

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壌 の 物 理 性

第 15 号

昭和41年9月

卷 頭 言.....	美 園 繁.....	1
水田の土壤断面と稲の生育.....	菅 野 一 郎.....	3
水稻の収量と土壤断面の二・三の性質との関連.....	松 尾 憲 一.....	5
多収穫水田の構造と用排水.....	金 子 良.....	9
水稻乾田直播栽培における降下浸透.....	増 島 博.....	12
機械化作業と水田土壤の物理性とに関する研究(1).....	{ 国 分 欣 一 根 本 清 二 増 島 博 }	15
水稻栽培の機械化における土壤物理学的諸問題.....	安 田 与 七 郎.....	19
かん水速度と砂層の含水量.....	小 倉 祐 幸.....	29
土壤水運動理論の諸系列(2).....	{ 八 幡 敏 雄 田 淵 俊 雄 中 野 政 辰 矢 橋 詩 吾 }	33
土 粒 子.....		41

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、会計監事2名、評議員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ってあてる。
- 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って執筆すること。

枚数は16枚程度を一応の規準とする。

(4) 投稿は以下に示す種別にしたいが、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、広い視野に立って記述したもの。

《資料》 既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。

《解説》 物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。

(5) 原稿には下記形式の送状をつける。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

巻頭言

土壌物理研究会の発展のために

副会長 美園 繁*

1

去る8月31日、科学技術会議々長佐藤栄作は、内閣総理大臣佐藤栄作あてに、「科学技術振興の総合的基本方策に関する意見」を提出しました。序と5つの章からなっているこの「意見」は、科学技術会議が「昭和39年10月以来」検討をおこない成案を得たものであって、B5版のタイプ印刷で200頁に達しており、8月31日の日付で「41科技会、第80号」として出されております。

「意見」は、日本の科学技術あるいは学問と研究者の将来にきわめて重大な影響を与えるものでありますから、科学技術の研究者はもとより、学界で広く十分に時間もかけて討論されねばならないと思います。資料は、科学技術庁計画課（文部省と同じ建物の5階）で入手できます。

2

私は、ここで土壌物理研究会を発展させていくにはどうしたらよいかという問題について、考えの一端を述べようとしており、科学技術会議の「意見」についての論評をしようとしているものではありません。

しかし、「意見」の「序」の中には、わが国の科学技術に関する基本的な問題点ともいうべき点について、つぎのような部分があります。

「わが国の科学技術は、一般的には、先進諸外国に比しその歴史的蓄積において格差があり、その基盤が弱く、海外への依存からなお脱却しえないことからみられるように独創的な研究開発の面で問題があり、また科学と技術の調和ある発展において不十分な点があるなど解決すべき問題点が多い」という所です。

私は、この見解に全面的な賛同を与えることはできません。というよりも、基本的な問題点をこのようにとらえることにこそ問題を感じます。とくにこの見解が、日本の学問の将来に重大な影響を与える、科学技術政策の「基本方策」となり得ることを考え、ある意味では、不安をさえ覚えます。

たとえば、わが国の科学技術の「独創的な研究開発」や「海外への依存」の点を、土壌物理の分野からみても、学問の全分野からみても、「意見」のような見解は生れてこないと思います。

「明治100年」といわれますが、日本の資本主義がまだ十分に成熟していなかった時期に、「知識を広く世界に求め」ていた頃のことか、あるいは今日でも、日本の政治や経済がアメリカのそれに「依存」していることから来ている科学技術の歪みのことをいうのであれば、肯げないこともないのですが、少くとも今日の日本の科学技術の基本的性格や問題点を、このように見ることには賛成できません。

私は、このような「意見」が、わが国の科学技術の「基本方策」として採用されつつある事実を正しくうけとめながら、土壌物理の研究を正しく発展させていくにはどうしたらよいか、という問題を真剣に検討しなければならない時期が来ているように思います。日本の科学技術を正しく発展させる基本的な要因は、科学の内部にあって、科学技術の研究者の納得と理解、積極性にかかっており、政治的・政策的に科学の外側から強制することによっては、けっして成功するものではないからです。

3

土壌物理研究会は、1958年の春発足しました。もう9年目に入っております。今日では、会の基礎も次第にかたまってきております。これには、歴代の幹事の人達の並々ならぬ御苦労に負う所も大きいのですが、なによりも会員一人一人がこの会に関心をよせ守りつづけてきたからにほかなりません。そうでなければ、それぞれ違った学会に所属し、違った分野の研究を分担し、違った職場で働いている研究者が結集するわけではないと思います。ところで、会員のこの関心・情熱・積極性は、どこからどうして生れてきたのでしょうか？ それは、あの「意見」がいうように、「歴史的蓄積」が貧弱で「その基盤が弱い」から、それを是正しようとしたり、あるいはまた、「海外への依存」から「脱却」し、「独創的な研

* 農業技術研究所

究開発の面での問題」を解決しようとして、生れてきたのでしょうか？

土壌物理研究会の答えは、きわめて明らかであると思います。

それは、それぞれの会員は、所属学会や研究の分野を異にしていながらも、自分の分担している研究の要請から、程度の多少やその表われ方の違いはあっても、必然的に、ある意味では自然に、生れてきたのであり、その意味では歴史的必然性をもっているといえます。

日本の土壌の物理的性質の特長やその発生、発展の法則を明らかにし、その成果を利用して農業の生産を高め、われわれ皆の幸福に貢献しようとしている研究者の内部からの要求に根ざしています。もちろん、研究者自身の生活を守るための諸要求から直接生れている場合もありますが、それも研究の内部から生れていることに違いはありません。

そして、今後の研究の方向も、基本的にはこの積極面を正しくうけつぎ、意識的に発展させることであると考えます。

4

それぞれの土壌は人間の活動を含むそれぞれの生成条件のもとで発生し、発展してきたものであり、土壌の物理性もその中で発生し、発展してきたものでありますから、土壌の見方や研究の方法も、それに合わせた方法で

ないと成功しないでしょう。諸外国や日本の諸先輩の業績をうけついでいくことは大切なことであり、私達はこれまでもそのようにしてきましたが、それをさらに発展させるために、前に述べた立場と方法が大切であろうと思います。

文章にかいたり、口でいったりすると、当然のこととしてうけとめられるこのことが、実際の研究の場になると案外見過され、結果としては、過去の方法を固定的に繰返す場合が案じられます。

もう一つは、土壌物理研究会の特色を生かしていったらと思います。

この研究会は所属学会、研究分野、職場を異にしている会員で構成されておりますから、共通の課題での研究グループが作られるならば、会員相互の利益と研究の発展のために有利な条件を作り出すのではないかと考えます。

しかし、研究者の共同の仕事は、研究課題が一致することだけうまくゆくような単純なものではありません。これまでの共同研究が教えているように、よく討議をし、準備をしてとり組まねばなりません。何人かの会員が作ろうと思っただけで出来上るほど単純なものではありませんが、会員の希望があれば、それについての意見の交換を会誌や研究討論会の機会に作り出したり、小さな討論集会用意したりすることは、研究会の事務局でもお手伝いできると思います。

水田の土壌断面と稲の生育

菅野 一郎*

イネの生育がきわめて多くの因子によって左右されることはよく知られている事実である。たとえば、いさかか古いがFAOが世界各国へのアンケートによってまとめた資料¹⁾によるとつぎの点が指摘されている。

1) 収量は一般に熱帯におけるよりも暖温帯において高いが、暖温帯の気候条件だけが高収量をみちびくものではなく、高収量は良好な水利、多肥、輪作などと一緒になって招来されたものである。生育期間中21°C以上の中庸の温度、強烈な日射をもつ長日などが暖温帯の特徴でイネの生理作用に好適である。熱帯では気温とは無関係に、雲の多いモンスーン型天候よりも雲のない天候の方が高収量を与えている。モンスーン型天候では施肥によってイネの生育を助長するが、粒が犠牲となる。季節的条件もまた施肥にたいする品種の感応に影響を与える。

2) 水稻土の性質はかなりちがっているが、重粘な土壌がイネに適していることは確かである。水稻土のpHは4.5—8.7の範囲にあるが、アルカリ性よりもむしろ中性—酸性の方が高収量を与えている。土壌条件とは無関係に、水利の便のあるところに栽培が拡張されることが熱帯における低収量の一因となっているようである。

3) 時宜をえた給水が収量にたいしてもっとも大きな影響を与える。暖温帯では給水が十分うまくいっているのにひきかえ、熱帯の灌漑地域ではうまくいっていない。熱帯では天水田よりも灌漑田でつねに収量が高い。降水量と収量間には相関がない。事実最高収量は500—750mmの適度の降水地帯にみられる。もちろんそこは潜水設備のよいところである。したがって増収にとって給水の改善がもっとも大切である。

4) 土壌が乾いているときの深耕および移植の場合の代かきは雑草防除に役立つ。多くの熱帯諸国では除草にたいする関心が低い。

5) 多くの熱帯諸国では系統的な施肥体系がない。最近になってようやく施肥されてきた。熱帯での増収の最良の方法は有機質肥料と無機質窒素肥料との適当な組合せによる集約的施肥であろう。また若干のところではそれ以外にリン酸が必要である。

6) 品種改良もまた増収にとって大切である。暖温帯諸国では改良種の育種とその普及がすすんでいるが、熱

帯諸国では改良種があってもその増殖と配布がうまくいっていない。

7) 改良種をそれに適した水田に植え、施肥することが、最良の結果を与えることがみとめられているが、熱帯諸国ではこの点にたいする関心がまだうすい。日本はこの点すぐれている(以下省略)。

このようにイネの生育には多くの因子がお互いにかみあって影響を与えているので、たんに土壌断面の形態的諸性質とイネの生育とを直線的に結びつけて論ずることはきわめて観念的なまづいやり方である。しかしここでは日本とくに西南暖地の条件下において、いままで経験的に知られている事実を中心に土壌の形態的性質のあるものがイネの生育に直接・間接にどのように作用しているか、という点をのべてみたい。

1. 酸化還元状況とイネの生育

水稻土の酸化還元状況は土壌のいろいろな性質に反映しているが、とりわけ土壌の層位配列に明確にあらわれている。水稻土の層位を大別すればつぎのようになる²⁾。

耕土層 (A_{12pg}層, A_{pg}G層, G_p層)

スキ床層 (A_{12g}層, A_{12s}G層)

酸化的下層土 (B_g層, B_i, B_m, B_{im}層) これは鉄・Mnの斑紋、結塊をもつ。

酸化・還元的下層土 (B_g層) 酸化状態の指標の斑紋、結塊をふくむと同時に還元状態の指標であるグライ斑がかなりの部分を占める。

還元的下層土 (BG層) 還元状態が優位で斑紋・結塊がほとんどなくグライ斑が優位。

グライ層 (G層) 還元状態が全体に優位、往々地下水で飽和されている。

水稻土は上記の層位のどれかの組合せによる層位配列をしめす。たとえば湿田ではG_p—GあるいはA_pG—Gの如き配列を、半湿田ではA_pG—BG—GあるいはA_{pg}G—B_gG—G、乾田ではA_{pg}—A_{12g}—B_i—B_m—(G)などの配列をしめす。筆者は水稻土を大別してグライ水稻土とグライ性水稻土とに大別したが、現在ではこれらに風化殻の条件を加味したもの、たとえばアリット(鉄・アルミナ質)、シアリット、その他の形容詞をつけ、水稻土の生物気候条件(生成的地理的特徴)を考えた分類が必

* 九州農業試験場

要であると感じている。

さてイネは湛水下に生育するが、その根は酸素の供給のある場所でよく生育することがあきらかにされている。したがってグライ層やグライ斑に根が貫通し、生育することは稀である。一見上記のところに根が貫通しているようにみえても仔細にみれば根の周辺には酸化帯が生成されている。このことは湿田で酸素の供給が悪い場合にはイネの生育が、乾田で酸素の供給が良い場合にくらべ、よくないことをしめしている。

イネの生育にとって耕土層の構造が大きく影響し、グライ斑を内部にもつような土塊が耕土層や層に形成されている場合にはイネの生育に好結果を与えぬことは当然であろう。

2. Textural profile (土性層序) とイネの生育

Textural profile とは断面内の土性の分布状況をさす。この土性は透水性の問題と深くつながっている。西南日本のいわゆる秋落現象をしめす水稻土の多くは全層が砂質か、あるいは下層土が石レキ質または砂質の場合に多い。このような土壌では透水性がイネの生育にたいして過度となり、養分の溶脱がはげしい。火山灰地に水田をつくった場合にも漏水のはげしい水田ができ秋落現象をおこすことがみとめられる。この場合土性は比較的中粒質であるが、母材としての火山灰堆積物の多孔性が透水性を増大し、砂質の水田と同様に養分の溶脱を促進するわけである。一般にイネが細粒質土壌の場合に良好であるといわれる原因の一つは粗粒質土壌の場合にくらべ養分の溶脱がすくないためである。

このように土壌のいわゆる有効深度が浅い場合や透水性が過度の場合はあきらかにイネの生育を左右することがわかる。

3. 土壌母材とイネの生育

日本の水稻土は大部分沖積地に分布するが、一部は河岸段丘、洪積台地、山腹に分布する。これらは複雑な地質系統を反映し、きわめて多様な母材から構成されている。このような母材の差異は一言でいえば水稻土の粒度と粘土鉱物の種類に反映している。もう少しせんじつめていえば、粘土の量と質およびそれらの断面内の分布状

況が母材の特質をあらわすといってもよい。断面内の粘土の分布は前項でふれたゆえ、ここでは粘土の質の問題にふれてみたい。

一般的にいてモンモリロナイト質の粘土が全層に多い土壌(筑後・佐賀平野あるいは八郎潟など)はカオリン鉱物を主とする土壌(筑紫平野、花崗岩地帯、その他)やアロフエンを主体とする土壌(火山灰地帯)にくらべ、イネの生育が良好で高収量を与えることが知られている。このことはイネの根が養分を吸収する場合、養分の保持されている場所が2:1型鉱物の多い水田ではほかのものにくらべ多いことを意味している。つまり養分の吸収保持される対象物が多いこと、換言すれば土粒の表面積が大であることを物語っている。

しかしたんに粘土が良質で、しかも透水性がよく、酸素の供給が良いという条件は、粘土の量のみで規定されるのではなく、砂やシルトと粘土とのバランスのとれた割合が大切であることをしめしている。

4. む す び

首題のような複雑な問題についてはさらにくわしい綜説的記述が必要であり³⁾、たんに断面のある形態的性質との関連からのべるのではなく、化学的、微生物学的観点から総合的に検討する必要があることはいうまでもない。たとえば西南日本の水稻土中グライ性水稻土では塩基飽和度と置換性カチオンの量とイネ収量との間にはかなり深い関係があり、一般に塩基飽和度が70~80%で置換性Ca+Mgが15me/100gr以上の条件は高収量の一つの条件ともいえる。いづれ機会をみてより広い観点からの綜括的考察を試みるつもりである。

引用文献

- 1) Ramiah, K.(1954) Factors affecting rice production-A summary of replies to a questionnaire of the International Rice Commission. FAO Agricultural Development Paper No. 45, pp. 45.
- 2) Kanno, I.(1962) A new classification system of rice soils in Japan. Trans. Joint Mtg. Comm. IV and V, Int. Soc. Soil Sci., New Zealand, 1962, 617-624.
- 3) 十分なものとはいえないが、つぎの文献を参照されんことを付加したい。Grant, C. J.(1965) Soil characteristics associated with the wet cultivation of rice. Mineral nutrition of the rice plant, 15-28. Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland.

水稻の収量と土壌断面の二・三の性質との関連

松尾 憲 一*

1. はしがき

水田の土壌断面形態と水稻の生育、収量と相関は巨視的にみれば密接な関連があることは認められている。しかしながら一步ほり下げて水田の土壌断面形態のうちどの様な特徴がどの様な条件下にあれば水稻の生育相はどの様になるのか、その個々の特徴についての定量的な結論は未だ明確にされていないのが現状ではなかろうか。

水田の土壌断面形態の物理的諸性質のうち、直接水稻の生育相ひいてはその収量に影響を及ぼす因子としては次のごときものが考えられる。

- (1) 粒径組成および土性層序
- (2) 表土の厚さ
- (3) 有効土層の厚さ
- (4) 満水透水性……(排水の良否)
- (5) 構造および孔隙
- (6) グライ層の出現深度

土壌の粒径組成は土壌の理化学的性質を基本的に決定づける因子であり、土壌の生産性をある程度評価することも可能である。すなわち土壌の粒径組成は土壌の生産性に直接関連している物理的性質からみた場合は透水性(保水性)、通気性、粘着力、凝集力など農耕適性あるいは作物の生育適性を支配する性質に密接な関係を有し¹⁾、化学的性質からみた場合、保肥力、養分の天然供給量など土壌の肥沃度に関する諸性質に密接な関係を有するものである。また(2)以下の諸因子は個々に水稻根の根圏あるいは活力を左右する因子であり、水稻の生育は根圏土壌の性質によって左右される。したがって水稻根の生活環境条件の改善策としては施肥技術あるいは土壌改良資材の投入などの方法があるが、ここではこれら諸因子のうち佐賀県下で過去に調査された結果からとくに粒径組成、耕土の深さ、グライ層の出現深度と水稻の収量との関係について述べる。

2. 粒径組成と水稻の収量

前述の如く土壌の粒径組成は土壌のあらゆる生産力的性質の基礎をなすものであり、水田土壌においては透水性の良否、排水の良否、グライ化度の強弱、保肥力の大小など水稻根の活力を左右する因子と直接密接なつなが

りを有するものである。したがって粒径組成と水稻の生育、収量とを対比した場合には当然その間に関連のあることが想像される。

粒径組成と水稻の収量との関係については佐賀県農林部において昭和35年、昭和37年の2回にわたって行なった現地試験の結果をとりまとめた成績²⁾を第1表に示した。

いわゆる佐賀平坦地は有明海沿岸から背振山系までの間をその干陸化の歴史的過程から大きく三つの東西に長い帯状の地域に区分される。すなわち最も有明海沿岸に近い重粘土からなる海成沖積地帯(過去および現在の干

第1表 粒径組成と収量との関係

土壌類型	調査年次	10a当り収量 (kg)						
		499 以下	500 ~549	550 ~599	600 ~649	650 ~699	700 ~749	750 以上
粘土型	35年	6	19	29	24	5	0	1
	37年	1	8	13	8	4	2	1
	計	7	27	42	32	9	2	2
	比率%	5.8	22.3	34.7	26.4	7.4	1.6	1.6
壤土型	35年	30	22	8	6	1	1	0
	37年	4	14	4	6	1	0	0
	計	34	36	12	12	2	1	0
	比率%	35.0	37.1	12.4	12.4	2.1	1.0	0
砂土型	35年	13	12	7	3	0	0	0
	37年	7	6	6	6	0	0	0
	計	20	18	13	9	0	0	0
	比率%	33.3	30.0	21.7	15.0	0	0	0

(註) 佐賀県農林部、千葉寛「暖地水稻の安定多収技術確立に関する実証的研究」による。

拓地)とその北部(平坦地の中部)の埴壤土~壤土からなる河海成沖積地帯更に北部の背振山麓に帯状に分布する砂壤土~砂土の扇状沖積地帯である。海成沖積地帯の粘土はモンモリロナイト系の2:1型の粘土鉱物³⁾を主とし、中北部の河海成沖積地帯、扇状地帯はギブサイト、ハロイサイトなどの1:1型粘土鉱物が主体で、保肥力の面でも大きな差が認められる。

第1表の調査結果によれば粘土型では121試験地の中550kg/10aから650kg/10aの収量をあげた水田が61%と大半を占め、次いで500~550kg/10aのものが多い。逆に500kg/10a以下の収量を得た水田は5.8%と極めて少なく、粘土型では比較的安定して高収が得られている。又700kg/10a以上の高収もかなり期待されうる。

* 佐賀農業試験場

壤土型水田では粘土型の水田より収量の低いものが多くなり 550kg/10a 以下の水田が72%を占め、500kg/10a 以下が35%と増加する。逆に粘土型の水田で最も多かった 550~650kg/10a の水田も壤土型では全体の24%と急激に減少し、更にそれより多収を期待することは極めて困難となる。

砂土型の土壌では大体壤土型の傾向と同じであるが、650kg/10a 以上の収量を期待することは殆んど不可能である。

かように水田土壌の粒径組成と水稻の収量との間には細粒質の土壌において高く、粗粒質において低いという関係があることは明らかであるが、これは粒径組成の差異に起因する諸種の物理化学的性質の差異の総合された結果がこの収量の差異になって現われたものと考えべきであろう。

3. 耕土の深さと水稻収量との関係

耕土の機能としては植物養分を吸収保蓄し必要に応じてこれを植物に供給することであり、更に構造の面からは酸素を保有供給する能力も含まれる。

青峰⁴⁾は水稻根は主として耕土中に分布することから耕土の機能を重視し、耕土の機能はただその深さ一重量のみで表わすことは不適當で耕土量すなわち耕土の機能の容量で表わすべきであるとしている。すなわち多収穫田における調査結果から耕土の塩基置換容量はある一定値をもつことが必要であり、塩基置換容量の大きい場合は浅く、小さい場合は深く耕されていることを示した。又同じく青峰は暖地稲作についてのシンポジウム(1966.7.佐賀)において多収穫田に必要な耕土の総面積を $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2/\text{ha}$ と仮定すれば佐賀有明土壌では7.3cmの耕土で十分であると試算している。

しかしこれはあくまで試算であって近時耕耘機の普及によって8~10cm程度の耕耘が常態となり、地力の低下が問題となりつつある現状から考えれば、更に耕土を深め、耕土量を増加させることが必要と考えられる。とくに近年ホーヨク、コクマサリ、シラヌイなどの短稈穂数型の品種の普及によって多肥技術による増収が期待される現状では更に耕土を深くして保肥力を増加させることが望ましい。このことは佐賀平坦地で行なった深耕試

〔注〕

- (1) 粘土型 強粘土構造型、粘土構造マンガン型および粘土型の土壌を総称した。主に灰色、灰褐色土壌で泥炭、黒泥およびグライ土壌は含まれない。
- (2) 壤土型 各種土壌群のうち壤土型および壤土マンガン型を総称した。泥炭、黒泥、グライ土壌群は含まれない。
- (3) 砂土型 各種土壌群の砂土型、砂土盤層型土壌を総称した。泥炭、黒泥およびグライ土壌は含まれない。

験⁵⁾の結果によっても明らかであり、粘土型の土壌のうち比較的干陸年次の浅い水田を除いた外の土壌および壤土型、砂土型では深耕、多肥の効果が認められている。

第2表は佐賀県農林部で行なった現地試験圃²⁾について、耕土の深さと多収との関係を整理した結果を示したものであるが、この表によれば600kg/10a以上の多収を期待する場合には耕耘の深さと粒径組成との間には先へのべた青峰のそれとよく一致した結果が得られており、粘土型においては10~14cm耕が最も多く、壤土型においては14~16cm耕、砂土型では16cm以上の耕耘が最も多くなっていて、粒径組成が粗粒になればなる程耕土が深く耕されているのが現状である。

第2表 耕土の深さと多収との関係 (昭35.37)

耕土の深さcm	粘土型		壤土型		砂土型		計	
	試験地 の総数	600kg 以上の 試験地	試験地 の総数	600kg 以上の 試験地	試験地 の総数	600kg 以上の 試験地	試験地 の総数	600kg 以上の 試験地
10>	11	3	1	0	1	0	13	3
10~12	36	14	4	1	2	0	42	15
12~14	27	12	19	3	8	3	54	17
14~16	30	10	41	6	24	0	95	1
16~18	11	5	25	3	13	2	49	10
18~20	3	1	5	2	5	2	13	5
20<	3	0	2	0	7	2	12	2
計	121	45	97	15	60	9	278	69

