

## 重粘土水田の土層改良と用排水組織に関する研究

根 岸 久 雄\*

Soil Reclamation and the System of Irrigation and  
Drainage in the Area of Heavy Clayey Paddy Fields.

Hisao NEGISHI

National Research Institute of Agricultural Engineering

### 1. はしがき

この研究は、「農林水産技術会議が特別研究としてとりあげ、昭和43年度から昭和45年度までの3カ年間、農業土木試験場、農業技術研究所、農事試験場、北海道農業試験場、北陸農業試験場および九州農業試験場において実施した共同研究の成果である。

……重粘土地帯水田は、その透水性が小さいためにホ場排水が悪く、また地耐力が弱いために大型機械の導入や適正な水管理、田畑輪換などが困難な場合が多く、この乾燥促進や透水性改良などの整備技術については、いまだ体系化されるに至っていない。本研究はこれら整備技術のうちとくに遅れている重粘土地帯水田に必要な排水、土層改良と合理的用排水組織について、全国の代表的重粘土地帯水田を対象とした現地調査・試験を中心に解明し、ホ場排水の計画・施工基準の早期確立に役立てようとしたものである。」(農林水産技術会議事務局、研積成果重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研積)の序文より)

すなわち、特定対象(重粘土地帯水田)の技術(ホ場整備)の確立を目的とした共同研究である。

共同研究では最終の研究成果はもちろん、研究過程の見解も共同研究者の助力を受けることが多いので分離しがたいが、紙数の関係からここでは主として農業土木試験場が分担した研究を中心にのべる。詳細は農業土木試験場報告第10号(昭和47年3月)「重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究」(I)~(IV)をご覧ください。

### 2. 研究の進め方と研究対策

研究は次の3つに分けられる。第1は「重粘土」の物理性の研究、とくに重粘土の性状変化に伴う透水性の変化の研究と、「排水不良水田」発生の気象・立地的要因および技術的要因の解明である。第2は改良目標の設定

であり、第3は改良技術の実証的研究である。これら3つの研究は段階的に進められるべきであるが、限られた期間の研究であり、並行して進めた。

ここでいう「重粘土」は土壌分類や土性分類と直接対応するものでなく、「粘土含量が多く湿潤な環境下では軟弱で、透水性が低いか、または、低くなりやすい土」の呼称とした。したがって、土性区分からはHCのみならずSiC, LiC, およびSCをも含み、強グライ土壌、グライ土壌のほか、灰色、灰褐色、黄褐色土壌および黒泥、泥炭質土壌等の土壌群中に分布する。

農業土木試験場が主として担当した試験地の土壌は次のとおりである。

福島県安積地区；洪積台地，土性LiC~HC，黄褐色土壌，主要粘土鉱物，7Åカオリン鉱物，パーミキュライト

新潟県潟東地区；沖積河成・湖成低地，土性LiC~SiC，強グライ土壌，主要粘土鉱物，モンモリロナイト。

新潟県高田地区；沖積河成低位台地，土性HC，強グライ土壌，主要粘土鉱物，モンモリロナイト。

水田の「排水不良」は土壌の性質(主として透水性)以外の要因によってもひきおこされる。この研究では排水不良の要因を土壌的要因、水理的要因および人為的要因に分けた。

水理的要因とは、かんがい取水、降水、地表・地下流水等、ホ場排水必要の発生原因および、地表排水における排水路の水位、土層中の降下浸透(地下排水)がダルシー則  $V = k \cdot h/l$  によるとする場合の動水勾配  $h/l$  等を水理的要因とした。ここで、透水係数  $k$  が土壌的要因である。また、用排水施設の運用、ホ場用排水の管理等にもとづくものを人為的要因とした。

### 3. 土壌物理性に関する研究成果

#### 1. かく乱土の透水係数

重粘土の透水係数は、試料作成の条件によって異なり、試料作成時の含水比の低いもの、密度の小さいものの透水係数が大きい。また、同等の密度では酸化の進ん

\* 農林省農業土木試験場

だ土の透水係数が大きいのが、試料水没期間の経過にしたがって還元状態の試料との差が縮小する。しかし、「重粘土」の透水試験は再現性が低い。

透水係数 $10^{-7}$ cm/sec を一つの指標値とすると、液性限界前後の含水量でこねかえした「重粘土」の透水係数は、すべて指標値以下で、土壤生成過程の相違、粒度組成の相違、土壤の酸化・還元状態の相違による差がみとめられない。この指標値以上となる土はシルト分以下（71 $\mu$ 以下）の含量が30%未満で、粘土分以下（2 $\mu$ 以下）の含量が10%未満の土であった。

