

# 低地下水位水田土壌の圃場整備後における 経年変化と輪換畑利用の問題点

亀和田國彦・植木与四郎\*・金田晋平\*\*・吉沢 崇\*\*\*

## I 緒言

圃場整備事業は要整備面積86,012haに対し1990年現在の工事完了面積は、58%に達している<sup>25)</sup>。圃場整備事業は、農地の集团的利用、経営規模の拡大農地流動化の促進および機械利用体系化等によって、大規模農業の展開を可能にし、また水理条件の改良によって、水田の汎用化を推進し、農道網の整備による農産物輸送の広域化および合理化等、経済的な効果の面で、大きく評価される。

しかし、他方では、整備による土壌の攪乱の結果、地力の低下ならびに物理性の悪化が懸念される。これまでに、圃場整備完了水田の物理性および透水性の変化についてはいくつかの調査が行われ、報告<sup>4,5,10,17,26,27)</sup>がなされている。一方、現在は、水田面積に対し約30%の転換利用が行われ、これまでの調査によって明らかとされた透水性の低下および孔隙率の低下等の物理性の悪化は転換畑利用の可能性を規定する要因として水田作以上に重要である。

これまでの圃場整備実施水田<sup>6,9,26,27)</sup>や客土水田<sup>1)</sup>での水田化に要する時間は、3年から5年と報告されているが、輪換畑利用を前提とした調査は行われていない。今後、水田の高度利用を推進するに当たり、圃場整備完了水田のこれら問題の把握ならびに解決は、急務である。

1986年に工事が行われた代表的な土壌タイプの3地区について、工事前および工事完了後4年間、土壌の透水性、物理性および化学性を調査し、工事の実施による影響、工事後の変化な

らびに水田および転換畑利用に当たっての問題点について検討したので報告する。

## II 調査方法

### 1. 調査地区

調査地区の位置および付近の地形を第1図に、調査地区内の土壌の分布状況等を第1表に示した。

内川地区は、内川の左岸の氾濫平野に位置し、内川からの距離は、約10から250mで、地区内の勾配は0.0044である。壤質から埴壤質の灰色低地土で、土性と礫層の位置から、各調査地点の土壌統は、諸橋および赤池に区分される。工事前の排水性はやや不良である。大谷地区は野元川、御行川および井沼川の氾濫平野に位置し、地区内の勾配は0.0036である。土性は壤質から埴壤質の水積の多湿黒ボク土で、各調査地点の土性および礫層の位置から篠永、松木沢および鹿畑統に区分される。工事前の排水性は良好である。柳田地区は、鬼怒川の右岸の氾濫平野に位置し、鬼怒川からの距離は、約1kmから1.5kmで地区内の勾配は0.0046である。砂質から埴壤質の灰色低地土で、各調査地点の土性および礫層の位置から安来および松本に区分される。工事前の排水性は良好である。以上のとおり、3地区は、多湿黒ボク土または灰色低地土、灰褐色系で、冬期には地下水位が1m以下に低下する乾田である。

### 2. 調査内容

調査対象の3地区はいずれも1986年末から1987年年初頭の冬期間に工事が施工された。調査

\*現栃木県農蚕課 \*\*現栃木県肥飼料検査所 \*\*\*現栃木県農業大学校

第1表 調査地区、土壌区分および工事施工による標高変化

地区(略号)	土壌統	土性	礫層出現位置	地点番号(工事による標高変化cm)
矢板・内川 (Ukw)	諸橋統	CL~HC	なし	1(-45), 2(-14), 3(+10), 4(-12)
	赤池統	L~LiC	30~50cm	5(-5), 6(-17), 8(-80)
高根沢・大谷 (Oya)	篠永統	CL~LiC	なし	1(-5), 3(-13), 5(-18)
	鈴木沢統	L	30~50cm	4(+2), 6(-5), 7(-12), 8(-6), 11(-15)
	鹿畑統	L	なし	2(-9), 9(-6), 10(-9), 12(-19), 13(+2)
宇都宮・柳田 (Ygt)	安来統	CL~L	なし	1(-9), 2(-19), 4(-6)
	松本統	L~LS	30~50cm	3(-15), 5(-79), 6(-16), 7(+1), 8(-10), 9(+3)

は、工事施工直前および工事施工1, 2, 3および4年後の冬期に行われた。

調査は、断面の観察、貫入抵抗の垂直分布測定、シリンダー打ち込み法によるインテーク・レートの測定、三相分布および仮比重等の物理性の測定並びに可給態リン酸および交換性陽イオン類等の化学性の測定を行った。施工4年後は、このうち貫入抵抗およびシリンダー・インテーク・レートの測定のみを行った。断面の観察は、表層から1 mまでを対象とした。貫入抵抗は、表層から60cmまで大起理科製DIK-5520によって測定した。物理性および化学性は、作土(第1層)、耕盤(第2層)および耕盤次層(第3層)について採取し、分析方法は、「土壤環境基礎調査における土壌、水質および作物体分析法」<sup>20)</sup>によった。シリンダーインテークレートは、直径30cmのステンレス円筒を1圃場に3カ所、耕盤層を打ち抜き、浸入量を原則として90分間測定した。バッファー・ポンドは設けなかった。一般にシリンダー・インテーク・レートのデータ処理にはKostiakov式が用いられ、インテーク・レート代表値としてベイシック・インテーク・レート(I<sub>B</sub>)が用いられる<sup>2)</sup>。しかし、近年、ベイシック・インテーク・レートの曖昧さについて問題点が指摘されている<sup>8)</sup>。したがって本報では、次に示したHorton式のI<sub>c</sub>をインテーク・レート代表値として用いた。

$$I = I_c + (I_0 - I_c) \exp^{-kt} \quad \text{式1}$$

ただし、Iは時間tにおける浸入速度(インテーク・レート)、I<sub>0</sub>は初期浸入速度、I<sub>c</sub>は一定時間経過後の浸入速度、kは定数、tは浸入開始からの経過時間。

### Ⅲ 結果および考察

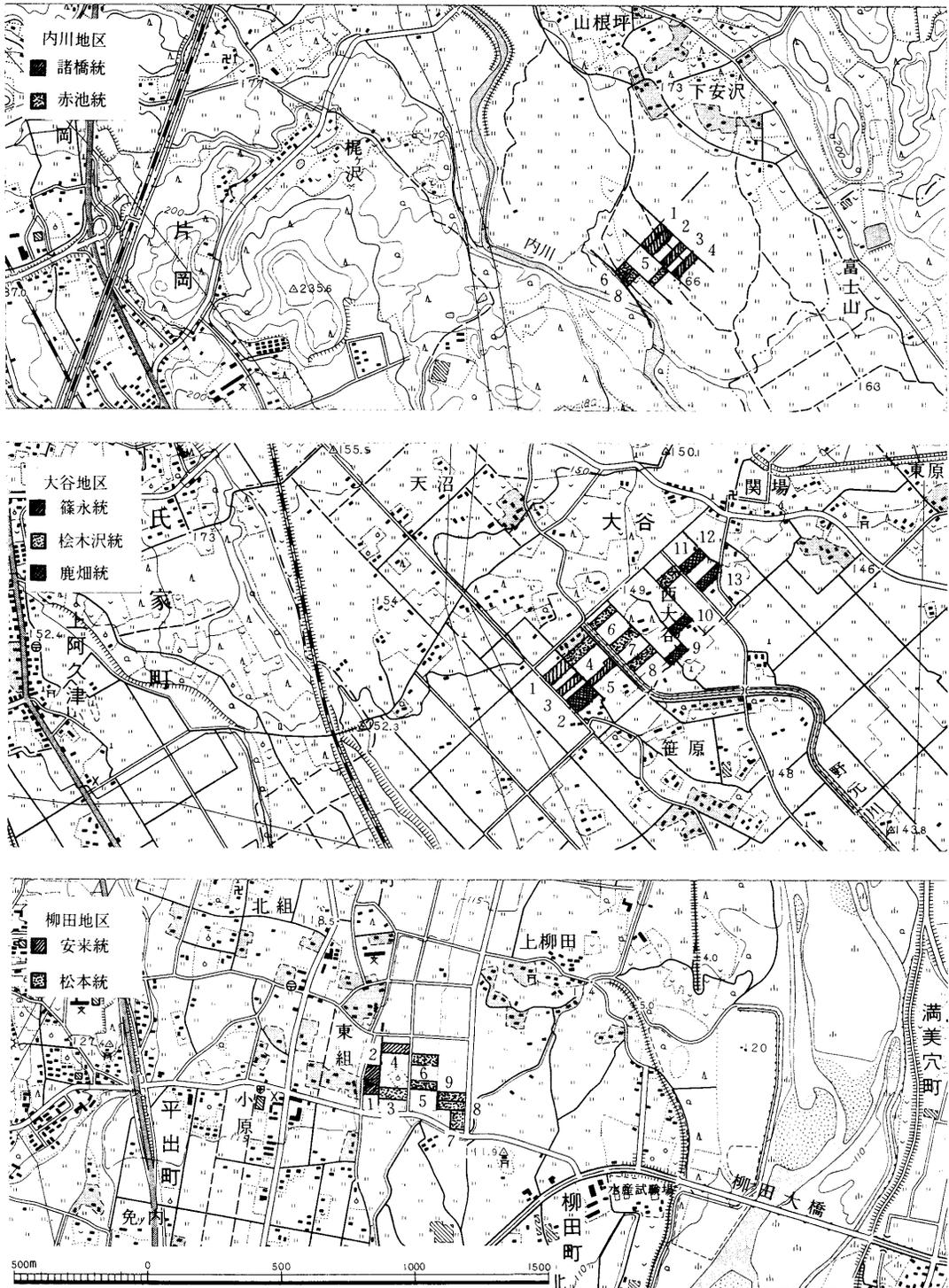
#### 1. 断面形態の変化

農耕地土壌の層序は、長年にわたる作物栽培により、作土、耕盤および耕盤下層に分化している。特に水田において、その傾向は顕著で、耕盤層が硬く、構造が発達し、排水良好な水田では、耕盤層および耕盤下層に鉄、マンガン等の酸化物の斑紋または結核が形成され、特徴的な形態が形成されている。圃場整備では、いままでと異なった区画の水田が造成されるため、切り土または盛り土および基盤の整地の過程で土壌の移動、攪乱が行われ、水田に特徴的な断面形態は失われる。調査地点の現況と計画および断面観察による標高差を第1表に示した。計画および断面観察による値はおおむね一致した。切り土が行われた地点が多かった。