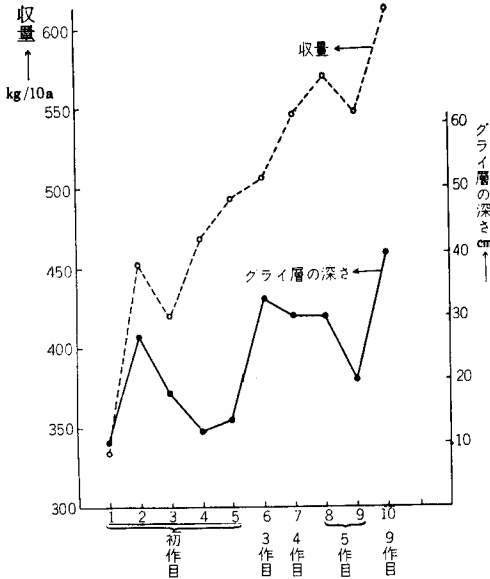
(注) 佐賀県農林部、千葉寛“暖地水稻の安定多収技術確立に関する実証的研究”による。

4. 有明干拓地における開田年次を異にした水田の土壌と水稻の収量

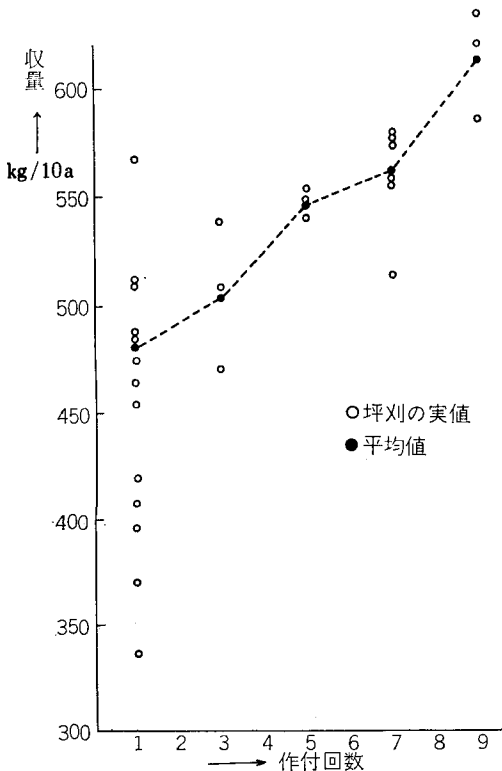
有明干拓地は地区全体がHC~SiCの極めて重粘な土壌からなり、粘土含量も殆んどが50%をこす。又干陸後の経過年次の新旧によってグライ層の出現深度も異なる。すなわちグライ層は干陸直後は作土直下より出現するが、年次の経過と共に作土直下にはBG層(マンガン沈積層と青灰色の部分とが波状に混在している層)が現われ始め、更に弾丸暗渠など排水工事の施行によって土層の分化はすすみ、作土下にはB層→BG層→グライ層の土層層序をもつ土壌となり、グライ層の出現深度も60cm前後にまで下るのが普通である。

第1図に有明干拓地における干陸後の経過とグライ層の出現深度および水稻収量との関係を示したが、これによれば作付回数が増加に従ってグライ層の出現深度も徐々に深くなり、それと同時に収量も急激に上昇し、第9作目に至れば600kg/10aをこし殆んど背後地との差が認められなくなるまでに収量は増加する。

このように有明干拓地で最も強く収量を支配している因子としてはグライ層の出現深度つまり排水の良否が考



第1図 グライ層の深さと収量 (有明干拓)



第2図 坪刈収量と水稻作付回数の関係 (有明干拓地)

えられる。この排水の良否は直接には土壌中への酸素の供給を良好ならしめ、塩分の洗脱を早める結果となり、高収と同時に収量の安定も得られることとなる。

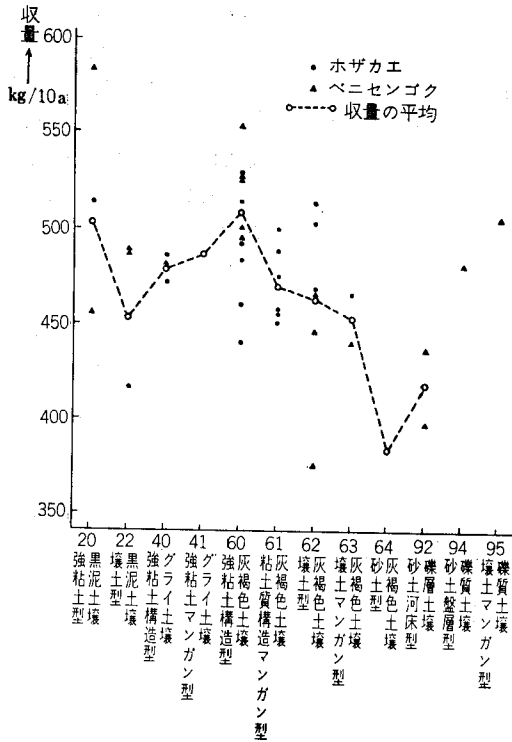
第2図には個々の坪刈収量の実値と作付回数との関係を示しているが、この図に示されるように初作目の水田においては同一圃場内においても坪刈個体に非常に大きな収量のフレが認められ極めて不安定な作柄となる。これの第一の原因は塩害による初期生育の不良あるいはその後の用水不足がもたらす地下水上昇のためにおこる塩害などのため極端に生育が異なり、それが収量にまで影響を及ぼしていることである。その外初作目はサンドポンプによる泥土の客入の際、注水口付近では多量の貝ガラなどが堆積して、土壌の物理的条件を悪化させるばかりでなく極端なアルカリ性を呈し水稻の生育を阻害するためである。しかしこれらの現象は作付回数が増えるに従って土壌とよく混和され解消されてゆく。その外土壌の化学性の面では直接収量を左右する程の変化は干陸後9年程度では認められないが、作付年次の経過に伴ってpHがアルカリ性から逐次弱酸性に変化すること、石灰、有効態磷酸の減少、あるいは作土における塩分の減少などがあげられる。いずれにしても干拓初期の水田において安定した水稻の収量をうるためには化学性の改良よりむしろ物理性改善、特に排水工事の施工によって土層の分化を促し、地下水位の低下を促さなければならない。

5. 土壌型と水稻の収量について

第3図は昭和28年より昭和37年の10年間に亘って行なわれた施肥改善調査事業⁶⁾による施肥標準試験のうちから施肥推定適量区 (10a 当り N: 7.5kg, P: 4.5kg, K: 5.6kg) の水稻収量を土壌型との関連においてとりまとめたものである。土壌型によっては試験地の数が少なく成績の検討には不十分な面もあるが、一応参考までに示した。

今までのべたように土壌断面形態の性質の中でも特に1, 2の性質をとりだしてそれと水稻収量との関係を求めると明らかに密接な相関が得られる場合が多いが、それが一つの土壌型として収量との相関を求めた場合、この図に示されるように同一土壌型の中でも収量の中が極めてひろく、まして土壌型相互の相関は認められないのが普通であろう。

とくに本県の場合は一般に不良土壌と考えられている黒泥土壌あるいは礫質土壌にも比較的高収量が得られているものもあり、どの種の土壌型が多収をあげるかは概念的には云えてもはっきりした結論はひきだせないのが実状ではなかろうか。このことから土地の水稻収量構



第3図 土壌型と水稻収量

成要素は極めて複雑に水稻生育に影響を及ぼしていることが考えられる。

しかし第3図の収量の平均値をみると同じ灰褐色土壌の中では明らかに強粘土構造型の収量が最も高く、壤土型、砂土型と粗粒になるに従って収量は漸減しており、明らかに粒径組成が同じ土壌型の中では重要な生産的役

割の中心をなしていることは明らかである。

6. おわりに

以上土壌断面形態の二、三の性質と水稻の収量との関係について県内の試験成績を基にしてのべたのであるが、土壌断面形態の特徴の中から個々の性質をとりだして水稻の収量との関係をみてみると極めて密接な関係のあることは認められる。然しそれがいづれも殆んど定性的な域をでていない処に問題が存する。例えば湛水透水性一つをとりあげてみても、それは土性、構造、組織、地下水位など諸種の因子の関連において決るべき性質であるが、これら因子がどの様に組合わさった場合に何cmの透水が得られるといった総合的な定量的な関係づけが現在の処殆んど不可能の状態であり、更にまた水田において透水(減水深)は何mmが水稻の生育に最適であるかということも概念的には認められていても水稻の生理と結びつけた面からの追及はなされていないのが現状ではなかろうか。今後土壌の物理量の測定法が進み、作物の生理面との関連において土壌の物理量が把握されうるようになれば作物生産にも一段の飛躍が期待されうるであろうし、土壌断面形態と水稻の生育との関連も更に明確となり、過去に行なわれた諸種の土壌調査も更に有益なものとなってくるであろう。

引用文献

- 1) 松尾 憲一(1964): 農技研報告 B14, 285.
- 2) 千葉 寛(1966): 佐賀県農林部専門技術員調査研究資料
- 3) 青峰 重範外(1954): 九大農芸学雑誌 14, 387.
- 4) 青峰 重範(1955): 農業技術 Vol. 10, 297.
- 5) 吉野 三男外(1965): 佐農試研究報告 No. 6, 25.
- 6) 佐賀農試土壌肥料研究室: 施肥改善事業調査研究報告書 No. 1~No. 5.

多収穫田の構造と用排水

金子 良*

多収穫田の基本的条件として気候、土壌、水利がもっとも重要であることは周知のとおりである。このうち気候条件は人為的に変えることは困難であり、わが国における水稲多収穫地帯の分布は、ある程度気候に左右される。土壌条件は米作日本一人達がとくに重視して改善に努力したところであり、多量の客土、堆肥の施用によって深く肥沃な耕土を作りあげた。しかしこれは数少ない篤農家のなし得ることであり、一般的に採用できる方法というわけにはいかない。

これらに対して排水改良による土層の改良と適切な水管理、十分な用水の供給は大面積の耕地へ適用できるものであり、これによって多収穫の基本的条件を整えることは今後の機械化営農にもかなうところである。

従来用排水の便利な水田は、あまり平坦地ではなく、1,500~1/1000 内外の傾斜をもったところで、壤土あるいは砂質壤土の地帯を主とした。このような水田は盆地の扇状地下位部、河川中流の砂礫質谷底平野から泥質谷底平野へ移行する部分、大河川流域では扇状地からデルタ地帯へ接続する部分などである。しかし土壌、地下水位が適当で用排水も整備されているという水田は、面積率で6~7%に過ぎない。

傾斜1/500程度より急な地域では用水を確保さえすれば排水改良は比較的容易で、水管理などやりやすく、多収穫のところも各地に分布する。このうち傾斜1/100程度以下ならば機械化に適した大区画の圃場整備をすることも可能である。もし1/100程度より急な地帯で多収穫に適した圃場整備をするとすると、整然とした大区画圃場は困難で、曲線状畦畔でもなるべく長い区画の水田にすることが、中小型機械を導入するためにも必要である。

以上どの場合も適正浸透の可能な水田であることが要求され、もし非火山性土壌の洪積台地で粘質土壌のため浸透過小ならば、簡易暗渠を密に入れるか、心土破碎が不可欠となる。土粒子が緊密に結合した水成洪積土層では、乾燥によるキ裂の発生はあまり期待できない。このようなところは安積盆地の水田がよい例であり、安積盆地の洪積台地はかつての湖成堆積土層が主要部を占め、現在の水田は減水深10mm余で浸透はゼロに近い。このため明治時代の安積疏水による開田が成功したのであ

る。しかし浸透過小による収量の伸びなやみが顕著で、他地域の増収と対比される。同様の例は粘質土壌の河岸段丘、海岸段丘地帯に分布し、水経済上からは恵まれた水田であるが、多収穫の点からは不満であって、将来用水源を増大して適正浸透に近づけることが要求される。

山間地帯の水田では地スベリ地帯に浸透過小田が分布するのは当然であり、ここでは用水源が苦しいのが通例であるから、この水田の浸透を増大させるわけにはいかない。むしろ水温が概して低いので浸透過小の害は少ない。もし用水が切れて水田にキ裂が入るときは、ますます重大な結果をきたし、キ裂から浸入した水が地スベリの原因となることも考えられる。

水温の低い山間地帯水田では浸透過多が減収の主因となっている。これを根本的に改良するには表土を除いて心土を床締してから表土を戻すことであり、これに伴って区画は等高線畔による長い形に修正することが望ましい。

砂礫質の扇状地や谷底平野などで漏水田を客土によって多収穫田にした例は多い。自然の河川濁水を利用する方法、黒部川のような流水客土、あるいは機械力による送泥客土は水を利用して大面積に改良する方法である。しかしこの場合の客土量は十分とはいえない。これに対して耕土が流亡してしまった砂礫質の災害跡地などでは、遠方から多量の土を搬入して災害復旧と大区画圃場の造成を兼ねたところがある。その際重機械が土を締固めかつこねまわして、しばしば浸透過小田を造成してしまうことに注意する必要がある。

火山灰土の洪積台地や火山山麓の開田地は従来漏水過多で困っていた。しかし岩手大学などで開発した破碎締固め方式の開田地では漏水過多の心配はない。水経済上もっとも好ましいことであり、地下水位の概して低いところで水温もあまり高くない地域では、平坦地より少ない水量が適正用水量といえよう。しかし大区画圃場を造成するため重機械があまりに田面を走行したところでは、浸透過小による害も出ている。

日本の代表的水田地帯は大河下流地域に分布する低湿地であって、全水田のほぼ25%に相当するものが排水不良で、収量の伸びなやみ状態にある。

このような平坦地水田は地力が高く、排水すれば土壌条件が水稲に適している。しかし単に地表排水をよくし

* 農業土木試験場

ただけでは不十分である。これをいかにして多収獲田に改良するかということは、日本の食糧問題にとっても重要なことである。

現在排水改良がなされたという水田は大面積に及ぶが、それは湛水被害がなくなり地表排水がほぼ円滑になったという程度である。その末端小排水路は水路の深さ30cm程度であり、排水支線、幹線も維持管理が不良で崩れたり草に蔽われたりしているところが多い。

まず現在の排水路の維持管理をよくすることで大きく収量に影響するであろう。

しかし田面下の地下水位を必要に応じて30~40cm以下に低下させるためには、小排水路水位を1m近く低下できることが要求される。このような状態で中干し、間断カンガイを可能にすることは、稲の根の活力を増進し登熟を良好にすることが知られている。

大排水機場あるいは排水幹線の水位を十分低下させれば、小排水路の水位も稲の根に好都合な状態にまで下げられるわけであるが、平坦地ではなかなかできないことである。排水機場あるいは排水幹線から数kmも遠方の末端小排水路水位を田面下1mに低下させる場合、この間に1~2mの水位差を必要とするなら、幹線排水路は5~6mも深いものになって潰地や維持管理上不経済となる。

随時他に拘束されないで排水路水位を調節するには小ブロックの排水組織の方がよい。この場合はあまり深い排水路を必要としない。しかしあまり小ブロックにすると、運転手の人件費が不経済になる上、性能のよいポンプを設置することができず、その維持管理も不十分となる。それでは適正なポンプのブロック規模はどの程度であるか、営農規模を農村の現状とトラクターなどを入れた将来とにまたがって考えた場合、ブロック面積は数10ha程度が適当であろう。

しかし数10haを同一条件の作付に統一することも現在のところ困難である。これを作期、品種などでいくつかのグループに分けることが普通である。各グループは同一の水管理を行なうものとし、その面積は道路（耕作道と連絡道）に囲まれた農区とする。100m×30mの新しい区画整理の場合は、小排水路の両側にならぶ連絡道路間の10枚として6haとなり、30間×10間の古い区画整理地区では1農区が2~3haになる。

従来の区画整理地区では連絡道路の間隔が広く、あるいは小排水路の水を受ける排水支線の配置がまばらで、連絡道の下を小排水路が通過しているものがかなりあるが、この場合は小排水路の途中でセキを設けてブロックの境とする。

各ブロックはその末端のセキによって水位が調節される。排水支線の水位は支配区域のブロックのうち最低水位のブロックから排水が可能のように下げておく。これより水位を高く保ちたいブロックはセキをしめる。

一般に用排水を分離した新しい区画整理では、排水路へセキをすることを制限する傾向が強い。これは一度セキをすると随時開閉しないで水位を高めたままにして、泥が推積しやすいことによる。

小排水路へセキを設けるのは、水稻の生育時期に浸透が多いと水温上昇を妨げ、肥料を流亡させて初期生育を害するからで、また排水路水位を上げることはシロガキ用水、直播田の初期用水を節約する効果も大きい。よって多収獲田は浸透の促進と抑制が随時可能であることが要求される。なお水管理と土壌、肥料、水稻生理の関係については試験データも次第に多くなってきた。しかしこれは小面積の試験区からのデータを主とし、ポンプ排水して周辺耕地より地下水を低下させた小ブロックを設けても、周辺からの地下水流入の影響などがあって不十分であった。今後はかなりの面積を対象とした現地実証試験が必要である。

排水路を深くしたセキを設けて、しかも泥の堆積をなくするには維持管理に従来以上の力を注ぐ必要がある、強力な指導と関係者の維持管理組織が望まれる。また水路の泥上げ、雑草防除、藻刈りなどに人力を省く工夫が有効となる。砂質地の排水路は浅くてよいが護岸を要する。

粘質土地帯では排水路の水位を低下させただけでは、その効果が田面一様に及ぶことは困難である。そのため暗渠排水が必要となるが従来の比較的傾斜をもった土地の暗渠排水とは異なった多くの問題がある。

谷地田や山地、丘陵に近いところ、扇状地末端など冷たい地下水の浸出するようなところが、従来の暗渠排水の主対象地区であった。ここでは吸水渠と集水渠が樹枝状あるいは肋骨状に配置され、暗渠はなるべく深く間隔は広くし、カンガイ期には水閘が閉じられ非カンガイ期だけ暗渠を活用した。非カンガイ期にはどこでも水路水位が低下するので暗渠からの排水が可能となるが、カンガイ期は排水路水位があまり低下しないので暗渠は実際上ないと同様であった。小排水路や排水支線は一般に浅く遠方の排水幹線へ暗渠の出口が数100mも延びる必要もあった。

ところが平坦な水田地帯では、この方式をそのまま適用することは不合理となる。暗渠は明渠よりも水が流れにくく、見えない地下に埋設されるので通水の安全を見込む必要がある。そのため吸水渠は1/500程度の勾配で

埋設され、長さ100mとすれば20cmの落差が必要となる。とくにカンガイ期も排水路水位を調節して暗渠を効かせるとなれば、排水路水位の制限から暗渠をあまり深く入れられないから、暗渠延長もせいぜい100~150m程度までとなる。このため複雑に分岐する暗渠組織は困難で、長くなるほど途中の不等沈下なども心配である。

したがって平坦地暗渠組織は短かくて単純な吸水渠平行型で、従来の集水渠にかえて小排水路にその役を兼ねさせる。暗渠に比して大きい開渠ははるかに地下水を搾る効果がある。吸水渠は直接小排水路へ開口するが水閘は原則として設けない。水閘のかわりに小排水路末端のセキを使用する。小排水路は深さを1.2m程度とし、暗渠は開口部1.0m、先端0.8m(区画長辺100mの場合)を標準とし、これより0.2m程度浅いものを限度とする。間隔は区画短辺を30mとした場合一区画2本を標準とするが、浅いときは10m間隔程度が望ましい。

粘質土に暗渠を入れた場合、地下水位の低下は暗渠直上付近だけであることをしばしば経験する。粘質土の透水係数は非常に小さく計算上はほとんど水が動かないことになる。しかしある程度遠方まで動いているのが普通であることは、キ裂が発生して暗渠と連絡したためである。

キ裂は非カンガイ期、中干し期などの乾燥により発生したもので、シロガキによりその上部はふさがりが乾くと再び現われる。非カンガイ期にあまり乾燥しない裏日本などではこのキ裂がなかなか生長しないので、粘質土地帯では田畑輪換とか中干しの強化、強い間断カンガイを行なうことが有効となる。

地表から次第に深く発達してくるキ裂と暗渠とを連絡させて、暗渠効果を早く出させるには暗渠を浅くした方がよい。しかしこの深さは重機械や深耕にも安全であるよう60cm以上が望ましい。もし田面下に泥炭層や粘質土層などがはさまっている場合には、これを暗渠と一体化させるため、この層のなかに暗渠を入れるとよい。

田面下の地下水位をなるべく一様にし、かつ暗渠の効果を早く現わすようにするとともに、大区画の田面が降雨後あるいは落水後早く乾いて機械の走行を容易にするには、簡易暗渠を深く密に配置するのが適当である。簡

易暗渠は間隔4~5mで深さは50~60cm程度であり、田面から発達するキ裂と一体になりやすい。ただその耐用年数が問題であるが、深さ50cmより深いとトラクターで潰れるおそれがあり、砂質、シルト質の多い土は崩れやすい。毎年あるいは隔年に場所をかえてトラクターでひかせて施工することは容易であり、営農の一環としてやるものと考えても経済的である。そのため粘質土地帯ではよく普及するようになった。

大区画圃場を造成したとき、あるいは低湿地に初めて暗渠を入れるときには、まず簡易暗渠を施行してから、ある程度土層の乾燥、キ裂が進んだとき完全暗渠を入れることが望ましい。

暗渠の効果を早く出すためにも、また機械の走行、用排水操作を円滑にするためにも、田面に浅い溝を配置することが有効である。これは従来も農家が落水後の乾燥を早めるために入れている小溝と同様。20m間隔ぐらいに短辺と平行方向および長辺の畦畔沿いの2本が掘られる。その際もし簡易溝掘り機があれば好都合である。シロカキを行なう場合は溝掘り時期がシロカキ後になり稲の植えられた状態で機械を動かさなければならない。直播田の場合は春の耕起整地後でよい。

排水支線、小排水路の水位が低いとき、あるいはこの状態で暗渠を開放していると浸透量は増大し、水管理上も田面から排水路へ落ちる水量が多くなるので、その用水源を確保しておく必要がある。なお中干し後田面に小キ裂を生じた後の用水量はとくに大となる。そのため生育後期にも排水路水位を一時的に上昇させる水管理が要求される。

増大した用水量に対して、いくらでも応じられるほど水源量は余裕がない。そこで排水路からのポンプ揚水による反復利用が必然となる。ただし排水幹線などの水位が高いときは自然取水でよい。用排水をポンプに頼る場合同一地域の循環カンガイと上部の排水を下位部の用水に利用する方式とがあり、地形、水利系統から適当な用排水組織が決められる。反復利用の用水は泥炭地とか塩分を含む干拓地を除いて水質的に問題はない。わが国の佐賀平野および中国の揚子江下流地帯のように揚水施設のある河川下流地域は水稻の収量が高い。

水稻乾田直播栽培における降下浸透

増 島 博*

水稻の乾田直播栽培においては、移植栽培にくらべて、一般に減水深が増大すると考えられている。水田用水量の増大は将来、水田基盤整備の進展に伴い、適正浸透量の維持、工業用水との競合など、種々の問題を提起する。水田用水量（減水深）は耕盤浸透、けいはん浸透葉水面蒸発よりなるが、直播栽培における用水量の増大は前者の影響の大きいことが認められており³⁾、降下浸透の増大はシロカキを行なわないこと、けいはん浸透の増大はあぜぬりを行なわないことによると考えられる。ここでは乾田直播栽培で耕法を異にした場合の水田の降下浸透の変化と土壌の構造との関係について論議を行なった。

