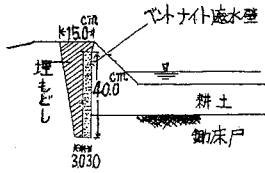


ロールの問題になる。

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管理に気をつけること、



第 7 図

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

くの研究があるが、ここでは減水深の表示法に直接関係をもつ、イネの吸水が浸透量に与える影響についての山崎の理論的な報告とこの理論を証明する、実際の水田土壌について行なわれた筆者等及び狩野、古木等の実験について紹介し、その概要を説明することにする。

1) 山崎の所論

第1図のように、土壌表面に定水頭を保って浸透させ、途中のある断面で一様な吸水を行なう場合を考えてみる。

土壌の透水係数をK, 途中から全く吸水のない場合の流量, 動水コウ配を Q_0, J_0 , とする。また途中から Q' だけ吸水した場合の吸水箇所より上部および下部の流量, 動水コウ配をそれぞれ Q_1, Q_2, J_1, J_2 であらわす。 l_1 の部分で消費する浸透ポテンシャルは h_1 , $l_2 (=h-l_1)$ の部分のそれは $h_2 (=h-h_1)$ でしめす。

DARCY の式から

$$Q_0 = A \cdot K \cdot T_0 \cdot t$$

浸透断面積 A と浸透時間を t と考え

$$Q_0 = K J_0$$

$$Q' = Q_1 - Q_2 = K J_1 - K J_2 = K \left(\frac{h_1}{l_1} - \frac{h-h_1}{l_2} \right)$$

$$\text{これから } h_1 = \frac{1}{1} \left(h l_1 + \frac{Q' l_1 l_2}{K} \right)$$

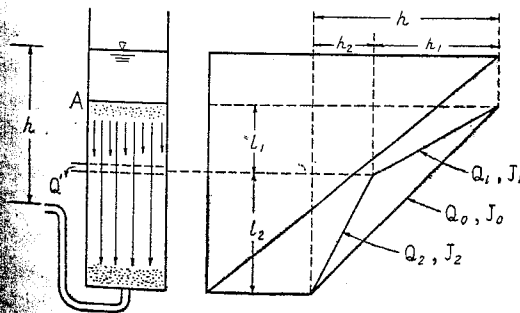
したがって

$$Q_1 = K \frac{h_1}{l_1} = \frac{1}{1} (K h + Q' l_2) = K J_0 + Q' \frac{l_2}{1}$$