#### 1) 層序

各地区の各土壌統の代表地点の工事前後の断面形態を第2図に示した。調査地区は何れも河川による堆積土壌で、層序が複雑で、地点間の変動も大きかった。これらの地区は、すでに土壌の分類がなされ、土壌図<sup>23)</sup>に示されている。しかし土壌図によって分類された同一土壌統内で観察される層序の変化は、圃場整備の影響を

低地下水水位水田土場の圃場整備後における経年変化と輪換畑利用の問題点



第1図 調査地区および調査地点

評価するためには、無視できない。そこで、試行断面調査結果に基づき各地区内の土壤分類を細分し、調査結果を評価する単位とした。

内川地区は、土壤図では諸橋統に分類されている。内川に近い地点では、100cm以内に礫層が出現するのに対し、内川から離れた地点では、礫層に代わって、LiC～HCの粘質な層が出現する。その変化は連続的で、また地点毎に変動が大きい。礫層の出現位置等から、それらの地点を諸橋および赤池統に分類した。

諸橋統のUkw1では27cmまでが作土および耕盤層で、土性はCL、腐植含有率は2～5%で、耕盤層には、糸根状および膜状の鉄の斑紋が観察された。この地点では、計画で45cm、実測で39cmの切り土が行われた結果、表土扱いで戻された表土19cmの直下に下層の土性LiC～HC、腐植含有率2%未満の層位が位置し腐植層の厚さが減少した。赤池統のUkw8は計画で80cmの切り土が行われ、表土扱いで戻された36cmの腐植集積層の直下に礫層が位置し、有効土層が減少した。

大谷地区は、土壤図では西側が鹿畑統、東側が野市統に分類されている。しかし、調査から本地区全域が水積の黒ボク土と判断した。野元川が調査地区を南北に貫流している。野元川付近は100cm以内に礫層が出現し、それらの地点を桧木沢統に、その西側の地点は、CLを中心としたやや粘質な土性で、篠永統に、一方東側は、Lを中心とした壤質な土性で、鹿畑統に分類した。

篠永統の0ya3は、計画で13cm、実測で27cmの切り土が行われ、礫層出現位置が27cm浅くなった。また35～64cmの耕盤下層の礫含有率が上昇した。桧木沢統の0ya8は、計画で6cm、実測で0cmの切り土が行われ、礫層出現位置に変化は無かった。鹿畑統の0ya9では、計画で6cmの切り土、観察で、6cmの盛り土が行われ、層序に大きな変化は無かった。大谷地区の各地点で、

礫層上部および礫層が出現しない地点でも表土層の礫含有率が一様に上昇し、工事過程での基盤整地または表土扱い作業過程で礫層との攪拌によって、混入したものと推察した。

柳田地区は、土壤図では高崎統に分類されている。調査地区内の北西部はCLを中心としたやや粘質な土性で、100cm以内に礫層は出現しない。南東部は、L～LSの粗粒質で100cm以内に礫層が出現する。やはり調査地区内の変化は連続的で、また地点毎に変動が大きかった。また一部の地点では埋没腐植層が観察されたが、分布範囲はかなり狭かった。したがって、土性と礫層出現位置から本地区を安来統および松本統に分類した。

安来統のYgt1は、計画で9cm実測で16cmの切り土が行われ、工事前の第3層（耕盤下層）に相当する埋没腐植層が失われた。松本統の地点Ygt8では、計画で10cm、実測で9cmの切り土が行われ、礫層出現位置つまり有効土層が工事前38cmから29cmと浅くなった。

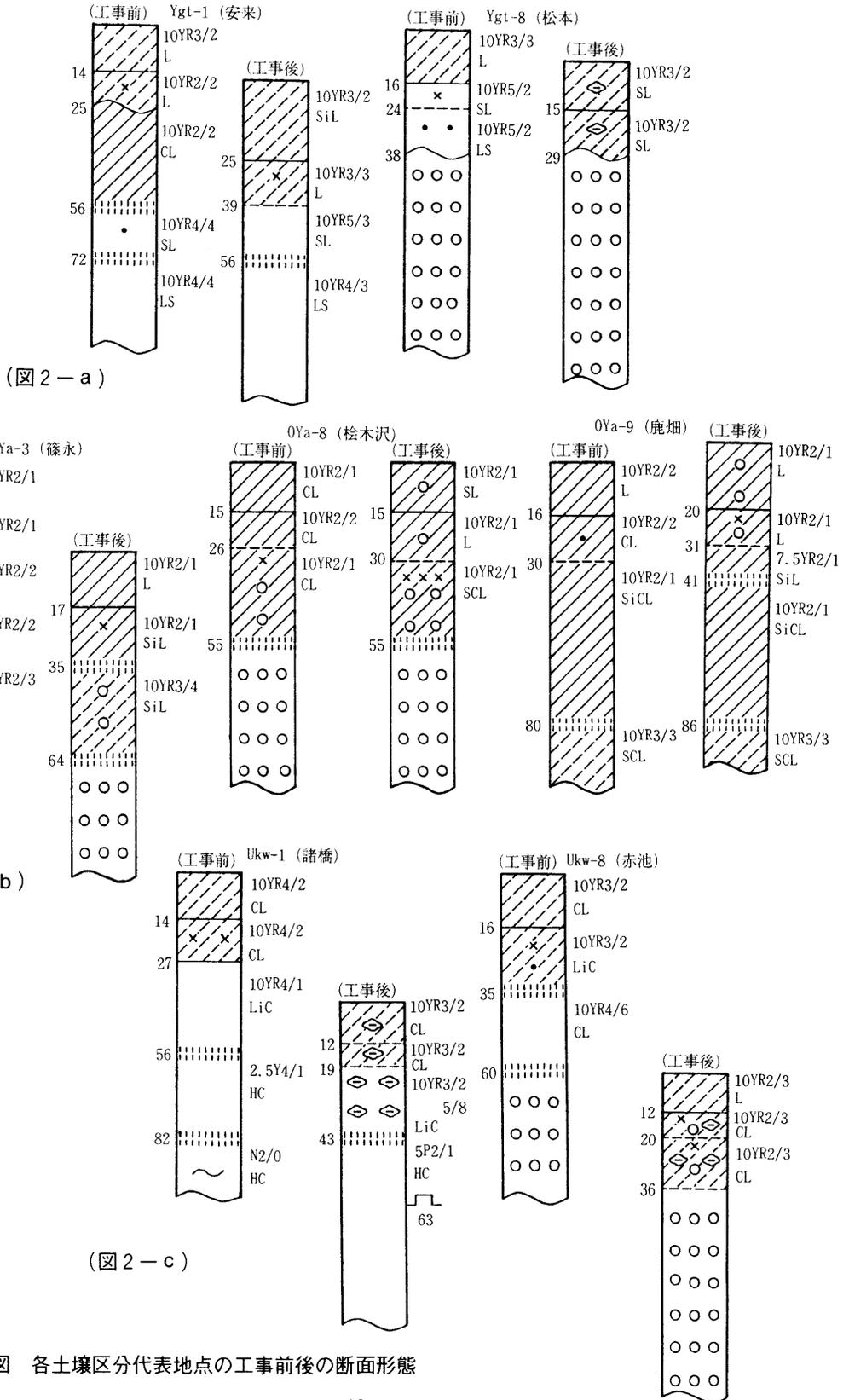
## 2) 構造、硬度、土色、グライ反応および酸化沈積物

前述のとおり、断面の観察によって、調査地点の多くでは、切り土、基盤整地および表土扱いによって、耕盤層底部までは移動、更新されたことが明らかとなった。工事の施工による構造破壊は、土の移動深さ全体に及び、更に転圧による締め固めは、表土扱いの場合表層から35～40cmに及ぶとされている。この範囲には耕盤下層土まで含まれる。施工後、水稻栽培によって、これらの層位に対し新たな作土および耕盤層の分化、発達が生じるものと期待される。第1～3層の構造、硬度、土色、グライ反応および酸化沈積物の経年変化を第2表に示した。

