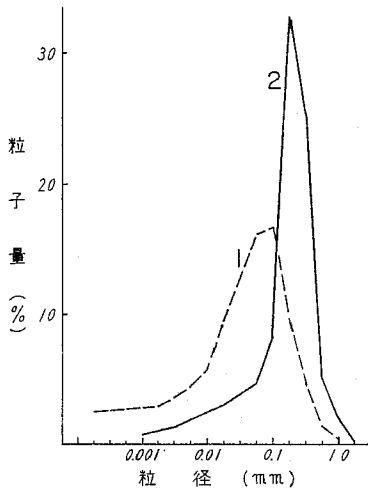


くなっている。

前章で、粘土含量に乏しい砂質土壌でありながら、極めて透水不良な土壌が実在したことを述べたが、この事実は上記実験によつて説明し得る。すなわち前章の供試土壌の中から透水不良な土壌として昭和SLA₁₂G、透水可良な土壌として長田LFS Apgを選んで粒度分布曲線を図示（九州農試彙報第5巻、274頁のFig. 3中の土壌番号に誤りがあり、1を3に3を1に訂正する）した



第 6 図

- 1 長田LFS Apg 27.5mm/day
- 2 昭和SL A₁₂G 2.7 "

のが第6図である。前者の透水係数が低いのは合成土壌による本実験結果と同様に、粒度分布曲線のピークが粒径の大きな方に偏り、ピークの高さも高いことによるのである。

粘土含量が一定の条件で、粒径の大きな砂が或限

界まで多くなるに従つて、透水係数が低くなる詳細な理由は省略するが、大孔隙を少なくする方向に粒子の配列がなされるためであろう。

この試験の応用面としては、水田の漏水防止あるいは透水促進を目的とした客土を行う場合などに客土材料選定に当つて有力な目安として活用し得ることなどが考えられよう。

引用文献

- 1) 松尾英俊・佐藤雄夫：水田土壌の透水性について、第1報 測定方法とその検討、第2報 現地土壌の透水性、九州農試彙報、5、259~276 (1959)、第3報 合成土壌による試験結果、ibid.、6、105~113 (1960)
- 2) BLOODWORTH, M.E. and COWLEY, W.R. : The use of undisturbed soil cores for permeability and infiltration determination. *Agron. Jour.*, 43, 4~9 (1951)
- 3) WENZEL, L. K. : Methods for determining permeability of water-bearing materials with special reference to discharging-well methods. Geological Survey, U. S. D. I. Water-Supply Paper, 887 pp. 192 (1942),
- 4) 佐藤正一・船橋義成：暖地水田用水量の実用的研究 (1), 九州農試彙報, 2, 161~177(1953)

水田の減水深, 浸透量

山崎不二夫*

1. 水田の減水深

水田にタン水した水は、イネの根の吸水、水面蒸発、土中への浸透によつて次第にタン水深を減少してゆく。この水深の減少を減水深とよび、「この水田は日減水深何mm」というように、水田の用水量をあらわす一つの方法として用いている。

イネの根の吸水量**は、イネが生育するために生理的に必要な水量で、その値はイネの品種や生育段階によつてちがひ、また気象条件や土壌条件によつても変化する

* 東京大学農学部 昭和35年7月27日受理

**根の吸水量と葉面蒸発量とは大差ないので、葉面蒸発量を減水深の構成要素とする場合が多い。

第1表 水田葉水面蒸発量 (mm/日)

地域	6月			7月			8月			9月			10月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
北海道	—	4		5			6~7								
青森	4~5			5~6			3~4								
北陸	3~5			5~7			5~6								
神奈川	—			5			6~7			5~6					
近畿中国	—	4~6		8~9			6~7								
九州	—	4~6		6~7			5~6			4~5					
全国	3~5	4~6		6~8			4~6			4~5					

備考 水資源と農業用水 (科学技術庁資源局) より引用

る。

水面蒸発量は水田のタン水面から蒸発する水量で、風・温度・湿度などの気象条件と、イネの茎葉が水面を被覆する程度、つまりは生育段階に支配される。

イネの根の吸水量と水面蒸発量とは、このように種々の要因に左右されるが、その合計量は3~8 mm/日程度の値である。各地域の旬別平均値の例を示すと第1表のようになる。

