

粘土質の暗キョ施工田における排水

丸 田 勇*

1. は し が き

粘土質の暗キョ施工田の土壤断面で顕著なことは、溝掘機による溝跡に大きな土塊と間ゲキが存在し、溝跡の内壁と土塊の表面に膜状斑鉄がみとめられたことである。このような人工的につくられた土壤構造は水の浸透に対して重要な役割を果しているのではないかと思われた。12月の降雪前の降雨の多い時期に、溝跡（暗キョの直上部）と溝跡から5 m離れた2地点において、直径30 cm程度の穴を深さ20cm、30cm、50cmにそれぞれ掘り、タン水してその水位低下を測定した。その結果溝跡では三つの穴の水位低下がそれぞれ15cm、30cm、50cmであった。5 mの地点では0 cmであった。この水田は乾田直播4年目で作土下には多くの（叢）管状斑鉄がみとめられ、かなり透水性がよい水田だと云われていた。このような溝跡による暗キョへの流出と、そのことが土壤ならびに地耐力にどのような影響を与えるかを知るため次のような調査を行った。

2. 調 査 方 法

以上の観察は非カンガイ期のことであり、カンガイ期のことについては不明である。したがって各時期を通じての排水の実態を観察しなければ前述の目的を果すことはできない。そこで次のような計画を立て調査を行った。

1. 調査時期：シロカキ後（Ⅰ）、中干し期（Ⅱ）、落水刈取（Ⅲ）、刈取後（Ⅳ）（図-1）

2. 調査地：新潟県農業試験場長岡ほ場内の水田2枚（図-2）いずれも移植で、品種は越路早生、栽植密度は18株/m²である。作業歴は表-1に示したようで、いずれも中干しを行った。土管暗キョならびに弾丸暗キョ

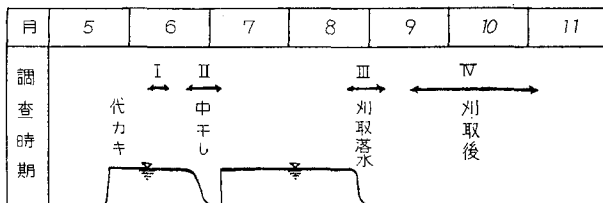


図-1 調査時期

* 新潟県農業試験場

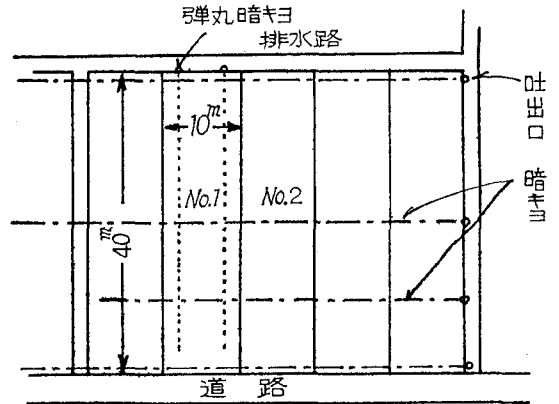


図-2 耕地の略図

表-1 水田の作業歴（1965）

| 耕起 | かん水 | シロカキ | 田植 | 中干し | 落水 | 刈取 |
|------|------|------|------|----------|------|-----|
| 月 日 | 月 日 | 月 日 | 月 日 | 月 日 | 月 日 | 月 日 |
| 5.10 | 5.12 | 5.14 | 5.25 | 6.25~7.5 | 8.25 | 9.7 |