1. 試験方法

試験の場所は福岡県筑後市の九州農業試験場ホ場で、土壌断面は A_{pg}/B_g/D_g/G 型で、その粒径組成は第1表に示した。地下水位は灌漑期間平均70cm、非灌漑期間平均250cmの乾田である。

第1表 粒径組成

層	深さ	レキ	粗砂	細砂	微砂	粘土	土性	有機物
	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)
Apg	1-15	1.91	8.0	28.9	38.0	25.1	LiC	4.35
Bg	15-24	0.22	3.4	11.4	43.2	44.0	LiC	3.24
Dg	24-45	0	2.7	9.8	42.4	44.3	LiC	2.59

試験区別は

1. 慣行移植田（小型耕耘機プラウ耕，耕深12cm，シロカキはかご車輪で2回）
2. ロータリ耕直播（小型耕耘機，耕深12cm）
3. 浅耕直播（大型ドリルシーダー付ロータリ，耕深3cm）
4. プラウ耕直播（16'ボトムプラウ，耕深18cm，耕盤破壊）

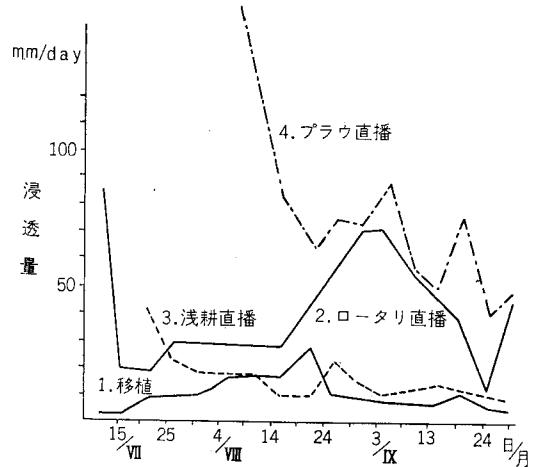
1区面積10a1連制で実施した。1区の移植区は6月20日，2区は7月13日，3，4区は7月16日灌水した。移植直播とも水稻「ホウヨク」を作付した。

減水深の測定は，大起理化学工業製迅速漏水測定器を用い，1区につき10個所測定し，平均値を求めた。測定は7月13日より9月28日まで5日毎に行なった。測定時間は9時～11時とした。9月中旬に各区の作土層と耕盤層から，高さ5cm，容積100ccの金属円筒で土壌を採取

し，実容積法で全孔ゲキ量を，土柱法で水柱40cmの負圧で排水される粗孔ゲキ量を，定水位法で透水係数を測定した。また1，2区については内径2cmの硬質塩化ビニール管を打ち込み，中の土を排除して，管中の水位を物さしではかって，作土層下端と耕盤層下端における水頭を測定した。

2. 結果と考察

灌水期間中の浸透量の変化は第1図に示した。各区の浸透水量は全期間を通じて移植田が少なく，直播田が多



第1図 浸透量の変化

い。とくに，盤層を破壊したプラウ耕区は灌水直後はかなりの浸透を示し，1000 mm/dayにも及び，以後漸減するが，収穫期近くになってもなお移植田の10倍近い浸透があった。ロータリ耕直播の場合にも灌水直後の浸透はかなり多く，その後も移植田の数倍から10倍程度の浸透があり，その変動ははなはだ不安定であった。浅耕区は灌水直後は移植田の数倍程度の浸透を示すが，その後急速に浸透を減じ，灌水後20日で移植田とほぼ同じ水準に落ち着いた。

灌水期間中の積算浸透水量は第2表に示した。移植田の7月13日以前の浸透は10 mm/dayと仮定して計算した。これによると移植田はもっとも灌水期間が長いにもかかわらず，積算浸透水量はもっとも少なく，直播の場合は浅耕がこれに近かった。しかし，直播でもロータリ耕を行なうと，積算浸透水量は約3倍になり，プラウ

* 農事試験場

第2表 積算浸透水量

区 別	積算浸透水量
1. 移 植	1194 (ton/10a)
2. ロ ー タ リ	3275
3. 浅 耕	1382
4. プ ラ ウ	20415

耕によって耕盤を破壊した場合はその水量は飛躍的に増大した。

同一区内の測定場所による浸透速度の変異はいちじるしく大きい。一例として8月16日と9月19日の測定値に対する標準偏差と変動係数を示せば第3表のとおりである。

第3表 各区の浸透量と区内の変動

区 別	8月16日			9月19日		
	平均浸透量 (mm/day)	標準偏差	変動係数 (%)	平均浸透量 (mm/day)	標準偏差	変動係数 (%)
1. 移 植	15.4	6.1	40.0	11.0	7.5	68.4
2. ロ ー タ リ	23.3	18.0	78.2	37.7	18.3	48.7
3. 浅 耕	11.7	3.7	31.5	13.5	2.6	19.0
4. プ ラ ウ	83.3	23.8	28.6	78.6	64.5	82.0

測定値の変異は浅耕区が比較的少なかった。湛水後の経過日数と変動の間には関係なく、8月16日と9月19日では浸透の低下した区は変動係数が増大し、浸透の増した区は変動係数が小さくなる傾向がある。このことは浸透の増加は地下水位の低下、湛水深の増大、水温の上昇による水の粘性の低下、根による吸水の増加など或る程度の広がりをもった要因の変化に基づき、浸透の減少は作業のための土壌のかくはん、圧密など局所的な変化によることが多いことを示唆する。

土壌中の浸透は Darcy 式により

$$q = k \cdot h / l$$

で表わされる。ここで q は単位断面積単位時間あたりの流量、 h/l は動水勾配、 k は透水係数である。9月中旬に各区について、漏水測定器によって q を測定し、その場所から試料をとって k の室内測定を行なった結果は第4表に示した。表中 q/k はこの測定値から計算した動

第4表 浸透と孔ゲキ

区 別	深さ (cm)	q k		q/k h/l		全孔ゲキ %	粗孔ゲキ
		(mm/day)					
1. 移 植	0-12	22	15	1.4	1.0	62	6
	12-18		62	0.4	0.3	60	4
2. ロ ー タ リ	0-12	51	440	0.1	0.2	64	16
	12-18		35	1.5	1.1	62	4
3. 浅 耕	0-12	44	657	0.1		60	15
	12-18		41	1.1		52	4
4. プ ラ ウ	0-12	967	10800	0.1		67	21
	12-18		12480	0.1		61	15

水勾配、 h/l は実際に水田にパイプを打ちこんで水頭差

を測定してえた動水勾配である。前記のように場所的変異のために両者の値は必ずしも一致はしないが、ほぼ同じ傾向を示している。すなわち、移植田では作土層での動水勾配が大きく、直播田では作土層中の動水勾配はごくわずかで、耕盤層での動水勾配が大きい。

松尾と佐藤は福岡県南部の乾田について、湛水期間中の層位別の透水係数は作土で小さく、下層で大きく、また、作土層内では上部に微細粒子が多く、下部に粗粒部分が集積していることを明らかにした。著者の測定結果でも、移植田では耕盤層より作土層の透水係数が小さく、シロカキを行なわない直播田では逆に作土層より耕盤層の方が透水係数が低かった。これは明らかに移植栽培のシロカキの影響によるものと考えられる。各層位の全孔ゲキ量は作土層ではいずれも60%台、下層でも浅耕区をのぞいて60%以上となっていて、全孔ゲキ量からは透水性の判定はできない。しかし、水柱40cmの張力で排水される粗孔ゲキ量は、作土層では移植田で少なく、下層ではプラウ耕区以外の区で少なく、この大きさの孔ゲキが浸透に関与していることがうかがわれた。

以上のことから、移植田では湛水した水は主として作土層で支えられ、直播田では耕盤層で支えられていることがわかる。また、移植田の作土層と、直播田の耕盤層とでは、移植田の作土層の方が透水性が低いから、浸透量は移植田の方が直播田より小さくなる。さらに、耕盤層を破壊した直播田では水を支える層がなく、浸透は極端に多くなった。

水田における降下浸透は、根圏における養分濃度、酸化還元状態、温度などを通して水稻の生育に影響を及ぼしており、適正浸透量も環境条件の変化によって変るものと考えられる。しかし適正浸透量を越す浸透は、水経済、施肥の有効利用、地力の保持などの面から極力おさえるべきであろう。直播栽培における過大な浸透を回避する手段としては浅耕があげられるが、耕盤を破壊した場合、あるいは基盤整備水田で締固め不十分な盛土個所での過大浸透に対しては土壌のかくはんによって粗孔ゲキをぶつし、水を支える層を作ることが考えられる。

3. ま と め

水稻乾田直播栽培においては、移植栽培にくらべ、一般に減水深が増大することが認められている。ここでは乾田直播栽培で耕耘法を異にした場合の水田の降下浸透の変化について報告した。

試験の場所は福岡県筑後市の水田で、作土下層土とも Light Clay の乾田である。試験区は①慣行移植田、②ロータリ耕直播(小型、耕深12cm)、③浅耕直播(大型ロー

タリ、耕深3 cm)、④プラウ耕直播 (16'ボトムプラウ、耕盤破壊)。降下浸透量の測定は迅速漏水測定器を用い1区あたり10カ所の平均を求めた。測定は灌水期間中5日毎に行なった。

各区の浸透量は全期間を通じて移植田が少なく、直播田が大きかった。とくに、盤を破ったプラウ耕区は著るしく浸透が多かった。ロータリ耕の場合も移植田の数倍の浸透があり、時期的変動ははなはだ不安定であった。浅耕区は灌水直後の浸透はかなり大きい、灌水後20日で移植田とはほぼ同じ水準に落着いた。土壌中の動水勾配

は、移植田では作土層で大きく、直播田では耕盤層で大きかった。このちがいは移植栽培におけるシロカキ作業による土壌孔ゲキの細化に基づくものである。

この研究の実施にあたり多くの便宜を与えられた九州農業試験場農業機械化研究室長井上喬二郎技官に感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) 松尾英俊・佐藤雄夫 (1959) 九州農試報, 5 259~276
- 2) ———— (1960) 日土肥誌, 31 259~299
- 3) 農業土木試験場土地改良部 (1965) 大型機械化に伴う水田土壌耕盤整備に関する総合研究39年度成績書 23~66

機械作業と水田土壌の物理性に関する研究 (第1報)

暗渠排水による土壌硬度と走行性の変化

国分欣一*・根本清一*・増島 博*

土壌の支持力は土壌水分と密接な関係があり、排水不良の湿田、半湿田では機械作業の可能性はいちじるしく制限を受ける。湿田は排水を行なうことによって乾田化がはかれるとともに、機械の走行性も向上する。ここでは黒泥土壌に属する半湿田での暗渠の有無が土壌の支持力を構成する物理的要因におよぼす影響を調べ、トラクターの作業能率との関係について考察した結果を報告する。

1. 試験方法

1) 供試圃場：埼玉県鴻巣市の黒泥土壌粘土型に属する半湿田であって、1枚が約50m×20mのとなり合った2枚のホ場で、その一方は昭和25年に渠間10m深さ60cmに、径9cmの土管暗渠を施工してあり、一方は未施行である。土壌断面の形態は両圃場ともほぼ同様で第1表に示した通りである。また、その粒径組成とコンシステンシーは第2,3表に示した。

第1表 供試土壌断面の概要

層位	深さ (cm)	土性	土色	斑紋結核
I	0-18	LiC	10YR3/1	鉄膜状
II	18-26	LiC	10YR2/1	鉄膜状
III	26-38	LiC	10YR1/1	鉄膜状少
IV	38-	HC	10YR2/1	なし

第2表 粒径組成と全炭素

層位	粗砂	細砂	微砂	粘土	全炭素 (%)
I	9.2	20.1	44.7	26.0	5.15
II	13.2	20.7	40.8	25.3	5.07
III	6.2	35.3	33.2	25.3	9.52

第3表 コンシステンシー

層位	無暗渠田			暗渠田		
	液性限界	塑性限界	塑性指数	液性限界	塑性限界	塑性指数
I	109	62	47	112	62	50
II	113	60	53	112	56	56
III	152	71	81	152	76	76

2) 測定項目と方法：収穫直後の10月13日より1月27日まで、30~50日おきに土壌水分、三相分布、SR II型土壌抵抗測定器による円錐貫入抵抗、く形板沈下量、せん断抵抗の測定を行なった。三相分布の測定は高さ5cm、

容積100ccの金属円筒を用いた。貫入抵抗測定に用いた円錐は頂角30°、底面積2cm²と6cm²の2種を用い、貫入速度は1cm/secとした。く形板は2.5cm×10cmのものを用いた。せん断抵抗はリング型ねじりせん断型で次式によってせん断抵抗を算出し、0.1~0.5kg/cm²の荷重について荷重-抵抗値の関係を求めた。

$$S = \frac{3T}{2\pi(r_1^3 - r_2^3)}$$

ここで、S：せん断抵抗 (kg/cm²)、T：トルク (mkg)、r₁：リング外径 (cm)、r₂：リング内径 (cm)。水分の表示にコンシステンシー指数も用いた。液性限界(w_l)、塑性限界(w_p)の測定は未風乾試料を用いる場合はJIS法に準じて行ない、次式によってコンシステンシー指数を求めた。

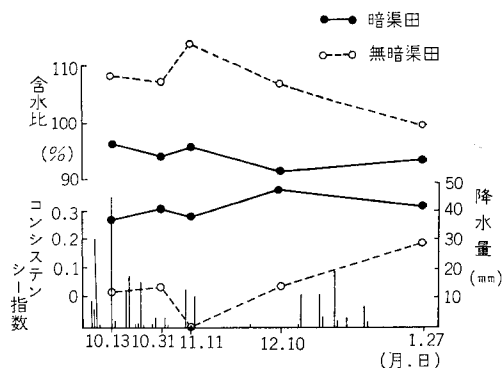
$$C.I. = \frac{w_l - w}{w_l - w_p}$$

ここで、C.I.：コンシステンシー指数、w：自然含水比

3) 耕耘試験：11月11、12日にトラクタによる耕耘試験を行ない、速度、耕深、耕巾、滑り率、タイヤ沈下量の測定を行なった。トラクタはファガソンF E35X (車輪型) とシバウラK20 (装軌型) を用い、車輪型でロータリ耕を、装軌型でプラウ耕 (14'2連) を両ホ場で行なった。

2. 結果と考察

収穫後の経時的な土壌水分の変化を第1図に、また三相分布の変化を第4表に示した。作土の土壌水分は日時



第1図 土壌水分の変化

* 農事試験場

第4表 土 壤 三 相 の 変 化

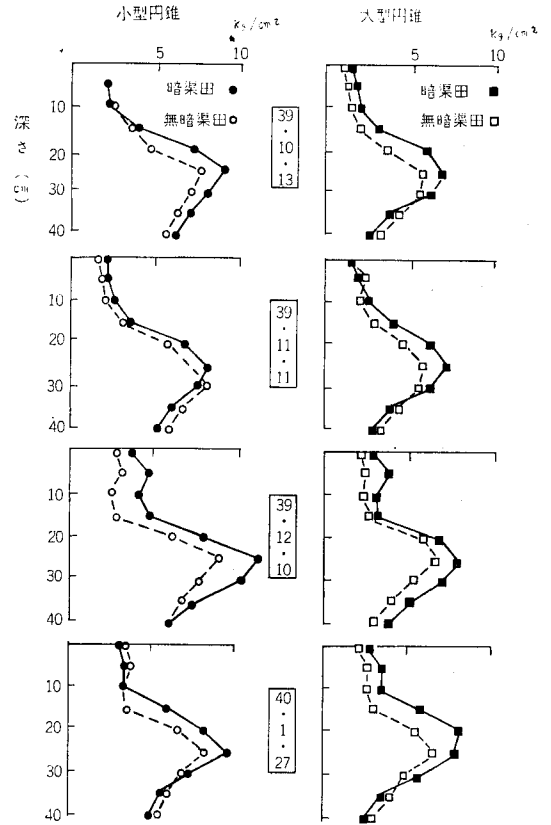
測定月日	暗渠	深 さ	気 相	液 相	固 相
		(cm)	(%)	(%)	(%)
10. 13	無	0-5	4.9	72.6	22.5
		5-10	7.8	69.2	23.0
		10-15	1.4	73.3	25.3
	有	0-5	1.9	72.9	25.2
		5-10	0.8	72.1	27.1
		10-15	1.6	69.8	28.6
11. 11	無	0-5	0.8	71.3	27.9
		5-10	1.1	68.8	30.1
		10-15	2.0	71.7	26.3
		15-20	0.7	67.9	31.4
		20-25	1.6	65.3	33.1
		25-30	5.5	65.2	30.1
	有	0-5	3.1	68.9	28.0
		5-10	1.4	68.7	29.9
		10-15	0.6	69.9	29.5
		15-20	1.8	68.6	29.6
		20-25	2.1	67.1	30.8
		25-30	7.9	60.0	32.1
1. 27	無	0-5	3.1	68.9	28.0
		5-10	2.8	70.0	27.2
		10-15	3.8	70.0	26.2
		15-20	2.4	68.6	29.0
		20-25	2.2	65.4	32.4
		25-30	4.7	65.5	29.8
	有	0-5	4.4	66.0	29.6
		5-10	3.3	63.2	33.5
		10-15	2.7	66.8	30.5
		15-20	2.5	64.3	33.2
		20-25	2.5	65.3	32.2
		25-30	2.2	66.8	31.0

と共に減少するが、無暗渠田にくらべ、暗渠田は常に低水分に推移した。このことは三相分布の変化にも同一の傾向としてあらわれているが、10月13日の調査では暗渠田の方が無暗渠よりも液相割合が高く、気相が小さくなっている。これは暗渠田の方が高い固相割合をもっているためと考えられる。両ホ場とも乾燥ともなると固相割合も増大するが、最も乾燥した1月27日には暗渠田の固相割合は無暗渠田のそれよりも明らかに高く、乾燥ともなう収縮を示した。

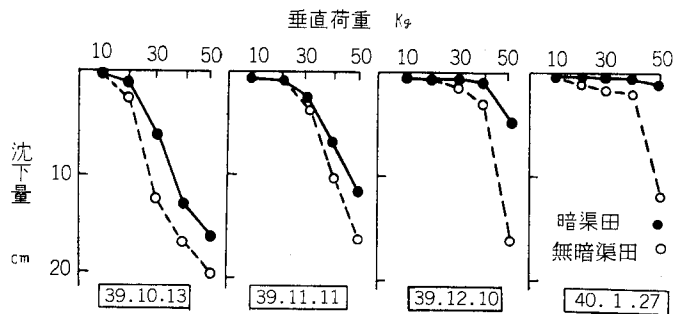
これらの変化は明らかに土壌の硬さに影響を及ぼしており、第2,3図に示したように日時と共に円錐貫入抵抗は大きく、く形板沈下量は小さくなった。暗渠田と無暗渠田では、暗渠田の方が貫入抵抗が大きく、沈下量は小さく推移した。

土壌水分が土壌の硬さに与える影響を表層(0~10cm)について、大型円錐の貫入抵抗とコンシステンシー指数、三相分布との関係についてみたのが第5表である。

この結果、無暗渠田と暗渠田の間では、測定時において円錐貫入抵抗、コンシステンシー指数、液相割合、固相割合のいずれも有意差があった。しかし両ホ場とも、貫入抵抗とコンシステンシー指数の間の相関は明瞭ではなかった。貫入抵抗と三相分布の液相割合との間には、無暗渠田、暗渠田とも負の相関があり、水分の減



第2図 貫入抵抗の変化



第3図 く形板沈下量の変化

少により土の硬さをますことを示した。また、貫入抵抗と固相割合の間には無暗渠田では明らかな関係は認められないが、暗渠田では正の相関が認められた。一方、液相割合と固相割合の間には両ホ場とも正の相関があり、水分の減少によって硬さをますということの中に固相の増加による部分を含んでいることを示している。このこ

第5表 土壌の円錐貫入抵抗と他の物理量

本場		無暗渠田	暗渠田	差の有憲性
平均値	貫入抵抗	1.87(0.44)	2.35(0.89)	**
	コンシステンシー指数	0.08(0.18)	0.37(0.13)	**
	液相割合	70.1(1.86)	67.3(3.45)	**
	固相割合	26.8(2.43)	29.7(2.56)	**
相関係数	貫入抵抗-コンシステンシー指数	0.258	0.387	
	貫入抵抗-液相	-0.470*	-0.573**	
	貫入抵抗-固相	0.333	0.552**	
	液相-固相	-0.561**	-0.565**	

(注) 平均値は 10月13日~1月27日の深さ 0~10cm についてえられた。各項目に対応のあるもの19測定の平均。()はその標準偏差。差と相関係数の有憲性は *は5%, **は1%の水準を示す。

とは、貫入抵抗とコンシステンシー指数の間の単純相関が有意にならない原因でもある。

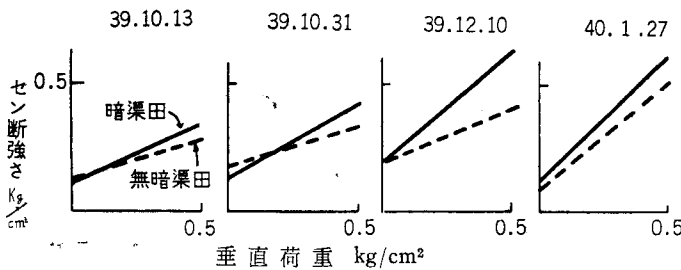
第5表のデータから貫入抵抗(Y)の液相割合(X₁)と固相割合(X₂)に対する回帰は次式で表わされる。

$$\text{無暗渠田では } Y = -0.249X_1 + 0.030X_2 + 0.82$$

$$\text{暗渠田では } Y = -0.100X_1 + 0.116X_2 + 0.96$$

これから、無暗渠田では、貫入抵抗の増大は主として水分の減少によってもたらされるのに反して、暗渠田では固相割合が貫入抵抗に及ぼす影響が重大であることを示している。無暗渠田の固相割合の水準では支持力を発現する骨格構造としてはまだ不十分であると考えられる。

せん断抵抗の時期的変化は第4図に示した。粘着力(c)には明らかな傾向はみられなかったが、せん断抵抗角(φ)の値は乾燥が進むほど増大した。



第4図 せん断抵抗の変化

トラクターによる耕耘試験は11月11日(無暗渠田)、12日(暗渠田)に行なわれたが、11月9日に12.5mmの降雨があり、かなり湿潤な状態であった。その結果は第6表に示した。

暗渠田では車輪型によるロータリ耕、装軌型によるプラウ耕ともに可能であったが、無暗渠田では装軌型によるプラウ耕は可能であったが、車輪型によるロータリ耕は、タイヤの沈下が大きいか又は車輪の滑りが大きく、

作業不能であった。

第6表 トラクターの作業性能 (11月11, 12日)

トラクター 作業機	暗渠	速度 (m/sec)	耕深 (cm)	車輪の滑り率		タイヤ 沈下量 (cm)
				左	右	
車輪型 ロータリ	無	—	作業不能 (cm) 13	—	(%) 28.2	(%) 29.9
	有	0.64 0.62	12 11	170 158	14.2 15.8	12.6 16.7
装軌型 プラウ	無	0.83	19	—	6.2	8.0
	有	0.83	21	50	1.3	2.7

土壌条件と作業性能の関係を考察すると、車輪の滑り率は明らかにせん断抵抗の大きい暗渠田の方が小さかった。タイヤ沈下量は暗渠田の方が少ないが、とくに車輪型でこの差が大きい。これは車輪型と装軌型の接地圧のちがいに基づくものである。この試験に用いた車輪型トラクターの車輪円錐指数は約 3.0kg/cm² であって、土壌の円錐貫入抵抗は暗渠田では10~15cmの深さで3kg/cm²をこえるのに反し、無暗渠田では15~20cmにならないと3kg/cm²の値を示さない²⁾。ロータリを下した場合に後輪接地圧が若干低下することを考慮に入れると、車輪型の場合、車輪円錐指数と貫入抵抗から推定される沈下量と実際の沈下量は比較的よい一致を示すといえる。装軌型の場合、使用トラクターの接地圧は0.31kg/cm²で、実際の沈下量は接地圧と円すい貫入抵抗、あるいは、く形板沈下量から推定されるよりかなり大きい。これは装軌型の接地圧が接地面積に均等にかかるものではなく、局部的に接地圧の大きい部分⁴⁾のできる⁴⁾ことが認められており、その影響と考えられる。