浸透量は土の性質、土層構造、地下水位、開田後の歴史などに左右され、水田によって千差万別である。ほとんど無浸透のものから浸透水深1日何十 cm というものまでである。

したがって減水深を構成する要素のうち浸透量がいちばん問題で、この内容を究明することが減水深をコントロールするキポイントである。

浸透量は水田の耕盤を通つて降下浸透する量と、アゼの内ノリ面を通つて隣接する水面や排水路などへ浸透する量とに分けることができる。前者を耕盤浸透量、後者をアゼ浸透量とよぶことにする。* (第1図)

そうすると水田の減水深はつぎのように書ける。

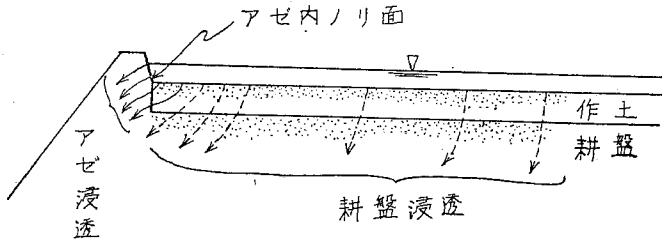
$$\text{減水深} = \text{根の吸水量} + \text{水面蒸発量} + \text{耕盤浸透量} + \text{アゼ浸透量} \dots \dots (1)$$