## 2. 動水勾配と透水係数

ダルシー則では透水係数は動水勾配にかかわらない。しかし、動水勾配を小さくしていくと、透水係数の小さくなる現象がみとめられる。標準砂や砂質ロームの上では、動水勾配0.01前後を界として透水係数が低下する。火山灰質ロームでは、動水勾配0.1前後から低下し、土の精度が細くなるにしたがって、この境界点が大きくなる傾向を示す。「重粘土」についての測定は再現性の低さから十分でないが、ロームの値より大きいものと判定された。

また、動水勾配が傾きをもつ場合（例えば暗キヨ周辺での縮流部分等）の実験では、時間経過にしたがう透水係数の低下がいちじるしい。ただし、これは試料作成直後の試験成績であって、試料作成後十分な時間を経過し安定した試料についての試験は未了である。

## 3. 水田土層の透水係数

かく乱試料の透水係数にくらべ、水田土層の透水係数は広い範囲に分布する。とくに作土層では季節変化が大きい。潟東地区の測定によれば、春の耕起前では $10^{-4}$ cm/sec.以上、代かき～中干し前は $10^{-7}$ cm/sec.以下、中干し後では $10^{-6}$ cm/sec.域と変化した。下層土の透水係数は作土層より小さく、かつ、大きな季節変化はみとめられなかった。しかし、キ裂をさけて採取した小さい試料の透水係数と、現場土層で測定した透水係数では、1桁以上の差があり、「重粘土」水田では透水性のバラツキが大きく、それが土層のキ裂にもとづくことが明らかにされた。

水田土層は透水性からも作土層と下層土に区別されるが、作土層の直下に透水係数の大きい薄層の形成されることが観察された。潟東地区の例では、地表から12～20cmの深さに厚さ4～6cmの透水性の高い層がみとめられた。この層は中干し時の測定で $1 \sim 3 \times 10^{-6}$ cm/sec.、落水後では $2 \sim 4 \times 10^{-5}$ cm/sec.となるが、暗キヨ等によりこの層の耕水が増強された場合は、 $1 \sim 2 \times 10^{-3}$ cm/sec.の大きさになり、降雨の排除を早め、作土層の乾燥を促進するとともに、層自体がますます拡大強化するこ

とが認められた。

## 4. 環境による土の性状変化と透水性

砂は水分環境の変化による性状変化が少ない。したがって、透水性の変化も少ない。「重粘土」は水分による性状変化がいちじるしく、透水性が変化するとともに自らの環境条件を変える。

重粘土は水分の供給をうけると、吸湿膨潤化して排水を不良にし、湿潤的環境を助長する。初期水分をpF4.2とした安積地区の下層土試料は、吸湿による膨潤圧5.2kg/cm<sup>2</sup>を示し、非拘束状態では60%以上の体積膨脹を示した。この現象は沖積の密度の低い「重粘土」でも認められた。

乾燥的な環境におかれた「重粘土」は水分を失い収縮固結する。初期含水量の多い場合は、失った水分容積にちかい収縮量を示す。現場土層の収縮は初め垂直方向のみであるが、含水量がpF1.3～1.8になると水平方向にも収縮し、垂直方向のキ裂を生ずる。キ裂はより下部の乾燥を促進するとともに、水みちとなって排水性を高めて、より、乾燥的な環境となる。