### (1) 構造

水田の耕盤層は、季節的な乾湿に伴う伸縮によって、最も一般的には塊状構造が発達する。耕盤の構造間隙の間隙はいわゆる乾田において湛

低地下水水位水田土場の圃場整備後における経年変化と輪換畑利用の問題点



第2表 構造、土色、グライ反応および鉄酸化沈積物の変化

地区	土層	構造	グライ反応										
			1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988	1989	1986	1987	1988
内川	1	Ms	10YR4/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	G <sup>+</sup> 3	a2, b3	b2	a3, b3	a3, b3	a2, b3	a2, b3
		Ms	10YR4/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b4	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3
		Ms	10YR4/1	7.5YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	G <sup>+</sup> 4	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3
	2	Ms	10YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	G <sup>+</sup> 4	a2, b3, d2	b3	a2, b3, d2	a2, b3	a2, b3	a2, b3
		Ms	10YR3/2	7.5YR3/2.5	7.5YR3/2.5	7.5YR3/2.5	G <sup>+</sup> 1	a2	a2, b4	c2	a2, b4	c2	a2, b4
		Ms	10YR3/2	10YR3/3	10YR2/3	10YR2/3	G <sup>+</sup> 3	a4, b2, d3	d4	a2, b2, c2, d3			
	3	Ms	10YR3/2	8.5YR3/2.5	10YR2/3	10YR2/3	G <sup>+</sup> 6	G <sup>+</sup> 2	a2	a2, b3	a2, b4	d2	a3, b4, d2
		Ms	10YR3/2	8.5YR3/2.5	10YR2/2	10YR2/2	G <sup>+</sup> 7	G <sup>+</sup> 5	b2	a4, b2	a2, b2, d2	a2, b2, d2	a2, b2, d2
		Ms	10YR2/2	10YR2/1.5	7.5YR3/1	7.5YR3/1	G <sup>+</sup> 7	G <sup>+</sup> 5	d3	a4	a2, b2, d2	a2, b2, d2	a2, b2, d2
	4	Ms	10YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 2	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3
		Ms	10YR3/1	5YR3/2	7.5YR3/2	7.5YR3/2	G <sup>+</sup> 7	G <sup>+</sup> 6	b2, c3	a3, b5	a3, b3	a3, b3	a3, b3, d3
Ms		10YR2/2	8.5YR3/3	10YR2/3	10YR2/3	G <sup>+</sup> 7	G <sup>+</sup> 6	c2	a2, b2	a2, b3	a2, b3, d3	a2, b3, d3	
赤池	5	Ms	10YR2/2	8.5YR3/3	10YR2/3	10YR2/3	G <sup>+</sup> 3	a3, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3
		Ms	10YR2/2	8.5YR3/3	10YR2/3	10YR2/3	G <sup>+</sup> 4	G <sup>+</sup> 2	b2	a2, b3	a2, b3	a2, b3	a2, b3
		Ms	10YR2/2	8.5YR3/3	10YR2/3	10YR2/3	G <sup>+</sup> 5	G <sup>+</sup> 3	b2, c3	a2, b3	b2	a2, b2	a2, b2
6	Ms	10YR3/2	10YR3/2.5	10YR3/2.5	10YR3/2.5	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 5	b2, c3	a2, b3	b2	a2, b2	
	Ms	10YR3/2	7.5YR3/3	7.5YR3/3	7.5YR3/3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 5	b2, c3	b2, c2	a2, b2	a2, b2	
	Ms	10YR3/2	8.5YR3/2	10YR3/2	10YR3/2	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 5	b2, c3	b2	a2, b2	a2, b2	
7	Ms	10YR3/2	7.5YR3/2	10YR3/2	10YR3/2	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 4	a2, b3, c2	a3, b2	a2, b3, c3	a2, b3, c2	
	Ms	10YR4/6	7.5YR2.5/1.5	10YR2/3	10YR2/3	G <sup>+</sup> 5	G <sup>+</sup> 4	G <sup>+</sup> 2	b3, c2	a2, b2, c2	a2, b2, c2	a2, b3	
	Ms	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/2	10YR2/2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 2	b2	b3	b2	b3	
8	Ms	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/2	10YR2/2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 2	a2, b4	a2, b3	a2, b4	a2, b4	
	Ms	10YR3/2	10YR3/3	10YR3/3	10YR3/3	G <sup>+</sup> 1	G <sup>+</sup> 1	G <sup>+</sup> 1	a2	a2	a2	a2	
	Ms	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/2	10YR2/2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 2	G <sup>+</sup> 2	a3	a2, b3	a3, b4	a2, b4	
9	Ms	10YR2/2	10YR3/3	7.5YR3/1	7.5YR3/1	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2	a2	b3	a2	
	Ms	7.5YR2/1	10YR2/1.5	10YR2/1.5	10YR2/1.5	G <sup>+</sup> 4	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b3	a4	a2, b3	a2, b3	
	Ms	7.5YR4/3	10YR3.5/3	10YR3.5/3	10YR3.5/3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b2	a2, b2	a2, b2	
10	Ms	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/1	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b2	a2, b2	a2, b2	
	Ms	10YR2/2	7.5YR2.5/2	7.5YR2.5/2	7.5YR2.5/2	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b2	a2, b2	a2, b2	
	Ms	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/2	10YR2/2	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b2	a2, b2	a2, b2	
11	Ms	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/1	10YR2/1	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b2	a2, b2	a2, b2	
	Ms	10YR2/2	10YR2/2	10YR2/2	10YR2/2	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b2	a2, b2	a2, b2	
	Ms	10YR2/2	10YR2/2	10YR2/2	10YR2/2	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	G <sup>+</sup> 3	a2, b2	a2, b2	a2, b2	a2, b2	



水期間中の水田底部の浸透速度を規定する大きな要因となっている。先に述べたとおり、表土扱いおよび切り土により、ほとんどの地点で、作土および耕盤層が更新され、これらの層の構造は工事後新たに形成されるものと考えられる。

内川地区の調査前の耕盤層の構造は、Ukw8が連結状であった以外は発達程度弱～強の塊状であったのに対し、工事後1年目は、3地点が連結状、2、3年目は2地点が連結状で、構造が形成される過程とみなされた。大谷地区耕盤層は工事前は、全地点で、発達程度弱～中の塊状構造であったものが、工事後1年目は2地点が連結状、2、3年目は、1地点が連結状で、他は塊状であったが発達程度は極弱～弱で、工事前の水準には達していなかった。柳田地区の耕盤層は、工事前にはYgt8および9は、土性がSL～LSと粗粒質で単粒状構造であったが、他の地点では発達程度弱～強の塊状であった。工事後1年目は、6地点が連結状または単粒状、2、3年目は3地点が連結状で、他は発達程度極弱～弱の塊状でやはり工事前の水準には達していなかった。

作土の構造は、栽培様式に著しい影響を受ける。工事施工1～3年後の夏期水田利用圃場の作土の構造は、1圃場で粒状構造であったのを除き連結状または発達程度極弱の塊状であった。水稲作期間中の水田作土の構造は泥状に代表され<sup>7)</sup>、泥状構造の作土は落水、脱水後連結状になることは容易に想像される。これに対し、夏期畑利用圃場では、内川地区で延べ10地点中9地点、高根沢地区で延べ12地点中8地点、柳田地区で、延べ4地点中3地点が発達程度極弱から弱の粒状または細粒状であった。畑地の作土層は粒状または細粒状構造に代表され、水田の田畑輪換によっても団粒含有率が增加することが知られている<sup>16,19)</sup>。以上の結果は、1作の畑利用が作土の粒状化をまた1作の水田利用が泥状化および塊状化をもたらすことを示している。

## (2) 土色

土色は、鉄の酸化状態、含有率、腐植含有率並びにその他の鉱物組成によって、決定される。水田では、これらのうち鉄の酸化状態の変化に伴って、土色は季節的に変化し、また当該水田の酸化、還元の状態を反映する。圃場整備工事では、表土扱いおよび基盤整備の過程で地区内の表土および次層が水平および垂直方向に移動し攪拌され、工事前後の特定の地点の変化の比較には注意を要する。内川地区では、全地点で、工事施工前には色相10YRであったものが施工後には7.5YRまたは8.5YRに変化し、Ukw3,5および8では工事後2年目以降、10YRに戻っている。大谷地区では、Oya5および10で色相7.5YRが10YRに、Oya2,3,6および8で10YRが7.5YRに変化した。柳田地区では、Ygt2の作土が、工事施工によって2.5Yから10YRに変化した。

水田土壌において、土壌中の全鉄に対する2価鉄の比率と色相との間に直線的な関係があること、すなわちこの比率が大きくなるほど、つまり還元状態が進むほど色相が黄色の方向にずれることが明らかとされている<sup>13,14)</sup>。本調査における工事の実施にともなう土色の変化は、その程度はわずかであるが、ほとんどが赤方向への変化で、酸化の方向に変化したことを示すものと判断できる。

## (3) グライ斑

工事施工前には、内川地区Ukw4の作土層で唯一のグライ斑が観察された。工事1年後には、内川地区では5地点で、グライ斑またはグライ層が観察され、工事2、3年目にも4地点が残った。それらは、作土から耕盤下層土まで観察され、夏期畑利用された地点でも耕盤および耕盤下層土で観察された。他地区に比べ出現地点数は多かったが、地区内で土壤区分との明瞭な関係はみられなかった。大谷地区では、工事1年後に6地点、2年後に3地点、3年後に2地点と減少する傾向にあり、出現位置は、耕盤層

が中心であった。2年目に残った3地点は全て篠永統で、地区内で最も土性が粘質な地点であった。柳田地区では、工事1年後には全地点(9地点)で観察され、2年後には2地点、3年後には1地点と急速に減少した。グライ斑が3年目まで観察された地点は、Ygt 6で、松本統に分類したが、土性がSiCLで地区内で最も粘質な地点であった。

グライ斑の出現位置と土色との関係は明かではなかった。

#### (4) 酸化沈積物

先述のとおり、各地点で、耕盤層下部までは、更新されたとみなされ、これらの層に工事後に観察された酸化沈積物は、その多くが工事後再形成されたものとみなされる。工事完了1年後にはすでに、多くの地点で、酸化沈積物が観察された。鉄の酸化沈積物は、還元状態で溶出した2価鉄が酸化状態(Eh+200mV)で生成される。調査地点の内の転換畑利用地点でも耕盤層および耕盤下層に観察されることから、これらの地点では、これらの層位が夏期間中に、還元状態にあったことを暗示している。