ただし右辺の各項は、水量を田面積でわつて水深であらわす。

減水深の測定にはフックゲージを使う。数時間で測定を完了させたい場合には0.1mmまで読めるバーニア付きのフックゲージが必要である。

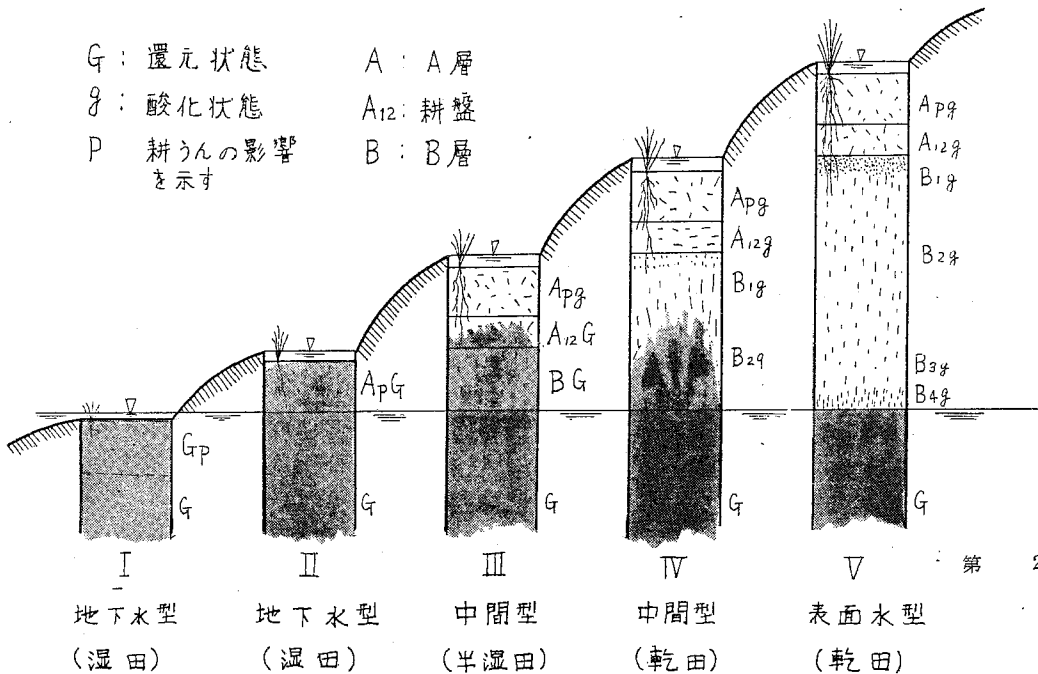
2. 耕 盤 浸 透 量

耕盤浸透は、耕盤を通じて鉛直下方、またはななめ下



第 1 図

* 従来、鉛直浸透、横浸透、アゼ浸透などの語がはつきり定義されないままに使われ、混乱を生じている。実際の水田の浸透は鉛直でも横でもなく、斜め下方へのものが大部分であるから、ここでは鉛直浸透、横浸透という語を使わず、浸透の方向いかんにかかわらず耕盤を通過する水量を耕盤浸透量、アゼの内ノリ面を通過する水量をアゼ浸透量とよぶことにした。



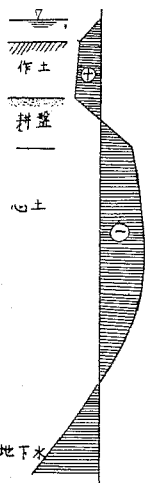
第 2 図

方への浸透である。

耕盤浸透は、地下水水面が地表面すれすれにあるような湿田では、ほとんど行われぬ。菅野²⁾は水田を地下水面との関係で5種の型に分類したが、耕盤浸透が問題になるのはその分類のⅢ型(中間型、半湿田)、Ⅳ型(中間型、乾田)、Ⅴ型(表面水型、乾田)の水田である(第2図)。特にⅤ型は、非かんがい期の地下水が1m以上深いところにある乾田で、かなりの耕盤浸透があるため、その土層断面は地下水の影響によつてではなく、水田タン水の影響によつてきまる。

乾田は一般に耕盤がよく発達するが、心土が浸透性で耕盤浸透が大きい場合には、これをへらすために客土や床締めなどが人工的に不透性の盤をつくることもある。

耕盤は一般に下層に比し密度が大きく浸透性が小さいので、タン水が降下浸透するさい、盤の下の層は負圧を生ずることが多い。この場合の浸透水の圧力分布は第3図のようになると考えられる。筆者が宇都宮大学の洪積台地上の水田、および秋田県六郷町の扇状地の水田で試験した結果は、この考えの正しさを実証した。

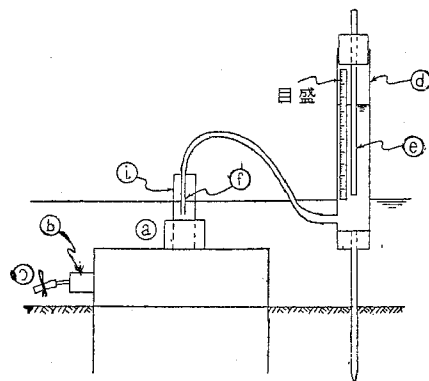


第3図

管を、直径の2~3倍の深さまで土中へうちこむことによつて、円管内部の土が圧縮され、浸透量が変化しはしないかということである。土の種類によつて、このおそれは十分あると思われる。

つぎに、この方法は測定にかなり長時間を要し(水もちのよい水田では少なくとも1昼夜)、その間に水温がかなり幅広く変化し、その影響を合理的に処理しにくいこと、円管内外の水位に差ができて誤差の原因となること、などの欠点がある。

従来の測定法にはこのような欠点があるので、筆者は新しい測定装置を考案し、試用してみたが、なかなか結果がよい³⁾。測定器の本体は径13~15cm、高さ10~15cm、無底の鉄製円筒で、上面に④、側面に⑤の口をつけてある(第4図)。ガラス管をはめたゴムせんを⑥には



