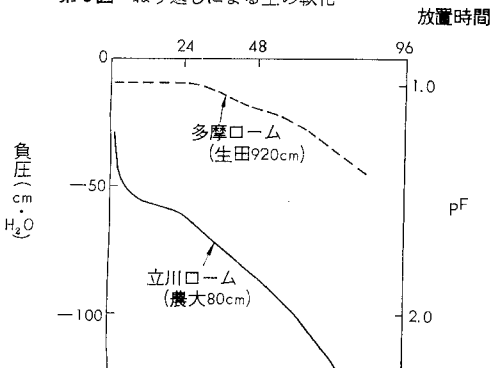
また関東ロームにおける土の軟化および硬化の実測例を第3図、第4図に示した。すなわち、関東ロームのうち



第2図 構造的な非自由水の自由による軟化



第3図 ねり返しによる土の軟化



第4図 放置による土の硬化

でも立川ローム層では、ねり返し当初では不攪乱状態よりpFは増す。これは行動単位の分割に対応するものである。しかしねり返しが更に進めば、行動単位の接近、行動単位内の水の自由化が進み、測定されるpFは低下する。しかしねり返しがある限度に達すれば、再び行動単位の分割の効果が優先し、pFの増大がおこる。

しかし関東ロームのうちでも、生成年代がもっとも古い多摩ロームの土では、電子顕微鏡写真の観察によると、栗のイガ状の多数の突起をもつハロイサイトを主要な粘土鉱物としていて構造的な非自由水を多量に持つと推察される。したがってねり返しによるpFの低下はこれでの水の自由化に起因しており、しかも比較的短時間のねり返しで一定値に達する。しかしねり返し以前の土の構造には回復しえないから、放置した場合のpFの増大は立川ローム層の土ほどはかばかしくはない。

#### 4. 土の収縮挙動とpF

土質工学においては、水分を減少させたときの体積変化は古くから注目され、収縮常数(すなわち、収縮限界、収縮比、体積変化、線収縮)は土の分類や路床土の適性判定、凍上性の推定に用いられて来た。しかしこれまで収縮挙動の理解にはpF概念の導入はなく、単なる量的把握のみが強調されたきらいがある。

pFを土水系の状態量としてとらえるならば、これは降伏値と深い関連をもつことが知られる。たとえば土塊の水分を次第に減少させてゆくとき、見かけ上の土の体積変化が起きるpF値は、(pF<sub>0</sub>と略記)、内部応力により定義される降伏値に等しいと考えることができよう。したがってこのときの値を不攪乱土およびねり返し土と比較すれば、これによって土の鋭敏比を土壌水のエネルギー指数から解明できることとなる<sup>6)</sup>。一例として第3表に関東ロームおよび赤黄色土における測定例を示したが、関東ロームではいちじるしい強度低下がおこること、そのうちでもとくに施工機械の運行が困難であっ

第3表

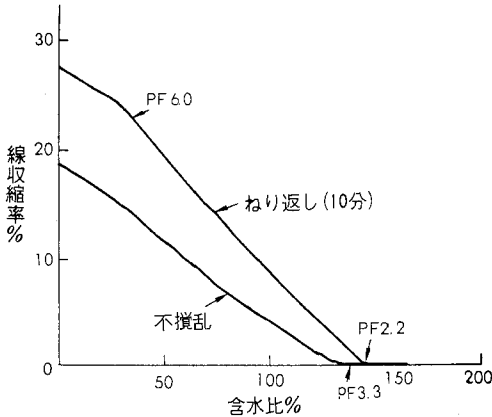
	関東ローム			非火山灰土
	立川ローム (農大80cm)	武蔵野ローム (生田350cm)	多摩ローム (生田920cm)	赤黄色土 (静大 40cm)
不攪乱土のpF <sub>0</sub>	3.3	3.4	2.3	3.0
ねり返し土のpF <sub>0</sub>	2.2	2.2	1.0	2.3
不攪乱土のpF <sub>0</sub> の真数	13	16	20	5
ねり返し土のpF <sub>0</sub> の真数	10	10	7	10

た生田920cm(多摩ローム層、チョコレート色の土)の激しい軟化の様子をよく示していると云えよう。た水分を変化させつつ収縮量を測定すると、この収縮曲線が、土水系の構造や強度とよく関連していることが理

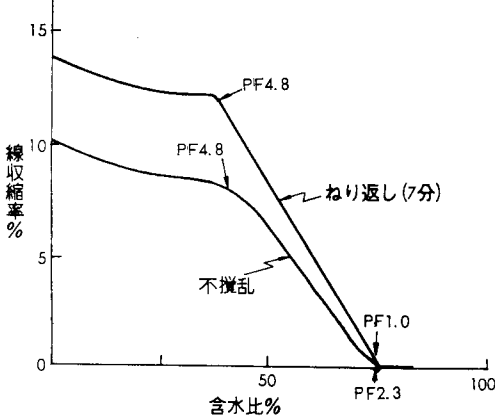
解される。すなわち親水性の大きい立川層心土(生土)では、高 pF に至るまで大きい収縮が続くが、これは行動単位間の粗間隙の水 (pF<sub>0</sub>-4.2) がなくなってからのちも、行動単位内で土粒子に溶媒和している水が脱水するためである。しかし疎水的な性格をもった赤黄色土や、同じ関東ロームであっても結晶化が進んでいる多摩ロームでは pF が 4.8 付近に増大すると収縮は停滞し、収

化曲線ともよい対応を示している。すなわち親水性の高い立川ローム層心土では剛性率は 10<sup>8</sup>dyn/cm<sup>2</sup> (pF 換算 5 付近) に至るまで、水分減少にともない順調に増大する。しかし疎水的な性格をもつ中川流域の水田心土では剛性率はすでに 10<sup>8</sup>dyn/cm<sup>2</sup> (pF 換算 3 付近) で水分減少にともなう剛性率の増大は停滞する。(7)

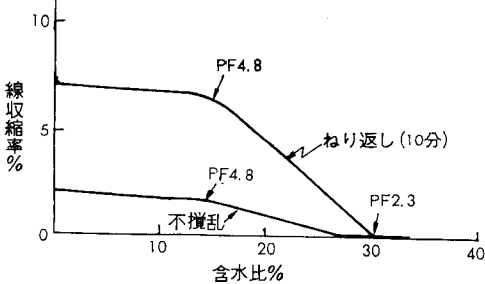
また収縮曲線で折れ点が認められる pF 値は土水系の



第 5 図 立川ロームの収縮(農大80cm)



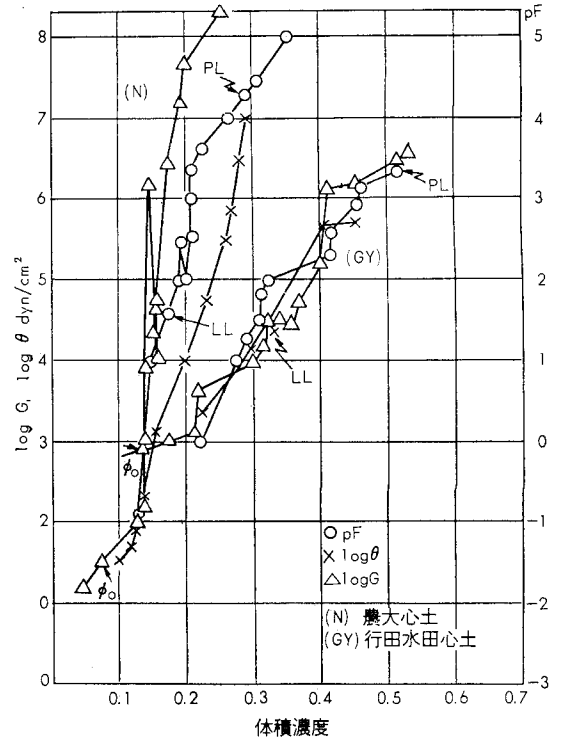
第 6 図 多摩ロームの収縮(生田90cm)