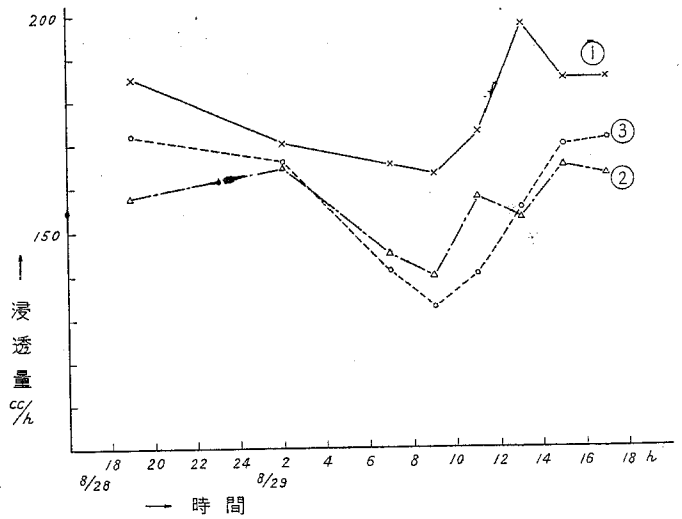
$$= Q_0 + Q' \frac{l_2}{1}$$

$$Q_2 = Q_1 - Q' = Q_0 - Q' \frac{l_1}{1}$$

吸水が2カ所以上の断面から行なわれるとすると



第1図 イネの吸水と浸透量の関係



第2図 浸透量の変化

$$Q_1 = Q_0 + \sum Q_n' \frac{l_n}{1}$$

ただし Q_n' : 各箇所 of 根の吸水量

l_n : 土層下端より各吸水箇所までの距り

以上の関係は砂を用いた室内実験では明らかに成立することが実証された。

2) 筆者等及び狩野、古木等の実験

筆者等は1958年にポットに水田土壌を填充して浸透が土壌及び作物に及ぼす影響について実験を行なつたが、そのうち8月28日~29日にかけて時間観測を行なつた結果を第2図に示した⁶⁾。図の折線①はその時測定した透水係数から計算した理論的浸透量であり、山崎の式 of Q_0 に相当する。折線②は実際にポット下端より排出した浸透量で Q_2 に相当する。この2つの量の間には明らかに開きがあり、イネの吸水の影響が大きいことがわかる。そこで、同時に測定した各時間毎の蒸散量 (イネの吸水量 Q') を、山崎の $Q_2 = Q_1 - Q' = Q_0 - Q' \frac{l_1}{1}$ の式に代入して計算した結果は折線③となる。折線②と③はほぼ等しい値となり、山崎の式は実際の水田土壌についても成立つものと思われる。

また狩野、古木等はさらに大きい 50cm×50cm×100cm のライシメーターに水田土壌をつめ、田面下6cm, 12cm, 18cm, 24cm, 36cm, 48cm, 60cm, 72cmにおのおのマンメーターを挿入し、イネの吸水が動水コウ配に与える影響について実験を行なつた。その結果田面下0~6cmの動水コウ配は水稻生育に伴い次第に増大し、出穂期前において最大となり、その値は葉面蒸発をおさ

えた場合の1.6倍程度になる。一方12~18cm以下においては逆に水稻生育とともに減少し、出穂前において最少の値となり、登熟につれ再度増加の傾向をたどっている。またこれらの実験結果より降下浸透量の変化をみると、水稻生育の成長とともに0~6cmの間では増加するが、18cm以下では逆に減少する。すなわち蒸散により根の吸水位置までは浸透量が増加するが、それ以下では減少することを示している。

以上のことから、イネの根は土壌表面より降下浸透する水の中から必要なだけの吸水を行ない、この結果吸水のないとしたときの浸透量（一応水田土壌固有の浸透量と呼ぶ）に比べて、イネの根の吸水のあるときは、吸水個所までは浸透量が増加し、根群域以下の浸透量は減少し、その増減量は吸水個所の深さによつて定まることは、理論的にも実際的にもほぼ明らかになつたと考えてよい。

3. 水田減水深の表示法

従来水田の減水深は次式で示されたとしていた。

$$\text{減水深} = \text{浸透量} + \text{葉面蒸発量} + \text{水面蒸発量} \dots\dots(1)$$

この式の浸透量の定義はまことに不明確であるが、実際の取り扱いの上では、“水田土壌固有の浸透量”として考える場合がほとんどであつた。

そこで、(1)式の浸透量を“水田土壌固有の浸透量”とすると、前述のように葉面蒸発量（イネの吸水）は浸透水中で行なわれるのであるから、上式は当然修正されなければならないことになる。これについて富士岡は1958

年にこの関係を始めて指摘し、次式を用いるべきことを提案した。

$$\text{減水深} = \text{水田土壌固有の浸透量} + \text{水面蒸発量} \dots\dots(2)$$

しかし、この式はすでに述べた山崎の所論及び筆者等の実験から明らかなように、イネの吸水により、動水コウ配が変化し浸透水量が増減することを考慮していない点で欠陥をもっていると考えられる。

山崎は前述のように、この間の関係を Darcy の式をもとにして明らかにし、減水深の表示は次式によるべきであることを示した。

$$\text{減水深} = \text{水田土壌固有の浸透量} + \Delta \text{根の吸水量} \\ \times \frac{\text{土層下端から吸水個所までの距り}}{\text{土層厚}} + \text{水面蒸発量} \dots\dots(3)$$