鉄酸化沈積物は、生成時の酸化の程度によって、異なった形態のものが生成される<sup>15)</sup>。一般に、膜状、糸根状、斑点状および管状のものは酸化状態で生成され、一方、脈状(暈管状)は、弱還元状態の土壤中で水稻根の酸化力が働くことによって、生成されるとされる。また斑点状のものは微生物の酸化作用によって生成されるとされ、半還元状態で生成される。

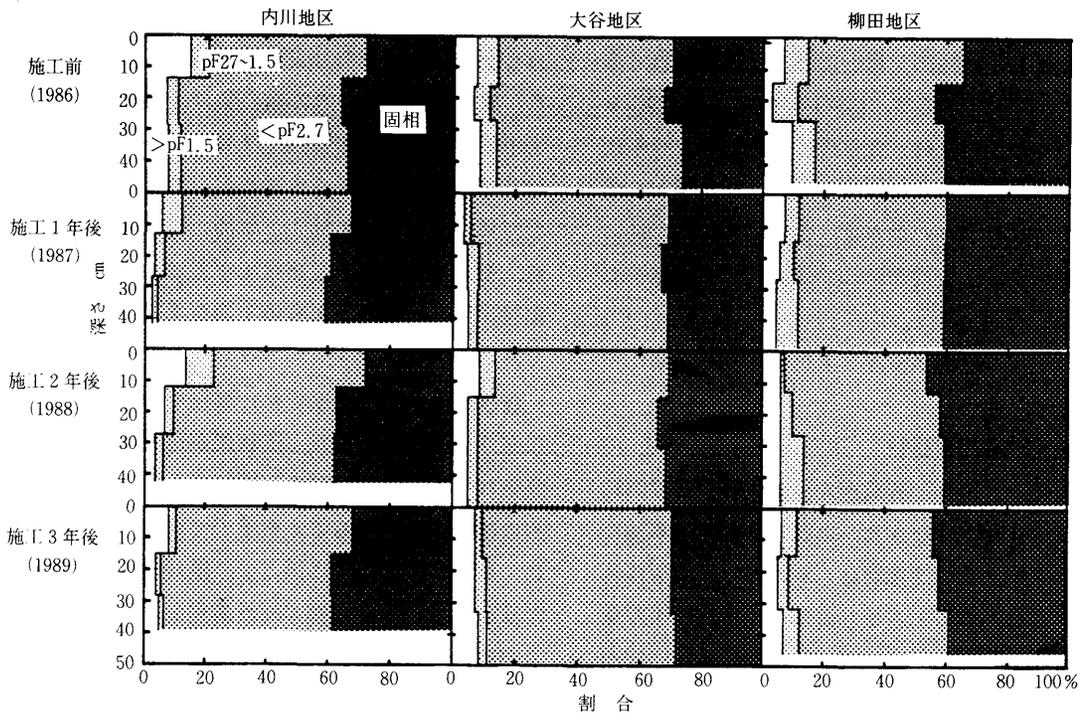
工事施工前の各地点では、糸根状、膜状斑点状が観察され、脈状および斑状斑は全く観察されず、これらが生成される湛水期間中の下層土並びに落水後の作土は、酸化状態にあったと判断できる。さらに工事前の内川地区の各地点では、工事施工前に耕盤層にマンガンの結核状酸化沈積物が観察された。

一方、工事施工後の酸化沈積物は、その多く

が施工前同様に糸根状、膜状および斑点状であったが、いくつかの地点で、脈状斑が観察された。脈状斑が観察された地点数は、内川地区で、工事施工1年後に1地点、2および3年後に2地点で、それらは、全て諸橋統の地点であった。大谷地区では、工事施工2年後に鹿畑統で1地点、柳田地区では、工事後1年目に4地点、2年目には2地点で1年目の1地点を除き松本統であった。

脈状斑が最初に観察された層位では全て同時にグライ斑が認められ、脈状斑が還元状態で生成されることを裏付けると同時にこれが酸化状態の指標になり得ることを示している。経年的に、グライ斑の消失に伴って、脈状斑も消失した地点とその後も観察された地点とがあった。この様に脈状斑はグライ斑と同時に同一の層内で観察され、またそれらの多くの層で膜状または糸根状斑が観察されることが多く、このことは同一層内に酸化状態から還元状態までが混在することを示している。つまり塊状構造の発達に伴って各ブロックの構造面近傍および植物根による大孔隙面近傍では酸化状態となっているのに対し、内部には弱還元または還元状態の部位が残されているものと推察される。また以上の様な状態は、粘質な土壤で多く観察され、それらの土壤で、構造内の有効孔隙が少なく透水性および通気性が低水準にあることを示すものと思われる。

畑地の水田化に関する報告<sup>22)</sup>で、鉄の酸化沈積物の生成は、洪積層土壤では、水田化後3年目から、火山灰土壤では、水田化後15年経過でも判然としなかったとされ、本調査の工事施工1年後から観察されたのとは異なる。本調査での酸化沈積物生成のプロセスは酸化還元を繰り返す乾田の作土で常に繰り返されるのと同質の変化で、畑土壤の水田化による酸化沈積物生成のプロセスとは本質的に異なるものと推察した。



第3図 固相率および孔隙率の垂直分布の推移

3) 土壌分類の変化

圃場整備にともなう各種断面形態の変化は、前にのべた。調査対象29地点の内、24地点で切り土が行われ、礫層が出現する赤池、桜木沢および松本統では礫層出現位置が上昇した。また、土色、グライ反応および酸化沈積物の形態は酸化状態の判断の指標とされる。土色は、色相10YRまたは7.5YRで、これは灰色低地土で、灰色系と灰褐色系の判断基準となる値である。施工にともなう変化の方向は赤方向で、酸化方向の変化と判断したが、本調査対象地区内の灰色低地土は、施工前から灰褐色系に分類され、この点で土壌分類の変更はない。酸化沈積物は、還元状態で生成される脈状斑が生成され、また同時にグライ反応が施工後一時的に観察されたが、その後徐々に消失の方向にあることから、これも土壌分類の変更には寄与するものではないと考える。

以上から本調査地区では、礫層出現位置の変化が土壌分類を変更する要因となり得る。地点毎にみるとUkw 8は80cmまたYgt 5は79cmの切り

土が行われ、それらはより礫層出現位置の浅い栢山統に相当する断面形態となった。しかし、基本的に河川の堆積土壌は層序に地点間の変動が大きく、地区全体の分類への影響は小さく、それを変更するものではない。

2. 物理性の変化

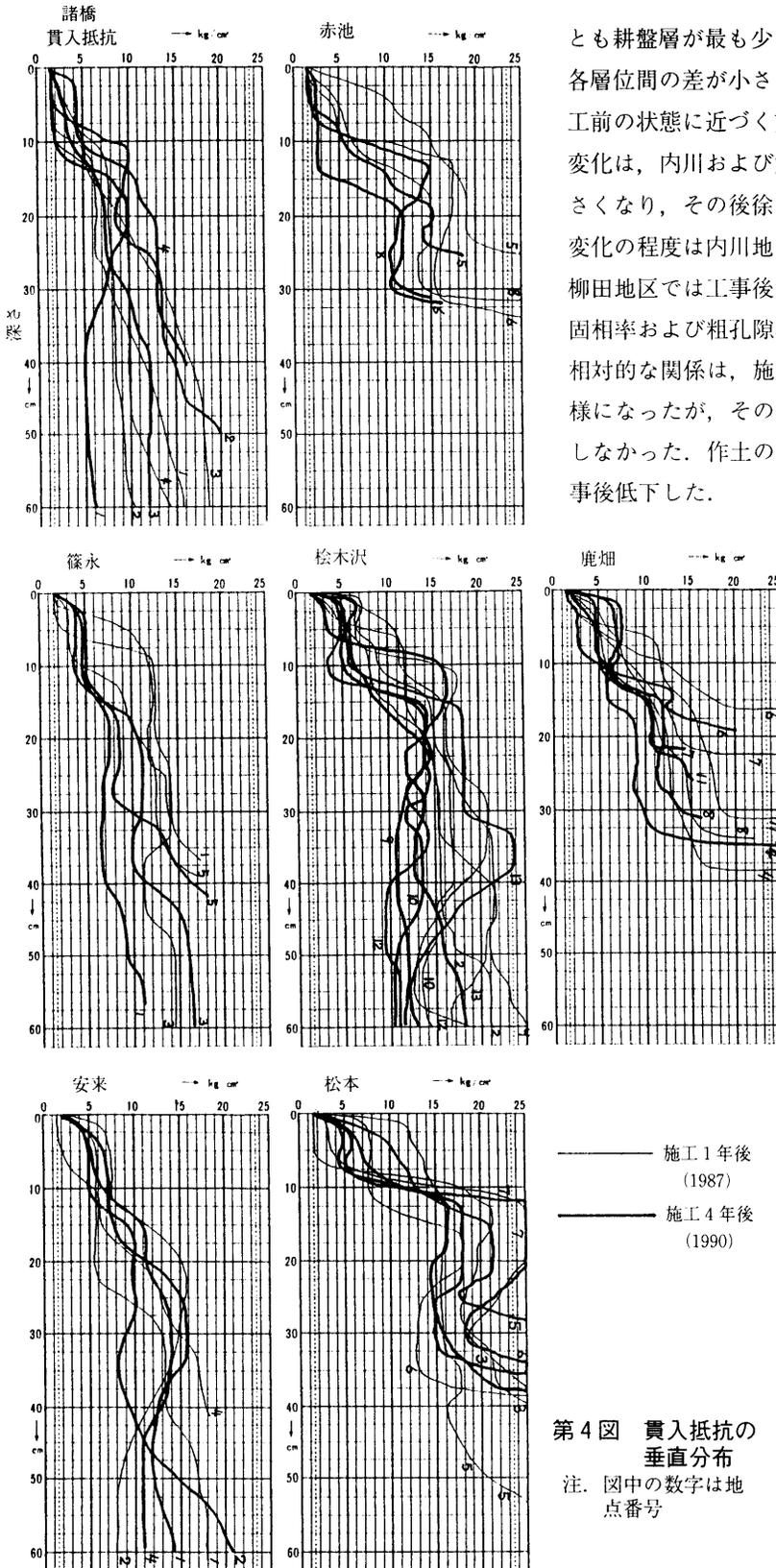
各土層の固相率、および  $>pF1.5$ 、 $pF1.5\sim 2.7$ 、 $<pF2.7$ の孔隙率の垂直分布を第3図に示した。