第 7 図 赤黄色土の収縮(静大40cm)

縮曲線に折れ点が認められるようになる。赤黄色土でも同様の傾向を示す。

この収縮曲線は、水分を変化させたときの剛性率の変



第 8 図 pF と log θ, log G の関係

緩和時間が著増する点に対応している。

### 5. 2.3の工学的性質とpFの関連

外力により土壌が変形を起したとき、微小変形を考えれば変化は弾性的である。系におけるエネルギー蓄積が、極限レジリエンスに達する瞬間、すなわち降伏値 θ に達する極限状態で系が示す水の自由エネルギーは近似的に系内に貯わえられたエネルギーに等しいと考えられる。(系内のエントロピーの生成を考えない。)したがって次の関係が成り立つ。

$$pF = \log(\mu_0 - \mu) \approx \log \theta \dots \dots \dots (3)$$

pF 1 ~ 4 の範囲で種々の土壌につき pF, θ, G の関係をみると、次の関係が成り立つ。(7)

$$\log \theta < pF < \log G \dots \dots \dots (4)$$

ここで G : 剛性率

液性限界以上の高含水比ではこれら 3 者の値はよく近

似する。

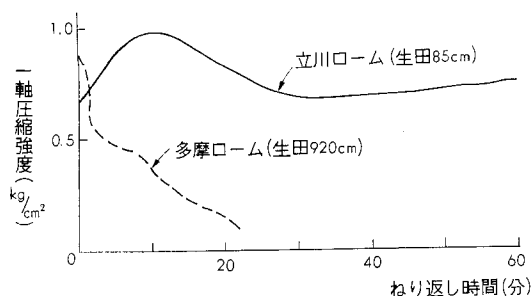
火山灰土のようなテクソトロピックな挙動を示す土では、降伏値を測定するときに、すでに構造破壊が起っているから、 $\log \theta < pF$  となっている。したがって $\theta$ とpFの関係を実験的に定めるには、テクソトロピ係数 $k$ を導入して次式で示す。

$$\alpha \log \theta + \log k = pF \dots \dots \dots (5)$$

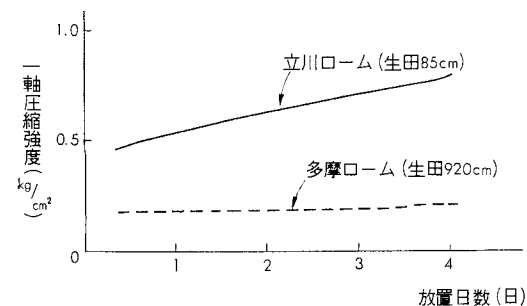
ここで $\alpha$ : 常数で1に近い。

モンモリロナイト系の土や、関東ロームでは $k$ は5~15の値を示すが、ダイラタンシを示す土では $k < 1$ の値を示す。

第3図、第4図でpFがねり返しにより変化する様子を示したが、これらpFの変化と一軸強度の関係を調べ



第9図 ねり返しによる一軸圧縮強度の変化



第10図 放置日数による一軸圧縮強度の変化

てみると、両方で極めてよい対応を示すことが知られる。<sup>[6]</sup>

### 6. 問題点

pFの工学的検討はまだ緒についたばかりであるので、pF概念のみですべての土水系の挙動を説明できるという保証はまだ充分ではない。土の含水量が高い場合や親水性の大きい系に対しては、pFそのものが直接土の強度に関連するが、含水量が少ない場合や疎水性の系に対しては、pFのほかに土粒子そのものの配位による強度についても考えざるを得ないこととなる。現在まで種

々の土について得られた資料によると、pF 3付近までは強度と比較的よい対応を示す場合が多い。しかしpF 3をこえると、強度との対応が必ずしも密接でない場合がある。とくに歴年の耕耘管理によって疎水の性格を強めている関東ローム表土などにその実例がみられる。これらの事実は、水の強さ(pF)のみでなく、土を構成している行動単位そのものの強さについても考慮すべきことを示しているものと思われる。目下、これらについて検討を進めているので別の機会に触れたいと思う。

またpFの測定法そのものにも多くの問題が残されている。特に遠心法についてはその内容が充分把握されないうまま、測定方法のみが安易に普及した傾向がある。<sup>[6]</sup>遠心法により測定される値は単なる保水力の因子のみではなく、むしろ土の強度因子として取扱われるべき性質をもっていると云える。これらについても稿をあらためて論及したいと考えている。

### 7. むすび

土壌水のエネルギー概念pFを歴史的に考察し、その内容を工学的に再整理した。これらpF概念が、土の転移や軟化、硬化、さらには収縮挙動や力学常数の解明にきわめて有効で、これまでの農学上の水の状態量としてではなく、土水系の状態量としても適切であることを若干の実例について示し、現時点での問題点をあげた。〔謝辞〕この小論は関東ローム土道研究会(代表者山崎不二夫教授)の共同討論と成果の中から生まれたものである。終始有益な助言を賜ったメンバーの各位に厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

1. 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. P11~15, 1965
2. 竹中肇: 下層土よりの水分補給を考慮した畑地カンガイ用水量, 農土論集投稿中
3. 岩田進午: 土壌水のエネルギー概念について, 土肥誌32. P572~580, 1962
4. 須藤清次, 東山勇, 山崎不二夫: 土のレオロジカルな構造, 土と基礎437. P29~37, 1965
5. 竹中肇, 安富六郎: pFの変化と軟化, 硬化について, 農土論集14. P54~59, 1965
6. 竹中肇: 収縮挙動より見た土の工学的性質, 農土論集14. P32~35, 1965
7. 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. P49~53, 1965
8. 山崎不二夫, 安富六郎: 遠心含水当量試験の問題点, 土質工学会シンポジウム講演集, 1965

# 土 壤 水 分 と 硬 さ

—— 土 壤 類 型 と の 関 連 ——

横 井 肇\*

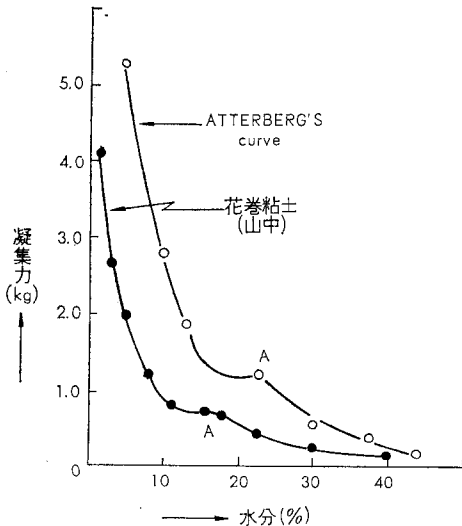
## 1. はじめに

我国のように比較的多雨な気象条件下においては、土壌水分の差異が農耕地の機械作業に大きな影響をおよぼしている。この問題は機械の作業走行の難易と、作業後の土壌状態の良否の問題に大別され、また水田と畑とは根本的に条件が異なるので、主な論議は水田における大型機械の走行の問題を中心として進めることとした。

## 2. 土壌の硬さ

土壌の硬さとは、加えられた外力に対する土壌の抵抗力と考えられ、基本的には粉体である土壌が持ちうる力の内容は粒子間のぎょう集力と粒子間のまさつ力が主体をなすと考えられる。

土壌のぎょう集力 (Cohesion) については、Atterberg (1912)<sup>1)</sup>以来、土壌水分の影響について、実験的および理論的な研究が進められ、我国にも山中の研究<sup>3)</sup>がある。