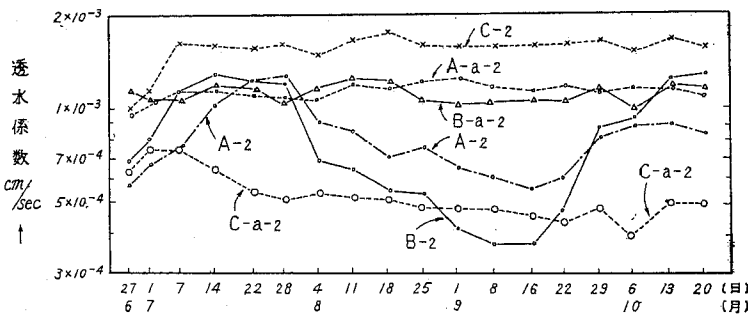
(3)式は水田土壌固有の浸透量なるものを基礎にして考えた場合には理論的に正しい形であると思われるが、実際水田の減水深を取り扱う場合、多くの問題点を持つている。

例えば山崎も報告の中で指摘しているように、(3)式右辺で明らかに存在した直接実測可能な量は水面蒸発量のみである。

水田土壌固有の浸透量についていえば、これはあくまで仮定の量であつて、時間的、空間的には存在しない量である。例えば第3図等に筆者等がポットを用いてカンガイ期間中の水田土壌の透水係数の変化を測定したものを示した⁹⁾。これをみると無植生区の透水係数はカンガイ期間中、ほぼ一定であるが、植生区の透水係数は著しい変動を示している。植生区の透水係数は水稻根の活力

の盛んになる、8月上旬より漸次低下し9月下旬には再びカイ復している。しかし植生区でも浸透量が多量であれば透水係数は変動しなかつた。この実験はポットの下端から相当多量の水量を排出させ短時間で測定を行なつたもので、得られた透水係数には、イネの吸水の影響はほとんど含まれていないと考えられる。

したがつて土壌の透水係数の低下は、土壌の透水構造の変化によるもので、同時に行なつた E_h の測定、土壌の理化学的分析からおして、透水構造の支配的因子は還元状態の進行に伴うガスの発生による有効孔ゲキの減少、及び団粒の破壊によるものと推論された。



第3図 カンガイ期間中の透水系数の時間的变化

| 試験区番号 | 植生 | 垂直浸透 |
|-------|----|-------|
| A-2 | あり | なし |
| B-2 | " | 約20mm |
| C-2 | " | 約70mm |
| A-a-2 | なし | なし |
| B-a-2 | " | 約20mm |
| C-a-2 | " | 約60mm |

土壌は平塚水田土壌、透水系数はすべて20°Cに補正した値

このほか、シロカキ、中耕除草等の操作も透水構造の変動の大きな要因となることが考えられるし、また透水構造は変らなくても浸透量そのものは、温度、地下水位によつて変化することは明らかである。

このように実際水田の浸透量は、土壌固有のものではなくして、作物、土壌、水、地形、気象等の諸因子によつて定まるもので、まったく同一の浸透量というものも存在しないといつても過言ではない。したがつて、ある条件下の浸透量からイネの吸水の影響を除いたものを、“水田土壌固有の浸透量”として減水深の基礎にするのは、少なくとも現実の技術的問題に対しては無効だといえる。

このほか、(3)式の右辺第2項についても、山崎も指摘しているように土層の厚さをどうとるか、根の吸水量を積算する操作が可能であるかどうか、大きな問題点を有しているといえる。

このようにしてみると、一見極めて簡単にみえる水田減水深の表示法もなかなか難かしいもので、(1)、(2)式では理論的に誤りであるし、(3)式では理論的には正しいが、実際の問題解決にはあまり役立たないということになる。

そこで筆者は水田減水深の表示式には、“水田土壌固有の浸透量”のような本質論的段階の値は用いず、実際水田に実体として存在する諸量を基礎にした次式を採用すべきであると考えている。

$$\text{減水深} = \text{根群域以下への浸透量} + \text{葉面蒸発量} + \text{水面蒸発量} \dots\dots\dots(4)$$