「重粘土」は一度の乾燥によっても性質が変化する。生土と風乾土のpF--水分、アッターベルグ限界値等の相違にもみられる。

乾湿が反復する環境におかれた土は、湿潤環境におかれた土と異なる性状のものに変化する。

乾燥初期のキ裂は、含水比の多い強度の低い部分を起点として数10cmの間隔に生ずる。キ裂面は蒸発による乾燥と、内部から水によって運ばれた物質を集積して不均質な部分となる。このため湿潤状態となってキ裂が閉じても、再び乾燥するときのキ裂の再発部分となりやすい。キ裂面に集積される物質のうち、特に顕著なものは3価の鉄化合物である。乾燥がより進むと、キ裂によって形成された土塊に更にキ裂が生ずる。しかし、キ裂の増殖は乾燥土塊の吸湿時の崩壊が主要であり、乾湿の反復により土塊は細分化し、酸化して、新しい土壤構造となる。土壤構造の変化の及ぶ深さは、乾燥の強さ、乳湿の周期の長さ、土壤の毛管伝導速度等によって制約されるので、成層状となる。

## 5. 水田下層土の変化

下層土は表層土の被覆により、乾燥の進み方が緩慢で、かつ、強い乾燥状態とならない。このため、表層のようなキ裂の増殖や土壤構造の急速な進展はない。しかし、水平方向の拘束が垂直方向の拘束より大きいので、長周期の乾燥、湿潤を繰り返すときは、垂直方向にキ裂が生成発達して柱状構造となる。

実際の水田では作土層、すき床層など成層の形成による毛管切断と、かんがい、降雨による乾湿の周期の短い

ことから、下層土の乾燥する条件は不良で、土壌面蒸発による乾燥キ裂はすき床層を越えない。

植生は根の伸長によって下層土中に異質部分をつくるとともに、蒸散によって土層の水分を吸収減少させる。土壌の透水性が低い場合は、田面に湛水があっても、根域部に pF1.5 という状態が生ずる場合もある。中干しや落水期の地表湛水が消失した場合は、深さ30~40cmまで pF1.8~2.0 となり、土壌面蒸発では達しにくい下層土の水分低下がはかれる。しかし、通常の水稲栽培では強い乾燥は減収をまねくので、土壌乾燥の促進を目的とする場合は、特殊な栽培様式、例えば北陸農試で開発された無湛水栽培や、畑かん栽培、または、畑作物を導入する。しかし、これらの方法によってもキ裂の生成は30cmを越えることは困難である。また、洪積台地等密度が高い重粘土は、土壌面蒸発や植生の蒸散による程度の乾燥では、下層土にキ裂を生じさせることができない。

### 6. 心土研砕、弾丸暗キヨ施工による工層の変化

ある含水量領域の土層に弾丸暗キヨを施工すると、土が塑性変形して、きれいなキヨ孔ができる。含水量がこの領域より多い場合は、キヨ孔は閉塞する。また含水量が少ない場合は土層の破砕が周辺および、いわゆる心土破砕の状態となる。

弾丸暗キヨのキヨ孔が維持される下限の土壌状態は、コーン指数1.5~2kg/cm<sup>2</sup>であった。また、安積地区のようなかたい土層で破砕が十分に行なわれる条件は、土のかたさが山中式硬度20~23mm以上であった。

弾丸暗キヨ施工の効果はキヨ孔の排水効果はもちろんであるが、「重粘土」の場合はスタンダート（弾丸保持板）の切断跡や、キヨ孔周辺にできるキ裂が排水の水みちとなり、土壌変化の起点となる効果が大きい。

キヨ孔の保存寿命と土壌の関係は明らかにしえなかったが、キヨ孔にもみから等を頒充することで、キヨ孔の寿命延長がはかれた。排水機能が持続する暗キヨでは、キヨ孔直上部分からの土壌変化が逐次周辺に広がるのが認められた。

## 3. 水田「排水不良」の原因解明に関する成果

### 1. 土壌的要因の究明

「重粘土」はその規定からも透水性の低いことを特徴とするが、乾裂的環境条件のもとでは、十分高い透水性を示す。したがって、重粘土水田が「排水不良」となっているのは土壌そのもののほかに、環境条件の不良が付加されている。排水改良の計画および排水不良原因究明の調査では、土壌調査に併せて環境条件の調査が重要である。しかし、環境条件の改善による土壌透水性の向上について、適確な推測を確立するまでに至らなかったの

で当面、実験的な方法、または、類似地の事例から推定することとした。

### 2. 水理的要因の究明

**水分供給条件**；水田は水不足の惨状にくらべ、水分の供給過剰は問題にならない。このため、用水の確保が最重要であって、自然の水分供給は安全側の条件とされ、重視されることはなかった。しかし、土壌の透水性が低く、一度供給された水分の排除が容易でない重粘土水田では、かんがい水のほか、降雨分布、地表・地下流入等の水分供給実態を明らかにすることが重要である。とくに、従来無視されてきた、非かんがい期における実態把握の重要性を指摘し、調査法と対策方法をのべた。