長崎は大型機械の走行不能現象を、①スリップする、②スリップしつつめりこむ、③めりこんでからスリップする、④めりこむの4型に分類し、それらが土壌硬度相との関連においては現われることをのべている。今回の場合、無暗渠田での車輪型の作業不能は④の型であり、暗渠田の場合は③に近い形で一応耕耘は行なわれた。長崎は③の型は耕盤が軟弱な場合、④の型はかなりの深さまでヘドロ状態の場合に見られるとのべている。無暗渠の場合、必ずしも全層ヘドロ状とはいえない。しかし、その時の土壌水分は液性限界以上であり、このような場合には間ゲキ構造の破壊により、間ゲキ水の自由化が行なわれて軟化現象がおこると考えられる⁵⁾。暗渠田の場合はコンシステンシー指数+0.3まで排水されており、三相分布の固相割合も無暗渠田より大きい。さらに11月11日の測定で暗渠田、無暗渠田ともに35cm前後の地下水位を示した

地点があり、その点における0~5 cmの気相割合は無暗渠田の0.8%に対して暗渠田は3.4%と大きい。このことは暗渠田の土壤水分は土粒子による拘束性が大きく、荷重によって構造が破壊された場合自由化する水の絶対量も少ないことを示す。その場合、 pF の低下も無暗渠田より少ないであろう。 pF の低下はそのまま軟化現象につながるから、土壤硬度の固相割合への回帰性の強い暗渠田は無暗渠田にくらべて、より広い低 pF 領域にわたって走行性が保たれると推論される。

3. ま と め

湿田は排水によって乾田化がはかられると共に、機械の走行能も向上する。この報告では黒泥土壌粘土型の半湿田での暗渠排水が土壤硬度の変化ならびに物理性に及ぼす影響を調べて走行能との関連を考察した。

落水後の時期的な経過にともなう土壤の乾燥は暗渠田は早く、無暗渠田は緩慢であり、円錐貫入抵抗は土壤水分の減少にしたがって増大し、暗渠田では固相容積の増大が硬度の増大に関与していることがみられた。トラクター車輪の沈下量は車輪円錐指数と貫入抵抗から推定さ

れる量とほぼ一致した。せん断抵抗も乾燥にともなって大きくなり、暗渠田が無暗渠田より大きく、トラクター車輪のすべり率もこの傾向に従った。このホ場での落水2カ月後における車輪型トラクターの耕耘作業は暗渠田では可能であり、無暗渠田では不可能であった。この時の土壤水分は無暗渠田が多く、コンシステンシー指数は-0.1であり、暗渠田では+0.3であった。また暗渠の施工は土壤固相を増大し、高水分におけるチクソトロピーを減少して走行性を改善することが示唆された。

この報告は「大型機械化にともなう水田土壤基盤整備の総合的研究」の一部として著者らの分担した部分を取りまとめたもので、多大の協力を受けた農事試験場作業技術第1研究室長遠藤俊三技官、同第2研究室長谷喜久治技官ならびに両研究室の諸氏に感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) JIS A 1205, 1206, 土質工学会 (1964) 土質試験法 76-81
- 2) 農事試験場作業技術第2研究室 (1966) 大型機械化に伴う水田土壤基盤整備の総合的研究成績書 53-68
- 3) 長崎 明 (1963) 土壤の物理性 (9) 30-37
- 4) 沢田健吉 (1965) 土と基礎 13 (8) 27-32
- 5) 須藤清次 (1965) 土壤の物理性 (13) 1-12
- 6) 安富六郎・竹中肇・須藤清次 (1965) 農土論集 (14) 49-53

水稻栽培の機械化における土壌物理学的諸問題

安田 与七郎*

まえがき

水稻栽培は、我国農業における最も重要な作業であり、これの機械化が目下大いに脚光をあびていることも事実である。最近の専門技術員の農機具部門における研究発表をみて半数以上は水稻の機械化直播栽培に関するものであり、いかに現地において水稻の機械化栽培の確立が緊急を要しているかがうかがわれる。学会における研究発表も水田におけるトラクタの問題が続々と出て来ている^{1,2)}。これらにおける共通の問題点は、元來如用として開発されて来た農業機械を水田において、水稻栽培をする際に起る問題点がそれで、例えば水田で、如用輸入トラクタにロータベータをつけて乾田状態にして耕耘し、ドリル(条播機)で稲をまいたら、非常に発芽率が悪かったという報告がある。これなどは明らかに耕耘における土壌の細粒化をおろそかにした結果であり、稲の種子の大きさに比し、ロータベータによって耕耘した土粒子が桁違いに大きくて、覆土した場合は、種子の上に3cm径位の土粒子がかぶさり、他は種子が露出するという結果である。一方ドリルを使用するために要する土壌の細粒化過程はブラウイング、ハローイング、均平、転圧の過程を要し、而も土壌水分は水田を乾田にしただけでは水分が多すぎてロータベータによる一回耕では充分細粒化し得ないのが普通である。水分の多い土壌で何回も土壌面をトラクタで作業上往復することは、走行可能性および土壌の圧密度の問題から好ましくないということがあり、我国水田では極力ロータベータを使用して往復回数を減少させようとするので、以上の如き結果をまねている。更に報告にあるように、我国でも結局は耕盤のある水田でなければトラクタの進入および作業は不能ということであり、中国でもそうである。筆者は耕盤のない場合の機械導入に対しては、土壌の軟化現象を伴う場合にも沈下せず、且つ液体に対する浮力を考慮した様な方式を考え、而も汎用トラクタの附属品としての車輪を試作した⁴⁾。近時土壌物理学におけるレオロジーの導入があるが、当然考えられるべきは土壌の変形における時間的考察である。即ち土壌が衝撃ないし、振動に対して起す挙動を動力学的に把握することである。機械は元來時間節約を目的とする事、即ち仕事をする速度が大なること

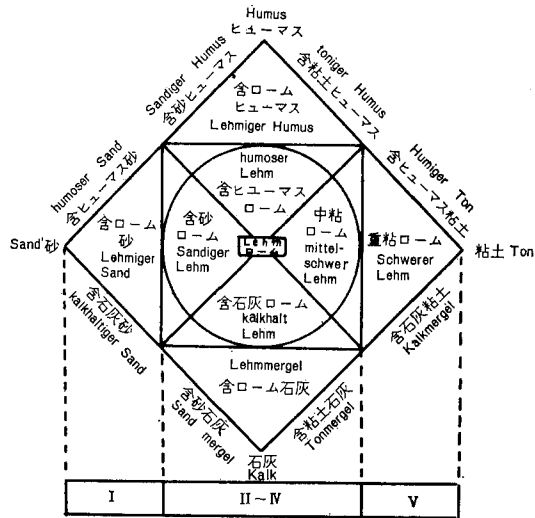
を目的とすることも重要である。機械が土壌に接触するとき、衝撃ないし、振動を土壌に与え、土壌はその反作用として、機械の進入可能性を左右する。土壌の耐震性を問題にした報告は振動締め機を始めとし、筆者も^{5,6)}2,3の報告で機械の起す振動中特にクロウラがローラチェンの伝達切断と同じ作用を有し、それが土に及ぼす状況を或程度解析した。

これらの事を考えると、水田に農業機械を導入させ作業させるには、土壌そのものの計測の再検討は勿論、土壌の分類方法も問題にする必要があると思われる。それで以上のべた事項の解説を行ない、今後の研究の問題点を種々のべ特に接地圧に代る面ばね常数(kg/cm, cm²)を提唱した。

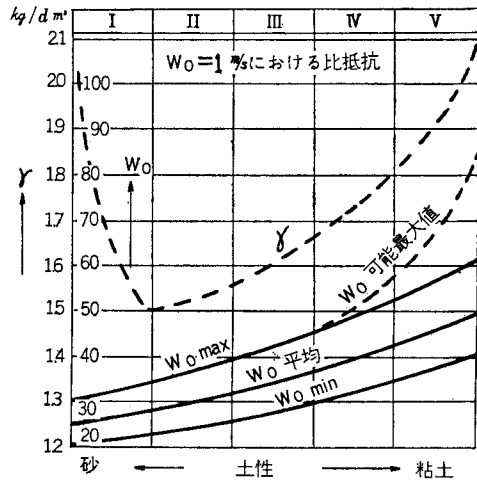
1. 土壌分類法

土に関する農業機械が土工機械と異なるのは、作物を生育するベッドを作る機械であることで、作業する土壌が、鋤物粒子と水および空気のみ集まりであっては不充分である。しかるに従来土壌の機械に対する抵抗、支持力を測定する際に基本となる土壌の分類は、粘土、シルト、砂等の鋤物体粒径による種類のものの組合わせによる粒度分析のみが基準とされ、それに水分、空隙が条件として加えられていた。所が土壌の剪断抵抗のみを考えても、土粒子間の粘着力、摩擦抵抗の合成される場合は、特に粘着力は、粒子表面に附着する水分に含有される化学的成分によって大いに左右され、それは同時に作物生育に関係ある肥料分にも影響する。即ち農業機械導入乃至作業をさせる土壌の物理的性質をあらわす土壌の分類は、従来砂、シルト、粘土を基盤とするもののみでは不充分で、更に作物生育に関係ある因子、即ち化学成分の関係を附加する必要がある。即ち従来⁹⁾の三角座標による土壌表示でなく、例えば第1a図のように砂、ヒューマス、石灰、ローム、粘土の主成分からなる5つの土壌グループを示したものは、ドイツの農業機械の土に関する作業機的设计用に用いられる土の分類ある。でこの図と、土の5グループの関係およびその密度 γ kg/dm³、摩擦角 α° 、内部摩擦係数 μ_1 、1m/sで作業機を引張ったときの比抵抗kg/dm²は第1表および第1b図に示されている。尚第1a図中円内の部分は作物生育上最良の土壌としており、いわゆる営農耕作の場合に到達すべき土壌を示し

* 東大農学部



第 1 a 図



第 1 b 図

第 1 表

グループ	土 性		土 壤 主 成 分	評 価*	密 度	摩 擦 角	内 部 摩 擦 係 数	比 抵 抗	
	呼 称	符 号			γ	α	μ_1	w_0 (速度 1m/s)	
					kg/dm ³	°		kg/dm ²	
I	leicht 軽 鬆 土	S	砂	Sand	20	1.40	30	0.577	20
		SI	含ヒューマス砂	humoser Sand	~	~	~	~	~
		IS	含ローム砂 含石灰砂	lehmgiger Sand kalkhaltiger Sand	30	2.20	40(~45)	0.84	30
II	leicht bis mittelschwer 軽 ~ 中 重 粘 土	IS	ヒューマス	Humus	20	1.50	35	0.70	25
		SL	含砂ヒューマス 含ロームヒューマス 含粘土ヒューマス	humoser Humus sandiger Humus lehmgiger Humus toniger Humus	~ ~ 60	~ ~ 1.60	~ ~ 45	~ ~ 1.00	~ ~ 35
		sL	石 灰 含砂石灰 含ローム石灰 含粘土石灰	Kalk Sandmergel Lehmmergel Tonmergel	25 ~ ~ 90	1.60 ~ ~ 1.75	40 ~ ~ 50	0.84 ~ ~ 1.20	30 ~ ~ 40(~45)
IV	mittell schwer 中 重 粘 土 bis schwer 重 粘 土	L	ロ ー ム 含砂ローム 含ヒューマスローム 含石灰中粘ローム	Lehm sandiger Lehm humoser Lehm kalkhalt. milder Lehm	30 ~ ~ 100	1.75 ~ ~ 1.90	45 ~ ~ 55	1.00 ~ ~ 1.43	35 ~ ~ 45(~60)
		LT	粘 土 含ヒューマス粘土 重粘ローム	Ton humoser Ton schwerer Lehm	20 ~ ~	1.85 ~ ~	55 ~ ~	1.43 ~ ~	45 ~ ~
		T	重粘ローム 含石灰粘土	schwerer Lehm kalkhalt. Ton	80	2.30	65	2.15	65(~80)

* 第 1 a 図円内を 100 とする。

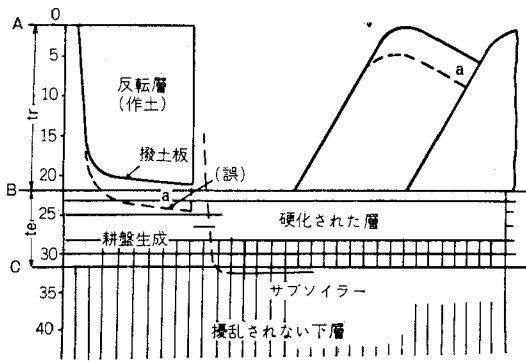
ている。ドイツの耐用農業機械において既にこの様な土性分類を行なっているのに対し、我国では未だに国際土性分類法の三角図表を用い、あとは極めて個人差の危険の多い判定法を行なっている。殊に水田土壤¹⁰⁾の形態分類は非常に詳細に亘っているが、これらについて第 1 表の如きものを作成することは、現在行なわれている農業機械設計に直ちに有用なものとならう。第 1 表の各数値のもつ設計の意義ならびに計測法については後述する。

2. 耕耘作業における問題

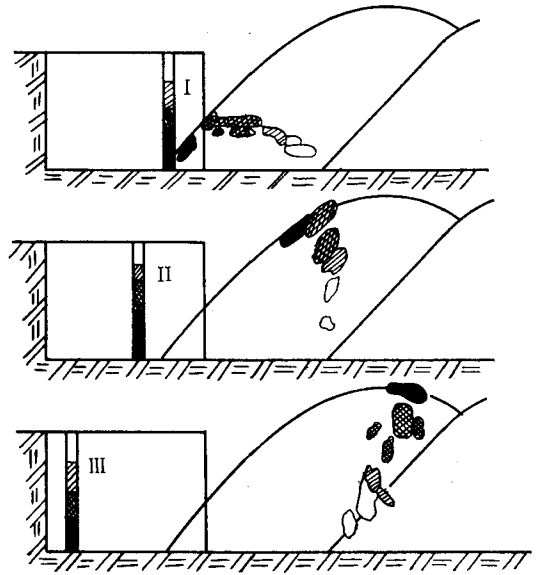
プラウによる作業は、模式的に後方からみると第 2 図¹¹⁾の如くであり、上部からみると第 3 図¹²⁾の如くなる。第 2 図 AB 間に作土があり実線の撥土板の位置では丁度作土層は右側に反転され、点線 a の撥土板の位置では B 以下の心土を耕起するので正しい耕耘ができないことを示している。BC 間は耕盤が出来硬化された層を示す。従ってサブソイラで数年に 1 回耕盤を起すのは C 以下にサ

ブソイラの撥土板が来なくてはならない。C以下は攪乱されない層である。第3図はプラウを固定し土が v_0 で動いていると考えた時の平面図でプラウにより土が横に移動するためプラウ上の速度は減少し、その際土は圧密され、進行方向に対して約45°の方向の剪断面に亀裂を生じ、それがプラウをすぎると、進行方向の速度が v_0 になるために亀裂面で土は間隔を拡げる。第4図は亀裂部の詳細を

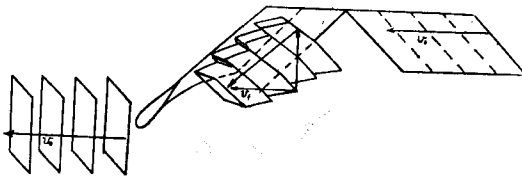
示す。即ち土は反転すると同時に進行方向に一度縮んで後再びのびる。その際土質あるいは水分により、亀裂が入った場合は間隔が開く。第5図および第6図はプラウによる土の移動状況を更に詳細にしらべたもので、第5図は第2図の如くプラウ進行の後ろよりみた図で、第6図は第3図の如く平面図である。両図のI、IIおよびIIIの



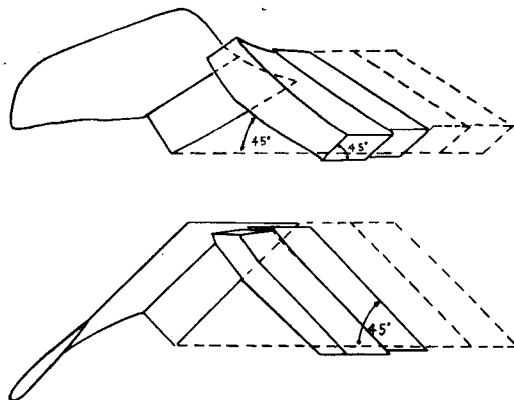
第 2 図



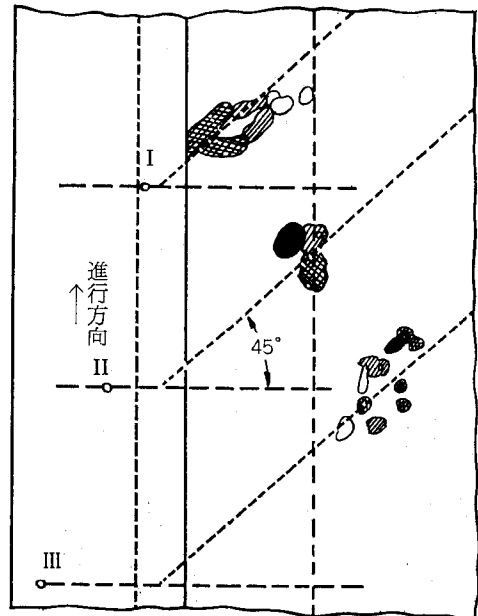
第 5 図



第 3 図



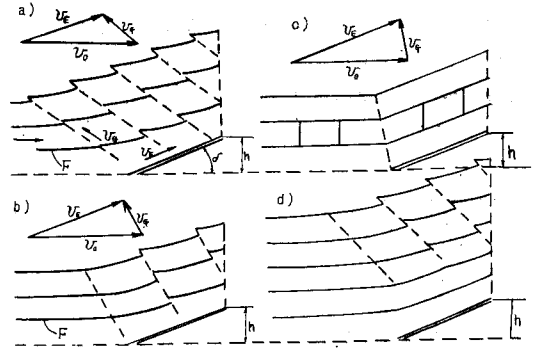
第 4 図



第 6 図

所にあらかじめ穴を掘り、その部分に色分けした土をつめこんで、耕耘後の移動をしらべた。その移動状況はI即ちプラウの既耕面側では上部が右前に移動して上下反転なく、II即ち中央部では上下反転して左右、前後の相対的移動なく、IIIのランドサイド側では上下反転して下部が右方および前方へ更に投てきされている。I、II、IIIとも進行方向に45°の傾きをなしている。したがって第7図¹⁵⁾の如く、元の断面Fに対し、進行方向に直角な断面で31%増、進行方向に45°の断面において83%も増している。即ちプラウ自身、反転のみならず破砕膨軟化作用を有している。プラウ耕に際しての土壤の三相(固相、液相、気相)の変化は第8図¹⁶⁾の如くであり、第2図のB-C間に耕盤の出来る状況が定量的に示されている。プラウ耕時、土の圧密により剪断面を生ずる状況は土

質、水分および圧密度により異なることをしめしたのが第9図¹⁷⁾で、土壤槽において、 δ だけ傾き、上辺の高さ h の板を動かして、亀裂の出来具合を示した。



第 9 図

図では板を固定し、土壤が移動するように書いてある。

- a) は緊密につめられた水分の多くない砂
- b) は細砂を含んだロームの水分が適当のもの
- c) は湿潤な、プラスチック変形可能な土
- d) は緊密につめられた水分の多くない砂の厚い層である。

剪断面の間隔の精度は±50%位である。図中Fは土中の面に色分けした部分である。 v_0 は傾斜面に対する土の速度、 v_E は土壤の傾斜面に沿っての相対速度、 v_G は剪断面にそつ土の相対速度である。即ち水田土壤のような場合はbあるいはcの如くなること分る。

3. プラウ耕における土の剪断の解析¹⁹⁾

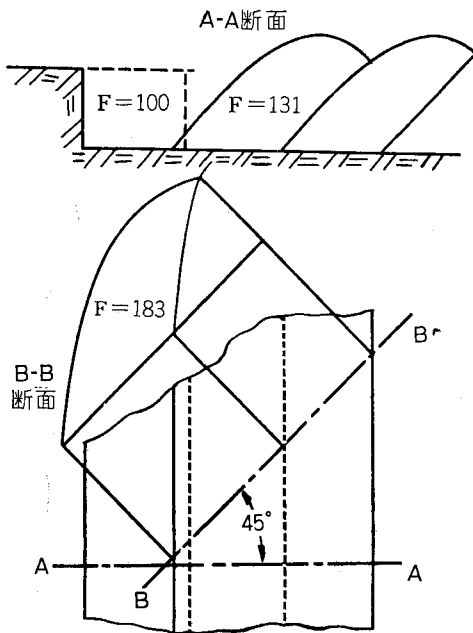
以上の観察の如く、プラウ耕における土塵の破砕は、剪断によることが解つた。即ち土の粘着力より剪断応力が大きくなったためであつて、純張力が働いたと考えるべきではない。尚この剪断応力は、直接の剪断歪あるいは捩れ歪からのみならず圧力歪もこれに関与している。即ちモール円における圧応力の異なる場合には必ず剪断応力が生ずるからである。剪断に際し剪断面を生じ、壔土が寸断されることになる。プラウは前述の如く土に対して進行速度を変えることにより、圧力歪→剪断→剪断面の造成→破砕されるのであつて、木谷の如く振動式によらなくともプラウを離れるときに破砕面による土の分離が行なわれる。

破砕時の剪断力 τ_B は粘着力の他に垂直力に比例する摩擦力を加えた値である。

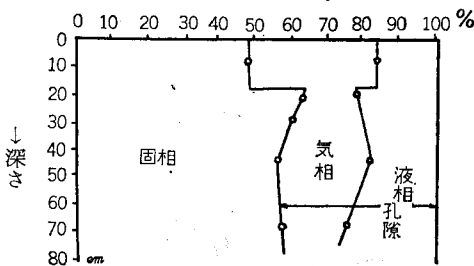
即ち

$$\tau_B = c + \mu \sigma_d \dots\dots\dots (1)$$

c : 粘着係数 kg/cm²



第 7 図



第 8 図

μ : 摩擦係数

σ_d : 剪断面における垂直応力 kg/cm^2

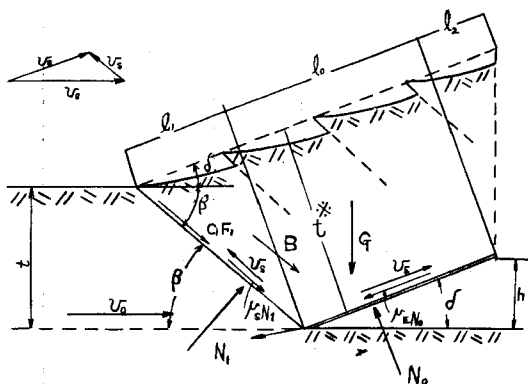
剪断面積 F に対し、剪断力 T_{\max} は

$$T_{\max} = cF + \mu\sigma_d F = cF + \mu N \dots\dots\dots (2)$$

N : 剪断面の垂直力

摩擦力に対抗する仕事は損失仕事である。

傾斜板の土壌槽における切断の場合は第10図において



第 10 図

G : 傾斜板をすべる土の重量

N_0 : 傾斜板が土 G に及ぼす垂直力

μ_E : 同上 N_0 による土と傾斜板の摩擦係数
(砂の場合=0.45)