これは、(1)式の浸透量を土壌表面を基準にして考えず、根群域の最下端の断面を基準にし、これより下方または側方への移動量として規定するものである。

このように考えれば、まず理論的に水の収支量の関係については誤りはなくことになる。すなわち土壌表面よりの浸透水量は、(4)式右辺の1項、2項の和であり、これは前に述べた水田土壌固有の浸透量よりは大きい量であり、その内容は、(3)式の“水田土壌固有の浸透量 + 根の吸水量 × $\frac{\text{土層下端より吸水箇所までの距り}}{\text{土層厚}}$ ”に相当している。

次に(4)式によれば、各量は実存する量であり、測定も可能である。ちなみに最近作物生理、および栽培の分野で水田の透水性の生育に及ぼす影響について多く論じられているが、このような問題解明の点でも明らかにされなければならない量は、(4)式1項、2項であると考えられる。さらに大切なことは、後でも少しふれるが、最近のイネ作にみられるように節水、間断カンガイ等を行なうことにより、水田でも湛水しない場合が多くあるが、

このような状態での減水深は(1)~(3)式ではまったく取り扱いが困難になり、どうしても(4)式の考え方を必要とする。(4)式は畑地カンガイの場合の用水量(減水深で示す)の考え方と同一であり、今後の水田、畑を通じての水利利用の立場からも、この考え方に立つて、その内容を深めて行く必要がある。

4. 水田減水深の測定法

水田減水深の測定は従来いろいろの方法で行なわれているが、ここで問題にするのは、一枚の水田の減水深は勿論、その構成諸要素である、浸透量、葉面蒸発量、水面蒸発量の各値も同時に求めようとするものである。筆者等は現在“水田用水量測定方式に関する研究”のテーマに取り組み、上述の目的のある程度は達成しているが、まだ完全なものとはなっていない。そこで、ここでは、これらの測定法確立のための基本的な考え方及び得られた結論についての若干の紹介を行なうことにする。

1) 基本的な考え方

水田の減水深は前述のように、“根群域以下への浸透量 + 葉面蒸発量 + 水面蒸発量”で示されるが、この中で(根群域以下への浸透量 + 葉面蒸発量)の値は土壌表面より下方に浸透降下する量であり、また水面蒸発量は株間から蒸発する量で、いずれも直接測定可能量である。これらをまず正確に測定する方法が必要である。この場合、これらの2つの量は、一枚の水田の減水深は比較的簡単に精度の高い値を得ることがができるから、この値に対応して、一枚の水田全体の平均量を示すことが大切である。

次に土壌表面よりの降下浸透量 (= 根群域以下への浸透量 + 葉面蒸発量)の値が求められたならば、さらに“根群域以下への浸透量”または葉面蒸発量を正確に測定する方法が必要となつてくる。この場合葉面蒸発量はあくまで、実際水田のイネについて行なわれる必要がある。従来の有底箱による方法は、筆者等の試験では、あまり信用できない値となつている。(この点については近い将来発表する予定である)また根群域以下への浸透量については、これの流動方向についての究明と合わせて行なう必要がある。

このようにして、水田減水深を構成する諸量が得られたならば、はじめてこれらの量の生産力的意義についての検討が可能になるわけである。

2) 水田全体の減水深の測定法

これは一枚の水田に湛水された全水量を基準にして、総消費水量を求めるには直接的であり、かつ測定値も水管理さえ慎重に行なうならば相当の精度を持つことが可

能である。フックゲージ、自記水位計、流入、流出量計等によつて測定できる。

3) 水面蒸発量の測定

減水深を構成する各要素の中で比較的簡単に直接測定できるのは水面蒸発量であり、まずこの量を測定して減水深から除くことが必要である。測定は株間蒸発計を用いて行なう。なおこの測定にあつての最大の困難は雨量の補正で、このためには精密な株間雨量計が必要である。