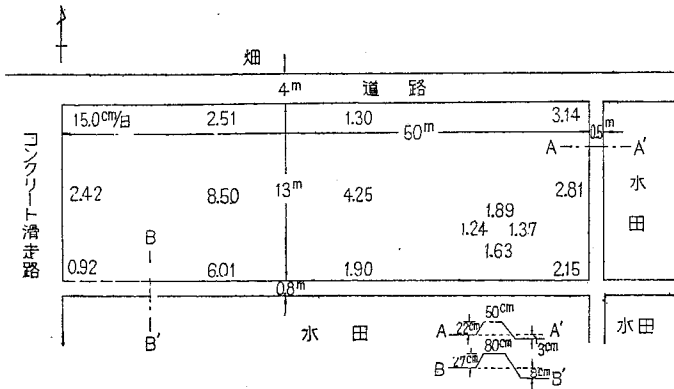
第4図

め、ガラス管にはめたゴム管をピンチコック③でとめるようにする。④に径1~1.5cmのガラス管④をはめる。この測定円筒を図のように作土へおしこむ。③のピンチコックは開いておく。④は径2cmくらいのマリオット管で、ガラス管⑥の下端が水田のタン水面より2~3mm高くなるように測定円筒のそばにたてる。マリオットの給水管の先端⑦を①の中へさしこんでおく。③のピンチコックをしめ、マリオット管の目盛を読むと同時にストップウオッチをおす。t秒後にふたたび目盛をよめば、t秒間の浸透量qccがもとまる。これを24時間の浸透水深Dに換算するには、円筒の径13cmの場合、次式によればよい。

$$D = 651 \frac{q}{t} \text{ (cm/日)} \dots\dots\dots(2)$$

この測定器による測定はきわめて短時間でよく、1日1cm程度の浸透水深なら10分、1日5cmをこえるような場合には2~3分でよい。したがって測定時間中のタン水深も水温も一定とみなしてよく、これを記録しておけば浸透条件が明確になり、各地の水田の耕盤浸透の比較や分析を合理的に行うことが可能になる。

耕盤浸透量の測定について、つぎに問題となるのは、一枚の水田で何か所測定すればその水田全体の浸透量を知ることができるかという点である。一枚の水田の各部分の浸透が一様であれば、任意の1カ所に測定器をすえつけて測定すればそれですむわけであるが、はたしてそうゆくであろうか。この点について筆者は上述のマリオット式降下浸透量測定器を使つて、数種の水田で試験してみた。第5図はその一例である³⁾。試験田は洪積台地上にある宇都宮大学清原農場の水田で、土は関東ロームである。地下水は深い。水田の一辺は道路に、一辺は旧飛行場のコンクリート滑走路に接し、他の二辺は水田につらなつている。この一枚の水田の16カ所で測定を行なつた。図中の数字はcm/日単位で示してある。これを



第 5 図

ると、最小 0.92cm/日 から最大 15.0cm/日の間にわたって分布し、そのバラツキの幅の大きいことにおどろく。もつともこの水田は昭和30年に開田した新しい水田であるから、その点特殊である。そのうち種々の水田で測定した結果、(a)熟田になるにしたがい、浸透量のとびぬけて大きい箇所はなくなる。(b)アゼに接した耕盤部の浸透量は、水田中央部の耕盤浸透量にくらべて、一般に大きい、ことなどがわかってきた。

とにかく、どんな水田でも場所によって降下浸透量に多少の差異があることは否定できない。そうとすれば1カ所の測定によってその水田全体の耕盤浸透量をうんぬんすることは危険である。一枚の水田を方眼に区分し、各交点で測定を行ない、浸透量の分布図をつくれればいちはん完全であるが、いちいちの水田についてこれを行なうのはたいへんな労力を要し、言うべくして行ないがたい。したがって「これこれの条件の水田では中央部何カ所、縁辺部何カ所で測定しその平均をとる」というような基準をつくり、それにしたがって測定するようにすればよい。ところがこういう基準ができていないばかりでなく、その必要性についてさえほとんど考えられたことがない。

上述のような問題をふくんでいるので、水田の1カ所に円管をうちこみ測定した耕盤浸透量は、卒直にいつて信頼がおけない。

最後に、耕盤浸透量は根の吸水量によって変化する点を注意しておきたい。根の吸水が全くない場合の耕盤浸透量を「固有耕盤浸透量」とすると、(1)式は厳密にはつぎのようになる。

$$\text{減水深} = \text{水面蒸発量} + \Sigma \left(\frac{\text{根の吸水量} \times \text{土層下端から吸水カ所までの距離}}{\text{土層厚}} \right) + \text{固有耕盤浸透量} + \text{アゼ浸透量}$$