F_1 : 剪断面積

N_1 : F_1 に働く垂直力

μ_s : 同上 N_1 による土同志の摩擦係数
(砂の場合=0.70)

c : 土の粘着係数

B : 剪断が F_1 にそっておきたときの加速抵抗

垂直方向の力の平衡により

$$G - N_0(\cos\delta - \mu_E \sin\delta) - N_1(\cos\beta - \mu_s \sin\beta) + (cF_1 + B)\sin\beta = 0 \dots\dots\dots (3)$$

水平方向は

$$N_0(\sin\delta + \mu_E \cos\delta) - N_1(\sin\beta + \mu_s \cos\beta) - (cF_1 + B)\cos\beta = 0 \dots\dots\dots (4)$$

傾斜板の水平切断抵抗は

$$W = N_0(\sin\delta + \mu_E \cos\delta) + k_b \dots\dots\dots (5)$$

茲に k_b は傾斜板ないしプラウの犁先が土を切りわけるに要する抵抗。根の張っている土塊とか石礫の入った土壌以外は k_b の値は小さい。以下は

$$W^* = W - k_b \dots\dots\dots (6)$$

即ち k_b を引いた値を計算する。

(5)より N_0 は

$$N_0 = \frac{W^*}{\sin\delta + \mu_E \cos\delta} \dots\dots\dots (7)$$

N_1 は(4)と(5)、(6)から

$$W^* - N_1(\sin\beta + \mu_s \cos\beta) - (cF_1 + B)\cos\beta = 0$$

$$N_1 = \frac{W^* - (cF_1 + B)\cos\beta}{\sin\beta + \mu_s \cos\beta} \dots\dots\dots (8)$$

(7)、(8)を(3)に代入して

$$G - W^* \frac{\cos\delta - \mu_E \sin\delta}{\sin\delta + \mu_E \cos\delta} - [(W^* - (cF_1 + B)\cos\beta) \times \frac{\cos\beta - \mu_s \sin\beta}{\sin\beta + \mu_s \cos\beta} + (cF_1 + B)\sin\beta] = 0 \dots\dots\dots (9)$$

$$\therefore W^* \left(\frac{\cos\beta - \mu_E \sin\beta}{\sin\beta + \mu_E \cos\beta} + \frac{\cos\beta - \mu_s \sin\beta}{\sin\beta + \mu_s \cos\beta} \right) = G + \frac{cF_1 + B}{\sin\beta + \mu_s \cos\beta} \dots\dots\dots (10)$$

$$\zeta = \frac{(1 - \mu_E \mu_s) \sin(\delta + \beta) + (\mu_E + \mu_s) \cos(\delta + \beta)}{(\sin\delta + \mu_E \cos\delta) (\sin\beta + \mu_s \cos\beta)} \dots\dots\dots (11)$$

とすると

$$W^* = \frac{G}{\zeta} + \frac{cF_1 + B}{\zeta(\sin\beta + \mu_s \cos\beta)} \dots\dots\dots (12)$$

傾斜板の巾を b とすると、土 G の重量は

$$G = \gamma b t^* \left(l_0 + \frac{l_1 + l_2}{2} \right)$$

$$t^* = t \frac{\sin(\delta + \beta)}{\sin\beta}$$

$$l_1 = t \frac{\cos(\delta + \beta)}{\sin\beta}$$

$$l_2 = t^* \tan\delta = t \frac{\sin(\delta + \beta) \tan\delta}{\sin\beta}$$

$$\therefore G = \gamma b t \frac{\sin(\delta + \beta)}{\sin\delta} \left[l_0 + t \frac{\cos(\delta + \beta) + \sin(\delta + \beta) \tan\delta}{2 \sin\beta} \right] \dots\dots\dots (13)$$

$$= \gamma b t \left[l_0 \frac{\sin(\delta + \beta)}{\sin\delta} + t \frac{\sin 2(\delta + \beta) + 2 \sin^2(\delta + \beta) \tan\delta}{4 \sin^2\beta} \right] \dots\dots\dots (14)$$

茲に γ : 土の密度

t : 壙の深さ

l_0 : 傾斜板の長さ

v_0 : 進行速度

傾斜板の面積 F_0 は

$$F_0 = b l_0 = \frac{b h}{\sin\delta} \dots\dots\dots (15)$$

土の剪断面積 F_1 は

$$F_1 = \frac{b t}{\sin\beta} \dots\dots\dots (16)$$

粘着係数 c は土質、圧密度、水分によって異なり剪断試験により求められる。

加速抵抗は、単位時間に傾斜面にある土の質量に加速度を掛けて求まる。この際加速仕事はこの周期的な過程を連続的なものとおきかえても本質的に変化はない。

平均加速抵抗は

$$B = m \frac{dv}{d\tau}$$

時間 τ の間に加速されるべき土の質量 m は

$$m = \frac{\gamma}{g} bt v_0 \tau$$

この質量は速度 v_s を得る。加速度は

$$\frac{dv}{d\tau} = \frac{v_s}{\tau}$$

故に $B = \frac{\gamma}{g} bt v_0 v_s$

再び第10図より

$$\begin{aligned} v_0 &= v_E \cos \delta + v_s \cos \beta \\ v_E \sin \delta &= v_s \sin \beta \\ v_s &= v_0 \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \end{aligned} \quad (17)$$

故に $B = \frac{\gamma}{g} bt v_0^2 \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)}$ (18)

剪断抵抗の分解

(12)により剪断抵抗は次の如く分解される。

1) 土を持ち上げるための分力 W_H および W_{RH} によりひき起される傾斜板上への摩擦および剪断面における土壤同志の摩擦 W_{RH}

2) 粘着力に対抗する分力 W_C および粘着力により起る摩擦 W_{RC}

3) 加速抵抗による分力 W_B および加速抵抗により起る摩擦 W_{RB}

1)に対しては

$$W_H = \frac{G}{\frac{\cos \delta}{\sin \delta} + \frac{\cos \beta}{\sin \beta}} = \frac{G}{\cot \delta + \cot \beta} \quad (19)$$

又 $W_H + W_{RH} = \frac{G}{\zeta}$ (20)

$$W_{RH} = \left(\frac{1}{\zeta} - \frac{1}{\cot \delta + \cot \beta} \right) \quad (21)$$

2)については

$$\begin{aligned} W_C &= \frac{cF_1}{\sin \beta \left(\frac{\cos \delta}{\sin \delta} + \frac{\cos \beta}{\sin \beta} \right)} \\ &= cF_1 \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \end{aligned} \quad (22)$$

$$W_{RC} = cF_1 \left(\frac{1}{(\sin \beta + \mu_s \cos \beta) \zeta} - \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \right) \quad (23)$$

3)については

$$W_B = B \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \quad (24)$$

$$W_{RB} = B \left(\frac{1}{(\sin \beta + \mu_s \cos \beta) \zeta} - \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \right) \quad (25)$$

耕深10cm(=t), $v_0 = 1 \text{ m/s}$, $\delta = 20^\circ$, $h = 5 \text{ cm}$, $b = 10 \text{ cm}$ あたり砂の場合は測定値とよく一致して $W^* = 6.8 \text{ kg}$ で

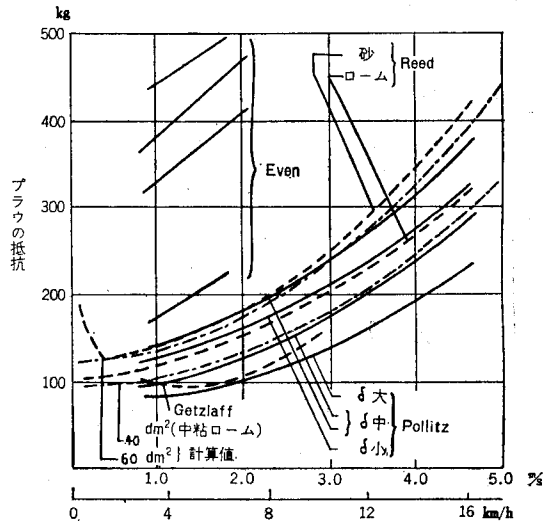
$$W_H = 16\% \quad W_{RH} = 38\%$$

$$W_B = 4\% \quad W_{RB} = 3\%$$

$$W_C = 20\% \quad W_{RC} = 10\%$$

と摩擦の大なることがわかる。

第11図にはプラウの牽引抵抗を色々な人が測定したものを横軸を牽引速度にしてあらわしたものである。一点



第 11 図

鎖線の曲線2本の中、下の1本は牽引方向への斜断断面40 dm²、上の1本は同じく60dm²とした場合の計算値である。上述の計算式の中 W_B および W_{RB} 即ち土の切断抵抗中の加速抵抗およびそれに引起される摩擦抵抗は、速度の自乗に比例し、加速抵抗に影響する成分は土性に関しては殆んどなく、特に粘性係数に関係なく、密度のみに関係する。これによって作られた2つの切断抵抗曲線が、殆んど全部の実測値をはさんでいることは、速度変化に対して、加速抵抗分の影響が非常に大であり、少なくともプラウの抵抗は速度に関し計算的に予測しようといえよう。

従って今後プラウ速度を上げるときに、牽引抵抗を少なくするためには、加速抵抗に関する部分を減少させるとよいということが云える。従って高速用プラウの撥土板の上縁と進行方向とのなす角を少なくしたり、砂質土用の δ の大きい(急峻型)プラウも、 δ を小さくすることが予測出来、実績も上っている。

第11図ではプラウの牽引抵抗についての、以前は傾斜板の切断抵抗で解析し、単位面積あたり即ち比抵抗の形で表現していた。プラウの場合の比抵抗を ω とすれば、それと牽引力 Z_0 の間には

$$Z_0 = \omega \times t_n \times b_n \quad (27)$$

t_n : 耕深

b_n : 耕巾

なる関係がある。而して Schilling²²⁾ は牽引速度 $v_r=1\text{m/s}$ の場合の比抵抗を ω_0 とした場合

$$\omega = \omega_0 \sqrt{v_r} \dots\dots\dots (28)$$

v_r は牽引速度で $v_r > 1$ のときの実験式としている。これでは第11図と合っていない。而も彼はその直前に、流動体の速度圧の如き考えて

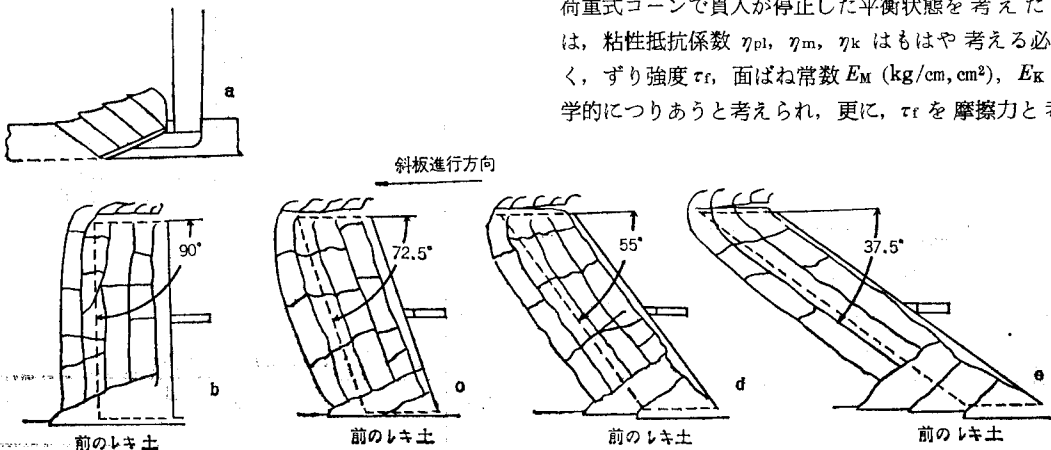
$$\omega = f \left(\frac{v_r^2}{2g} \cdot \gamma \right) \dots\dots\dots (29)$$

γ : 土の密度
 g : 重力加速度

の式をあげている。第11図および前述の解析からすれば、むしろこの式の方が穏当であろう。

上述の解析にしても、加速力の計算を連続的に行なったことは亀裂が出来て不連続を生ずる場合に対して問題があり、解析は振れを考慮していないが、プラウでは振れている点でも今後の改訂を要する。

プラウにおける亀裂の方向が、プラウの進行方向に約 45° であり、傾斜板牽引における亀裂の方向が進行方向に直角であることとの関連性については、第12図²³⁾の実験がある。即ち第12図 a, b は従来と同じであるが、傾斜板の進行方向左側には前の壠土が残って居り、即ち左側には土はあふれないようになっている。(以下同様)、この結果進行方向には直角の亀裂の他に進行方向と約 30° をなす亀裂が左から生じ、右へ行くにしたがい、進行方向に平行の亀裂が生じている。傾斜板の向きを c では 72.5° , d, 55° , e, 37.5° とかえると後の亀裂の角度は 45° へ近づき、始めの亀裂は傾斜板の線と平行になる。



第 12 図

プラウの犁先の切断部の進行方向となす角は 45° より小さいから、プラウの亀裂は第12図 e の如きものと似ているとすれば、プラウでも犁先に平行な亀裂がある筈で、これは既に Nicols²⁴⁾ が1934年に撮影している。Söhne は進行方向と 45° の亀裂を第1、犁先に平行のを第2亀裂とっている。

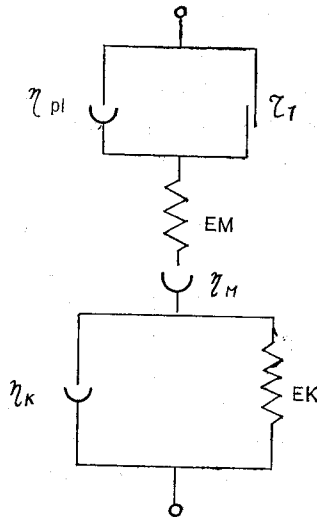
水田の場合は水分が多いので亀裂の間隔が長い、矢張り根本的にはこの現象はおこっている。

何れにしてもプラウで土壌が振られ乍ら圧密され、その際の剪断応力が粘着力に打ちかかって亀裂を生ずる以上、土がプラウ面を上るときの δ の変化に応じた圧密度、それに対する剪断応力の試験が必要である。

即ち亀裂も考慮に入れたプラウイングの解析に必要な土壌物理学的値は比抵抗の他に粘着係数、内部摩擦角が必要となり、三軸剪断試験が必要となる。然も現地用のものが、非攪乱試料で作られることが急務であろう。

4) トラクタのトラフイカビリティと牽引力発生機構
 トラクタのトラフイカビリティに関する計測ないし判定には大別して2つある。1つはコーンインデックスを基本とする Vicksburg 法なる車輛の通行可能性指数を求める方法で、他は Söhne や Bekker の平板式計測を基準とする方法である。前者はコーン penetrometer を使用するのであるが、この測定値の整理の仕方には、山中式のコーンを土中に押しこんだ場合の単位体積あたりの力 (kg/cm^3) というあらわし方と、貫入部単位断面あたりの力 (kg/cm^2) であらわす2方法があり、後者が圧倒的に多く用いられている。その理由は支持力と相関させるに単位面積あたりの方が考え易いからであろう。筆者は須藤、東山の論文²⁵⁾から、次の計算をやってみた。

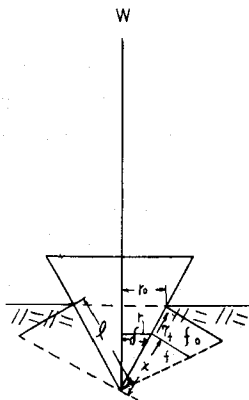
土壌のレオロジカルな模型を第13図²⁶⁾の如く考え、定荷重式コーンで貫入が停止した平衡状態を考えた場合は、粘性抵抗係数 η_{pl} , η_m , η_k はもはや考える必要なく、ずり強度 τ_r , 面ばね常数 E_M (kg/cm, cm^2), E_K で力学的につりあうと考えられ、更に、 τ_r を摩擦力と考え



第 13 図

E_M, E_K を 1 つの線型面ばね常数 K (kg/cm, cm²) とおきかえてみる。茲に面ばね常数とは単位面積あたり、単位偏位あたりの力といういみである。

第14図において、先端角 2δ のコーンに荷重 W をかけ、半径 r_0 の処で平衡した場合、従来のコーン指数は、面圧



第 14 図

式では

$$q_c = \frac{W}{\pi r_0^2} \dots \dots \dots (30)$$

であった。今コーンにより土が横方向のみに排除されたと仮定すると、コーン先端部の土圧は0で、半径 r_0 の所の土圧 f_0 まで直線的に変化する。先端からコーン母線に沿って測った α の所の土圧を f とすれば、次式をうる。

$$\int_0^l 2\pi r f \sin \delta dx + \int_0^l 2\pi r \mu_E f c \cos \delta dx = W \dots \dots \dots (31)$$

茲に l は r_0 迄の母線長さで、 μ_E は土とコーンとの摩擦係数である。

しかるに

$$f = f_0 \frac{x}{l} = Kr = Kr_0 \frac{x}{l} = Kx \sin \delta \dots \dots \dots (32)$$

ここに K は縮み量 $r = r_0 \frac{x}{l}$ に対し面に直角に単位面積あたり出てくる抵抗で上に言う面ばね常数 (kg/cm, cm²) である。 f が r の方向と δ だけ傾くことに関しては大いに問題がある。したがって K は δ により変る可能性がある。

$$\int_0^l 2\pi K x^2 \sin^3 \delta dx + \int_0^l 2\pi \mu_E K x^2 \sin^2 \delta \cos \delta dx = W \dots \dots \dots (32)$$

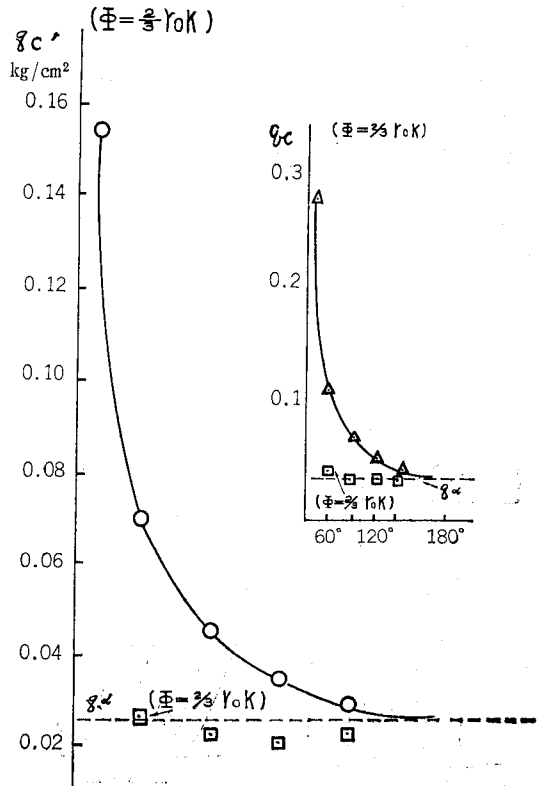
$$\therefore \frac{2}{3} \pi K l^3 \sin^3 \delta + \frac{2}{3} \mu_E \pi K l^3 \sin^2 \delta \cos \delta = W$$

$$\therefore \frac{2}{3} \pi K r_0^3 + \frac{2}{3} \mu_E \pi K r_0^3 \cot \delta = W$$

$$\frac{2}{3} r_0 K \pi r_0^2 (1 + \mu_E \cot \delta) = W$$

$$\therefore \phi = \frac{2}{3} r_0 K = \frac{W}{\pi r_0^2} \frac{1}{1 + \mu_E \cot \delta}$$

$$\therefore \phi = \frac{2}{3} r_0 K = q_c \frac{1}{1 + \mu_E \cot \delta} \dots \dots \dots (33)$$



第 15 図

即ち $\phi =$ 綜合面ばね常数 $\times \frac{2}{3} r_0$ は従来のコーン指数に (33) の如き補正をすれば得られる。須藤、東山は δ により qc が大巾に変わる第15図を示したが、 $\mu_E = 0.45$ とすると、 ϕ の値は図のように直線に近くなった。これは $\cot \delta = 0$ 即ち $\delta = 90^\circ$ 即ち、円板のことを考えると、(33)式より

$$\frac{2}{3} r_0 K = \frac{W}{\pi r_0^2} \quad \therefore K = \frac{W}{\frac{3}{2} \pi r_0^3}$$

となり、半径 r_0 の円板の面ばね常数は荷重を円板下の土の半球の体積で割ったものになる。計測的にはばねの歪と、先端の円板面積で、ばねの円板下に出来る歪力を割ったものである。

円板下に出来るクルジュモフ核は三角錐であるので、以上の考え方は単純すぎるのがわかるし、(33)式で K や μ_E が δ により違うことも問題であるが、地盤の支持力としての接地圧は押された面が(沈下)歪を起して始めて抵抗力を発生するという考え方に立つならば、面ばね常数の考えで円板測定は妥当であろう。但し、ズリ強度等面積に関係ある因子が入ってくるために ϕ の如く kg/cm^2 のディメンションのものが一定値を示すのかも知れない。等圧面等の精密な解析が必要であろう。

Vicksburg 法やその流れをくむ柄付コーンによるコーン全体貫入の場合、柄にばねをつけて沈下量対ばね歪荷重を現わした場合は、更に問題がある。特に沈下量とばね荷重を自記させ、徐々に沈下量を増す場合は、動的抵抗を示し、土の模型の内の粘性抵抗がきいてくる。極端に遅くするか、2つの異なった速度で貫入して、速度の影響を算出すべきであろう。更に柄の摩擦と、土の深さによる土圧の増加を分離しなければならない。

牽引力発生機構も、従来は偏位型スリップ⁽²⁸⁾対牽引力を主としていたが、これは相対変位による剪断力より来るものである。しかし、土の模型に粘性抵抗係数のある以上、上述のペネトロメータの沈下速度の問題と同じく、速度により抵抗が生ずる筈で、筆者は前に現象の説明としてスリップ⁽²⁹⁾に速度型を用いたが、粘性抵抗係数による抵抗も牽引力に役立つ場合は軟弱地では考えられるので、速度型スリップ対牽引力ということは物理的意味を有して来た。今後その定量化を行なうつもりである。この考え方で泥⁽⁴⁾上車は作られたのであるが、極端に粘性のみの場合即ち液体即ち水の場合は簡単で、浮力のついた車輪と、その先につけた水かきで、水をかく速度により、推進力を得た。しかしヘドロの如く、一見固体のようにみえて、軟化現象をおこすものは、水をかいた処に泥がつまり、車軸迄沈んで、非常に遅く(時速20m位)

なる。沈下防止板をつけ、更に泥かきをつけて漸く直進し得た。

現在の処、耕盤のない水田では、上記の方法が浮力をもつクローラにラグの長いものをつけたものしか出来ないが、水田の場合は耕盤があつたり無かつたりむらの処とか、表面乾燥して、下が軟いときには沈下防止板がさわると摩擦抵抗が非常に大きくなったり、更にあまり大きなものは入れない筈で、目下の処耕盤の出来ている処のみにトラクタ進入しようということの方が無難である。唯陸曳耕法ならば表面のみ硬くてもプラウイング可能である。

中国でも18cm以上の厚さの耕盤のある処ではゴムタイヤのラグを12~3cmにして35PSのドラフトコントロールのついたトラクタが出来ている。このトラクタは何回も圃場に入らぬようにハローイングもディスクと、ロータリーとスパイク籠型と3種類を一度にひき、そのあとに均平板もつけて、いわゆる Minimum tillage を行なっている。

5) 結 論

現在の処、水田では耕盤のある処を対象として機械化がすすみ、後の作業機との関連もあって、水田用ロータベータの細粒のもの開発が、プラウハロー引で Minimum tillage 的に多くの作業機を同時に装置して、多数回水田に入らぬような方法で作業することが主となっている。一方耕盤のない処でも進入出来る作業方法、足廻りの開発、トラフィカビリティや牽引力発生機構の理論的、実験的研究が各人より行なわれている。

以上極めて精粗不同に現状をのべたが、常に自然の動物、人間が水→泥→陸と上って来たり、水田で作業するときの機構をよく観察し、能率を調べ、理論化しつつ、機械と比較して開発研究の参考にすることは、最も大切なことの1つであると思う。

その際、土壌の物理性を現わすばね常数に対し、単位面積あたり、単位歪あたりの力、即ち面ばね常数を提唱した。

引用文献

- 1) 田中：軟弱地でのトラクタ通行可否判断に対する基準の確立 農機誌 25/4
- 2) 田中他：水田におけるトラクタ性能判定に関する研究 1~8 農機誌 25/4, 26/3, 27/3, 27/4, 28/1
- 3) 渋谷：機械利用を中心とした水稲集団乾田直播の成績と問題点 千葉県
- 4) 安田：泥上車の研究 農士誌 1965 33/8, 38~41
- 5) Erlénbach: Ein steuerfähiger, selbstbeweglicher Schwingungsverdichter, DIE B autechnik Heft 11. 1953 1~3
- 6) Lorenz: GRUNDBAU DYNAMIK 1960.