表-2 土壤の粒経組成（%）

| 項目 | 粗砂 | 細砂 | 砂合計 | シルト | 粘土 | 土性 | |
|----------|----------|-------------|------|---------------|-----------|------|-----|
| | 2~0.2 mm | 0.2~0.02 mm | | 0.02~0.002 mm | <0.002 mm | | |
| No. 1 水田 | 0~15 cm | 0.7 | 23.3 | 24.0 | 39.2 | 36.8 | LiC |
| | 15~40 | 0.5 | 22.3 | 22.8 | 40.3 | 36.9 | LiC |
| | 40~50 | 1.3 | 24.5 | 25.8 | 37.3 | 36.9 | LiC |
| | 50~75 | 0.1 | 22.3 | 22.4 | 42.1 | 35.5 | LiC |
| No. 2 水田 | 0~15 | 2.5 | 23.2 | 25.7 | 31.2 | 38.1 | LiC |
| | 15~45 | 1.5 | 20.1 | 21.6 | 42.5 | 35.9 | LiC |
| | 45~60 | 0.5 | 19.1 | 19.6 | 40.5 | 39.9 | LiC |

の施工は開田2作目である。

3. 土壤とその断面

土性は表-2に示すようLiCである。作土には5~10cmの深さに粗大有機物の層が不規則にある。土壤断面は図-3に示すようである。

4. 調査項目

主な調査項目は次のとおりである。

(1) 水みち（塗料注入） ビニール水性塗料を用いて各時期に水みちの追跡を行った。

(2) 土壤の三相分布 内径5 cm、内容積100 cc 薄肉円筒サンプラーを用いて、各時期に表層部分を採土し三相分布を測定した。

(3) 含水比 落水刈取後の表層を時期的に採土し、

NO.1 水田

| cm | 暗キヨ直上 | | 暗キヨから5m | |
|----|-------|------------------|---------|------------------|
| | 土色 | 斑鉄 | 土色 | 斑鉄 |
| 0 | 濁黄々褐 | $\frac{1F}{T}+4$ | 濁黄々褐 | $\frac{1F}{T}+3$ |
| 20 | 濁黄々褐 | $\frac{1F}{T}+2$ | 黄緑灰 | 七+1 |
| 40 | 黄緑灰 | 1F+3 | 暗 灰 | なし |
| 60 | | | | |
| 80 | 緑 灰 | なし | 緑 灰 | なし |

但し { 1F: 縦横の膜状斑鉄
 T: 曇管状斑鉄
 七: 管状斑鉄

2 土壤の
三相分布
とポット
テスト

土壤の三相分布は表-3に示すようである。

この表によれば両水田とも表層の上部(0~5cm)は下部(5cm以下)に比べて水分容積が大きく、固相容積が小さい傾向がみられた

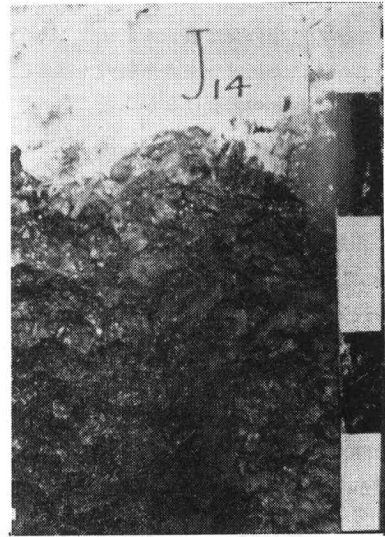


図-4 シロカキ時の塗料浸入 (No. 1)

NO.2 水田

| cm | 暗キヨ直上 | | 暗キヨから5m | |
|----|-------|------------------|---------|------------------|
| | 土色 | 斑鉄 | 土色 | 斑鉄 |
| 0 | 黄緑灰 | $\frac{1F}{T}+2$ | 黄緑灰 | $\frac{1F}{T}+2$ |
| 20 | 黄緑灰 | なし | 黄緑灰 | 七+1 |
| 40 | 黄緑灰 | 1F+2 | 黄緑灰 | なし |
| 60 | 黄緑灰 | なし | 暗 灰 | なし |
| 80 | 緑 灰 | なし | 緑 灰 | なし |

図-3 土壤断面 (1964.10)