施工前の固相率は、各地区とも耕盤層が最も大きかった。施工後の経過は、地点間差があるものの、施工1年後は、耕盤層と耕盤下層との差が小さくなり、その後徐々に施工前の状態に近づく方向に変化した。耕盤層の値は大谷地区では施工前後の差が小さく、柳田地区では施工後小さく、内川地区では大きくなった。

作土の固相率は大谷地区を除く2地区で施工後増加した。

$>pF1.5$ の孔隙率つまり粗孔隙率の垂直分布は、固相率とは逆の傾向で、施工前は、各地区

低地下水位水田土場の圃場整備後における経年変化と輪換畑利用の問題点



とも耕盤層が最も少なかった。施工1年後は、各層位間の差が小さくなり、その後、徐々に施工前の状態に近づく方向に変化した。耕盤層の変化は、内川および大谷地区では、施工後に小さくなり、その後徐々に大きくなったが、その変化の程度は内川地区でより大きかった。一方柳田地区では工事後大きくなりその後低下した。固相率および粗孔隙率の耕盤層と耕盤下層間の相対的な関係は、施工3年後までに施工前と同様になったが、その差は、施工前の状態には達しなかった。作土の粗孔隙率は、3地区とも工事後低下した。

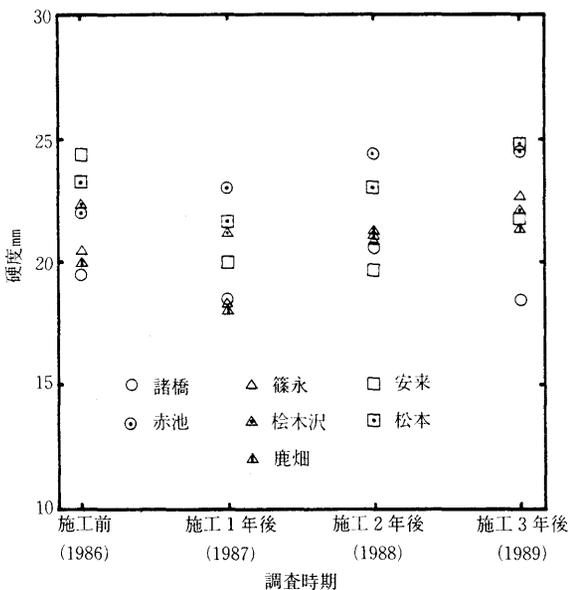
これらの変化は、作業機械の走行による圧縮および攪乱の結果もたらされたものと考えられる。内川地区は耕盤層の固相率が大きく、粗孔隙率が小さくなる変化の程度が大きく、これは等が移築の土壤が圧縮の影響を受けやすいことを示すものと判断できる。一方、大谷地区で耕盤層の固相率および粗孔隙率の変化が小さかったのは、本地区が黒ボク土で、圧縮の影響を受けにくいことで説明される。さらに柳田地区は壤質から砂質の地点を含み、粗粒質など上ほど固結しやすく、当該地区の耕盤層の施工前の固結の程度が大きかったからと解釈できる。

貫入抵抗の垂直分布を第5図に示した。工事1年後には、各地区各土壤

第4図 貫入抵抗の垂直分布  
注. 図中の数字は地点番号

ともに、表層から下層に向かって、一様に大きくなる傾向であったが、施工4年後には、作土と耕盤層との値の分化が生じた。作土と耕盤層の分化は、内川・赤池統、大谷・鈴木沢、鹿畑統および柳田・松本統で明瞭であった。作土と耕盤層の分化は、耕盤の発達によってもたらされ、土壌タイプの特徴から、粗粒質の土壌で耕盤層の発達が速いものと推察した。山中式硬度計による耕盤層の値を第5図に示した。各土壌とも、施工1年後に小さくなり、その後は一部の土壌を除いて徐々に大きくなる傾向であった。山中式硬度計の測定値と貫入抵抗測定値の対数値は直線的な関係にある。粗粒質の土壌では、施工2～3年後には施工前と同水準に達したが、それ以外の粘質な土壌では、3年では施工前の水準には回復せず、貫入抵抗の垂直分布測定値と同様の結果であった。以上から、硬度の面での耕盤層の発達の速度は、土壌の粒径分布に関連が深く、粗粒質の土壌で速いものと推察された。

工事施工直後は、表層部が強く締め固められているとされる<sup>4)</sup>。先述のとおり施工1年後の貫入抵抗は、表層から下層に向かって徐々に硬くなる傾向で、表層部（表層から5 cm程度）は



第5図 硬度平均値の推移

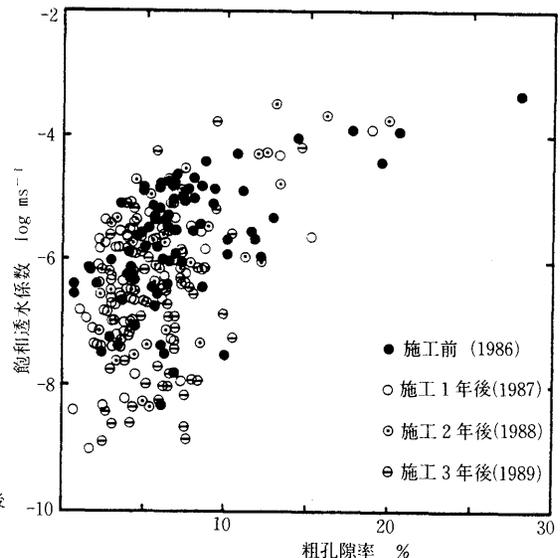
小さい値で、1作の耕作によってこの部分は締め固めの影響が消失したようである。これに対し、その直下部（5～15cm）の値は施工4年後より大きく、この部位には締め固めの影響が残ったものと考えられる。この位置は、作土層下部に相当するが、その値は水稻の根の伸長を物理的に阻害するほどのものではなかった<sup>21)</sup>。

孔隙のサイズ別の含有率と飽和透水係数の重回帰分析の結果を第3表に示した。標準回帰係数は、大きい孔隙ほど大きい値が得られ、飽和透水係数に対する粗孔隙率の寄与が大きいことを示した。一般に透水係数に対し、有効孔隙が影響するとされ<sup>28)</sup>、粗孔隙がこれに相当するものと考えた。

第6図に粗孔隙率と飽和透水係数との分布状

第3表 飽和透水係数を従属変数、サイズ別孔隙率を独立変数とした重回帰分析結果

孔隙サイズ	回帰係数	標準回帰係数
>pF1.5	0.148	0.490
pF1.5~2.7	0.121	0.331
<pF2.7	0.016	0.110
定数項	-6.585	
重相関係数	0.615	



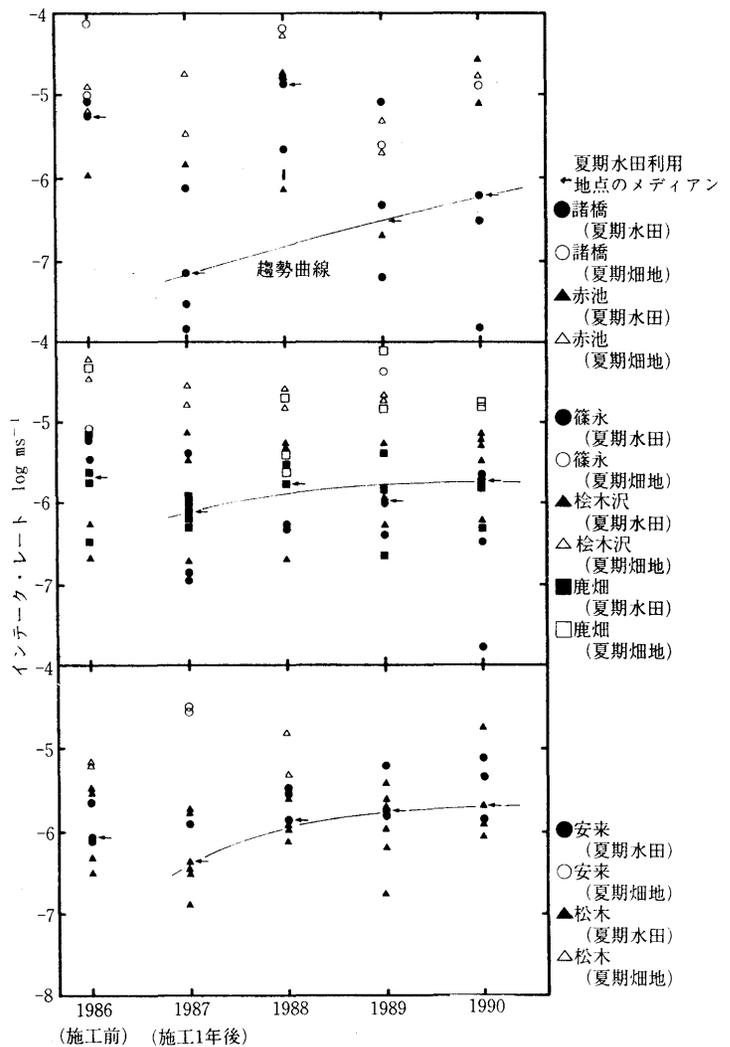
第6図 粗孔隙率と飽和透水係数との関係

況を示した。重回帰分析の結果のとおり、粗孔隙率の高い層位ほど飽和透水係数も大きい傾向であった。施工前に比べ、施工1年後には、粗孔隙率、飽和透水係数ともに減少し、施工2年後には、両値とも増加する傾向であった。圃場整備工事施工後の透水性の変化が粗孔隙率の変化の影響を受けていることが示された。