- 7) 安田：理論トラクタ工学 1963. 152, 182, 196頁
- 8) 安田：重機械導入による軟弱地盤の振動による沈下と足廻りの関係の検討 農土研 1963 31/3 22~25
- 9) Schilling：Landmaschinen 2. Band 1953. S. 11 Bild 6/II
- 10) 農林省振興局研究部監修：新撰土壌肥料全編 99頁~112頁 1966
- 11) Schilling Landmaschinen 2. Bd. 1963 S. 5 Bild 1/II
- 12) Söhne：Grundlagen für eine Landtechnische Bodenmechanik. Grdln. d. Landtechnik Heft 7/1956 S. 20 Bild 25
- 13) 同前 S.19 Bild 21
- 14) " S.19 Bild 22
- 15) " S.20 Bild 23
- 16) Söhne：Das mechanische Verhalten des Ackerbodens bei Belastungen, unter rollenden Rüdern sowie bei der Bodenbearbeitung Grdln. d. Landtechnik Heft 1/1951 S. 87 Bild 1.
- 17) 12)と同じ, S.13 Bild 1~4
- 18) 木谷：各種耕耘装置比較のための基礎的研究 (第9報) 農機誌 27/3, 1965 162
- 19) 12)と同じ, S.13~27
- Söhne：Grundlagen für Landtechnische Bodenmechanik Grdln. d. Landtechnik Heft 7/1956 S. 21, Bild 26
- 20) 12)と同じ, S.21 Bild 26
- 21) Söhne：Pflugkörperformen bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit Grdln. d. Landtechnik Heft 11/1959, S. 22~39
- 22) Schilling：Landmaschinen 2. B S. 13
- 23) 12)と同じ S.17. Bild 15
- 24) 12)と同じ S.20, Bild 24
- 25) 須藤，東山コーン支持力の意義：昭和40年度八郎浦中央干拓地における耕地条件整備計画に関する報告書 154~162
- 26) 同上：155頁図 IV-15
- 27) 同上：P.157
- 28) Söhne：Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden, Grdln. d. Landtechn. Heft 3/1952 S. 86 Bild 28.
- 29) 土井，安田：ホイルトラクタにおけるすべりと振動現象：農機誌 27巻2号 1965 P. 74

かん水速度と砂層の容水量に関する実験

小倉祐幸*・久米英夫*

1. はしがき

畑にかん水された水には、地表から約30 cmまでの根圏に保持され作物に吸収される有効水と、さらに浸入して地下水に合流する重力水がある。水の経済的利用とは、根圏に保持される有効水の比率を最大にすることである。

畑地かんがいの方法は、スプリンクラーによる空中からのかんがいと、地表に配管をして行なう畦上かんがいで、あるいは畦間かんがいの2つに大きく分けられる。前者は、水滴の立体的分布や風によるロスなどが大きな問題となり、後者では、末端までの分布の均一性や耕耘作業との関係、あるいはかん水の地下への不均一浸透などの問題がある。とくに、比較的粒子が粗く粒径のそろった砂層で畦間かんがいを行なうような場合には、横方向への水の浸潤は非常に悪く、作物の根に十分に給水が行なわれ難いといわれている。

このような不均等浸透の問題については、従来ほとんど研究がなされていないように思われる。したがって、われわれはこの現象を明らかにし、砂地におけるかん水方法の指針をうるために室内実験を行なった。すなわち、砂柱の上部からかん水をした場合に、かん水前の含水量や、かん水速度、かん水量などによって、かん水後の水分分布がどのように影響されるかを実験的に明らかにし、二、三の知見をえたので報告する。

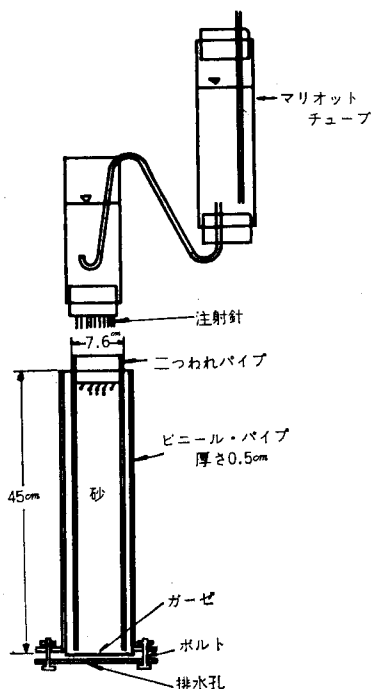
2. 実験材料と方法

この実験に用いた砂は利根川産の洗い砂で、これを篩別し、粒径0.84~0.42 mmのものを砂Aとし、粒径0.42~0.25 mmのものを砂Bとした。これらの砂を後に示す二つわれパイプに、底から少しずつ軽く転圧しながら各部均一になるように詰め、常に一定密度になるようにした。この場合の充填密度および真比重などを第1表に示す。

実験装置を第1図に示す。外側は塩ビ透明パイプで下部に排水孔をもったフランジをボルトで取りつけ、底にガーゼを2枚敷いた。これにもう1本の二つわれ塩ビ透明パイプが入るようになっており、給水後は内側のパイプを引出し、つぎめのビニールテープをはがして2つに

第1表 供試砂の性質

試料	粒径	充填密度	真比重	最大容水量
砂 A	0.84~0.42 mm	1.45 g/cm ³	2.67	32.5 %
砂 B	0.42~0.25	1.47	2.75	34.0



第1図 実験装置

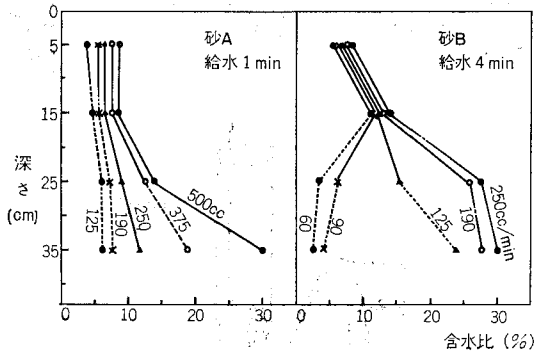
割り、砂柱上部から4~6 cm, 14~16 cm, 24~26 cmなどの厚さ2 cmの砂を取り出し、よく混合して約10 gを採取し、105°C乾燥によって含水量(乾土%)を求めた。

給水装置は図のようで、マリオットチューブにより注射針のついた円筒中の水位を上下させて任意のかん水速度を得た。特に大きなかん水速度が必要なときはピュレットを用い、表面にできるだけ均等になるように滴下した。かん水速度は、水が砂の表面に湛水しない限りでの最大なもの(以後これを最大浸入速度とよぶ)を上限として、数段階について行ない、そのほか、かん水継続時間、砂柱の長さを変え、あるいはかん水終了後、サンプリングまでの時間を変えるなどの実験を行なった。

3. 実験結果と考察

1) かん水速度を変えた場合

最大浸入速度は砂Aで、 $250\text{cm}^3/\text{min}$ 、砂Bで $125\text{cm}^3/\text{min}$ である。そこで、最大浸入速度の2倍 \sim 1/2の速度で給水した場合の給水後1時間における水分分布を第2図に示す。砂Aでは、常に給水速度の大きいほど含水量が



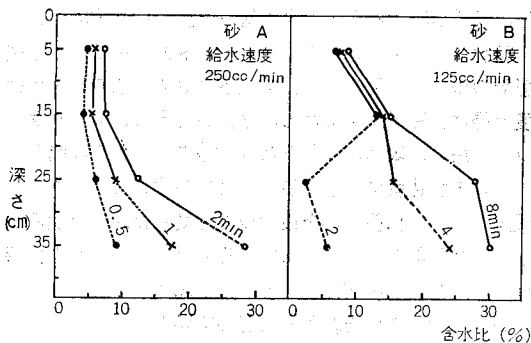
第2図 給水量を変えた場合の影響

注：点線部分は、断面に乾いた部分を有することを示す。以下おなじ。

大きくなっている。これは、給水速度のおそいものほど、砂柱の中に乾いたまま残る部分が多くなるためである。砂Bでは15cmまでは、ほぼ一様な含水量となっているが、それ以下の部分では流量の多いものほど含水量が多く、 $125\text{cm}^3/\text{min}$ 以下の場合には15cmまでの部分よりかえって少ない含水量になっている。図で、一般に下部ほど含水量が多くなっているのは、底のガーゼが通水をさまたげるので、これがいわば砂層によくあるハード・パンのような作用をし、この上に滞水層を作るからである。このことは、後の長い砂柱の実験結果で、より明らかになる。

2) かん水時間を変えた場合

最大浸入速度でかん水した場合のかん水時間の影響を第3図に示す。測定はかん水開始後1時間に行なった。

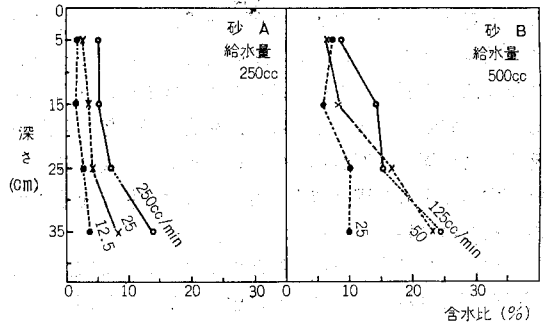


第3図 給水時間を変えた場合の影響

砂Aでは給水時間が長くなるにつれ、各深さで含水量が増大している。砂Bでは15cmまでは、ほぼ一様な含水量で、それ以下の部分は、給水時間を増せば、含水量も増大することがわかる。これと第2図とを比較すると、いずれも、かん水全量が等しければ、ほぼ等しい含水分布になることが明らかである。すなわち、給水速度が早く給水時間の短いものと、給水速度は遅く給水時間の長いものとは、ほぼ似た分布を示す。したがって、かん水後の水分分布は主として、かん水の全量によって定まるといえよう。

3) かん水速度を1/10 \sim 1/20にした場合

非常にかん水速度がおそい場合について実験を行なった。すなわち、最大浸入速度の1/10 \sim 1/20について、かん水開始後1時間の値を第4図に示す。この結果、流速



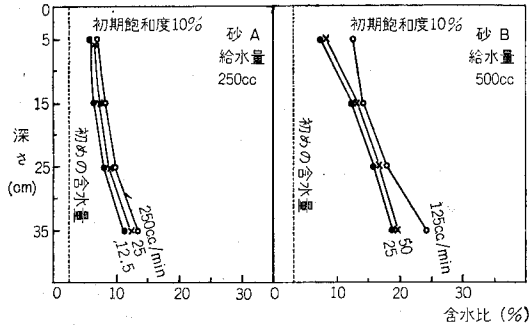
第4図 給水速度の変化による影響

の非常におそい場合には含水量が少なくなった。これは、砂柱に水にぬれずに残る部分が多くなることによる。これは、乾いた砂に水が浸潤する場合に流量が少ないと、水の表面張力によってできるだけ流路を小さくしようとする作用が働き、かつ、このように粒径のそろった比較的粗い砂では孔隙は比較的大きいので、限られた流路で十分に給水量を流下させることができ、かつ、このような砂では毛管上昇も低いことから明らかのように、横方向への浸潤はすぐに停止してしまうので、流路の外側に広く乾いた部分を残すのであろう。いいかえれば、このような毛管空ゲキの比較的大きい場合には、重力による降下で横方向への浸潤にくらべて非常に速いことが特長といえよう。

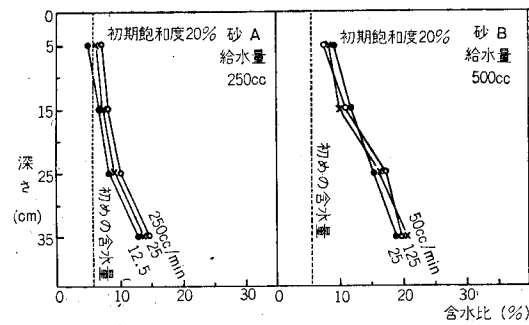
つぎに、乾いた砂でなくて湿った砂に給水する場合には、はじめから砂粒子が水膜で覆われており、しかも、この水膜がお互いに連結しておることから、いわば毛管作用の働き方が異なり、したがって流下の状態や、流下後の含水量分布の異なることが推定される。したがって、つぎに、初期含水量の多少により、注水後の水分分布がどのように影響されるかについて実験を行なった。

4) 初期含水量を10~20%飽和度とした場合

充填後に空ゲキの10%および20%になるような水量をあらかじめ砂に加えて、よく混合のうえセットした。その後の給水方法などは前と同様である。実験結果を10%の場合第5図に、20%の場合を第6図に示す。



第5図 初期水分(10%)の影響



第6図 初期水分(20%)の影響

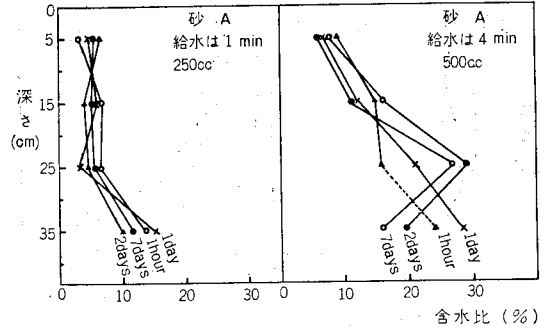
実験結果は第5図、砂Bの125 cm³/minの場合にやや異なるが、一般に、かん水速度の大小によって注水後の砂柱水分分布は変わらず、ほとんど一定した曲線を示すといえるであろう。

また、はじめの含水量が10%であっても20%であってもほとんど変わらない。

したがって、このようにはじめから粒子表面に水膜がある場合には、孔隙がそれだけ狭くなっていることから、流路の平均流速はおそくなり、流路は前の場合よりやや大きくなることも原因の一部と考えられるが、それよりもおそらく凝集力による水膜を通しての横方向への水の流れ、または毛管の調節作用が主因となって、断面全体が比較的一様な最大の含水量となり、底面(いわば滞水層)からの高さに応じて、一定の含水量分布を示し、全体の容水量も最大となるのであろう。水分傾斜が小さくなっていることも、毛管調節作用のあらわれと考えられる。

5) 含水量分布の時間的変動

かん水後、表面をビニール被覆し、表面蒸発をおさえ、1時間~1週間の水分分布の変動を調べた。結果を第7図に示す。

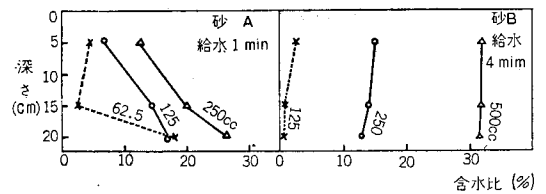


第7図 給水後の経過時間の影響

砂Aでは1時間を経過してしまえば、その後の水分移動はほとんどないのに対して、砂Bでは時間的変動がみられる。これは、一つには乾いた部分がしだいになくなること、上部の水分の降下および下部からの排水と乾燥による含水量の低下である。したがって、粒子のこまかい場合には、こうした時間的変動も関係することも考慮に入れなければならない。

6) 砂柱の長さをかえた場合

底面の影響を明らかにするため、砂柱を1/2~4倍に変えて実験を行なった。まず、1/2の結果を第8図に示す。

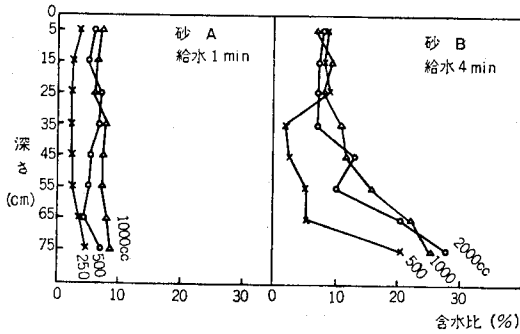


第8図 砂柱が1/2の場合(22cm)

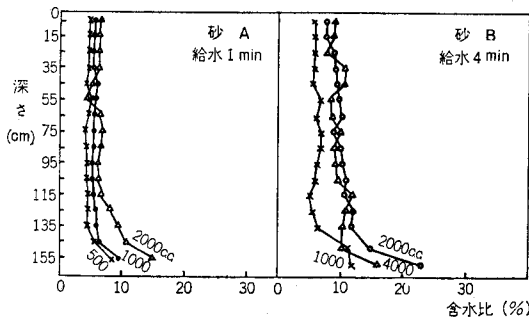
これと第2図とを比較してみると、まず砂Aでは、第2図で5~15cmではほぼ一定した含水量であるのに対して、水分傾斜を示し、底面の排水不良の影響を明らかに示している。砂Bでは流量の多い場合、水分傾斜はかえって小さくなり、含水量が全体に著しく増大しており、流量の少ない場合には表面のみがぬれて、下部まで水が降下しない結果を示している。

つぎに砂柱を2倍にした結果を第9図に、4倍の結果を第10図に示す。このように十分に砂柱が長いと、砂A、砂Bともに上層では含水量が一定してくる傾向が明

らかである。第2図、第8図などを通覧して底面の影響範囲として、砂Aではほぼ30cm、砂Bでは50cm程度であるといえよう。



第9図 砂柱が2倍の場合(86cm)



第10図 砂柱が4倍の場合(17.2cm)

4. まとめ

畦上かんがいのように比較的多量の水を短時間に特定の部分にのみ給水する場合、かならずしも根圏が一様にぬれないことがある。このような問題について、簡別した砂を用いて種々のかん水実験を行ない、つぎのようなことを明らかにした。

1) 乾いた砂に給水するとき、量がある限界より少ないと、限られた部分のみ水が流下して乾いたままの部分が多く残すようになる。このような場合には、注水後の含水量は少なく、實際上、水経済的に損失が多いばかりでなく、養分の溶脱を引起し、あるいは反対に乾いた部分で高濃度障害を起すおそれも考えられる。

2) これに対して、湿った砂に給水すると、流量の多少にかかわらず、かん水後はほぼ一定の含水量分布を示し、いわば含水量は最大となるので水分損失は少なくなる。したがって、粒子のそろった比較粗い砂地でかん水を行なうような場合には、砂が十分に乾ききってしまう前にかん水をすることが、水分経済的にも有利であると考えられる。

3) 滞水層が地表に近いような場合には、その影響によって水分傾斜が大きくなり、滞水層に近づくほど含水量が多く、全体的にも含水量が多くなる。すなわち、同じ給水量でも、地下水位の高低によって残留水量がかなり異なることが考えられる。

4) 粒子が細かい場合、給水後かなり長期間にわたって含水量の変動が起るので、たとえば、かんがい水の作物による利用率というものも給水後の時間によって変化することが考えられる。

土 壌 水 運 動 理 論 の 諸 系 列 (2)

—その内容と評価—

III Darcy に始まる飽和流の研究* (その I)

浸透理論体系化研究グループ

1. はじめに

執筆担当 中野 政時

飽和流に関する研究といえば、ある人はラプラスの式の解法に関する研究を思い浮かべたり、又ある人は飽和流から不飽和流への展開の過程を頭に描いたりするかもしれない。しかし、われわれは、まず透水係数に関する研究を含めた意味での Darcy 則に関する研究を思い起こさねばならないであろう。なぜならば、飽和流に関する諸研究の中ではこの研究がより基礎的な研究の部類に属し、かつ歴史的にも研究のスタートが早かったからである。しかも、この研究の発展を顧みることこそが、現在の飽和流に関する研究の中でわれわれが直面している諸困難の打開をもたらすのではないかとわれわれは考えるからである。

Darcy に始まる飽和流の研究、この発展の経過をここでおおまかに述べておくことにする。

よく知られているように、Darcy 則は1856年に H. Darcy¹⁾ により実験的に見つけられたものである。Darcy は浄水槽の濾過水量の決定という技術的要請に基づき、砂層特性の粒径による把握と抵抗係数をはかるという当時の水理学の研究様式に助けられて、Darcy 式と呼ばれる

$$v = k \frac{S}{l} (h + l \pm h_0) \dots\dots\dots (1-1)$$

なる関係式をみつけた。ここで、 v : 流量、 k : 砂の透水性による係数、 l : 砂層の長さ、 S : 砂層の断面積、 $h \cdot h_0$: 給水・排水部の水の圧力。Darcy のこの研究が、飽和流に関する研究の出発点となったことは言うをまたない。

Darcy がこの研究を公表した後の数十年間というものは、J. Dupuit, G. Thieme, Smrecker, Zeelheim, Hazen, P. Forchheimer 等の手により、(1)(1-1)式の一般性に関する研究とか、透水に関与する因子分析(透水係数に関する因子分析といってもよい)の研究などが活発におこなわれた。その結果、低速の場合の(1-1)式の成立性が確認され、高速の場合には、

$$J = av + bv^2 \dots\dots\dots (1-2)$$

なる関係が成立することがみつけられ、透水係数が、温度・粒径・土粒子の表面積・間ゲキ率などに依ることがみつけられた。ここで、 J : 水頭勾配、 v : 流速、 $a \cdot b$: 定数。

こうした研究成果は、地下水・石油・土木の分野における有効な武器という役割を(1-1)式に与えると同時に1900年前後になっては(1-1)式を理論的に導びき、その過程で透水係数を支配する因子を明らかにしようとする考え方を研究者に与えた。

このような試みを最初にまとめたのは、C. S. Slichter²⁾ (1898)である。Slichter は、土の粒子性と間ゲキ性を量的には粒径と間ゲキ率でとらえ、質的には間ゲキ性を毛細管的にとらえた。そうして、Poiseuille 式の中の断面積と長さに、これらの諸量とつまり方を投入した。Slichter のこの体系は、結果として粒径があらわに含まれていたため、土における粒径の分布と粒子の形の不均一性をうまく処理することができなかった。この事情と Poiseuille 式における円形断面と実際の土の間ゲキの形・つながり方との関係に関する興味は、J. Kozeny^{3) 4)} (1927, 1928)等の径深理論を生み、おくれて L. D. Baver⁵⁾ (1938)等の間ゲキと流量との関係に関する研究を生み、それをふみ石として W. R. Purcell (1949)等の間ゲキ分布理論を生み出すことになった。しかし、この径深⁷⁾という因子・間ゲキ分布の定義は、すでに F. C. Blake (1922)・J. Donat⁸⁾ (1937)によりそれぞれ考えられていたものであった。