程度で、水田による差異、また暗キヨの直上部であることのちがいは見受けられないようであった。いづれも泥状状態を呈しているものと思う。

ポットによる透水試験の結果、シロカキ土壤の透水係数は 10^{-6} cm/secのオーダーであった。

4. 調査結果 (中干し期)

1. 水みち (塗料注入)

8中干し期の後期(7月4日)に暗キヨ直上に塗料を注入したが、塗料の浸入はなかった(図-5)。

なお作土層を除いての塗料注入でも土中への塗料浸入はなかった(図-6)。

炉乾法で含水比を測定した。

(4) 地耐力 小型矩形板 (SR-II型)を用い含水比測定のプロ土地で測定した。

(5) キ裂 中干し期にキ裂の出来たほ場について含水比、硬さ(矩形板による)、酸化還元電位、土壤の三相分布を測定した。

3. 調査結果 (シロカキ後)

1 水みち (塗料注入)

9月8日に暗キヨ上へ水性ビニール塗料を注入し、6月15日に塗料の浸入状況を観察した。

その結果、土中の塗料浸入はみとめられなかった(図-4)。

表-3 シロカキ後の土の三相分布

| 場所 | 項目 | 項目 | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|----|
| | | 水分容積 (cc) | 固相容積 (cc) | 空気容積 (cc) | 間隙率 (%) | 飽和度 (%) | |
| No. 1 水田 | 暗キヨ直上 | 0~5 cm | 76 | 21 | 3 | 79 | 96 |
| | | 15~20 | 63 | 34 | 4 | 67 | 95 |
| | | 25~30 | 62 | 33 | 5 | 67 | 93 |
| | 暗キヨから20cm | 0~5 cm | 74 | 23 | 2 | 76 | 97 |
| | | 15~20 | 64 | 33 | 3 | 67 | 96 |
| | | 25~30 | 56 | 40 | 4 | 60 | 93 |
| No. 2 水田 | 暗キヨ直上 | 0~5 cm | 74 | 24 | 3 | 77 | 96 |
| | | 15~20 | 66 | 30 | 4 | 70 | 94 |
| | | 25~30 | 65 | 34 | 1 | 66 | 98 |
| | 暗キヨから20cm | 0~5 cm | 77 | 21 | 3 | 80 | 98 |
| | | 15~20 | 69 | 30 | 1 | 70 | 99 |
| | | 25~30 | 64 | 33 | 3 | 67 | 95 |

(6月15日 100cc 採土)

2. 土壌の三相分布

土壌の三相分布は表-4 に示すようである。

この表によればシロカキ後の土壌の三相分布と中干し期のそれとの差異はなかった。

5. 調査結果（落水刈取期）

1. 水みち（塗料注入）

8月25日に落水、田面に水たまりがなくなったのはNo. 1の水田が26日、No. 2の水田が29日であった。その後7日間経過したらNo. 1の水田は全面に多くのキ裂がみとめられた。No. 2の水田は主に周辺にキ裂がみとめられる程度であった。そこでNo. 1水田にみられた幅15mm程度のキ裂に塗料を注入した。塗料は5~10cmの深さにある粗大有機物の層全体を着色した。また注入点から有機物の層を横流れして暗キヨ埋設溝に流れこん