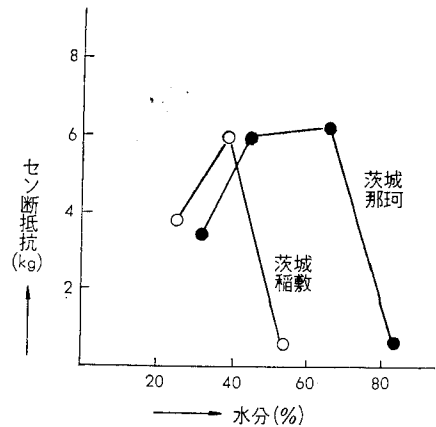
第1図 粘土の凝集力線

第1図 は山中の報告から引用した、粘土のぎょう集力曲線である。ここで注目されることは、変曲点、A附近で曲線の傾きがゆるやかなことである。すなわちこの点

\*農業技術研究所

の近くでは、水分の減少により、急激なぎょう集力の増加がないのである。この点は土壌の色が暗色から明色に変化し、土塊中に気相が侵入しはじめる点であり、肉眼的にも識別でき、かなりの支持力をもつと同時に、碎土困難な程硬いこともないと考えられる。

次に土壌粒子のまさつ力については、土壌の剪断抵抗 (Shearing Resistance) として測定されるが、第2図に筆者の測定結果を示した。土壌によって水分の影響が



第2図 剪断抵抗と水分

非常に異なることが認められた。すなわち一般的には水分の減少によって、剪断抵抗が大きくなるが火山灰土壌などでは一定以下に水分が減少すれば、剪断抵抗は小さくなる。この問題については、機会をえてさらに論じたい。

土壌の硬さの測定は、前記の切断抵抗、剪断抵抗のほか、圧密抵抗、円錐貫入抵抗、荷重板貫入抵抗、などによって行なわれるが、機械の作業走行のような複雑な力に対する抵抗力は一種類の測定では十分に対応できない現状である。したがって現段階では、硬さと水分の関係を直接機械走行と対比するに至っていないので、むしろ土壌の変形、流動および圧密に対する水分特性を指標として考察するのが妥当であろう。

## 3. 土壌類型との関係

農林省農政局農産課<sup>2)</sup>では大型機械に対する水田土壌の適性調査を全国的に実施したが、そのさい筆者の研究室では調査地点の作土土壌の送付をうけ、液性限界、そ

性限界および 1 kg/cm<sup>2</sup> 荷重下の圧密平衡水分 (1 kg 平衡水分と略す) を測定し、大型機械走行との関連を検討した。第 1 表は調査例を土壤類型別に、土壤水分別にまとめた。

第 1 表 機械運行の難易の調査例数

	土壤水分 <sup>①</sup> 降	湿潤型				乾燥型				計
		泥炭質	黒泥	強グライ	グライ	灰色	灰褐色	黒色	黄色	
可	<P.L			1	3	1	3	5	1	14
	P.L~L.L	1	1	1	2	2	9		1	17
	>L.L				1					1
能	<1 kgeq		1	2	4	2	10	5	1	25
	>1 kgeq	1			2	1	2		1	7
	少雨	1	2	2	4	2	6	2	2	21
	多雨			1	3	4	14	4		26
困難と不可能	<P.L			1		3(2)				4(2)
	P.L~L.L	1	2	3	3		5			14
	>L.L	1	2		2		1			6
	<1 kgeq	1	1	3	1	3(2)	3			12(2)
	>1 kgeq	1	3	1	4		3			12
	少雨	3	5	4	2		3(3)			17(3)
	多雨	1		1	5	7	8(1)			22(1)

- P.L : 塑性限界, L.L : 液性限界, 1 kgeq : 1 kg 平衡水分  
少雨 : 前日換算 10mm 以下
- ( ) は抵抗過大例

第 2 表 水分による機械運行の難易の判定※  
(一致した例数 : 一致しない例数)

	土壤類型	塑性限界	液性限界	1 kg 平衡	降雨
可	湿潤型	1 : 3	4 : 0	3 : 1	5 : 1
	乾燥型	13 : 15	27 : 1	22 : 6	16 : 25
例	小計	14 : 18	31 : 1	25 : 7	21 : 26
困難と不可能例	湿潤型	9 : 1	3 : 7	5 : 5	2 : 12
	乾燥型	11 : 1	3 : 9	7 : 5	19 : 2
	小計	20 : 2	6 : 16	12 : 10	21 : 14
	計	34 : 20	37 : 17	37 : 17	42 : 40

- 抵抗過大による運行困難例を除く。
- \* 一般的に乾燥した状態を運行可能とし、湿潤な状態では運行不可能として判定した場合。

とめたもので、第 2 表には土壤水分による機械運行の難易の判定がどの程度一致したかを示した。

ただしこの種の調査は、実際問題として完全にはできないことを留意しなければならない。すなわち同一地点で水分の多少に応じて試験調査ができれば理想的であるが、現地水田において短期間にそのような調査は非常に困難なことである。したがって多くの調査が単一の調査事例に留まって、厳密な意味で一致例と不一致例は対比できないが、かなり多数の事例の結果であり、大きな誤りはないと思われる。

これらの結果よりみると、塑性限界および液性限界による判定はいずれも単独では非常に片よっている。すなわち塑性限界によれば、それ以下に乾燥して不可能や困難な例はほとんどないが、それ以上に湿潤でも可能な場合がある。反対に液性限界以上に湿潤で可能な例は例外的であるが、それ以下に乾燥しても不可能や困難な場合が少なくない。換言すれば両者の中間の水分の場合には判定が非常に難しいことになる。一方 1 kg 平衡水分は一二の例外を除いて、両限界水分の中間にあって、平均的に運行の難易の判定に役立つ可能性がある。いうまでもなくこの 1 kg 平衡水分以上に湿潤な場合には、トラクターの接地圧をうけると、土壤中に過剰水を生ずる可能性が大きく、したがって土壤の硬さは大きく低下すると想像される。

次に注目すべきことは、第 1, 2 表にみられるが、土壤類型を湿潤型と乾燥型に大別すると、特徴的な点が認められる。まず塑性限界と液性限界の中間の微妙な水分で、可能例 : 困難、不可能例の比をみると、湿潤型土壤では 3 : 6 であり、乾燥型土壤では比率が反対になり 14 : 8 となる。また降雨条件で同様な比率をみると、湿潤型土壤は少雨条件下で 5 : 12 となり乾燥型土壤は 16 : 5 となる。したがって土壤類型を考慮して、土壤水分特性を活用すれば、より正確に運行の難易を判定できると考えられる。

#### 4. 今後の問題

前記のように、大型機械の運行の難易と土壤条件との関係はきわめて複雑であり、土壤水分との関係にも種々の例外的現象が認められた。先きのべた土壤水分特性は、いずれも風乾細土について測定したもので、現地の構造は考慮していない。したがって現地の構造を保った土壤の性質が、風乾細土と非常に異なる場合には問題が残されているはずであろう。このような考え方に従って調査例の中、常識的にみても例外を選び出した。これらの事例について土壤調査表から、現地の土壤構造を参考とし、原因を推定して整理した。その結果は第 3 表に示したが、大局的にみれば、(1) 固結性の強弱、(2) 透水性の

良否の2つが大きな問題点であると考えられた(過乾による抵抗過大が原因となる事例は、明らかに別種の問題として)。

第3表 現構造地の影響

1. 多水分, 多雨条件下で運行可能な例

原 因	多水分	多 雨
表土の固結性が強い	5	12
下層土の固結性が強い	5	23
表土の透水性がよい	3	8

2. 少水分, 少雨条件下で運行困難な例

原 因	少水分	少 雨
表土の固結性が弱い	5	13
下層土の固結性が弱い	3	5
地下水が高い	3	8
表土の透水性が悪い	3	8
過乾による抵抗過大	2	3

○固結性は硬度計の読みによる

○透水性は土性による

第4表 テストブロックの圧砕抵抗

	府 県	層 位	土壌類型	土 性	仮比重	圧砕圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	
						0.7	0.2
湿潤型	新 潟	1	強グライ	LiC	0.7	0.7	0.3
		2					
	秋 田 (八 郎 潟)	2	〃	〃	0.7	0.1	1.4*
乾	佐 賀	1	グライ	HiC	0.9	0.8	0.4
		2					
燥型	鳥 取	1	黄 褐	LiC	1.3	1.4	2.0
		2					
	宮 城	1	灰 褐	〃	0.9	1.1	0.9
2							