全測定サンプルの分布の傾向から判断すると、粗孔隙率が比較的大きい水準では、特定の粗孔隙率に対する飽和透水係数の分布は $10^1$ 程度の幅に限られるのに対し、粗孔隙率が低い水準では、 $10^3$ 程度と広くなり、両者の関係が明瞭ではなく、飽和透水係数に決定に他の要因が大きく影響しているものと推察された。分布の境界の上面がシャープであることから、粗孔隙率は、飽和透水係数の上限を規定するとみなせる。さらに、粗孔隙の不連続性が飽和透水係数を小さくし、この程度の違いが同一粗孔隙率での飽和透水係数の分布を大きくしているものと推察した。

3. インテーク・レート（浸入速度）の変化  
圃場整備工事施工後、圃場の排水性が悪くなることは、一般に認められている。インテーク・レートの分布およびメディアンを第7図に示した。

各地区、各調査年とも夏期畑利用圃場の値は、高水準に分布した。夏期水田利用圃場のメディアンと比較すると、各地区共通に施工前に比べ、施工1年後には低下した。内川地区では、施工前 $\log(Ic) = -5.2$ から施工1年後 $\log(Ic) = -7.2$ と施工前の0.01、大谷地区では、 $\log(Ic) =$



第7図 インテーク・レートの分布

-5.7から $\log(Ic) = -6.1$ と0.4、柳田地区では $\log(Ic) = -5.2$ から $\log(Ic) = -7.1$ と0.5程度で、特に内川地区の低下が著しかった。内川地区のUck8では施工1年後に本調査で唯一断面調査時に湧水が観察され、当該年の本地区で地下水位が比較的高かったものと推察できる。また地区内で比較的インテーク・レートが大きいと期待される、土性が粗粒質で、下層に礫層が出現する赤池統のうちの2地点では当該年に畑利用がなされ、上述のメディアンの算出に含まれず、これが内川地区施工1年後の値をより低下

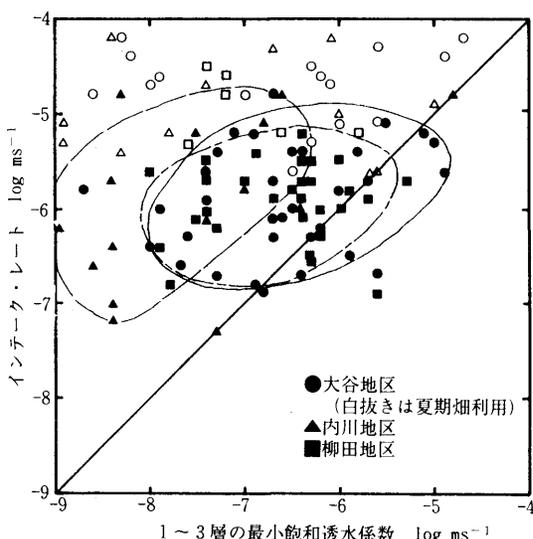
させる要因になったものとも考えられた。

施工2年後に、インテーク・レートは各地区とも1年後より大きくなり、内川および柳田地区では、工事前の値を上回った。施工3年後には、内川および大谷地区では再び低下し、4年後には上昇した。第7図に趨勢曲線を合わせて示した。3地区の傾向を共通的に解釈すれば、施工1年後には低下し、2年後にかなり回復し、その後徐々に回復するようである。施工2年後の急速な「回復」と施工3年後の「戻り」は地区間でその程度の差が大きかった。

内川および柳田地区のそれぞれの地区内での土壌区分による違いは、明瞭でなかった。大谷地区では、工事施工後には常に篠永統が最も低水準で、松沢統は最も高い傾向であった。篠永統の工事施工後のメディアンは  $\log(Ic) = -6.2 \sim -6.2$  の範囲にありこれは内川地区のそれと同水準であった。これらの傾向と内川および柳田地区の傾向から、インテーク・レートの回復には土性の影響が大きいのと思われた。

一般にインテーク・レートは、土壌条件つまり透水性と水理条件に支配される。工事施工によって、排水路が整備され、また試抗断面調査時に1m以内に湧水が観察されたのは施工後3年間で延べ1地点のみで、本調査地点の排水時期の水理条件には問題が無いと判断できる。したがって、本調査でのインテーク・レートの大小は土壌条件に規定され、土性の影響が大きかったことを裏付けるものと判断した。

インテーク・レートを規定する土壌条件として、飽和透水係数の他、より大きな亀裂の影響がある<sup>4,30)</sup>。圃場整備後の透水性の回復に亀裂の発達が積極的に機能していることが報告されている。第8図に各地点の最小飽和透水係数とインテーク・レートとの関係を示した。飽和透水係数がインテーク・レートを規定するとすれば、土層内で最小の層位が土層全体の値を規定する。一般に水田では、耕盤層が最小で、また



第8図 飽和透水係数とインテーク・レートとの関係

注 図中の曲線は夏期水田利用地点の主な分布範囲を示す。

— 大谷地区, ( ) 内川地区, ( ) 柳田地区

第4表 インテーク・レートを従属変数、飽和透水係数等の各種条件を独立変数とした重回帰分析結果

要 因	回帰係数	標準回帰係数
工事施工の有無	-0.045	-0.027
夏期水田利用形態	1.041	0.657
飽和透水係数	0.091	0.128
調査前1週間の降水量	-0.000	-0.001
定数項	-5.281	
重相関係数	0.683	

注 工事施工の有無は、未施工0、施工1で夏期水田利用形態は、水田0、畑1で計算した。

本調査結果でもほとんどの調査地点で耕盤層が最小であった。土層内の最小飽和透水係数よりインテーク・レートの方が小さい地点は少なく、亀裂がインテーク・レートの値を大きくしていることに矛盾しない。しかし、両値の相関は低く、飽和透水係数は、インテーク・レートの最小値を規定するにすぎないことを示している。インテーク・レートと各種条件の重回帰分析の結果を第4表に示した。標準回帰係数は、夏期畑利用の値が最も大きく、次いで、耕盤層の飽和透水係数の値であった。夏期畑利用は、亀裂

の発達を促進するもので、インターク・レートに対し、亀裂の発達の影響が大きいことを支持するものとみなした。

その傾向は明瞭ではないが、内川地区は、他地区に比較し、飽和透水係数とインターク・レートとの差が大きい地点が多く、インターク・レートに亀裂の寄与が大きいと推察した。亀裂の発達は、土壤の乾燥化によってもたらされ、湿田では、乾田よりも乾燥履歴による収縮量が大きく、低pFで亀裂が発達するとされている<sup>18)</sup>。工事施工前の内川地区は、他地区に比べて湿田的な傾向が最も強く、内川地区が、施工2年目に亀裂の発達によって、インターク・レートが大幅に回復したことを支持するものである。本地区のインターク・レートは施工3年後に再び低下した。粗孔隙率も施工2～3年後にインターク・レートにリンクした変化を示し、インターク・レートのこのような変化、特に施工3年後の「戻り」の原因は、明らかではない。

夏期畑利用圃場では、飽和透水係数の値に関わらず各地点のインターク・レートは同水準で高く、これらの圃場では、亀裂の寄与が飽和透水係数の値を無視しうるほどに大きいものと推察した。

インターク・レートが施工後4年間で施工前の水準に戻ったのは、柳田地区のみであった。内川地区および大谷地区で施工前の水準に戻る

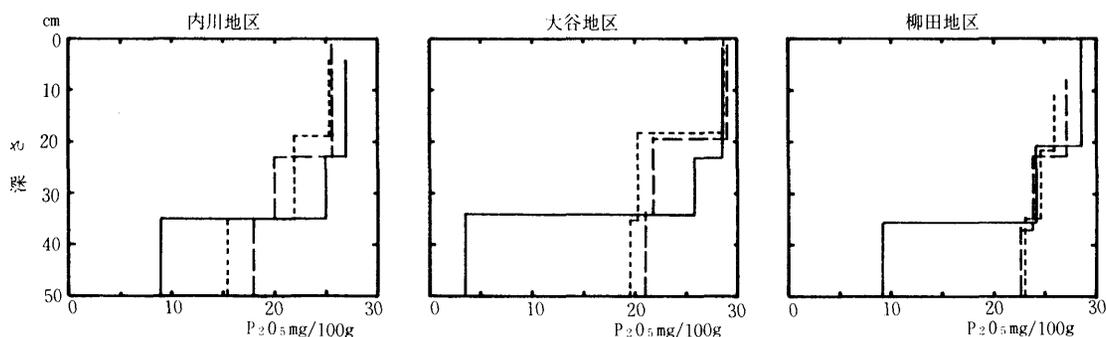
ためには、4年間の調査の傾向に外挿し5年～10年が必要と推察した。

畑地の水田化における減水深の変化は、火山灰土壌で6年程度、洪積土壌で3年程度で安定し<sup>22)</sup>、これは、耕盤層の安定によってもたらされたこととされ、本調査で、耕盤層の構造、インターク・レートが工事施工4年の経過では不十分で5～10年で安定すると推察したのに一致する。