**排水条件**；水田の区画拡大ともなって、水田の排水をすべて地下排水によるりする傾向がある。重粘土水田は、地下排水の強化はもとより重要であるが、重粘土水田では地表水は可及的地表排水とすることの重要であることを指摘し、その対策を示した。

また、重粘土水田の暗キヨは排水機能のほかに、土壌構造改善の効果をもつことから、なるべく密なことが好ましく、このため、通常暗キヨに弾丸暗キヨを併用することの有効性を実証した。

### 3. 人為的要因と対策

**ホ場整備**；水田の型態や水利型態が湿田型で、水田の高度利用を阻害している場合等、基盤整備のおくれも人為的要因といえる。

ホ場整備のおこなわれたホ場で、計画、設計が「排水不良」の原因となっている例は少ないが、地形、土壌条件等との適合不良の場合がある。とくに施工では、施工期、施工法の不適、施工管理の下良により、事業効果が低下している例がある。

**施設管理・ホ場管理**；ホ場の利用・管理が個別的であることと、用排水施設の共用的機能は一つの矛盾でもある。用排水管理や水利慣行はこの矛盾を補うものである。したがって、用排水施設の大規模化やホ場整備、水利用技術の進展に伴って用排水管理体制、管理技術も発展させなければならない。これらが遅れていて、過剰な取水にもかかわらず、用水の不十分な部分があるとともに、排水負担を増大し、排水不良な部分を発生させて、施設と水の利用効率を低めている例がある。とくに非かんがい期の施設管理、排水管理の不良な例が多い。

これらの管理不良にもとづく排水不良対策として、小ブロック排水方式とその管理体制を示した。

### 4. 重粘土水田の排水に関する目標値の設定

重粘土水田の排水について当面の目標値を次表のように設定した。

重粘土水田の排水に関する目標値

| 項目                         | タ ン 水 期                  | 非 タ ン 水 期                                      |   | 参 考<br>( 転 換 畑 )           |
|----------------------------|--------------------------|--|---|----------------------------|
|                            | ( 移 植 栽 培 中 干 し 期 まで )   | 湿 潤 期<br>( 表 日 本 刈 取 期 まで )<br>( 裏 日 本 秋 冬 期 ) | 乾 期<br>( 表 日 本 秋 ~ 春 期 )<br>( 裏 日 本 春 期 ) |                            |
| 減 水 深                      | 10~20mm/day              | 25~50mm/day                                    |   |                            |
| タン水(降雨)消率速度                |                          | 50mm/2日  | 60mm/1日                                   | 50~100mm/1日                |
| 降 下 浸 透 速 度                | 5~15mm/day               | 25~50mm/day                                    | 50~60mm/day                               | 50~100mm/day               |
| 土 壌 透 水 係 数                | 10 <sup>-5</sup> cm/sec. | 5 × 10 <sup>-5</sup> cm/sec.                   | 10 <sup>-4</sup> cm/sec.                  | 10 <sup>-4</sup> cm/sec. < |
| 降 雨 後 20cm土壌水分<br>2日目の地下水位 |                          | pF 0.7<br>30cm                                 | pF 1.2<br>40cm                            | 40cm                       |
| 降 雨 後 20cm土壌水分<br>7日目の地下水位 |                          | pF 1.5<br>50cm                                 | pF 1.7<br>60cm                            | 60cm                       |
| 表層20cmの土壤強度                |                          | S R - II 型 コ ー ン<br>3 ~ 3.5kg/cm <sup>2</sup>  | 5 kg/cm <sup>2</sup>                      |                            |

目標値の設定の基礎は次のとおりである。

① 水稲作の機械作業が効率的、かつ、安定して行なえること。

② 機械荷重によって、下層土中の水みちが破壊されないこと。

③ かん水・排水の水管理が迅速、容易なこと。

④ 乾田直播・田畑輪換および畑地転換の場合に要求される、土壤乾燥状態となしうること。

稲の収穫期は地表水、降雨を迅速に排除して、収穫機械の作業を制約しないこと。秋播き作物の初期生育に障害を与えないこと、および、土壤物理性を悪化させないことを目的として、降雨の排除、降雨後の地下水位降下の速さ、土壤水分等の目標値を定めた。