\*一旦風乾後毛管飽和

水田土壌の固結性については、土壌類型との関係も次第に明らかになりつつあり、第4表(5)にテストブロックの圧砕抵抗を示したが、現地構造を破壊しないブロックの硬さは、湿潤型の土壌では非常に弱いことが認められている。土壌調査に際して、土壌類型を決定するに酸化沈積物を重視するのが普通であり、とくに鉄、マンガンの行動が大きな指標となっている。これらの酸化物は、還元態で存在した場合より、明らかに固結性を強める役割を有するはずであり、今後この問題の原理的な追求と実際の応用を早急に検討すべきであろう。

また透水性については、いうまでもなく一般的な排水に大きく影響する因子であると同時に、きわめて直接的

にトラクター接地部の直下での過剰水の移動にも関係していると考えられる。問題を単純化するため、加圧下の透水性がダーシの法則によると仮定して試算すれば、1kg/cmの加圧下で、10%容量の水が1cm移動する時間は、透水係数が $1 \times 10^{-3}$ の土壌では0.1秒であり、以下 $10^{-4}$ :1秒、 $10^{-5}$ :10秒…となる。したがって透水性の良好な土壌では、多少湿った条件下でも、接地部直下の土壌は一定限度まで排水され、強度が増すことも考えられる。なお水田土壌の透水性は、単に孔隙量によるものではなく第5表(4)に示したように土壌類型と関連深く、とくに強グライ土壌の透水性は極端に悪いものであり、固結性とも関係した今後の問題点と考えられる。

第5表 水田土壌の透水係数

府 県	土壌類型	土 性	処 理	孔隙量 %	透水係数 $K_{20}$
新 潟	強グライ	LiC	原 土	71.7	$3.8 \times 10^{-7}$
			風乾土充てん	67.2	$2.2 \times 10^{-5}$
佐 賀	グライ	HiC	原 土	63.1	$1.4 \times 10^{-4}$
			風乾土充てん	63.5	$1.9 \times 10^{-6}$
埼 玉	黒 泥	LiC	原 土	57.7	$8.5 \times 10^{-4}$
			風乾土充てん	〃	$2.3 \times 10^{-6}$

5. おわりに

以上の論議は、いずれも従来常識的あるいは経験的に知られていた事実を若干の実験結果を基にして裏づけたに過ぎない。この種の問題は最近ようやく試験研究が始まったばかりであり、とくに測定法が十分確立されていないことが最大の障害であったと考えられる。しかしながら測定法の改良は急速に進行しており、正確な実験結果の積み重ねによって、問題点は次第に解消しつつある。したがって今後は大型機械の走行に対する土壌の改良、ならびに水稲生育収量に対する影響に研究の重点が移ると想像される。

引 用 文 献

1. A. Atterberg(1912): Intern. mitt. Bodenk
2. 農林省農政局(1965): 地方保全対策資料 14号
3. 山中金次郎(1955): 農技研報告 B6
4. 横井 肇 福祿盛一(1965): 土肥講演要旨
5. 横井 肇 秋山 豊(1965): 89年度成績書

## 第7回土壌物理研究討論会総合討論要旨

1965 司会 岩田（農技研） 田淵（東大）

本日はティルス・走行能・土壌水分とかたさの順に3つの問題についての講演を行っていただいたのですが、ここで総括的な討論を進めるにあたって以上の3つのテーマについて問題別にまず討論してもらい、その中から問題を広げ、より総合的なものにしていきたい。まずティルスの方からどうぞ。

須藤（山形大） 車輪が通るとその土壌状態が生育に不利になる点ばかり発表された。逆に良くなるという面についてはどう考えるか。

鎌田（長野農試） コンパクションを受けると土粒子の充てんは密になり、場合によっては作物の水分吸収には有利になるといわれる。しかし土壌中のどのような構造が有利に作用したか、また、土壌圧縮の程度の如何をとわず適用可能かどうかは正確に知られていない。

安富（東大） ティルスは易耕性と訳されているが、耕起後の物理性の問題であるから耕起時点のことは別に考えるべきではないか。

金須（農機研） 耕起後の問題と理解している。

山崎（東大） ティルスは耕起過程と、耕起された後の両方を考慮した方がよいと思う。耕起時の土の含水量はトラクタの走行能や、けん引抵抗を支配するばかりでなく、耕起後の圃場の通気性、土壌間ゲキ、保水性、透水性などを左右する。走行能がよく、けん引抵抗が小さく、しかも耕起後圃場の物理性が作物の生育に適するようになる含水量のときに耕起することが大切だ。ティルスが良いというのは、降雨後短時間内にこういう含水量に達し、しかも晴天が続いてもこの含水量が長く維持されるような土壌のことをいうのだと思う。

須藤 けん引量が大きくなると沈下量が大きくなるといわれるが、そのメカニズムはどうか。

金須 けん引量が大きくなるとスリップによる土の移動量も大きくなるので、このために沈下がおこる。

佐藤（三菱重工） 安定走行中の沈下量は輪が自重によって沈下するので、スリップとは関係がむしろ小さい。

須藤 ラグをつけ加えてけん引力を増すときそれが粘着力によらず速度が問題になると思うがどうか。

佐藤 当然輪を大きくすれば速く走行する。接地面積が等しい場合、径の大きい方が有効である。

金須 トラクタの実用的な速度範囲内では、変速位置による牽引力の差はほとんど認められない。

伊藤（岩大） 沈下係数でスリップ関係の走行性が表わせるのか。

金須 パーセントで表わすのはむづかしい。しかしプラウイングの時はスリップ率が10~20%が普通であって、それ以上のスリップのときは走行困難と判定してよいと思う。

国分（農事試） トラクタの走行性の判定基準のための支持力を決める時に深さ15cmまでの測定値の平均を用いているが、水田のように表層と下層の硬さが甚だしく異なる場合はどうするか。例えば砂土型の盤に軟かい粘土がのっている場合とか、逆に重粘土で表面の乾燥して硬い場合など。

金須 重粘土のところで上が硬く、下は軟かいときはここで示した表は適用できない。

清水（教育大） 日本の土壌の場合、ラグの幅はどのくらいなら土がつかなくなるか。

佐藤 放射状にラグが突出している場合直径1mの車輪のトラクタではラグとラグの間隔は100mm程度あればこの土地へもっていても土がつかない。三菱では余裕をみて120mmをとってある。直径1m以下の車輪の時は80mmの巾をつけると土がつかない。

司会 スリップ率と沈下量が比例するといわれているが、表層の土とその下の土の硬さが違うときはどうか。

伊藤 沈下係数は多層の圧縮量を測定しているのでスリップ関係は別の測定法が必要かと思う。かりに上層に圧縮性土層があっても、その下部が非圧縮性であれば沈下係数が大であっても、直ちに走行不能と判定することはできないと思う。

山崎 走行不能のケースには①スリップで不能、②スリップしながら沈下、③ある程度沈下してからスリップ、④沈下して走行不能などが考えられる。スリップと沈下はあらゆる場合に比例するというのは無理である。

金須 スリップでも沈下でも走行能は判定できると思った方がよいと思う。

司会 この辺で土壌水分の問題にも移りたいと思う。

寺沢（農技研） 構造的な非自由水の意味と、外力による構造破かきの具体的内容を説明されたい。

竹中（東大農） 外力で強度が低下するのは構造破かいによるが、これは構造的に粒子によって拘束された水が外力で拘束を脱して自由化するために生ずる。この構造破かいは風乾などによってもおこる。いかなる方法であっても、土水系が構造的にこわれるものであればよい。