ここに Σ は一本一本の根について総計する意味であり、根群域内の根の吸水量の分布がわかればもとめられる。土層厚は、たとえば田面からある深さまで土層が一様で、その下にレキ層があり、浸透水はレキ層まで鉛直に降下し、レキ層に達したのち水平に流動してゆくような場合には、田面からレキ層までの厚さをとる。

3. アゼ浸透量

アゼ浸透がいちはん問題になるのは、傾斜地のタナ田である。しかし平地の水田でも、排水路に接しているアゼからは、排水路に向つてアゼ浸透が行われる。水田の用水量をきめる場合、アゼ浸透は従来あまり考慮されなかつたが、現実には相当量のアゼ浸透量が存在するのであるから、その実態を明らかにし、それにもとづいて正当のとりあつかいをしなければならない。

アゼ浸透量が水田浸透量のうち大きな割合をしめることが、数字的にはつきりしてきたのは、ここ数年来のことである。富士岡⁹⁾は京都府新庄村の水田(面積804m²、作土は砂壤土、耕盤層は壤土)で実験を行ない、アゼ浸透量が耕盤浸透量の約7倍に達すると報告している。浸透をおこすアゼの長さを約80mと採定して計算するとアゼ1m当りの浸透量 Q_A は 302l/m/日となり、耕盤1m²当りの浸透量 Q_K は 5l/m²/日である。両者の比をとると $R_0 = Q_A/Q_K = 60$ となる。

筆者が前述の宇都宮大学農場で実験した結果では $Q_A = 123$, $Q_K = 48$, $R_0 = 2.6$ となつたし、早川⁶⁾が広島県のタナ田(作土は壤土、草生階段高75cm)で調査したデータを使つて推算すると $Q_A = 5.1$, $Q_K = 10$, $R_0 = 0.5$ となる。

この3例は耕盤浸透量をワク内の水位低下で測定している点に多少の不安があるので、筆者は最近岩手大学農場の水田(洪積台地上にある、明治年間に開田した熟田、土は黒ボク、面積1225m²)で、まず減水深をはかつたのち、水をおとしてアゼの内ノリ先を耕盤まではり、ビニール布をさしいれアゼ内法をすつかり被覆し、ベントナイトをまぜながら土をうめもどし、ふたたびタン水して減水深をはかつてみた。その結果は、耕盤浸透量とアゼ浸透量とはほぼ同量で、 $Q_A = 394l/m/日$, $Q_K = 34l/m^2/日$, $R_0 = 11.6$ となつた。

以上の4例からだけでも、(a)単位アゼ浸透量のフレの幅が非常に広いこと、(b)水田によっては耕盤浸透量の数倍ものアゼ浸透量があること、がわかる。

単位アゼ浸透量のフレの幅が広いのはなぜであろうか。筆者は宇都宮大学の水田で、前述のマリオット式降下浸透測定器をななめにアゼにおしこみ、60cm 間隔に6カ所でアゼの浸透量を実測してみたが、最小値は30l/m/日、最大値は225l/m/日で、その比は7.5となった。八幡・田淵⁷⁾の八ヶ岳山ろくの水田における試験も、早川⁸⁾の広島県における調査も、アゼの漏水の場所的なフレの大きいことを示している。アゼ浸透の特徴の一つはこの不規則性にあるといえよう。

アゼは風化のほかに、モグラ・ザリガニなど小動物の穿孔によつて損傷をうける機会が多いので、毎年アゼヌリや補修をしても、目に見えぬ水みちがで、局部的漏水をおこす。アゼの外ノリ面からアゼの内部に一定の深さに針状のサーミスタ温度計をさしこんで温度をはかってみると、地温の特に低い個所を見いだすことがある。これは漏水の多い個所である。つまり地温分布の異状からアゼ浸透の異状を発見することができる⁹⁾。