図-5 中干し期の塗料浸入（No. 2）

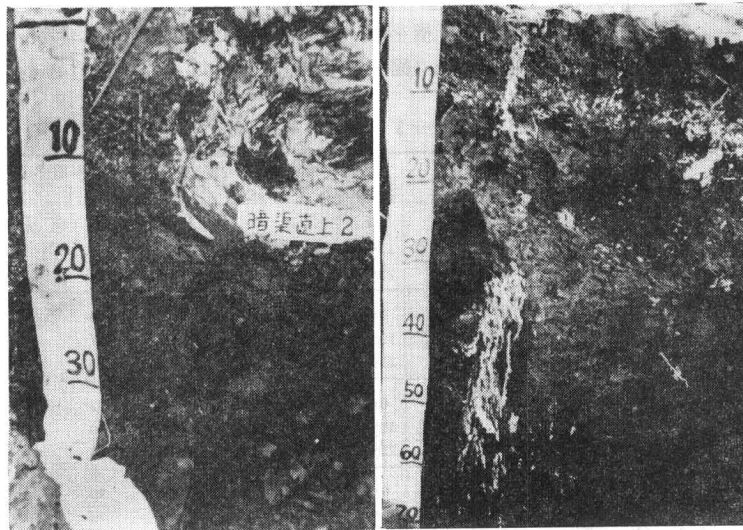


図-6 中干し期の塗料浸入—作土を除いた場合（No. 2）

図-7 落水刈取期の塗料浸入—垂直断面（No. 1）

表-4 中干し期の土の三相分布（No. 2水田）

| 項目 | | 水分容積 (cc) | 固相容積 (cc) | 空気容積 (cc) | 間ゲキ率 (%) | 飽和度 (%) |
|-------|--------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|
| 場所 | 0~5 cm | 71 | 24 | 5 | 76 | 94 |
| | 15~20 | 68 | 32 | 0 | 68 | 100 |
| 暗キヨ直上 | 0~5 cm | 72 | 23 | 4 | 76 | 95 |
| | 15~20 | 68 | 26 | 6 | 74 | 92 |

(7月4日 100cc 採土)

だ。図-7は溝跡の垂直断面で、作土と溝跡の内壁の白色部分が浸入した塗料である。図-8はその水平断面である。

1. 土壌の三相分布

土壌の三相分布は表-5、表-6に示したようである。この表によればNo. 1、No. 2水田とも暗キヨの直上は、水分容積が減少し、固相容積と空気容積が増加した。しかしNo. 2水田の0~5cmのところでは落水以前と大差ない結果を示した。

暗キヨから5m地点は、No. 1水田が落水前に比べ水分容積の減少と空気容積の増加をみた、No. 2水田が落水前とほぼ同じ結果であった。

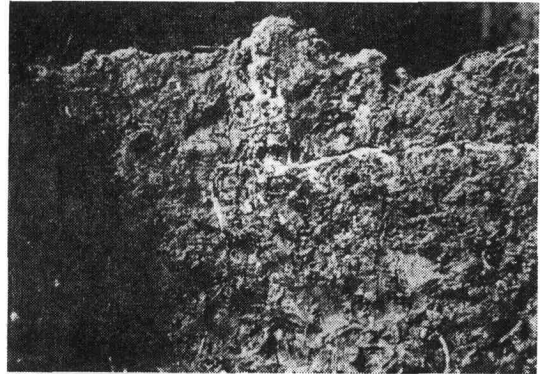
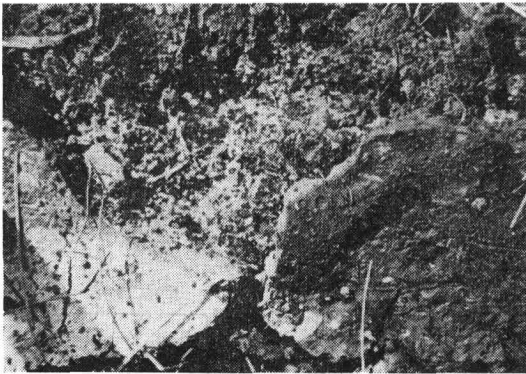
6. 調査結果（刈取期以後）