また構造的非自由水とは構造単位がかたまっている中に含まれている水を云うのであって、その水が動かなければ非自由水であると考えてよい。

中村（愛媛大）pF測定中に、測定による力学的変化によるpF変化をどう扱うか。

竹中 土に変形を与えると水が出てくるから、そのためにpF値は変わってくる。だから初期状態でpFを言うのか、最終状態でのpFは、土の強度と測定目的に応じて決めるべきだと思う。

山中（農技研）約pF3.0までは関東ロームは収縮がおこらないと云われているが、私は結合には固体的に結合している場合と水によって結合している場合があると思う。土が毛管圧で収縮しようとしても固体的に結合していれば進行しない。毛管圧がこのチェーン結合以上の力になれば、はじめて収縮がおこる。これらの機構は土壤生成のプロセスとの関連において見るべきものであろう。

美園（農技研）硬さを生ずる（土壌の抵抗）原因を粒子間の力——凝集力、まさつ力——によって説明されたが、固体粒子と水分との間、あるいは水分の負圧についての考察はしなくてよいか。

横井（農技研）粒子をコロイド的に考えれば水もコロイド粒子的に考えてよいと思う。

八幡（東大）耕地の走行能に関してであるが、走行能に関連する土の因子の中に「土壌の層序」を考える必要はないか。路盤や舗装をいろいろな土木材料の層との組合せとして設計する道路、工学者の観点なども研究上で参考にしていいのではないか。

金須 作土のスキ床等の層序を考えていくべきで、作土の表層だけを考えているのは不十分といえよう。その土壌環境を考えていきたい。これらは今後解明していくべき問題の一つであろう。

寺沢 水田土壌の型態別に土壌断面の硬度が変わっており、湿田型から乾田型に移行するにつれて作土、鋤床、心土などの硬度が高まる傾向にある。この面から層序別に各土壌型の物理性を追求する必要がある。

多田（農土木試）土壌類型と結びつけてトラフイカビリティを整理しようとしておられるが人工的な土壌、即ち土地改良により動かした場合の土壌をどのように考えていくべきか。

横井 現在のところはまだ考えていない。

美園 層序の考え方をとり入れていかねばならないのではないかと八幡先生の意見に賛成。実際の土壌ではたとえば水田では少なくとも作土、鋤床、その下位を見なければならぬと考えている。畑の場合でも圧縮層の形成が問題になっている。単一層の実験は必要である

が、出来ている層序（土層）を改良するためにも層序で見えておく必要がある。

財部（鹿児島農試）雨が降った後、いつ機械が入れるか、また何mm程度の雨ならばよいかという問題に対して、どのような方法が一番効果的と考えられるか。

横井 なかなかむづかしい問題である。測定方法にもいろいろ工夫が必要であろう。

中野（東大）走行能と透水性の関係については透水係数の大小でその土の走行能がきめられるというよりもむしろ土壤水分の減少に関するという点で走行能に関係づける方がよいと考える。

横井 排水と機械の関係を見るべきで数値そのものを見てもわからないと思う。

岩崎（東大）走行能に関係ある地盤の支持力は、乾田化された場合には表層が果し、湿田の場合のように鋤床にはよらない。一方今日の農作業はキカイ化による直播と除草剤の発達により、かんがい状態での耕起作業は一回で終り、支持力を表層地盤に依存すれば足り、即ち走行量は一回でよいので、交通目的の道路の走行能と異なる。要は、かんがい状態での走行能よりも地上水・地中水の排除程度と走行能の関係について研究の方向を指向した方がよくないだろうか？

司会 総合的な問題に移りたいと思います。

山中（農技研）軟かい土壌のせん断強度はラグ間の土壌の圧縮による凝集力発生機構に依って強化され、走行能に関係して重要である。

佐藤 ラグの型にもよるがラグ間の土と、その直下の土のせん断抵抗がスリップを左右する。ラグの型によって接地圧が出来る。この結果ラグ内の土は圧力を受け凝集力を発生する。運行中にラグ内の土の凝集力発生についての考察が必要である。

八幡 トラクタの走行能、けん引能の標準はコンクリート上のもので、われわれが問題にしているのは土の上にある時のトラクタの姿とは異なる。道路工学上、路盤、路床を一種の層序と考えるかどうか。農林省の土壌類型のA・B・C・D等の別け方を力学的な層序と考えてよいのか。

金須 異なった層の時はいきりした判定ができない。たしかに類型の因子を考えていくべきである。

横井 均一な土壌の時でさえまだ結論がでてない。将来は下層土が表層土にどのような影響を与えているかを考えてゆくべきだ。土壌分類はまだ現在は表土のみを取り上げてゆくべきだ。

多田 区画を大きくすると土をそれだけ多く動かすことになる。このため自然の歴史では起きないことがおこる。その後2～3年たつと亀裂が入り、水が失なわれ



る。このような一連の関係を研究してよいと思う。

横井 排水を必要とする土地で排水がおこなわれると硬くなるがどの程度を硬さの規準にするかが問題である。

東山 (山形大) さきほどの降雨後の機械導入時期のことですが、コーンペネトロメータを用いる方法がよいと思う。

清水 厳密性を欠くが、走行能の判定にはコーン貫入の値を用いるのが実用上便宜である。

東山 コーンペネトロメータを用いるときこの方法で土のどのような性質が測られているかということが大切である。土の力学的性質を  $pF$  で示し、この値とコーンペネトロの値とを結びつけてゆけないものか。

山中 コーンを用いる場合、そのコーンの尖端角と貫入抵抗値との関係は重要である。特に表面摩擦をどのように考えてゆくかが、コーンの解折には重要である。

須藤 コーンペネトロメータは土の内部の状態を検査

するのに有意義である。表面の性質にはもっと有効な方法が適用されるべきである。例えばトラフィカビリティには支持力が関係する面が多いから金須さんが提案した短形板による方法がよいと思う。

清水 山中式硬度計とかハンドコーンペネトロメータなどを用いて表面と深部両方の値を速かに測り、走行能と関連づければ降雨後に走行可能であるかどうかを、直ちにある程度判定出来ると思う。

須藤 土の密度は他の量、例えばLL, PL, コーン指数などと較べると確実な物理量であると思う。そこで密度と関連させて含水比、透水、硬度、植生などを考えてゆくことが正しい方向ではないかと思う。ご意見をお伺いしたい。

司会 時間もだいぶおそくなりました。まだいろいろ御意見もあると思いますが、この辺で閉じたいと思います。大変ご活発なご討論ありがとうございました。

(編集委員編)

## 編 集 だ よ り

会誌「土壌の物理性」が創刊されてから、もはや7年にもなります。その間第14号に及ぶ会誌に数多くのすぐれた論文が掲載され、土壌物理学の発展に寄与してきたことは云うまでもありません。毎年行なわれる研究討論会の充実にもらまれるように、各分野における土壌物理性に対する関心は、研究会発足当時には予想もし得なかった高度成長を遂げつつあると考えます。反面このような研究会の果たす役割の重要性に伴って、われわれ編集幹事としては、その責任を果たし得るかどうか、いささか危惧の念を感じております。限られた会誌の中で、暫新的な企画にとりこんで参りましたが、云うまでもなく会誌はみなさんのものであり、よりよい成長を期したいと存じます。

今回の編集内容は、昨年(1965.11.17)東京農大で開催された、第7回研究討論会「農業機械と土壌の物理性」を中心に講師の方々のご執筆になるものです。講師にはご多用中のところ講演をはじめ原稿の執筆まで終始ご協力をいただきました。ここに衷心よりお礼申し上げます。

すでに以前から会誌の充実をはかる具体的検討を重ねて参りましたが、本号から再び活版印刷を行なうことになりました。ごらんのように一段と学術雑誌の貫録をまし、ご愛読いただけるものと存じます。さらにみなさん