春期の目標値は主として、土壤の透水性向上を目的としたもので、耕起作業の地盤条件はもちろん、畑作物の必要とする土壤条件を十分に越える値とした。

以上の2つから決まる土壤透水係数では、湛水時の降下浸透が過大となるので、代かきや地下排水の抑制によって、減水深を調節することが必要である。

### 5. 排水改良技術の実証成果

この研究で重粘土水田の排水改良について、実証を含めて具体的な技術的方法を提示した。

① 重粘土水田の排水改良は施設的な整備だけでは不十分で、土壤透水性を高めるための諸対策の併用が必要であることを明らかにした。

② 重粘土層の透水性の向上は、大きなキ裂(水みち)の造成と、乾燥による土壤の性状変化による。

暗キヨ排水、弾丸暗キヨの施工は地下排水組織の造成であるとともに、心土破砕と同様土層にキ裂を造る手段

でもあり、土壤条件に適した暗キヨの工法と、施工、管理方法を示した。

③ 重粘土水田の土壤乾燥は非かんがい期によるが、稲作期間中の中干し、間断かんがいは、植生の蒸散機能も加わって、土層にキ裂をつくり落水期の排水とその後の土壤乾燥に貢献する。このため、中干しを土層のキ裂発生に好適な気象時期に合わせることを提起するとともに、稲の生育・収量からの中干し強さの許容範囲を明らかにした。

④ 重粘土水田の用排水施設とホ場の形状では過剰な水の流入防止と迅速な排水に適したものとする。とくに、暗キヨからの排水不良や暗キヨから逆給水を起こさない用排水組織形式を検討した。

⑤ 用排水施設の機能を十分に発揮するために、管理体制を整備強化する。排水が不良になりがちなところでは、ブロック化した排水管理組織を基礎とする管理体制をとることを提起した。

⑥ 水田の排水改良にとまって不良化する土壤がある。泥炭質土壤に砂層がまじる土壤で、乾田化により泥炭の分解と、機械の踏圧によって土壤がち密化し、湿田状態の水田よりも透水性が低下した。同じ土壤で畑地状態が継続されたところが、最も生産力が高かった等の例により、土地利用方法の選択の重要性を示した。

研究成果として以上のようなまとめをした。しかし、同時に多くの不完全さが指摘される。成果の多くは定性的な解明と判断にとどまるものが多く、定量的な解明に達したものが少ない。このため、重粘土水田改良の計画一般の参考にはなるが、具体的な設計への寄与は不十分である。

また、重粘土水田の排水改良の方法について一連の解明をしたが、これらの方法によるホ場整備および管理に関する経費、所要労力に関する調査を欠いている。水田の排水改良乾田化は、当然土地の生産力に変化を及ぼす

が、生産の推移についての検討が不十分である。

これらの指摘事項は今後の研究によって補わなければならないが、同時にこのような段階で一応終了とされる研究の進め方も、問題として考えなければならない。

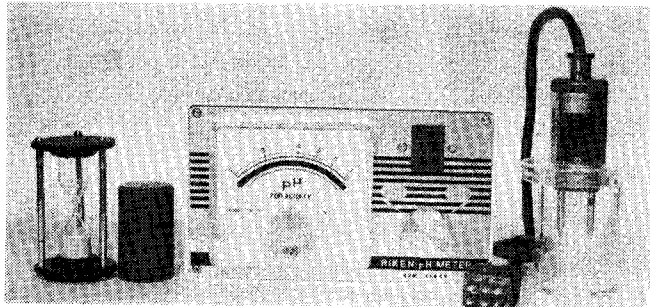
〔水分〕

理研式簡易水分計

〔pH〕

理研式簡易 pH 計

土壌調査と農産加工に最適



◎本器は現場的であり、実用向であるので欧米各国にも広く輸出され好評を得ております。

◎携帯用で、いつ、どこでも、だれでも利用できます。

理研科学測定器研究所

東京都足立区伊興町前沼1254  
〒121電話899-4874・897-8860