1. 水みち（塗料注入）

12月21日に落水刈取期の時と同じようにキ裂に塗料を注入した。その結果、塗料は5~10cmの層を横流れして暗キヨ掘削溝へ流れこんでいた(図-9)。

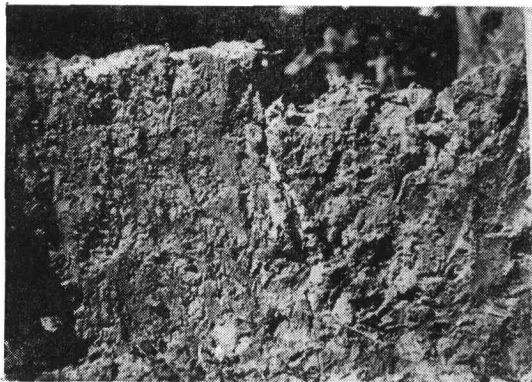
2. 土壌の三相分布

土壌の三相分布は図-10に示すようである。この図から非カンガイ期の表層(0~5cm)の三相分布は、No. 1水田の暗キヨ直上と5m地点、No. 2水田の暗キヨ直上の時期的変化をみると、それらのちがいは水分容積、固相容積、間ゲキ率にみられた。水分容積はNo. 1水田の暗キヨ直上がもっとも小さく、No. 2水田がもっとも大きかった。No. 1水田の5m地点はそれらの中間であった。固相容積は水分容積とは逆の結果であった。間ゲキ率は水分容積とほぼ同じ傾向を示した。そして以上3地点の差がもっとも大きかったのは9月であった。空気容積と飽和度は、暗キヨ直上において、前者がNo. 1水田において大きく、後者がNo. 2水田において



図—8 落水刈取期の塗料浸入—平面 (1) 表面 0 cm

(2) 深さ 15cm の水平断面



(3) 深さ 23cm の水平断面

5 m地点が80~100%であるのに対して、No. 2 水田の暗キヨ直上は120%以上であった。

4. 地耐力 (小型矩形板による)

小型矩形板の沈下量の時期的変化は表—8 に示すようである。

1.2kg/cm² 荷重載荷による沈下量は、No.1 水田の暗キヨ直上が 7 cm 以下、5 m 地点が 10 ~ 13 cm に対して、No. 2 水田は20~40cmであった。

以上のような地耐力 (小型矩形板による) と含水比の水田において、10月30日にファガソン35馬力のトラクタの導入テストを行った。その結果、No. 1 水田では耕起 (ローターベータ耕) 作業が可能であったが、No. 2 水田では困難であった。なお翌春の5月12日にも同様のテストを行ったが、その結果はNo.2 水田の降雪時まで地表残留水があった凹部のみ作業困難で他は容易であった。以上のテストは定性的なもので、ここに得られた地耐力

(小型矩形板による) をもって機械力導入の可否を判定することはできない。

7. 調査結果 (キ裂について)

ここではキ裂発生の絶対条件を明らかにしようというのではなく、キ裂発生にはどのような土壌の因子が関係しているかを知る手がかりを得ることを目的に調査をした。

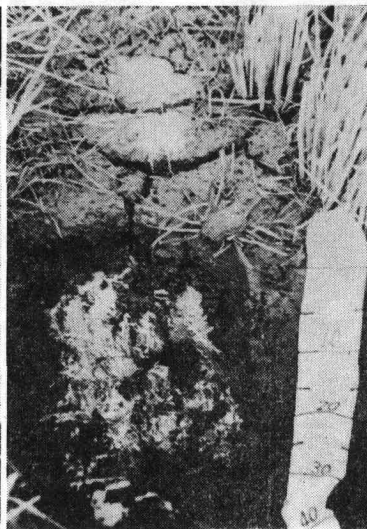
調査は図—11に示したような中干し期にできたキ裂について行った。No. 2 の水田において道路側から水田の中に向かってキ裂のあるところからないところと4地点を選び、酸化還元電位、含水比、地耐力 (小型矩