のご意見、ご要望を会誌の企画の中にとり入れたいと考え、「会員の声」の欄を設けることも検討中です。どうぞご意見を御寄せ下さい。

本号がお手許におとどけするころは、さわやかな春風とともに、本誌が満7才(昭和34年3月生れ)の誕生日を迎えます。御自愛の上、皆様の1966年のご健斗をお祈り申し上げます。

(編集幹事、寺沢、安富、中野、秋山)

## 会 告

1. 第8回土壌物理研究会総会および討論会開催について

第8回土壌物理研究会総会および討論会は次のとおり行なわれます。

○ 日時 昭和41年11月18日(金) 9時

○ 場所 東京農業大学

2. 第8回討論会テーマについて

水田の物理性と水稻生育

① 土壌断面形態を中心として

② 透水を中心として

③ 耕耘を中心として

講演希望者は事務局まで申し出下さい。

## 本 会 記 事

◎昭和40年11月13日（土）13時より東京農業大学において次の事項につき在京評議員会を開いた。

### 協議事項

1. 第7回討論会講演要旨の売価について
2. 役員交通費について
3. 来る11月17日の第7回討論会当日に行なわれる評議員会議題打合せ

- 1) 役員改選
- 2) 会費値上げの件
- 3) 会則改定の件
- 4) 17日討論会当日に行なわれる総会の進行次第打合せ

出席者：吉良会長，美園副会長，山中，山崎，八幡，竹原，横井各評議員，寺沢，安富，平沢，小林，中野各幹事

◎ 昭和40年11月17日（水）9時より東京農業大学において第7回土壌物理研究会討論会開催——出席者145名

◎ 同日12時より評議員会開催

### 協議事項

11月13日の在京評議員会における討議内容の再検討

1. 庶務会計報告
2. 会計監事設置の件
3. 評議員数増員の件
4. 幹事6名承認
5. 会費値上げについて
6. 総会提出案件の説明
7. 第8回討論会に関する打合せ

出席者：吉良会長，美園副会長，山崎，八幡，横井須藤，国分各評議員，寺沢，安富，中野，平沢，小林各幹事

◎ 昭和40年11月17日（水）13時～14時，東京農業大学において土壌物理研究会総会開催

1. 吉良会長挨拶
2. 小林幹事より経過報告並びに会計報告があり承認された。
3. 昭和39年度会計報告が下記のようにおこなわれた（昭和39年4月1日～昭和40年3月31日）

### 収入の部

前年度より繰越高	40,508円
会費	147,250

会誌売上	14,950
会誌広告料	62,500
討論会要旨売上	12,500
討論会懇親会費	21,500
討論会展示費	25,000
振替貯金利子	2,053
郵便貯金利子	1,809
合 計	328,070円

### 支出の部

通信費（会費発送費を含む）	29,920円
文具費	1,860
第6回討論会費	69,360
交通費	5,300
アルバイト料	8,000
40年度繰越金	213,630
合 計	328,070円

### 4. 会則改定が承認された

会則改定点は次の通り

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

改定点→正会員 年額 500円に改める

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。但し再任をさまたげない。

改定点→会長1名，副会長1名，会計監事2名，評議員若干名及び幹事若干名。に改める

### 5. 役員改選が行なわれた

役員改選の結果は次の通り

会長：吉良芳夫

副会長：美園繁

会計監事：八幡敏雄，横井肇

評議員：山崎不二夫，八幡敏雄，美園繁，横井肇，竹原秀雄，山中金次郎，田原虎次，金子良，鍋木豪夫，国分欣一，沼尾林一郎，米田茂男，川口桂三郎，富士岡義一，久保田収治，藤堂誠，須藤清次，松実成忠，梅田安治，吉良芳夫

幹事：寺沢四郎，秋山豊，安富六郎，中野政詩，平沢一雄，小林正

◎ 昭和41年1月29日（土）10時30分より東京農業大学

において在京評議員会が開かれた。

#### 協議事項

1. 41年度幹事紹介
2. 会誌第14号の編集進行状況報告
3. 41年度討論会の会期、場所について協議（会告参照）
4. 懇親会の場所と時間と実施要領について協議
5. 第8回討論会テーマについて協議（会告参照）
6. 会費納入状況について小林幹事より報告あり

出席者：吉良会長，山中，八幡，横井，各評議員，寺沢，秋山，小林，平沢各幹事

### 昭和40年度会員異動通知

#### 新入会員（昭和39年4月以降）

赤城 仰哉 北海道常呂郡訓子府町弥生，道立北見農試  
 但野 利秋 同上  
 昆 忠男 札幌市琴似町八軒，北海道農試  
 矢沢 正士 札幌市北6条西9丁目，北大農学部農業工学科  
 吉野 喬 盛岡市下厨川赤平4，東北農試  
 館川 洋 相馬市成田字栗町184，福島農試浜支場  
 新井 真杉 浦和市北浦和町2の77  
 岩波 悠紀 仙台市片平町41，東北大学農学研究所  
 島根 茂雄 東京都千代田区紀尾井町3，日本農業研究所  
 株式会社三宗 東京都港区芝浜松町2～27  
 金木 良三 東京都世田谷区榎丘1-1-1東京農業大学  
 富高弥一平 同上  
 大中 正之 同上  
 青葉 幸二 平塚市中原1519 園芸試験場  
 鈴木 勝征 同上  
 田村 卯八 新潟県長岡市長倉町新潟農試  
 岩本 信義 同上  
 高橋 公栄 同上  
 五十嵐太郎 新潟市小金町106，新潟大学農学部  
 稲葉 保 富山県射水郡小杉町黒河，大谷技術短大  
 中林 茂男 富山市太郎丸，富山農試  
 河野 広 愛知県知多郡武豊町字南中根，東海近畿農試  
 松本 猛 豊橋市飯村町高山，愛知農試豊橋経営実験農試  
 伊佐 務 三重県津市上浜町，三重大学農学部  
 栗原 肇 愛媛県松山市道後町，愛媛農試  
 山田 勲 福岡市箱崎町，九大農学部  
 鹿児島大学附属図書館学術情報係  
 鹿児島市鴨池町201  
 鹿児島たばこ試験場長  
 鹿児島県谷山市上福之町5648の2  
 農業機械化研究所調査資料室  
 埼玉県大宮市日進町1丁目

#### 住所変更（新住所のみ）

中山 利彦 北海道常呂郡訓子府町弥生，道立北見農試化学部  
 秋山喜三郎 同上  
 野村 琥 北海道標津郡中標津町，根釧農試  
 松居 勝広 帯広市稲田町，帯広畜産大学農業工学科  
 松田 豊 同上  
 平島 利昭 北海道亀田郡大野町，道立道南農試  
 岡村 俊民 札幌市北9条西9丁目，北大農学部  
 盛 時雄 札幌市琴似町八軒，道立中央農試  
 室松 正雄 札幌市北3条西4丁目合同庁舎内，北海道開発局  
 西大 英夫 札幌開発建設部，美唄事務所  
 今野 雄始 岩手県立遠野農業高校  
 久保田正充 盛岡市下厨川赤平4，東北農試  
 長谷川新一 埼玉県北足立郡北本町荒井，農林省農試畑作部  
 増島 博 埼玉県鴻巣市，農事試験場  
 手塚 右門 東京都千代田区大手町1の5全購連  
 立花 一雄 東京都文京区向ヶ丘弥生1-1-1，東大農学部農業工学科  
 鈴木 達彦 東京都北区西ヶ原，農技研  
 石橋 秀弘 山形県鶴岡市新屋敷19，山形大学農学部  
 小倉 祐幸 神奈川県秦野市名古屋，日本専売公社秦野たばこ試験場  
 関谷 宏三 神奈川県中郡伊勢原町東大竹1088～79  
 林 宏一 長野県下伊那郡高森町下市田，長野県立農試下那分場  
 加甲 艶照 長野県茅野市玉川局区内，農林省農試高冷地支場  
 平沢 文人 長野市中御所363，長野県農試  
 山崎 伝 鳥取市吉方町，鳥取大学農学部  
 久保 清昭 名古屋市中区礎屋町4の2の1，（協銀ビル内）三祐コンサルタンツ，インターナショナル  
 中田 礼嘉 大阪府豊中市利倉東町172  
 加納 利博 滋賀県立短期大学  
 岸井 正憲 松江市殿町，鳥根県庁農業改良課  
 下野園 正 高知市朝倉町919，林試四国支場