Kozeny は、2つの研究報告を出している。1927年の報告では、最初に流れがおこっている土の全間ゲキを1本の円形毛細管と仮定して Navier-Stokes の式を解き、流量と土の径深・間ゲキ率との関係を導びき、次に球形粒子モデルを使って最終的に土の間ゲキ率・粒径と透水係数を関係づけた。ここにおけるモデルの不統一性など理路の混乱が Zunker との論争を生み、その結果として1932年の報告が生まれたと考えることが出来る。

1932年の報告では、球形粒子モデルにおける水の流動抵抗を考え、次元解析により流量と土粒子の表面積を関

* この原稿の討論には、田淵俊雄(東大農)、中野政時(東大農)、中村良太(東大農)、矢橋農吾(教大農)、八幡敏雄(東大農)が参加した。

係づけた。

Baver 等の研究を踏み石にした Purcell 等は、水分持性曲線から間ゲキの大きさの分布を定義するという考え方の助けをかりて、種々の大きさの径をもつ毛細管の集合モデルを設定し、Poiseuille 式の中の毛管径の処理をした。

Kozeny は、はじめに Slichter の体系をその難点を克服しながらも全面的に受け入れ、最終的には粒子性に関する把握を強調していったのに対し、Baver, Purcell 等は逆に Slichter の体系の毛管性に関する把握を Kozeny の初期の研究の影響を受けながら強調していったのである。その結果、粒径は Kozeny の初期を、間ゲキ率は Kozeny の後期を最後にして、透水における要因の役割を間ゲキ分布に譲り渡したのである。間ゲキ分布理論は、その後、Childs, Marshall 等の手により更に発展を続けることになる。(飽和流から不飽和流への発展の章一未発表一参照)

1950年前後になると、研究は新しい段階を迎える。Poiseuille 式より更に一段階前にさかのぼり、一般的な運動の方程式をたてることから始めて Darcy 式を導びき出そうという試みが盛んになった。この種の研究を試みた研究者としては、古くにはパプロフスキがいた。又 Kozeny の前期にもその気配がみられた。しかし、1950年前後には、高木、沢田、村本、中村、Hubbert, Irmy, 吉田等により相前後して報告が出されている。ここでは、土は粒子と間ゲキということで理解され、Darcy 式の誘導は Navier-stokes 式の各項の平均化・積

分・直接的変換、仮想流体を支配する方程式に基づく変換などによりおこなわれる。その結果は、Darcy 式が一般の運動方程式の近似解であることや透水係数が一つの物理量であることを主張している。

Darcy から現在に至るまでほぼ100年の間、Darcy に始まる飽和流の研究は、以上のように展開されてきた。以下に、各々の研究の内容と評価をもう少し詳しく述べてみよう。

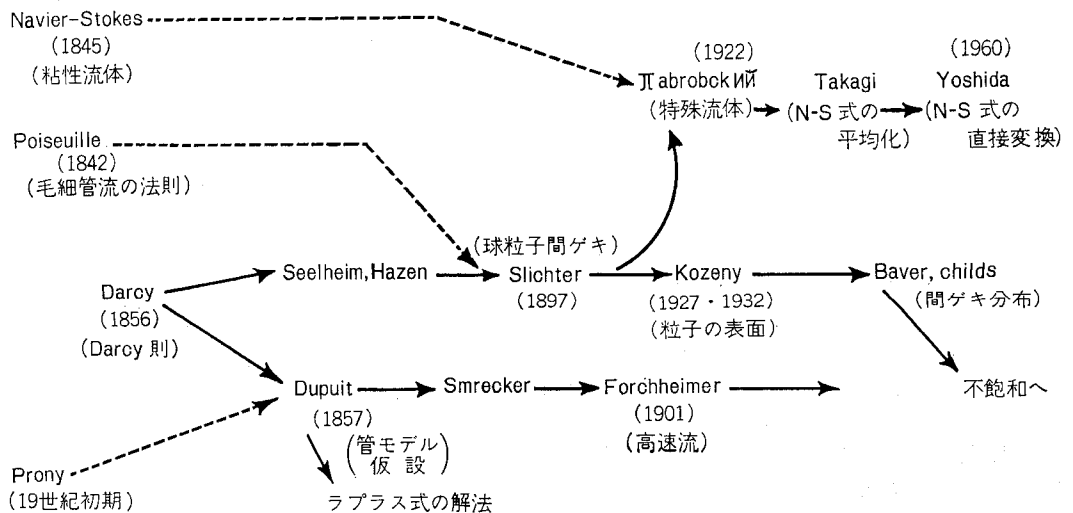
2. H. Darcy の研究 ¹⁾ 執筆担当 中野 政時

有名な1856年の Darcy の論文は2回にわたって行なった室内実験の報告である。第1回目の実験では、砂層下端を大気中に放置し上端に給水したときの浸透量と上端給水部の圧力を測定した。そうして、単位面積、単位長さ当りの浸透量と上端給水部の圧力の比が一定であり、その比の値は砂の粒径により異なることを指摘した。第2回目の実験では、浸透量と砂層上下端の給排水部の圧力を測定した。そうして、第1回目の実験から知ることの出来た法則性が流量と圧力勾配との間で一般的に成立することを述べた。この2回の実験から Darcy はこの法則性を

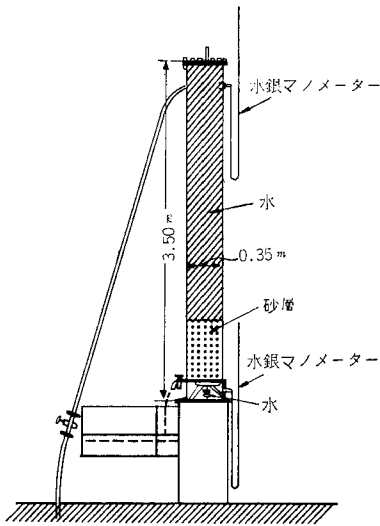
$$q = K \frac{S}{l} (h + l \pm h_0)$$

の形で整理した。

Darcy が浸透学の創始者であるということを考えてこの報告をみると、われわれは、色々な点に“なぜ



第1図 研究の系列



第2図 Darcy の実験装置

第1表 Darcy のデータ

実験 番号	1 分間 時間	平均流量	平均圧力		圧力差	平均 流量	圧 力 差	備 考
			フィルターの上	フィルターの下				
1	15'	18.8	m P+ 9.48	m P- 3.60	m 13.08	1.44	マンノメーター上部 内に強いオシレー ション	
2	15'	18.3	" 12.88	0	12.88	1.42	"	
3	10'	18.0	" 9.80	- 2.78	12.58	1.43	"	
4	10'	17.4	" 12.87	+ 0.46	12.41	1.40	弱い	
5	20'	18.1	" 12.80	+ 0.49	12.35	1.47	かなり弱い	
6	16'	14.9	" 8.86	- 0.83	9.69	1.54	殆んどなし	
7	15'	12.1	" 12.84	+ 4.40	8.44	1.43	非常に強い	
8	15'	9.8	" 6.71	0	6.71	1.46	非常に弱い	
9	20'	7.9	" 12.81	7.30	5.78	1.37	非常に強い	
10	20'	8.65	" 5.58	0	5.58	1.55	殆んどなし	
11	20'	4.5	" 2.98	0	2.98	1.51	"	
12	20'	4.15	" 12.86	9.88	2.98	1.39	かなり強い	

字句はオシレーション発生について示した。

Darcy はそうしたか” という言葉を発せざるをえない。例えば、(1)圧力と流量を測定しているが、浸透の現象をつかもうとするとき、なぜこれらの量を測ろうとしたのか、又それらの量の比を計算しているが、(2)なぜ比を計算したのか。或いは、(3)なぜ Darcy はこういう研究をする気になったのだろうか。

論文を始めから追っていくことで、これらの“なぜ”に答えながら、Darcy における研究と技術との関連、浸透現象の構造の把握、思考様式を追求してみよう。

(3)に対する答えは簡単である。Darcy は Dijon 市の水道の上水道計画を担当していた。であったが故に Darcy には次のような技術的要請が課せられていたのである。

“必要な水量を濾過するためにどのくらいの厚さの砂のフィルターが必要か”このために Darcy は透水テストをする気になったのである。同時に、Darcy が実験に際し

流量に着目した理由も、これで理解することが出来る。流量測定理由は又次の点からも理解出来る。

当時の水理学では、管の中の流れについて流速と圧力降下を測定し、抵抗係数を求めることが盛んにおこなわれていた。又 Poiseuille の実験も報告されていたのである。しかし、この方はむしろ、Darcy に圧力を測定させた理由と解した方がよい。圧力も、砂層上下端の給排水部の圧力の測定をしたことは、砂層の抵抗係数を測ろうと意図したと考えることが出来る。この抵抗係数という意識は又、流量と圧力差或いは圧力勾配との比を計算させたと考えてよい。(2)及び(3)に対する答えは、Darcy における、技術的要請と当時の水理学の思考様式をみることで、このように与えられる。

では、始めに挙げた疑問とは別に、浸透現象の構造や砂層の特性については Darcy はどのように考えていたのであろうか。砂層の特性については、Darcy は粒径のみしか見ていなかった。つめ方をかえたりすることなしに、粒径を変えることだけで実験をしていることからこのことはうかがわれる。浸透現象の構造については、Darcy は何もふれていない。

それでは、(1-1)式について、Darcy はどのように考えていたのだろうか。Darcy は報告の最後に、砂層の上端にタン水したとき、そのタン水深の時間的变化が(1-1)式によって計算出来ることを述べて、(1-1)式が基本的に重要な法則性を表現しているのではないかと述べている。つまり Darcy は飽和流を支配する本質的な法則を実験的にとらえたと意識していた。しかし、現時点では、われわれは1節で少し触れたように Darcy 式を理解している(第7節参照)。この理解とここで述べたことと併せて、Darcy から現時点までの研究の発展の中で、Darcy 式、或いは Darcy の研究を位置づけるとき、Darcy の Darcy 式は飽和流という現象を定量的に記述したものであり、その意味も含めて Darcy の研究は現象論的な研究であったとみることが、Darcy に対して酷にすぎることではあるまい。

3. Darcy から Slichter まで*

執筆担当 田淵 俊雄

Darcy の法則が世に出た後の19世紀後半の約40年間、土の中の水の飽和運動の初期の研究段階であり、多くの人々によって各種の研究がなされて、後の研究へのいくつかの萌芽がみうけられる。(第1図参照)

この期の人達の研究をその研究結果(特に運動方程式

* ここでは個々の論文が入手できなかったため、パブロフスキ、⁽⁹⁾Forshheimer、⁽¹⁰⁾田淵等の文献をもとに調べた。

の形)から大別すると二つに分けられる。一つは運動方程式を実験的、理論的に追式する研究で、その中には Darcy 式とは違う形の運動方程式を取扱った研究もある。もう一つは Darcy 式の中の透水係数の要因解析の研究である。またこれらとは別に Darcy 式の技術的適用の研究もすでにおこなわれていた。これについては別に報告するが、井戸の揚水量と地下水位の関係といった上水道・用水の分野で Darcy 式の適用がおこなわれつつあった。このような当時の社会の上水道、井戸、地下水の分野からの要請が背景にあって砂層中の水の運動方程式とその抵抗係数(透水係数)の要因解析の研究が促進されたのではないかと想像される。

第 2 表 Darcy 式に関する 19 世紀後半の研究

Darcy	1856	Q=KAJ	実験式
Seelheim	1880	Q=KAτJ	実験式, 温度と粒径
Hazen	1892	Q=KAde ² τJ	実験式, 有効径 de
Slichter	1897	Q=KAde ² $\frac{1}{Kn}$ τJ	半理論式, 間ゲキ率, 粒子間ゲキモデル, Poiseuille 式より
Dupuit	1857	Q=KAJ	理論式, Prony 式より, 管モデル, 径深
Smrecker	1878	Q=KAJ ⁿ	実験式
Forchheimer	1901	J = ar + Br ² + γr ³	一般化

上述した 2 つの分類を表にしたのが第 2 表である。第 2 表の中の運動方程式の形は筆者がわかりやすくするために Darcy 式の表示法(流量表示)に変えて統一したものである。このような砂層中の水の流れの運動方程式の模索や Darcy 式の検証の中から、次第に Darcy 式の評価が固まっていくのであるが、次にそれらの研究を順を追って眺めてみよう。

一番最初に述べなければならないのは Dupuit の研究である。彼は Darcy とほとんど同じ時期の研究者であり、Darcy 式の地下水流動への適用者として有名である。それと共に彼は運動方程式の理論的誘導をおこなっており、おそらくこれが運動方程式の最初の誘導であろう。彼は Prony (19 世紀初期の水理技術者)の管路の中の水の運動方程式

$$J = \frac{\omega}{\chi} \alpha v' + \beta v'^2 \dots \dots \dots (3-1)$$

を使って次のように式を導いた。ω は管の断面積、χ は潤辺、α、β は定数、v' は管内の平均流速。上式の 2 次項を省略して

$$J = \frac{\chi}{\omega} \alpha v' \dots \dots \dots (3-2)$$

土の間ゲキの断面積は間ゲキ率 n と全断面積 A をかけたものであるから、面積 A の土の断面を流れる流量 Q は

$$Q = nAv' = \frac{n}{\chi \alpha} J \dots \dots \dots (3-3)$$

見かけの流速 v は Q/A であるから

$$v = Q/A = \frac{n}{\alpha} \frac{\omega}{\chi} J = kJ \dots \dots \dots (3-4)$$

こうして Darcy 式と同じ形 (J と v が一次の関係) の式が導かれた。

すなわち彼は「管のモデル」「Prony の式」を使っている。Prony の式の 2 次項を省略してしまったので、結果は Darcy 式の形になったが Poiseuille の毛管流の式を使ったのとは大分意味が違うように思われる。彼が何故 Poiseuille の式を使わずに、Prony の式を使ったのかは良くわからないが、Prony の式には管の性質を表わすものとして毛管径でなく径深が入りこんでいる点からも察せられるように、円筒毛細管の式よりはの方が実際の土の中の水の流れの式に近いと思ったのであろう。

したがって、後に Kozeny がやはり径深を使った毛管流の式を土の中の運動方程式で変換しているが、それは若干意味が違うように思われる。

次いで Smrecker は、Thiem の実験値から

$$J = 31.2v^2 + 10.7v^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (3-5)$$

を導いて Darcy 式に批判的な意見を述べた。

Seelheim は実験によって次式を立てた。

$$v = k_0 \tau J \dots \dots \dots (3-6)$$

τ は温度の関数で、k₀ は粒径と関係している定数で粒径の 2 乗に比例することを示している。したがって透水係数が関与する温度と粒径の 2 大要因が早くも取り上げられたことになる。

次いで Hazen は温度と粒径の要因を入れて

$$v = Acd_0^2 \frac{H}{l} (0.70 + 0.03T) \dots \dots \dots (3-7)$$

の実験式を作った。A は尺度による係数で m/sec の時に 1、c は土の定数、d₀ は有効径、H/l は動水勾配、T は摂氏の温度である。温度と粒径の要因を入れたことは新しいことではないが、粒径として有効径 (10% 粒径) なる新しい概念を導入して、実際の土でも直ぐに使えるようにした点が彼の功績であろう。

このように Seelheim や Hazen、さらには Darcy にしろ、土の粒径、すなわち固体部分に着目して研究がおこなわれていたのであるが、次に間ゲキという土の中の水の通過する部分に着目した研究が Slichter によって始められるのである。(次節)

この間に Kröber により次式のような Darcy 式とは違う形の式が提案された。

$$v = 173 \left(\frac{d}{90} J \right)^{\frac{0.8+d}{0.8+2d}} \dots \dots \dots (3-8)$$

また Masoni は動水勾配が大きい場合には、Darcy 式

が成り立たないことを指摘した。

Forchheimer はこれらの非 Darcy 型の運動方程式を次のように一般化した。

$$J = av + \beta v^2 + \gamma v^3 \dots \dots \dots (3-9)$$

しかし、これらの非 Darcy 型の式は微粒の砂の低流速域では実用上意味がなく、彼自身も粗粒の砂の場合以外では Darcy 式を運動方程式として用いている。

このように Darcy 式の実用性が高まるにつれ、Darcy 式の透水係数の要因解析の研究は理論面でも盛んになり、さらに Darcy 式の適用範囲の研究もおこなわれている。

4. Slichter の研究 執筆担当 八幡 敏雄

Hazen までの研究では土壌の中を流体が流れると云ってもその意味は未だ漠然としており、主な関心は何かその場合の浸透流量の因子なのかという点にあったようだ。こうして動水勾配、砂の粒径、水の温度、等々と浸透流量との間の関係がさかんに研究されたのである。

Slichter はこのような状況の中で流体が実際に通る通路としての土壌間ゲキに着目し土壌における透水の問題をこの「間ゲキ通路内の流れ」の問題として取り上げた恐らく最初の人であった。

この分野に関する彼の業績は1899年に U. S. Geological Survey の年報として²⁾ 発行された文献に詳しいが、その緒言にはその研究の意図が次のように記されており、新らしい彼の着眼はこれからも汲み取ることができるのである。すなわち、(1)粒径がほぼ一様でしかも球状に近い形をした粒から成る土壌柱の中を水（その他の流体）が流れるとき、その流れをあらゆる式を純理論的にみちびきたい、(2)そのためにまず完全な球形をなす粒体からなる模型土壌についてその間ゲキのことをしらべる、(3)さらに粒子の配列と間ゲキ率との間の関係をしらべる、(4)これらの因子を加えて従来の式を書き直し合理的なものにする、——これらが彼の研究のネライであった。

そこで彼はまず同大の球体を用いてその間ゲキの大きさや形状などの幾何学量をしらべた。そして規則正しい配列だけでも最密充填から最疎充填に至るまでに幾種類かのものがあって決して一通りではないことをみた後、それらの空間形状を幾何学的な量として把握するためにきわめて丹念な追求を試みたのである。この仕事は次の2つの点で porous media の飽和浸透流の解明に貢献した。(1)一様な細い円管について知られていた Poiseuille の法則

$$q = \frac{\pi d^4 p}{128 \mu l} \quad (\text{C. G. S.}) \quad (4-1)$$

において、その毛管径 d のところに菱形をした間ゲキの平均的な直径を代入することによって Poiseuille の流れを、複雑な粒体の間ゲキについて、数量的に表現する道をとにかくひらいた (2)既にこの発表に先立つこと数年以前に A. Hazen によって conductivity の程度は粒径の自乗に比例することが知られており Slichter もそのことを知っていたが、同一粒を用いてもそのつめ方の如何によって間ゲキ率は 25.95% から 47.64% まで変化しうるのであり、そのため通路間ゲキの平均径は、粒径だけではきまらない。結局 conductivity の支配因子としては粒径の他に間ゲキ率も加えなければならないことを明らかにした。

彼はこの因子を $1/K$ とかき、結局

$$q = \frac{10.22 p d^2 A}{\mu l K} \quad (\text{C. G. S.}) \quad (4-2)$$

として浸透流量を表わした。ここで K は間ゲキ率から数表を使って求めるものであって、 $1/K$ は間ゲキ率の凡そ 3.3 乗に相当している。

ただこの式で d は平均値ではなく単一値で、どの粒も皆同じく d なる直径の球であった。

彼が前記の論文の第1章の冒頭で述べている通り実地ではこのようなことは沖積作用を受けた砂地で近似的なものが稀に見られるだけであり、一般には各種の粒径のもの混合である。そこでこれを実際の技術に应用する場面では、この d に何等かの modification を施さなければならなかった。

1902年に彼は技術者向にやさしい地下水学の本を著わしたが、そこでは結局この部分を Hazen のいわれる有効径 d_H におきかえている。まず模型土壌について知識を得、それに修正を加えることによって不均一粒子系にも適用できる式がえられる筈だとする Slichter の考え方からすればこの処置は別に不可解ではないのであるが、この置きかえは結局式の中の K の持つ意味をややスッキリしないものにする事となった。何故なら d_H が考えられたとき、それは恐らく間ゲキ率も粒径分布もまちまちなものから帰納的に求められたものに相違ないから、この修正はせつかく誘導した式のそのかなり決定論的な性格を再び後退させたことになるのである。

Poiseuille の法則は、一様な円形断面の毛細管流については十分に信頼されているものであり、また断面が円形を外れても多少の修正によってその流量を正確に示しうるものであることは既に Slichter 以前に Boussinesq (1868)らによって明らかにされていた。しかし、これらは何れも1本の一様な細管についてのものである。多孔体の間ゲキの複雑な形状をしらべ、そこに Poiseuille 法

則の適用を試みたのはやはり Slichter が最初のものである。

5. Kozeny の研究について

執筆担当 矢橋 晨吾

1927年の報告³⁾で Kozeny は Darcy 式を N-S 式から誘導し、その過程で Krüger の実験式

$$K = \frac{a}{S^2} \dots\dots\dots(5-1)$$

S : 土粒子の表面積

を説明しようと試みた。要約すれば、N-S 式より、1) 定常状態を考え、2) 外力を 0 とし、3) 連続条件を考慮すれば、

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)V_p = \nabla^2 V_p = -\frac{\gamma \cdot J}{\mu}$$

$$= \text{const} \dots\dots\dots(5-2)$$

γ : 水の密度

μ : 粘性係数

J : 動水勾配

V_p : 真の流速

$\xi = \frac{x}{\sqrt{f}}$, $\mu = \frac{y}{\sqrt{f}}$ において変数変換し、その解を求めると、

$$V_p = -\frac{\gamma \cdot J \cdot f}{\mu} \cdot F\left(\frac{x}{\sqrt{f}}, \frac{y}{\sqrt{f}}\right) \dots\dots\dots(5-3)$$

F は間ゲキの境界では 0 にならねばならないから $V_p=0$, また

$$F\left(\frac{x}{\sqrt{f}}, \frac{y}{\sqrt{f}}\right) = -\frac{x^2+y^2}{4f}$$

$$+ \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \cdot \phi_n(x+iy) \dots\dots\dots(5-4)$$

ϕ : 調和函数の記号、上の条件から境界では

$$F\left(\frac{x}{\sqrt{f}}, \frac{y}{\sqrt{f}}\right) = 0 \dots\dots\dots(5-4a)$$

又は $\frac{x^2+y^2}{4f} = \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \cdot \phi_n(x+iy) \dots\dots\dots(5-4b)$

極座標を導入し

$$x^2+y^2=r^2, \quad x+iy=r \cdot e^{i\varphi}$$

境界の点では、 $r=\rho$ において

$$\frac{\rho^2}{4f} = \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \cdot \phi_n(\rho \cdot e^{i\varphi}) \dots\dots\dots(5-4c)$$

土粒の全間ゲキを 1 本の毛細管と仮定し、その円周を (u), 半径を (ρ_m) とすると、(5-4) 式は

$$F\left(\frac{r \cos \varphi}{\sqrt{f}}, \frac{r \sin \varphi}{\sqrt{f}}\right) = -\frac{r^2}{4f} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \phi_n(r e^{i\varphi})$$

$$= \frac{\rho_m^2}{4f} \left(\sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \phi_n(r \cdot e^{i\varphi}) \cdot \right.$$

$$\left. \frac{4f}{\rho \cdot n^2} - \frac{r^2}{\rho m^2} \right)$$

$$= \frac{u^2}{16r^2 f} \left(\sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \phi_n(r \cdot e^{i\varphi}) \cdot \right.$$

$$\left. \frac{4f}{\rho m^2} - \frac{r^2}{\rho m^2} \right)$$

$$= \frac{u^2}{16r^2 \cdot f} \cdot A \dots\dots\dots(5-5)$$

f : 毛細管の断面積

となる。平均間ゲキ流速は

$$v_p = \frac{r \cdot J \cdot f}{\mu} \cdot \frac{1}{16\pi^2} \cdot \frac{u^2}{f} \cdot \frac{\int \cdot A \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi}{\int \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi} \dots\dots(5-6)$$