高い結果を得た。

3. 表層 (0~5cm) の含水比変化

含水比の時期的変化は表—7 に示したようである。

この表によれば No. 1 水田は暗キヨ直上が70~80%、



図—9 12月の塗料浸入 (1) 平面、

(2) 垂直断面

表一五 落水刈取期の土の三相分布 (No.1 水田)

| 項目 | | 水分容積 (cc) | 固相容積 (cc) | 空気容積 (cc) | 間ゲキ率 (%) | 飽和度 (%) |
|----------|--------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|
| 暗キヨ直上 | 0~5 cm | 59 | 23 | 18 | 77 | 77 |
| | 10~15 | 56 | 33 | 11 | 67 | 84 |
| | 20~25 | 40 | 45 | 15 | 55 | 72 |
| 暗キヨから5 m | 0~5 cm | 68 | 23 | 9 | 77 | 89 |
| | 10~15 | 55 | 32 | 13 | 68 | 81 |
| | 20~25 | 51 | 41 | 8 | 59 | 86 |

(8月30日 100cc 採土)

表一六 落水刈取期の土の三相分布 (No.2 水田)

| 項目 | | 水分容積 (cc) | 固相容積 (cc) | 空気容積 (cc) | 間ゲキ率 (%) | 飽和度 (%) |
|----------|--------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|
| 暗キヨ直上 | 0~5 cm | 75 | 19 | 6 | 81 | 93 |
| | 10~15 | 46 | 34 | 20 | 66 | 70 |
| | 20~25 | 50 | 37 | 13 | 63 | 79 |
| 暗キヨから5 m | 0~5 cm | 82 | 17 | 1 | 83 | 99 |
| | 10~15 | 75 | 21 | 5 | 80 | 94 |
| | 20~25 | 67 | 33 | 0 | 67 | 100 |

(8月30日 100cc 採土)

表一七 表面含水比の変化 (0~5 cm)

| 場所 | | 9.16 | 9.27 | 10.4 | 10.23 | 10.30 |
|---------|-----------|------|------|------|-------|-------|
| No.1 水田 | 暗キヨ直上 (%) | 73 | 70 | 77 | 86 | 73 |
| | 暗キヨから5 m | 105 | 103 | 89 | 106 | 82 |
| No.2 水田 | 暗キヨ直上 | 157 | 131 | 130 | 140 | 122 |

表一八 1.2 kg/cm² 荷重載荷による沈下量の変化

| 場所 | | 9.16 | 9.27 | 10.4 | 10.23 | 10.30 |
|---------|------------|------|------|------|-------|-------|
| No.1 水田 | 暗キヨ直上 (cm) | 7.0 | 3.0 | 1.5 | 2.5 | 0.2 |
| | 暗キヨから5 m | 13.0 | 10.0 | 13.0 | 13.0 | 10.0 |
| No.2 水田 | 暗キヨ直上 | 40.0 | 19.5 | 20.0 | 22.0 | 24.0 |

形板による), 土壌の三相分布を測定した。

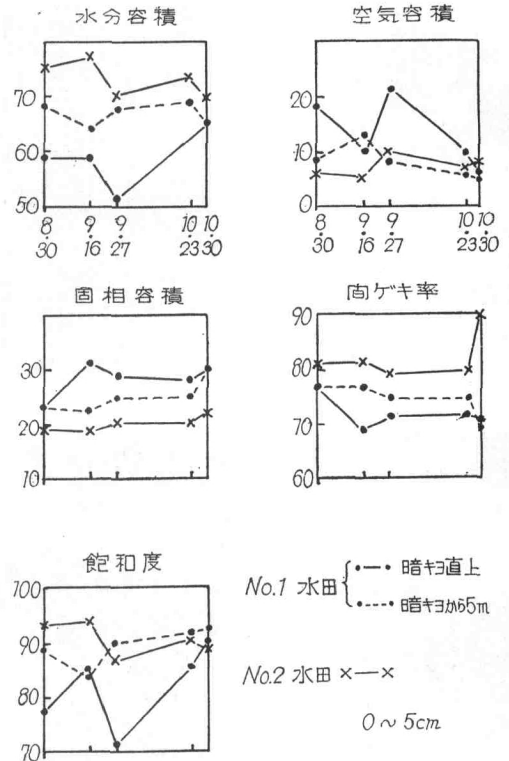
その結果, キ裂の発生は酸化還元電位が約150mv, 含水比が80%であった。そのときの0.8kg/cm²荷重載荷による沈下量は約8 cmであった。