**退会者**

山田 正 （北海道） 今井 正信（埼玉県）  
 小田 輝一 （北海道） 齊藤 恵亮（群馬県）  
 森 広三郎 （岡山県） 渡辺 哲夫（新潟県）  
 山添 文雄 （東京都） 篠原 茂市（大阪府）  
 越野 正義 （東京都） 長野 浩一（大阪府）  
 二宮 啓輔 （東京都） 高野 泰吉（愛知県）  
 西川 英郎 （兵庫県）

#### 賛助会員

大起理化工業株式会社 東京都荒川区町屋2丁目16の2

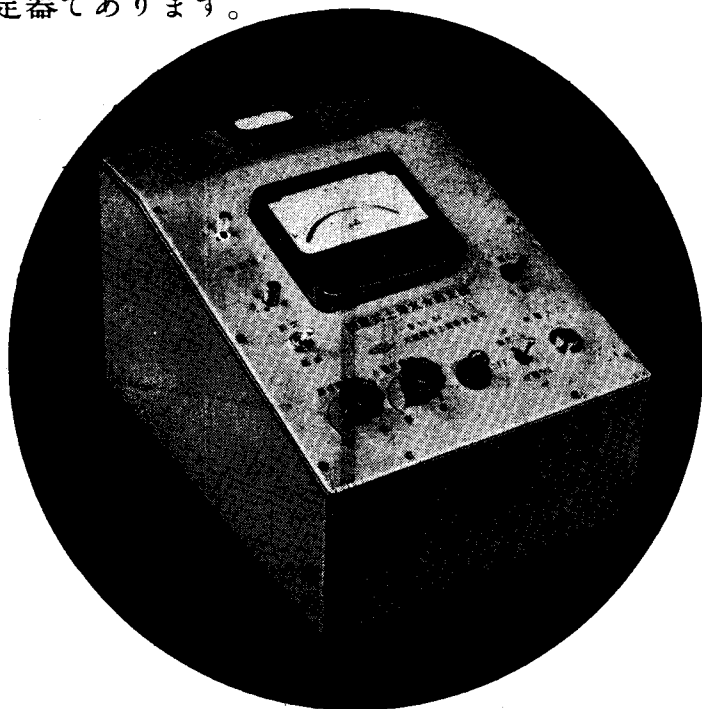
豊順洋行株式会社	大阪市西区土佐堀4丁目68	帝石テルナイト工業株式会社	東京都千代田区平河町1丁目2
イシゲ計器工業所	東京都大田区雪ヶ谷町919	日産化学工業株式会社	白岡農事試験場
理研科学測定器研究所	東京都台東区神吉町52		埼玉県南埼玉郡白岡町
信越化学工業株式会社	土壌肥料研究所 東京都大田区大森 北5丁目8-12	東化工株式会社	東京都中央区日本橋小網町2-14 (洋糖ビル)
ウイジン工業社	東京都世田谷区玉川用賀町1の23	三井金属鉱業株式会社	東京都中央区日本橋室町2丁目1番 地1
天北化学株式会社	東京都千代田区神田司町1丁目10	日本畑地かんがい株式会社	東京都台東区1丁目30番5号, 三宝 伸銅ビル
三和産業株式会社	群馬県碓氷郡松井田町松井田660	大有商事株式会社	東京都千代田区神田駿河台1の2, 馬事畜産会館
北海道炭鉱汽船株式会社	石炭化学研究所 埼玉県北足立郡戸田町		
倉敷レイヨン株式会社	大阪市北区梅田8, 新阪急ビル		
電気化学工業株式会社	東京都千代田区有楽町1丁目10		

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  
 $\mu A$ 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  
埋設した感体は、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を与えないで、連続的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。

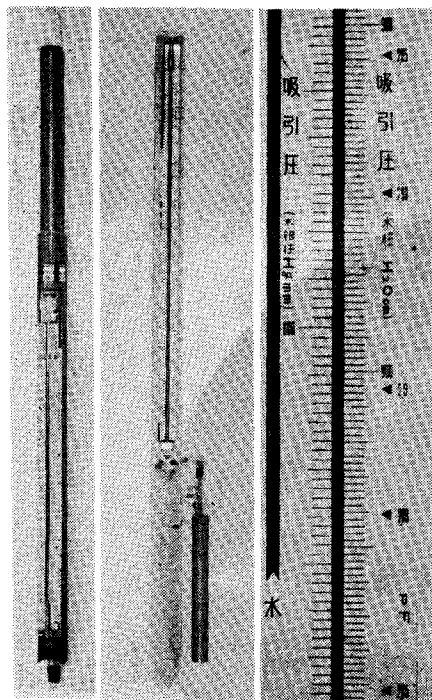


## 大起理化工業株式会社

東京都荒川区町屋2丁目16～2  
TEL 東京 802 2191 (代表)



# 従来の外国品, 国産品を凌駕し 新時代の畑作農業を導くイケダの高性能機器



(実用新案出願済 45403)

ハウス用      畑地用      スケールの1部

## ■直統式テンションメーター (畑地ポット用)

カタログ送呈

- 直統式スケールを使用 (水銀圧, 水柱圧, pF)
  - 水銀柱 1mmの精度で読取可能
  - カップは安定性, 透水性に富み堅牢で長期間使用出来る
  - キャピラリー外オールプラスチック製である
  - 自記記録式 7日巻 1点及 2点用あり
- |      |        |      |        |      |        |
|------|--------|------|--------|------|--------|
| 20cm | ¥6,000 | 30cm | ¥6,200 | 40cm | ¥6,400 |
| 50cm | ¥6,600 | 60cm | ¥6,800 | 80cm | ¥7,000 |
- ポット用ミクロ      ¥ 7,800
- 自記 1点用              ¥ 64,000
- 自記 2点用              ¥105,000
- ハウス用HS-2型      ¥ 6,800



(実用新案出願済 71745)

6 連 式

## ■P F 測定装置

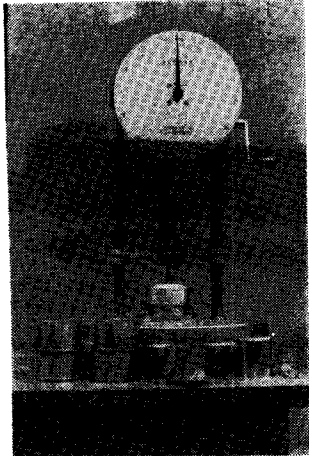
- 畑, 水田の土壌管理に
  - 土木施工に
  - テンションメーターのキャリブレーションに
  - 温度変化に関係なく所定の圧力を正確に作用させることが出来る
  - 吸水脱水両過程が測定可能
  - 測定範囲は本器のみで pF 2.2 真空定圧装置を接続して Fp 2.9 まで可能
- |     |         |     |          |
|-----|---------|-----|----------|
| 2連式 | ¥39,000 | 6連式 | ¥115,000 |
|-----|---------|-----|----------|
- 真空定圧装置      ¥ 40,000
- 自動記録 6連式      ¥680,000  
(pF1.0~2.7)