#### 4. 化学性の変化

可給態リン酸、交換性陽イオン類、陽イオン交換容量(CEC)、陽イオン飽和度、pHおよび遊離酸化鉄含有率の垂直分布の経年変化を第9～13図に示した。

工事前の可給態リン酸含有率の垂直分布は、作土層に比べ、第2、3層で極端に低く、2層と3層との比較では、3層がより低かった。リン酸は、土壤中で移動しにくく、このような垂直分布は農耕地土壌の標準状態とみなせる<sup>11,12,24)</sup>。作土と耕盤層の比率は大谷地区で最も大きく、リン酸は黒ボク土で特に移動しにくいことから説明できる。これに対し、施工直後は、作土層で低下し、耕盤層で上昇し、作土層と耕盤層の差が小さくなり、大谷および内川地区ではほとんど差がなかった。工事後の経年変化は、各層位ともわずかであった。リン酸の湛水状態での垂直移動は、畑地よりはるかに早いとされるものの<sup>3)</sup>、施工前後の状況から極めてゆっくりで



第9図 可給態リン酸の垂直分布の推移

1986年 (施工前)
  1987年 (施工1年後)
  1989年 (施工3年後)

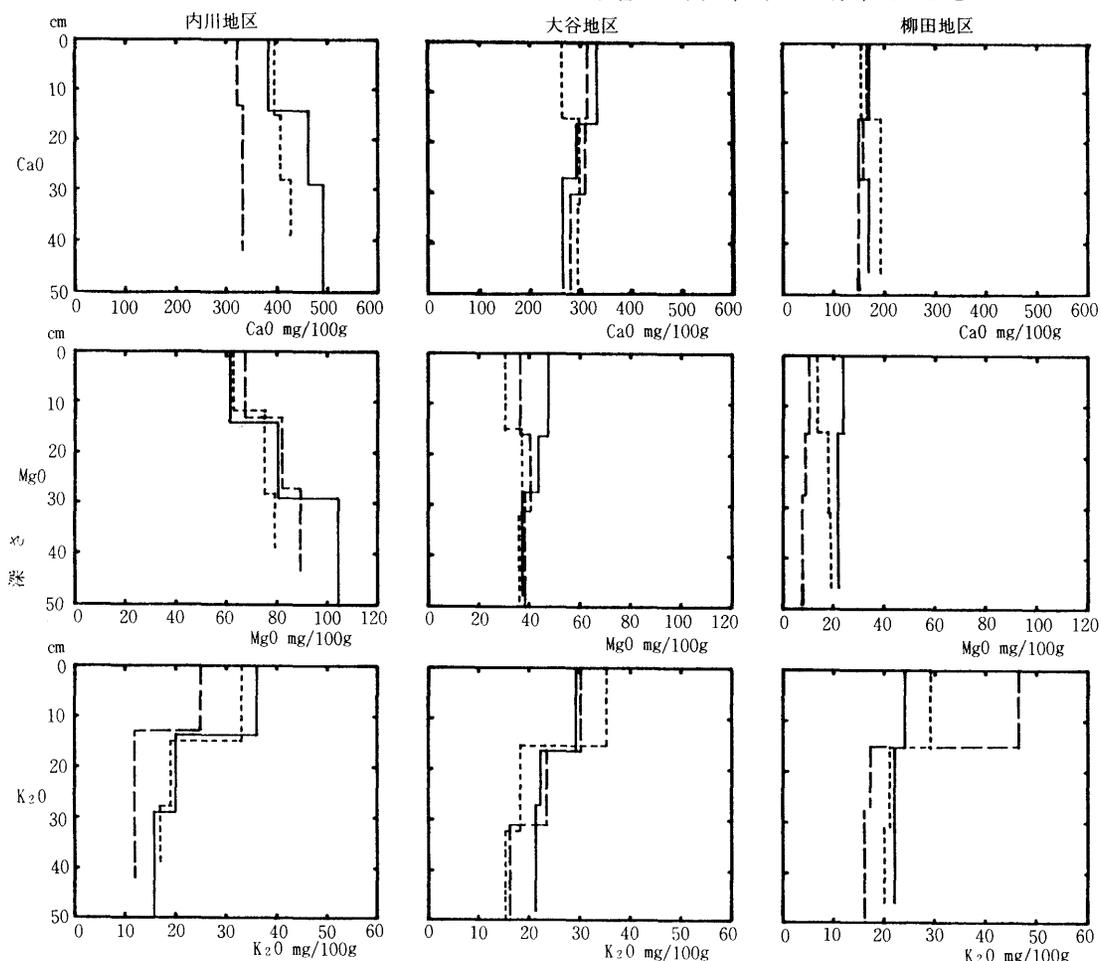
(第9図～13図で共通)

あることが推察される。

交換性陽イオン類のうち、カルシウムとマグネシウム含有率は似た傾向で、耕盤層および耕盤下層土の濃度が作土層と同水準またはこれよりやや高く、これはこれらの元素がゆっくり下層に移動しているからと考えられ、この傾向も水田の標準的な状態である。工事による変化は、リン酸と同様に作土と下層土の差が小さくなり、やはり両層位の土壌の混入で説明できる。交換性カリウム含有率の垂直分布は、施工前後で変化が小さく、作土が最も高く下層ほど低い分布状況であった。一般に、カリウムは土層中での移動が他の陽イオンに比べて速いとされ、1期の水田作でこの様な層序が形成されたと考えられる。

水田土壌では還元状態で $Fe^{2+}$ が陽イオン交換座を優先し、乾燥、酸化の過程で、これが酸化され、 $Fe(OH)_3$ として沈澱し交換座が $H^+$ または $Al^{3+}$ に取って代わられるためとされる<sup>15)</sup>。還元状態で $Fe^{2+}$ が交換座を占める過程で、他の陽イオン類は液相に放出され、これが水田土壌で、鉄および各種交換性陽イオン類が湛水期間中還元状態となる作土から下層への移動に寄与しているものと考えられる。しかし、以上のとおり交換性カリウムを除く交換性陽イオン類および鉄は、施工による攪乱状態からの3年間での変化は小さく、それら陽イオン類の移動にはさらに時間を要するものと推察した。