土壌の三相分布はキ裂のあるところはないところに比べ水分容積が小さく, 固相容積が大きいという結果であった。

8. 水稲の収量

水稲の収量は表一10に示すようである。

この表によれば落水刈取期からよく土壌が乾燥した No.1 水田が No.2 水田に比べ12%の増収であった。

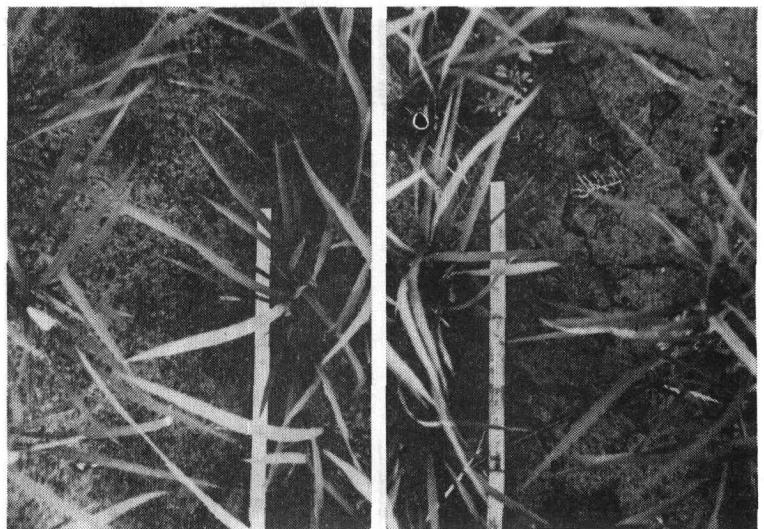


図一10 刈取後における表面の土の三相分布の変化

9. 考 察

1. シロカキ後から中干し期までの排水

塗料の浸入, 土壌の物理性, ポットテスト等の結果が



図一11 キ裂の状態(中干し期) (1) キ裂なし (2) キ裂あり

表一 9 キ裂の有無とEh, 含水比, 三相分布の關係 (中干し期)

| キ裂の有無 | Eh ₀ (mv) | 含水比 (%) | 0.8 kg/cm ² 荷重による下沈量 (cm) | 水分容積 (cc) | 固相容積 (cc) | 空気容積 (cc) | 間キ率 (%) | 飽和度 (%) |
|-------|----------------------|---------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| + | 161 | 62 | 4.0 | 55 | 34 | 11 | 66 | 83 |
| + | 132 | 60 | 5.0 | 55 | 33 | 12 | 67 | 82 |
| ± | 153 | 80 | 8.5 | 59 | 28 | 13 | 72 | 82 |
| - | 42 | 84 | 9.5 | 61 | 28 | 11 | 72 | 85 |
| - | 68 | 86 | 9.0 | 63 | 28 | 9 | 72 | 88 |

(No. 2 水田 0~5 cm)

表一 10 水 稻 の 収 量

| 項目 | 稈長 (cm) | 穂長 (cm) | 穂数 (本/m ²) | 精穀重 (kg/a) | 玄米重 (kg/a) | 玄米粒重 (gr) | 収量比 (%) |
|----------|---------|---------|------------------------|------------|------------|-----------|---------|
| No. 1 水田 | 92 | 20.2 | 326 | 62.2 | 51.0 | 20.6 | 100 |
| No. 2 水田 | 87 | 20.6 | 293 | 54.5 | 44.7 | 25.5 | 88 |