アゼ浸透の場所的バラツキが大きいこと、ことにそれがアゼヌリ後、日がたつにつれて目だつてくること、などから考えて、アゼの維持管理がたいせつであることがわかる。単位アゼ浸透量 Q_a が著しく大きい場合、それは局部的な水みちによる漏水がかなりあると考えてよいであろう。

4. 適正浸透量

戦後10年にわたつて行なわれてきた米作日本一の競作で6石、7石というような多収穫を実現した水田は、いずれもかなり浸透のよい水田であつて、浸透の極端に大きい水田や小さい水田はふくまれていない。ほとんどどの多収穫田も、ほぼ2日間くらい水もちする程度である。これから考えてイネの収量と水田の浸透量との間には密接な関係があり、イネの収量を最大ならしめるような適正浸透量が存在すると思えられる。ただしアゼ浸透量はその水田の作物の生育にはほとんど関係がないから、適正浸透量から除外し、適正浸透量という語は適正耕盤浸透量と同意義であるとする。

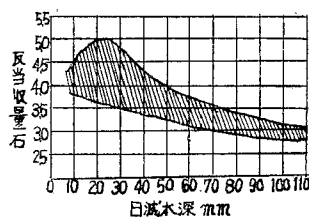
適正浸透量は主としてつぎの諸条件によつて決定されるものと思えられる⁹⁾。

- (a) 浸透によつて現われる作土内のアンモニアの量とその濃度の大小、これらのイネ生育期間中の増減の状態、などがイネのアンモニアの理想的必要量を満足させる程度
- (b) 浸透による2価鉄その他の流亡
- (c) 浸透による有機態窒素の肥効の低下、地力の低減
- (d) 作土中に生成される有害物質の浸透水による稀釈

と流下

(e) 浸透による地温の変化

適正浸透量は以上のような種々の因子に規制されているが、各因子と浸透量との関数関係は不明のものが多く、また各因子は相互に密接な関連性をもっているから、各因子の影響度を他の因子との関連のもとに評価し、それらを総合して適正浸透量を定めることは、今の段階ではとうてい不可能である。現実にある地域の適正浸透量を定めるには、浸透量と収量との関係を統計的にしらべるほかはない。五十崎¹⁰⁾は昭和30年に岐阜県本巣郡の長良



第 6 図

・揖斐両川にはさまれた扇状地でこの調査を行なつた。扇状地であるから上流部は浸透が大きく、下流へゆくほど浸透が小さくなり、比較的近接して浸透量の変化にとんでいるので、浸透量と収量の関係をしらべるには好適の地区である。調査結果は第6図のとおり。最多収量を示す減水深は20~30mmの間にあり、この間にあつては比較的多収穫ではあるが、収量にある程度の偏差があり、減水深以外の因子がこの間において作用すると思えられる。20~30mm/日を頂点として、減水深がこれより小あるいは大になるにしたがつて収量は低下する。50mm/日以上になると収量がいちじるしく減るが、20~30mm/日の水田のように収量の偏差が大きくない。20~30mm/日の水田は多収穫の可能性が大きいのに対し、50mm/日以上の水田は相当多量の肥料を施しても、多収穫をうることはむずかしいといえる。

5. 減水深、浸透量のコントロール

ある水田地域に供給しうる農業用水の分量は、水源や他種の用水との関係で限定される。したがつてその面から水田の減水深にワクがはめられ、その範囲内におさまるように実際の減水深をコントロールしなければならぬ。

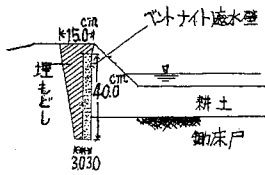
減水深をコントロールするには、(1)式の右辺のどの項をコントロールすればよいか。第1項と第2項はその和が3~8mm/日の程度で、あまりコントロールの対象にならない。ことに第1項はイネの生理的必要水量であるから、コントロールの余地はほとんどない。第2項も水面に蒸発を防ぐ薬品を流す方法など考えられないこともないが、実用的には問題になりそうもない。けつきよく減水深のコントロールは耕盤浸透とアゼ浸透のコント