株式会社

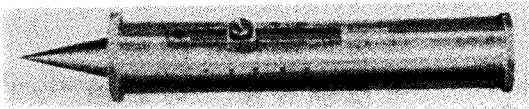
# 池田理化学機械製作所

東京都千代田区神田鍛冶町1~6 TEL (256) 3111 (大代表)  
支店 八王子, 三島, 平塚, 千葉

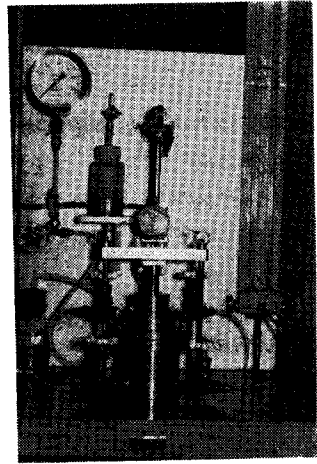
土壤学の権威山中金次郎博士の御指導に依る  
各種土質測定器



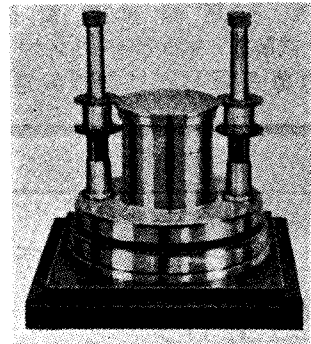
(山中式土壤粘着力(付着力)測定器)



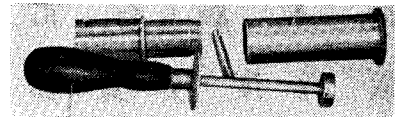
(山中式土壤硬度計)



(山中式加压透水性測定器)



(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)

- 山中式土壤粘着力(付着力)測定器(新考案)
- 山中式加压透水性測定器(新考案)
- 油圧式土壤固結力測定器
- 山中式土壤硬度計
- 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
- 其他土壤測定に関する諸機械器具設計製造

製造発売元



山村製作所

本社工場 東京都世田谷区玉川奥沢町 3-296 電話(701)2334  
 奥沢工場 東京都世田谷区玉川奥沢町 3-302 電話(701)7535  
 大井工場 東京都品川区南大井 4-3-10 電話(761)2032(762)8870

# ポケット・ペネトロメータ

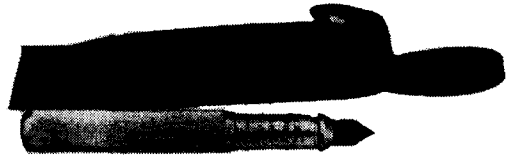
Model No. S 45 AN

本器はデンマークおよびドイツで、多年広く用いられている型式の超小型貫入試験器です。粘性土のコンシステンシーを数値的に表示し、土の比較分類に利用されます。特に粘性土の許容支持力の概略値を求めるのに使用してきわめて有効です。

試験操作は60°先端コーンを10mm土中に貫入させた時の抵抗をコイル・スプリングの撓み量によってkg単位の貫入力とton/m<sup>2</sup>単位の地耐力で表示せしめる簡単なもので、一つの試料に関して数多くの概略値を得て、正しい傾向を判断する事ができます。

## 仕様

1. 貫入抵抗目盛：0~10kg, 0.5kg 目盛
2. 許容支持力目盛：0~50t/m<sup>2</sup>
3. 先端コーン：先端角60°, 焼入鋼製
4. 貫入量：10mm, 円錐部長さ10mm
5. 力量計測：コイル・スプリング, 最大力量指示式
6. 器体寸法：最大直径約1.9cm, 全長16.5cm



S45AN

土質・コンクリート・アスファルト試験機  
万能・圧縮材料試験機  
硬さ試験機・マルトール・リング(力計)  
その他各種材料試験機製造販売

株式会社 丸東製作所

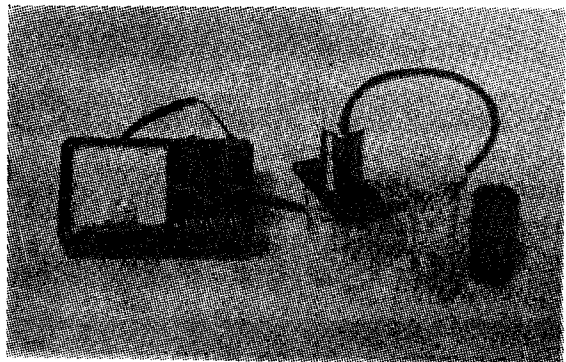
本社/東京都江東区深川白河町2の7/電話東京642局5121代  
京都出張所/電話京都84局7992/札幌出張所/札幌56局1409

## 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



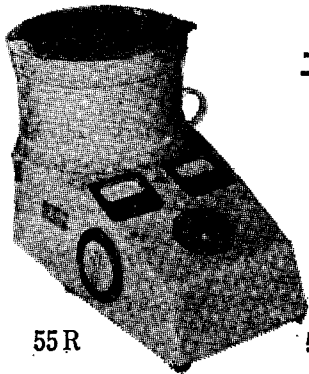
携帯用ケース付 ¥25,000

## 理研科学測定器研究所

東京都台東区東上野4の14の9  
電話 (844) 4307・4925



定評ある *marusan* 研究用遠心分離機



55R

土壤水分測定用遠心分離機

### 土壤水分測定用遠心分離機

55 R (PF値 3.3以上) 回転数: 16,500R. P. M  
遠心力: 26,400×G

90A R (PF値 3.3以下) 回転数: 4,000R. P. M  
遠心力: 2,600×G

特長 ●操作簡単

●モーターは弊社特製にて耐久力大

●正確なPF値の測定

株式会社 佐久間製作所

本社・工場 東京都大田区南六郷3の16番地 電話(731)1257・3170 (732)0847  
神田出張所 東京都千代田区神田多町1の9番地 電話(251)4917・6059  
大阪アフターサービス出張所 大阪市北区綱笠町13-2 神光ビル階 電話(361)7763

### 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

(ニトロフミン酸苦土珪酸塩)

フミゾール

(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

エスコン

(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

テルナイトアンモン

(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

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)

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)

日 本 水 素 工 業 株 式 会 社

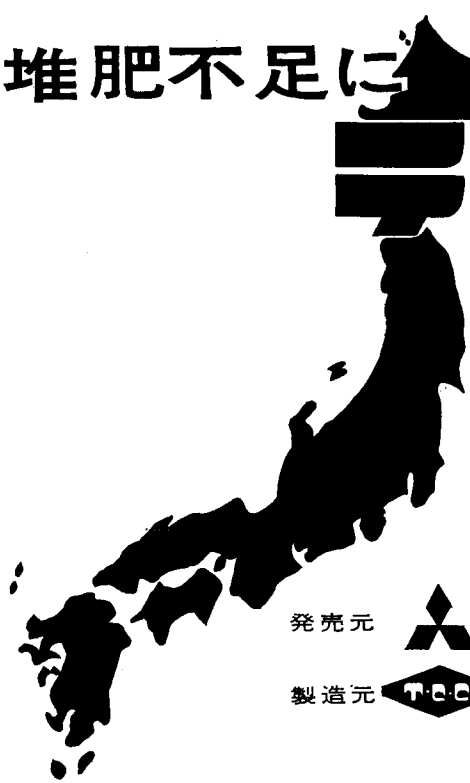
東京都千代田区有楽町1-10 (三信ビル)

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)

堆肥不足に

# テンポロン®



タバコ・蔬菜の苗床の土作りに  
果樹園の土壌を若返らせ、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  
フ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

## 自記マノメーター

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

東京都世田ヶ谷区玉川用賀町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 (03)0531



**土壤の物理性 第14号**

(会 員 配 布)

1966年3月25日 発行

発 行 **土 壤 物 理 研 究 会**

世田谷区千歳局区内世田谷4の461

東京農業大学農業機械研究室内

電話東京(420)2131-内線38

振替口座 東京 17,794