4) 土壌表面よりの降下浸透量の測定

この測定法には、いろいろ考えられるが、次の条件をそなえることが必要である。

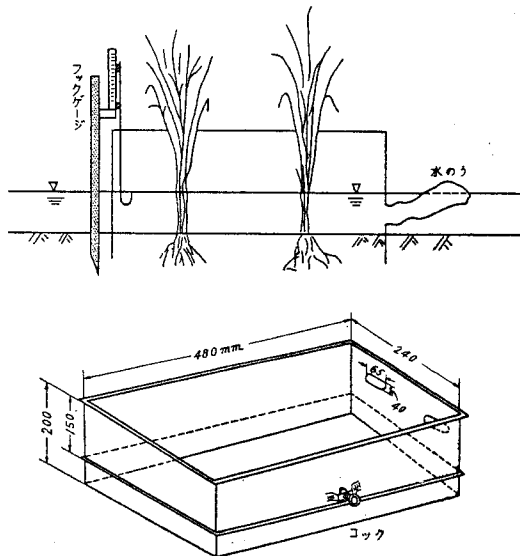
(イ) ワクを打ち込む場合が多いが、ワク内の水位と水田の水位を常にレベルに保つことが必要である。

(ロ) ワクの打ち込み深さをなるべく浅くして、側壁による漏水、水の流れの攪乱を少なくすることが大切である。

(ハ) ワクは一枚の水田に対して、平均に稲株、株間水面を含む必要がある。

(ニ) 測定値は時間的変化が大きいため、普通の目的のためには日単位で正確に求められることが大切である。

筆者等は、以上の条件を満足する測定器具として、第4図に示すような型のものを試作し、その精度を確認して使用している。なおこれらのワクを用いる場合ぜひ注意しなければならないことは、水田土壌の透水性は一枚の水田でも非常にバラツキの大きいことである。ワクの大きさは、これらのバラツキを平均に含む大きさでな



第4図 新型測定器

ければならないし、また場所による浸透量に傾向がみられれば、数個を同時に使用しなければならない。

5) 根群域以下への浸透量の測定

この測定方法について、筆者はまだ確定的な方法を見出していないが、ほぼ2つの方向が考えられる。1つは葉面蒸発量を測定して、土壌表面よりの降下浸透量から差し引いて求めるものであり、1つは直接測定する方法である。直接測定する方法の中には、JOFFE⁹⁾が畑地の土壌を攪乱しないで浸透する水量を計るために考案した、浸透計のようなものを設置して直接降下浸透する水量を計る方法と、土壌表面より2本のマンメーターを根群域以下に差し込み、その水圧をはかり、あらかじめ測定しておいた根群域以下の透水係数より計算で求める方法の2つが考えられる。

いずれの方法にしろ、これらは早急に確立する必要があるもので、筆者等は実験を継続中である。

5. あとがき

以上で水田におけるイネの吸水と浸透量の関係、水田減水深の表示式の問題、減水深の測定法の諸問題等について述べたが、勿論実際水田における複雑な諸要素のからみ合った減水深の現象論についての問題のみである。

減水深、水田の透水性等の問題は各学問分野の境界領域にぞくする事項が多く、生産力にとって直接結びつきの多い事項があるにもかかわらず、比較のおくれた分野にぞくしている。今後各方面の知識を寄せ合つて、発展させる必要があるであろう。

参考文献

- 1) 田辺邦美：水田における水稻蒸散力の浸透速度に及ぼす影響 (I), (II), 農土研, 25, 4号, 5号
- 2) 富士岡義一：水稻の葉面蒸発量が浸透に及ぼす影響について, 農土研, 25, 5号
- 3) 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あたえるか, 研究の資料と記録 8集, 東大農学部土地改良研究室
- 4) 吉良芳夫・椎名乾治・竹中肇：浸透が土壌、作物に及ぼす影響について(I), 農土研, 25, 6号
- 5) 狩野徳太郎・古木敏也・中川昭一郎：水稻の蒸散が浸透に及ぼす影響について(第1報), 農業土木学会大会講演要旨(昭和35年度)
- 6) 吉良芳夫・椎名乾治・竹中肇：浸透が土壌、作物に及ぼす影響について(II), 農土研別刷1号集録予定
- 7) 狩野徳太郎・椎名乾治・中川昭一郎・小菅孝利：水田用水量測定方式に関する研究(第1報), 農業土木学会大会講演要旨(昭和35年度)
- 8) JOFFE: Lysimeter studies (1), Moisture percolation through the soil profiles, *Soil Sci.* 34 (1932)