ロールの問題になる。

実際の減水深の大きい水田では、まずアゼ浸透量が大きいのか耕盤浸透量が大きいのかを明らかにし、それに応じて対策を講じなければならない。

アゼ浸透はその水田のイネの生育にほとんど役立つばかりでなく、下の田に冷水となつてわきだして害を与える場合もあるから、水経済の上からも米生産の上からも、できるだけ減らすことがのぞましい。

アゼ浸透をへらすには、アゼの内部に粘土刃金を入れるとよいが、実際にはあまり行なわれていない。モグラやザリガニなどの穿孔による局部的漏水をふせぐため常に



第 7 図

管理に気をつけること、アゼをていねいにすることもたいせつである。富士岡⁹⁾はベントナイト遮水壁を第7図のように施工すると、アゼ浸透はほとんどなくなると

いつている。ビニール布の利用も場合によつては考えられよう。コンクリート畦畔は、壁面にそつて水が浸透するおそれがあるから注意を要する¹⁰⁾。

耕盤浸透はアゼ浸透のように減らせるだけへらせばよいというわけにはいかない。耕盤浸透量が過大または過小の場合、供給水量のゆるしうる範囲で、できるだけ適正浸透量に近くなるようにコントロールする必要がある。

浸透量が過大の場合、(a)床じめ、盤ねり、(b)粘土・ベントナイトなどの客入、(c)シロカキ、(d)青刈ライムギのすきこみ、などで耕盤浸透を抑制する。火山灰土の洪積台地や扇状地などの開田では、ブルドーザを用いると

履帯のしめかため作用によつて比較的水もちのよい水田ができる。

重粘土や低湿地などで浸透量が過小の場合には、(a)暗渠排水 (b)砂質土の客入 (c)心土耕による盤層の破碎、などによつて浸透を促進することができる。

このように耕盤浸透をコントロールする方法はいろいろあるが、所望の浸透量へうまくあわせるようなコントロールは、まだとうていのぞみ得ない段階である。この部面でも土地改良の研究の立ちおくれが痛感される。

文 献

- 1) 菅野一郎：無機質水田土壌の基本的断面形態，土肥誌，27，10 (1956)
- 2) 農業土木ハンドブック，p.483
- 3) 山崎，ほか：水田の降下浸透量の新しい測定法，農業土木研究，27，6
- 4) 山崎不二夫：イネの根の吸水は水田の浸透にどんな影響を与えるか，研究の資料と記録第8集
- 5) 富士岡義一：畦畔浸透，農業土木研究，25，1
- 6) 早川千吉郎：広島県における棚田の漏水に関する研究，シロカキの研究，p.158
- 7) 八幡敏雄・田淵俊雄：ある棚田の実態，研究の資料と記録第7集
- 8) 内山修男：水田の透水性に関連する土壌の諸問題，農業及び園芸，32，7，8，9，10
- 9) 五十崎恒：適正浸透量について，農業土木研究，24，6
- 10) 富士岡義一：畦畔浸透について(II)，農業土木研究，26，1
- 11) 行方文吾，ほか：コンクリートブロック畦畔の浸透について，昭和35年度農業土木学会講演要旨，p.63

水田減水深についての一考察

椎 名 乾 治 *

1. ま え が き

一枚の水田の総消費量(純用水量)は湛水深の減少量すなわち減水深で示される。最近水田の水利用に関連して、用水量の問題が各方面で大きく取り上げられ研究が進められてきている。勿論用水量は水田における、水、土壌、イネの3つの複雑にからみ合った相互関係について研究を進めなければならないもので、作物生理、土壌

化学、土壌物理、水田水利等各分野で問題の解明をせまられていることがらが多い。ここでは最近農業土木方面で研究、調査が進められている、浸透水量とイネの吸水の物理的關係、それから必然的に派生してくる水田減水深の表示法及びその測定法の問題について若干の考察と私見を述べてみたい。

2. 浸透量とイネの吸水の關係

この問題については、ここ数年来田辺¹⁾、富士岡²⁾、山崎³⁾、吉良・椎名・竹中⁴⁾、狩野・古木・中川⁵⁾等の

* 農業技術研究所 昭和35年7月20日受理