A の平均値は $A_m \approx \frac{16\pi^2}{u^4} \cdot c_1 \cdot f^2$ としてよいから

$$v_p = \frac{r \cdot J \cdot f}{\mu} \cdot c_1 \cdot \frac{f}{u^2} \dots\dots\dots(5-7)$$

間ゲキ率 ($\frac{f}{F} = p$, F : 土の全断面積) 及び径深 ($\frac{f}{u}$) を考えて、(5-7) 式を変形すれば、断面積 F の土の流管内の平均流速 v は

$$v = \frac{\gamma \cdot J}{\mu} \cdot c_1 \cdot \left(\frac{f}{u}\right)^2 \cdot \frac{f}{F} \dots\dots\dots(5-8)$$

ここで、長さ 1 の流管を考えると $\frac{f}{F} = p$ だから

$$\frac{f}{u} = \frac{f \cdot 1 \cdot F}{u \cdot 1 \cdot F} = \frac{p}{u \cdot 1} \cdot V = \frac{P}{S} \cdot V \dots\dots\dots(5-9)$$

V : 土の全体積

球形粒子では、次式が成り立つ。

$$\frac{n \cdot \pi \cdot d w^2}{6} = (1-P) \cdot V \dots\dots\dots(5-10)$$

n = 粒子の数

$d w$ = 土の粒径

$$n \cdot \pi d w^2 = S \dots\dots\dots(5-11)$$

(5-9), (5-10), (5-11) 式より

$$\frac{f}{u} = p \frac{V}{S} = \frac{p d w}{6(1-p)} \dots\dots\dots(5-12)$$

従って、

$$v = \frac{\gamma}{\mu} \cdot c_1 \cdot \frac{p^3}{(1-p)^2} \cdot d w^2 \cdot J \dots\dots\dots(5-13)$$

Kozeny は(5-13)式の誘導過程で、Darcy 式を N-S 式から導いたことは注目に値する。

径深と porosity と流速とを関係づけるという意図はわかる。しかし演算上にあいまいさがある。例えば、(5-3) 式を導くために (\sqrt{f}) を入れた変数変換の物理的意味が不明であったり、極座標を使うことの意味も十分に説明されていない。又、彼はモデルを 3 つ使った。

第 1 のモデルは、N-S 式を解く際に使った潤辺を保存した 1 本の毛細管モデルである。第 2 のモデルはその径深の検証に使った n 本の毛細管のモデルである。

第3のモデルは粒徑、比表面、porosityを導くために使った理想土壌モデルである。

これらのモデルの使い方は多分に、便宜的であり、一貫性がない。しかしN-S式から導くという考え方をここにみることは興味深いことである。Poiseuille式から変形するよりはむしろ、手法的には妥当性があるようにみえるからである。又、モデルの考え方、使い方について、我々に多くのことを教えてくれる点は好ましいところである。

彼は上記の弱点をZunkerに指摘されたために1932年、新しい式を誘導した⁴⁾。要約すると、流れる水の単位体積当りの流動抵抗(W)はこれを動かす力(P)に等しいから

$$W=P=\gamma \cdot g \cdot \frac{H}{L}=\gamma \cdot g \cdot J \dots\dots\dots(5-14)$$

γ : 水の密度, g : 重力の加速度。
この流動抵抗は次元解析により

$$W=c \cdot \eta \cdot v \cdot O_1^2=c \cdot \eta \cdot \frac{v}{\rho^3} \cdot \frac{O^2}{V_b^2} \dots\dots(5-15)$$

c : 粒形による値, V_b : 全体積, O_1 : 水の単位体積当りの土粒表面積, O : 浸透管内の砂粒の全表面積。

更に分散度(U)なる factor

$$U = \frac{\text{粒子表面積}}{\text{粒子実体積}} = \frac{O}{V_b(1-p)} \dots\dots\dots(5-16)$$

を導入して、(5-14)、(5-15)、(5-16)式を組合せると、

$$W=c \cdot \eta \cdot v \cdot U^2 \frac{(1-p)^2}{\rho^3} = r \cdot g \cdot J \dots\dots(5-17)$$

となる。Darcy式 $v = \frac{Q}{F} = k \cdot J$ から $k = \frac{v}{J}$ を考慮して、
 $k = \frac{v}{J} = \frac{\gamma \cdot g}{c \cdot \eta \cdot U^2} \cdot \frac{\rho^3}{(1-p)^2} \dots\dots\dots(5-18)$

ただし、粘土の場合には

$$k = \frac{\gamma \cdot g}{c \cdot \eta \cdot U^2} \frac{(p-p_1)^3}{(1-p)^2} \dots\dots\dots(5-19)$$

ここで、 $p_1 = \frac{n W_h}{100} (1-p) \cdot \gamma \cdot g \dots\dots\dots(5-20)$

p_1 : 水の流動による間ゲキ損失, W_h : 吸着率。

こうしてKozenyは1927年の時に比較して、かなりすっきりした誘導をおこなうことができたのである。

このように径深を使うことによって、粒子の粒徑や形の変化に対応した式を作り上げることができ、理想土壌という限定つきであったSlichterの式を一步前進させたのである。そしてCarman等によっていろいろと補足説明されて広く用いられるようになった。

又、Zunkerとの論争は田町氏⁴⁾によって紹介されている有名である。

6. Baver, Purcell らの研究について

執筆担当 矢橋 晨香

Kozenyは粒子系を考えて径深と透水係数を関係づけた。しかしこの factor のみでは粒徑のあらゆる範囲で透水性を正しく表わすことが困難であることがその後の研究でわかり、この時代の研究者は間ゲキ量とともに、個々の間ゲキの大きさを追求するようになった。いわゆる多孔系における、Baver⁵⁾、Purcell⁶⁾、Childs、Collis George、Marshall及びMillington and Quirkらの吸引曲線にもとづく毛管径と透水係数に関する研究がここから始められるのである。

まずBaverは透水性は全間ゲキに対する大間ゲキの割合によって支配されると考えた。そして間ゲキと吸引圧との関係を求め、浸透に関与する大間ゲキに相当する吸引圧を限界吸引圧として、これと浸透を結びつけた。Nelson、Baverはこの考え方を実験で確かめた結果、40cm吸引圧までに排水される間ゲキ量が透水性と最も関係あることを見つけた。

又、Smith、Browning、Pohlsenは間ゲキ径を3つに大別し、間ゲキ量係数と透水性の関係を求めた。Lutz、Leamerは0.10mm以上の間ゲキ分布と透水性との関係について実験をし、各種土壌の透水係数と間ゲキ量の比較をした。

以上の諸研究は大間ゲキの量と透水係数との関係である。つまり間ゲキ分布ではなく、量そのものとの関係でとらえたものである。

分布との関係でとらえたものにはPurcellのものがある。

Purcellは実際の間ゲキ分布をもとにし、実験係数(F)を入れた1つの透水係数算出の理論式を示した。すなわち、すべての毛管は円形で独立し、その半径に応じて流体が流れるという仮定にたち、Poiseuille式とDarcy式より

$$K=0.66F\epsilon \int_{\rho=0}^{\rho=100} \frac{d\rho}{(P_c)^2} \dots\dots\dots(6-1)$$

K : 透水係数, ϵ : 間ゲキ率, P_c : 毛管圧, ρ : 水分量, を導いた。 P_c の単位を気圧よりcm, K の単位をタルシ一単位より cm^2 にしたものが次の式である。

$$K=7 \times 10^{-3} F \epsilon \int_{c=0}^{c=\epsilon} h^{-2} dc \dots\dots\dots(6-2)$$

h : 吸引圧(cm)

ここで(F)は実験係数で、低い透水性のものについては0.07、高いものについては0.36という値を示している。

Wyllie, Spangler も Purcell と同じような式を用いたが, Purcell の実験係数 (F) の中に tortuosity の項を入れて考えた点がちがっている。

この他に, Childs, Collis George, Marshall らの間ゲキの分布とそのつながり方を考えて, 透水係数を求めようとする試みがあるが, これについては, 後日, 不飽和への発展のところで述べることにする。

これらは毛管モデルに徹して、それなりにきわめてすっきりしている。ところで吸引法によって測定する場合、測定値を支配するものは、ある方向に向った間ゲキの最も細くなった部分とその量であって、実際の間ゲキ及び分布を正しく理解することができない。又、Purcell の研究では計算値と測定値の間に実験係数を使わねばならない点に問題があり、全体的にみて、間ゲキの形と構造についてはふれていない。

この点については、最近新しく研究がおこなわれてきている。

(Darcy に始まる飽和流の研究(そのII)は次に報告する。)

引用文献

- 1) Darcy, H. : Les fontaines publie de la vile de dijon, Victor Dalmont, Paris. (1856).
- 2) Slichter, C. S. : Theoretical investigation of the motion of ground waters, U. S. Geol. Survey, 19th. Anu. Rep. (1898).
——— : The motion of underground waters. (1902).
- 3) Kozeny, J. : Uber Grundwasserbewegung, Wasserkraft u. Wasserwirtschaft, 22 Jahrg, Heft 5. (1927).
- 4) ——— : Die Durchlassig des Bodens, Der Kulturtechniker, 35 Jahrg, Heft 6. (1932).

- 5) Baber, L. D. : Soil permeability in relation to non-capillary porosity, Soil, Sci, Soc. Amr. Proc. 3 (1938).
- 6) Purcell, W. R. : Capillary pressures, Trans, Amr. Inst. M. E, 186. (1949).
- 7) Blake, F. C. : The resistance of packing to fluid flow, Trans. Amr. Inst. Chem. Engrs, 14. (1922).
- 8) Donat, J. : Das Gefuge des Bodens und dessen Kennzeichnung, Trans. Intern. Congr. Soil, Sci. 6th congr. Paris B (1937).
- 9) バブロフスキー : Собрание сочинении II (1956).
- 10) Forchheimer, P. : Hydraulik, B. G. Teubner, Leipzig. (1930).
- 11) 川町正善 : 土壌と水との関係・特に毛管現象及び浸透について, 農土研, 3 (1931).
——— : 土壌の浸透係数に関する Zunker 氏と Kozeny 氏との論争について, 農土研, 5 (1933).
- 12) Carman, P. C. : Flow of gases through porous media, (1956). P. 8~13.
- 13) Marshall, T. J. : Relations between water and Soil, C.A.B. (1959).
- 14) Scheideger, A. E. : The physics of flow through porous media, Univ. Tront press. (1957).

(付) 土壌水運動理論の諸系列(I)の正誤表
(土壌の物理性12号)

	誤	正
P 56 1行目及び 3行目	R. A. Richards	L. A. Richards
P 59 23行目 "	2 l の厚さを持つ 置いたとき平板	削除 置いたときの平板

会 告

第8回 シンポジウムのお知らせ

土壌物理研究会総会および研究討論会

日 時 昭和41年11月18日(金) 9時より

場 所 東京農業大学

(世田ヶ谷区世田ヶ谷4の461 小田急線経堂駅下車徒歩, または渋谷からバス)

テーマ 水田の物理性と水稻生育

講演者

(1) 土壌断面を中心として

日本鋼管K.K. 岡本春雄 農技研 滝島康夫

(2) 透水を中心として

新潟農試 丸田 勇 東京農工大 石原 邦

(3) 耕うんを中心として

関東東山農試 出井嘉光 東教大農 山沢新吾

土 粒 子

“土壌の物理性”によるせる期待

この数年来、小生は暗キョを中心に水田の排水をやっていますが、最近とみに、水質などの化学的方法がこの面でも無視できないと感じています。化学に弱い小生としてはこれはやっかいなことで、農化畑の本をめくったり、雑誌をあさったりしているわけですが、けっきょくわからないことが多い。まあ、てっとり早く身近かな化学の知人をわずらわすことになるわけですが、こんなとき、こういった境界領域の問題について、幸いに広い専門分野に亘って会員をもつ本会あたりに適当な窓

口があれば、などと思っています。

一般にわが国には現在、多種多様の学会誌、研究会誌があるわけですが、そのほとんどがいわゆる論文発表の場であるか、でなければ一方通行のジャーナルであって、本来の意味での機関誌と呼べるものがむしろ稀なように感じます。こんど本誌に「会員の声」欄の新設をみたことはその意味でいいことだと思います。こんご、この欄が活況を呈すとともに、誌面全体が更に活発な個々の会員間の意見、情報交換の場になるよう期待しています。

(大阪府大農 富田 正彦)

植生と土木技術

半年ほど前のことである。近くの国鉄複線工事現場の所長さんから相談をうけた。盛土斜面の安定保護工として植えた芝が生えないとのこと。早速現場に行ってみる。最近はやりの「ドハタイ」とよばれるもので直径2cmくらいの細長い袋に、種子と肥料と若干の土を入れたものを盛土の斜面に適当な間隔を置いて一列にとめてある。種子は発芽して5cmくらいはのびているが、盛土地盤に根を下ろすところですべて成長がとまって立ち枯れている。皮肉なことにはどこからかとんできた「よもぎ」や「すぎな」などが袋に残った養分をすってところどころに生えている。

切土斜面は盛土よりももっと生えにくいので、植木鉢くらいの大きさの穴をほり表土をまぜて施工することが多い。またそのような目的でクサビ型に作った製品（植生杭）もある。しかし工費がかさむので、これらの方法はそう簡単にはどこでもというわけにもいかない。

土木の現場に盛土や切土はつきものである。技術者は土質試験を行ない斜面の安定計算をするが、結局のところ土地収用の問題などから、ぎりぎりの法勾配を設計する羽目に追いこまれる。そしてそれを保証し支えるものが植生工だとすると「土壌と植生」は土木技術にとって非常に重要な問題となる。

八郎潟干拓では脱水工法としてヨシの栽培が考えられた。ヨシの種子をまいたところ初年度ではイヌタデが繁茂し生態学的な植生の遷移を痛感させられた。さきほど

のドハタイでも、「すぎな」から「よもぎ」といった遷移があるのかもしれない。もしそうだとすると、いきなり芝をもってくる前によもぎなどのいくつかの遷移を経る必要がある。また設計指針に芝とあるならば、どうしても芝でなければならいけないのかどうかも充分検討される必要がある。道路などでは一般にラブリグラスなど禾本科の草類が多く使われているが、土壌によって禾本科にするか荳科にするか、あるいはよもぎなどの菊科にすぎないといった選択が、植物や土壌肥料と縁のうすい土木技術者にもよく分るような基準で確立される必要がある。

砂丘地の飛砂固定も植生工の課題である。海岸砂地は保水性が少なく乾燥が甚だしい。肥料要素の溶脱も著しく、夏の高地温や潮風害といった特殊な土壌・気象条件が要求される。

稲を中心とした食用作物の研究に比べて雑草の生理や生態についての研究は主流ではないかもしれないが、雑草学を基盤として土壌保全や開墾その他の専門家が協力して植生工の問題を考えることは土木技術にとって非常に重要なことではないかと痛感する。

(山形大農工 東山 勇)

会 務 報 告 (昭和41年3月31日—9月31日)

土壤物理研究会の在京評議員会は去る6月4日、東京農大でおこなわれた。本年度(41年)の活動方針について次のようなことが報告、または決定があつた。

○庶務幹事(小林)より庶務・会計経過報告。

会費の徴収状況は現在約250名が納入済である。

会費・未納者には再度請求するが2カ年分以上の会費の滞納者には継続の意志をたしかめた上、8月末あたり会員名簿の再整理をする(意志のない場合は自然退会とみなす)。以上の未納の件について各評議員から個人的に勧告してもらう。

○第8回シンポジウムならびに会誌「土壤の物理

性」第15号編集方針打合せ。

第15号の内容は秋に開催されるシンポジウムとの関連をもたせて編集する。自由投稿の他、シンポジウムの内容にあわせる原稿の依頼をする。

シンポジウムの講演者を誰にするかをきめる。

この決定については会長と各幹事がおこなう。

○シンポジウム準備について協議

○次の在京評議員会開催の時期等について打合せ。

出席者、吉良芳夫、美園繁、八幡敏雄、山中金次郎
他幹事 寺沢、安富、中野、福桜、

昭和40年度会計報告

(昭和40年4月1日～昭和41年3月31日)

収 入		
前年度よりの繰越金	213,630.-	
会費	218,300.-	
助 会 費	120,000.-	
出 版 物 売 上	41,450.-	会誌広告
会 誌 広 告	90,000.-	討論会要旨売上
雑 収 入	52,410.-	討論会展示費
		貯金利息
合 計	735,790.-	
支 出		
通 信 費(会誌発送	42,701.-	
費を含む)		
会誌製作費(No.11～12	359,000.-	
No.13)		
謝 文 具 金	23,040.-	
交 通 費	2,185.-	
交 通 費	3,900.-	
会 議 費 並 び に 討 論 会 費	67,670.-	
雑 収 入	1,200.-	会費過納分返済
41年度繰越金	236,094.-	
合 計	735,790.-	

昭和41年度会計中間報告

(昭和41年8月31日現在)

収 入		
前年度よりの繰越金	236,094.-	
会費	213,940.-	
助 会 費	55,000.-	
出 版 物 売 上	20,500.-	
会 誌 広 告	65,000.-	
雑 収 入	4,861.-	貯金利息含む。
合 計	595,395.-	
支 出		
通 信 費(会誌発送	13,715.-	
費を含む)		
会誌製作費(No.14)	175,000.-	
謝 文 具 金	7,000.-	
交 通 費	2,580.-	
交 通 費	1,860.-	
会 議 費	2,700.-	
合 計	202,855.-	
差 引 残 高	392,540.-	

編 集 だ よ り

さわやかな風が秋を運んでまいりました。本号は、11月18日に農大でおこなわれます「水田の物理性と水稻生育」をテーマとする研究会の資料となるものを主体にして編集致しました。このようなことに本号が役立つとすれば幸いです。又本号から、二つの内容が新しく盛り込まれることになりました。一つは、会員の声の欄「土粒子」の新設です。会誌は会誌でありたい。つまり、一方交通や片寄りがあつてわならない。会員には種々の分野の方がおられ、その特色を出さなくてはならない。ということで、まずそれには、会員の意見・意志を声にすることからはじめよう、ということで設けました。今後どしどしご利用下さるようお願い致します。もう一つは、

巻頭に「巻頭言」を新設したことです。会員諸氏の思想或いはその体系の一端にでも触れることは本会のような所では特に有意義なことだと思います。

本誌が、前号から活版印刷になったことはすでにご存知の通りですが、衆知の如く、タイプ印刷に較べて活版印刷では原稿の枚数が一頁について2～3割多くなります。従来通りの投稿規定によりますと、会誌の形をとる最低限度の内容を維持するためには、原稿数が2～3割多くなくてははいけないということになります。会員諸氏の本誌に寄せる、いいかえれば本会に寄せる熱意の賜ものにより、本号をこのようにお手許におとどけ出来ることを編集員一同心から喜んでおります。

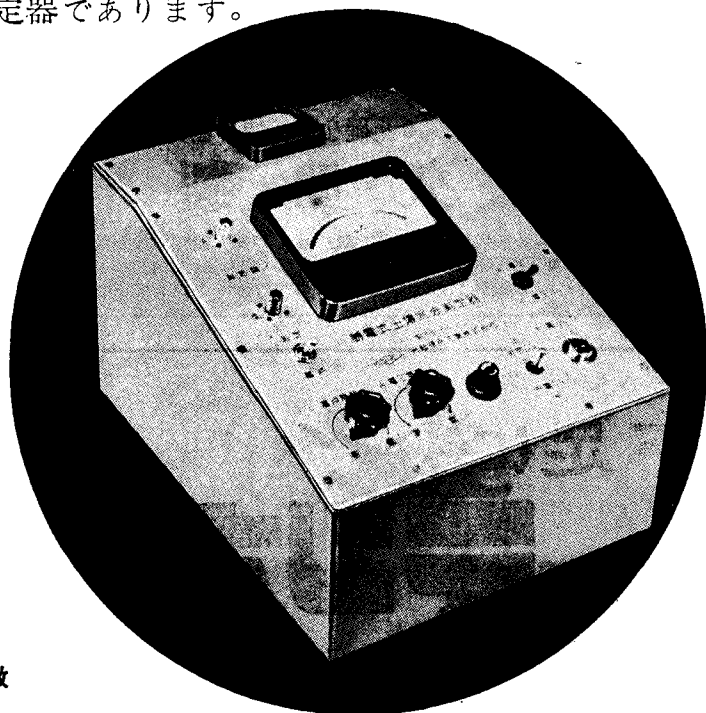
(編集幹事 寺沢、安富、中野、福桜)

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。

(3) 即応的である

埋没した感体は、直接土壌の誘電率を測定するので、測定時の水分をそのまま表示し時間的な遅れは全然ない。

(2) 水分測定値が直線的である

μA で表示される水分測定値は、圃場状態の実用的範囲において殆んど直線である。

(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、連続的にくり返し測定ができ、同時にその再現性が十分に保証されている。



大起理化工業株式会社

東京都荒川区町屋2丁目16-2
TEL 東京 (802) 2-1-9 (代表)

定評ある *marusan* の研究用 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: 16,500 R. P. M
遠心力: 26,400×G

90 A R (PF値 3.3以下) 回転数: 4,000 R. 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) 4 9 1 7・6 0 5 9
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) 7 7 6 3

堆肥不足に

テンポロン[®]

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

メモ

テンポロンの主成分は熟成堆肥の成分である
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



三菱商事株式会社

本社/東京・丸の内 電(211)0211(代表)

製造元



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

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）

理研式酸度計

PHメーター

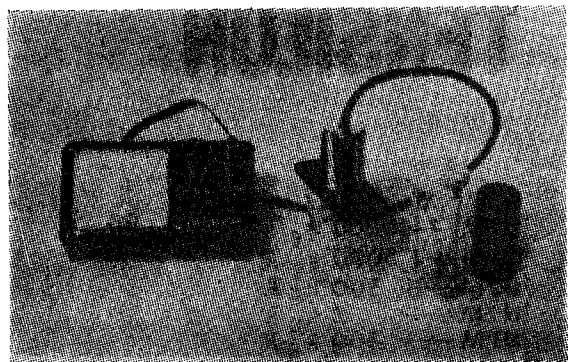
農産加工用、醸造用、
土壌調査用、酪農用、

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

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

TMI



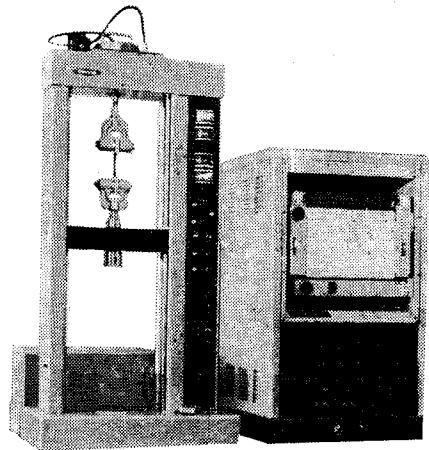
B-L-Hと技術提携成る

万能型引張試験機

TENSILON

UTM—10000 kg 用
 UTM—5000 kg 用
 UTM—500 kg 用
 UTM—5 kg 用
 UTM—100 kg 用

本機は4grフルスケールより上記フルスケール迄測定可能です。



総代理店

安宅産業株式会社

本社 大阪市東区今橋5-14 大阪 231-8461
 東京支社 東京都千代田区大手町1-4 東京 201-6411



東洋測器株式会社

本社 東京都大田区調布嶺町1丁目104番地
 工場 電話 東京(751)5145番(代)

TEL 日吉工場 04461-5131
 大阪 361-4744
 名古屋 241-1825
 福岡 28-1891



土壌の物理性 第15号

(会 員 配 布)

1966年9月30日 発行

発 行 土 壌 物 理 研 究 会

世田谷区世田谷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