表一 11 落水刈取期の無降雨継続回数 S. 31~40年 (10年間)

| 日 数 | 8. 23~9. 1 早 生 | 9. 2~9. 11 中 生 | 9. 9~9. 18 晚 生 |
|-----|----------------|----------------|----------------|
| 3 日 | 5 | 6 | 3 |
| 4 | 3 | 4 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 0 |
| 8 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

ら判断すると、暗キョによる地下流出は極めて困難で、この時期における地表水の排出の大部分は地表流出と蒸発散によってまかなわれるものと推測される。しかし厳密には土中の透水が全くないとは云えないが、実際の排水を考えるにほとんどないものと考えてよいのではないだろうか。

2. 落水刈取期の排水

この時期の塗料浸入は田面のキ裂を通して暗キョへ流れ込んでいた。中干し期にはキ裂が発生しなかったからキ裂を通しての暗キョへの流出はみられなかった。したがって表層のキ裂が重要な役割を演じている。落水刈取期において中干し期と同様に地表残留水の面積が大きければキ裂の発生にかなりの日数が必要で、この時の調査⁵⁾では全面にキ裂が生成したのは、地表残留水がなくなってから7日目であった。たまたま今回の調査では無降雨が7日間も続いたのであって、表一11に示したように、このようなことは極めてまれなことである。

地表残留水があった期間が No. 1 水田に比べ長かった (3日間) No. 2 水田は土壌の物理性が落水前と大差ない結果であった。

このような水田での水みちはキ裂であると考えられる。田面にできたキ裂が暗キョ掘削溝の埋戻し部分とながって始めて地表水の暗キョへの流出が多量に行なわれるものと思われた。したがって作土の透水化が必要である。

3. 刈取期以後の排水

刈取後の土壌の三相分布、地耐力 (小型矩形板による) 含水比、トラクタテスト等から判断すると、刈取期に得られた土壌条件が2カ月後にも影響を及ぼしていた。

No. 2 水田のように地表残留水が多くて刈取期にキ裂の発生が遅れ、十分な生成をみなかった水田は、その後の降雨の繰返しによって、田面は泥状態のまま降雪期を迎えた。このように秋の天候に恵まれない新潟県では落水時の天候に極力支配されないような田面の乾燥を促進させる手段がどうしても必要なものと思われた。

10. ま と め

カンガイ期の暗キョによる排水は極めて困難であるが、実際の排水を考えるにシロカキ状態の作土層下では土中への透水はほとんどないものと思われる。しかし非カンガイ期の排水はキ裂を通して行われるものと考えられる。即ち非カンガイ期における地表流出一田面の乾燥一キ裂の発生一暗キョへの流出ということが考えられる。

No. 2 水田のように降雨水の地表流出の段階を繰返しているようではトラクタの導入が困難である。秋には降雨日数の多い本県の場合はタン水落水の段階と共に降雨排水が容易に行なわれるということが平年時において機械力の導入を可能とする耕地条件だといえるのではないかとと思う。

なお水稻の生育収量を考えた排水は機械力導入のための排水とは観点を改めて検討されるべきではないかと思う。

終りに当って本研究のためにご指導、ご援助を賜った東大農学部八幡教授に厚く感謝致します。また本研究は「粘土質の水田の排水に関する研究」の中で行ったもので、御協力を戴いた田淵俊雄、中野政詩、住田章の各氏に衷心より感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 田淵：粘土質の水田の排水に関する研究(1)
- 2) 田淵、中野、鈴木：同上(2)
- 3) 田淵、中野、鈴木：同上(3)
- 4) 田淵、中野、鈴木：同上(4)
- 5) 田淵、中野、住田、丸田：同上(5)
- 6) 田淵、中野、住田、丸田：同上(6)
- 7) 丸田、井利：重粘土水田の暗キョ施工が土壌断面型態に及ぼす影響