遊離酸化鉄含有率は、工事前は、各地区とも下層ほど高く、水田の標準的な状態であった。



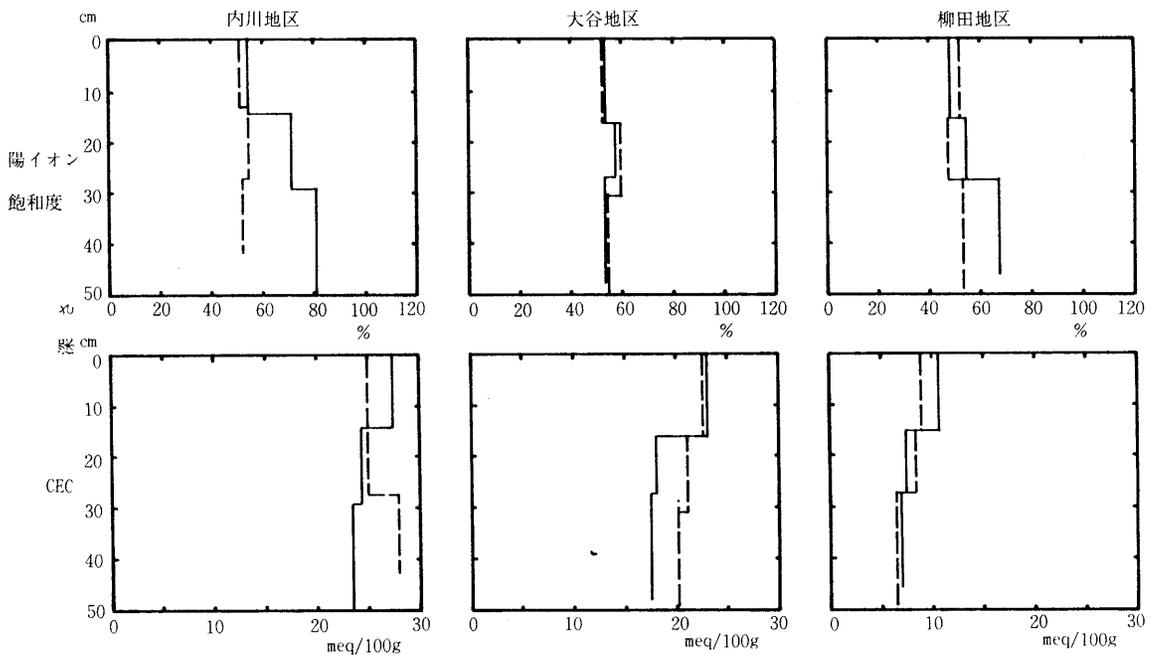
第10図 交換性陽イオン類の垂直分布の推移

低地下水水位水田土場の圃場整備後における経年変化と輪換畑利用の問題点

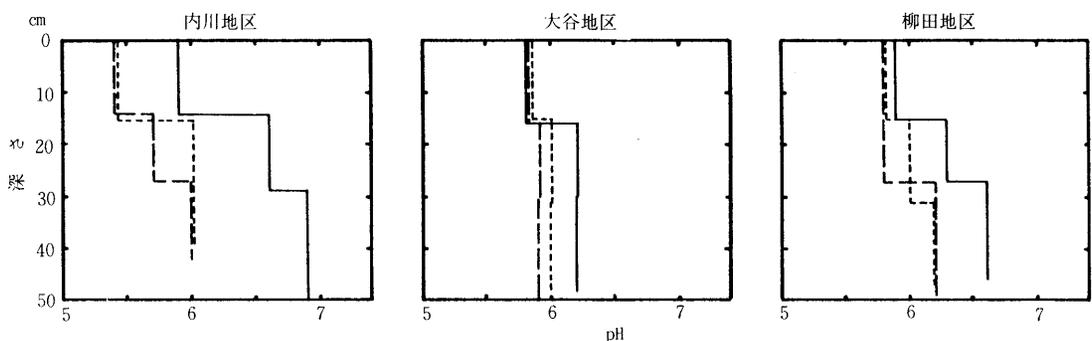
含有率水準に明瞭な地区間差があり内川>大谷>柳田の順であった。工事後は、作土層の含有率は上昇し、耕盤層含有率は低下した。内川地区の耕盤下層の含有率が施工後大幅に低下したが、前述のとおりこの層位は、工事前の第4層以下の層位が切り土によって第3層（耕盤下層）に位置したものと推察され、当該層位の含有率がこの水準であったものと推察される。二価鉄は酸化されるときに土壤粒子の結合をもたらすとされ<sup>14)</sup>、水田耕盤層の発達に寄与しているものと考えられるが、施工後3年間の垂直分布の変化は小さく、本調査では、耕盤発達との関

連は把握できなかった。

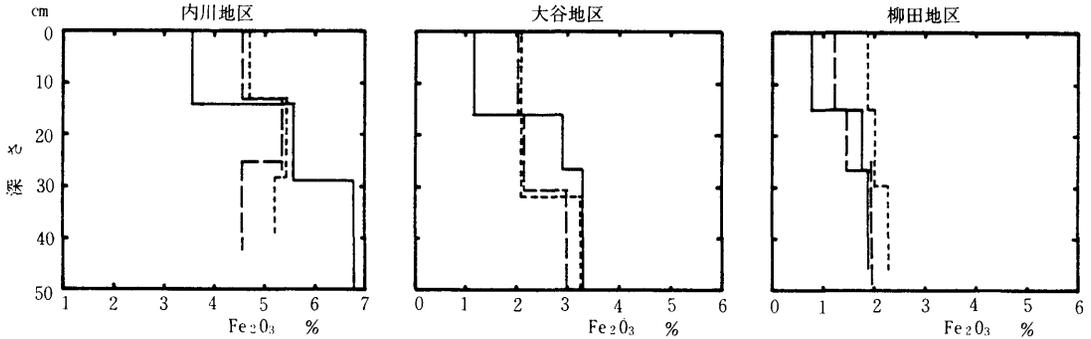
一般に、土壌のpHは陽イオン飽和度と関係が深い。施工前の交換性陽イオン類飽和度とpHの垂直分布は同様の傾向であった。その傾向は施工後失われ、内川地区でその違いが大きく、pHは下層ほど高かったのに対し、陽イオン飽和度は、作土から下層土までおおむね同じ値であった。これに対し、遊離酸化鉄とpHの垂直分布は、良く一致しており、両者の関係を連想させる。酸化状態でFe(III)が交換性陽イオンとして吸着されることはないとされている<sup>15)</sup>が、鉄酸化物沈澱表面の反応がpH低下に対する緩衝作用



第11図 CEC および陽イオン飽和度の垂直分布



第12図 pH の垂直分布



第13図 遊離酸化鉄の垂直分布の推移

を持つなどのpHへの影響の可能性も無視できない。

#### IV 土壌の水田化の速度と圃場整備完了水田の水稲作および転換畑利用における問題点

##### 1. 水田化の速度

先述のとおり通常、水田で観察される断面形態、物理性および化学性の垂直分布等は、水田特有のもので、長年の水田作によって形成され、一種の平衡状態にある。層序は圃場整備によって攪乱され、その後時間の経過に伴い平衡状態に向かう変化つまり土壌の水田化が進行するものと考えられる。土壌の水田化は、各種性質が相互に影響し合いながら進行するものと考えられる。水田化とは各種性質の層序の形成、特に作土と耕盤の分離を意味する。耕盤層の固相率および硬度の増加、耕盤層の塊状構造の発達、透水性の回復、酸化沈積物の生成、カリウムを除く交換性陽イオン類および鉄の作土層からの溶脱と耕盤および耕盤下層への蓄積等が含まれる。

全節で述べたとおり、施工4年後の貫入抵抗の垂直分布から判断される耕盤層の発達は、土壌の種類間の差が明瞭である。つまり、赤池、桜木沢、鹿畑および松本統では耕盤層の発達が明瞭であったのに対し、諸橋、篠永および安来統は不明瞭であった。つまり比較的粗粒質な土壌で良く発達し、粘質な土壌で発達程度が悪い

と判断できる。以上のとおり物理的性質の面での水田化は土壌の土性の影響が大きいものと考えられるので、この点に注意して水田化の経年的状況を調査結果から解析すると次のとおりである。

最も速い時期に復元するのは鉄酸化沈積物で、土壌の種類に関わり無く施工1年後に観察された。しかし、先述のとおり、その形態は、土層の酸化状態に影響され、その後も酸化状態の変化に応じて変化が継続する。この時期の試行断面観察調査では、各地点とも作土と耕盤層を区別でき、耕盤層の構造は弱い塊状構造が観察される地点も多いが、貫入抵抗の垂直分布からは作土と耕盤層の分化は明瞭ではない。また耕盤層にグライ班が多く観察され還元状態にあることが示され、インテーク・レートは施工前に比べいずれの土壌でも著しく低下しており、これらの点から耕盤層は未発達であることがうかがわれる。

施工2年後には、粗粒質な土壌で耕盤層の構造が塊状構造と判断される地点が増加した。また、耕盤層の硬度は全体的に上昇し、粗粒質な土壌では施工前に近い値であった。グライ反応は諸橋、赤池、篠永統を除く各土壌で、ほとんど消失、還元状態が消失したことを示している。

施工3年後の耕盤層の構造は、粘質な土壌では連結状または発達程度極弱の塊状が中心であったのに対し、粗粒質な土壌では、発達程度は施工前の水準に達しないものの発達程度弱程度

第5表 圃場整備工事施工後の変化の概要

経過 年数	物理性		化学性
	粗粒質	細粒質	
1	・層位分化開始	→	・鉄酸化沈積物の再形成 (糸根状, 膜状, 脈状) ・カリウムの層位分化
2	・透水性の回復開始 ・グライ斑の消失	→	
3	・耕盤硬度の安定		
4~5	・透水性の回復	・グライ斑の消失	
>5	・耕盤構造の安定	→ ・透水性の回復	・CaO, MgO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> の分化

の塊状構造が中心となり、この頃におおむね構造が安定するものと考えた。

施工4年後には、上述のとおり貫入抵抗の垂直分布は粗粒質な土壤では明瞭となったのに対し粘質な土壤では未だに未発達である。

調査地区別のインターク・レートの変化の状況は、前節で述べたとおりで、趨勢曲線から判断する回復に要する時間は、柳田地区は施工2年後、大谷地区は5年程度内川地区は5年以上である。土壤別に比較すると諸橋および篠永統の回復が特に遅く、5年以上、その他の土壤で2年から5年程度で、したがって、粗粒質の土壤では4~5年、粘質な土壤では、5年以上必要である。

化学性の層位分化には土壤間差は認められなかった。前述のとおり、交換性カリウムは施工1年後に分化したが他の交換性陽イオン類、可給態リン酸、遊離酸化鉄は施工後の変化は非常に小さく、層位分化には更に長期間を要することが明かである。

これまでに述べた各性質の経年的変化の要約を第5表に示した。圃場整備完了水田土壤の水田化に関する各種物理性は、構造の発達に付随

的で、粗粒質の土壤では3年程度、粘質な土壤では5年以上、また交換性カリウムは1年で、交換性カリウムを除く化学性は5年以上必要である。

## 2. 圃場整備完了水田の水稲作および転換畑利用における問題点

圃場整備工事施工による物理性の変化は、構造の破壊と圧縮の結果である。土層の構造は、透水性を規定する重要な要因で、特に耕盤層の構造は、土層全体の透水性を規定するものである。工事施工によって、これが低下することは、飽和透水係数およびシリンダー・インターク・レートの測定から明らかとなった。

作物の栽培に当たり転換畑での排水速度は50mm/day以上が望ましいとされている。排水速度を地区別にシリンダー・インターク・レートのメディアンから判断すると工事施工前の値は、各地区ともこの値を満足していたが、施工後は、内川および柳田地区ではこの値を下回り、排水不良による湿害の危険性が懸念された。柳田地区では、工事施工2年後に50mm/dayを上回る水準に回復したが、内川地区では、施工4年後にもこの値を満足しなかった。前述のとおり大谷

地区の篠永統でも工事後のインターク・レートの回復が遅くこれらLiC~CLの粘質な土壌タイプで、透水性回復が遅いという問題が深刻であることが明らかとなった。

インターク・レートの回復には、亀裂の発達が有効であることを推察した。したがって、回復を促進するためには、輪換畑化、深根性作物の栽培が有効と考えられる。

圃場整備工事施工による化学性の変化は、作土と下層土の攪乱、混層に帰結する。通常の水田では、カリウムを除く交換性陽イオン類および遊離酸化鉄は、作土よりも下層土でその濃度が高いことが多く、攪乱、混層による作土の濃度の低下は生じない。

これに対し、可給態リン酸は、土壤中で非常に移動しにくいので、リン酸質肥料が施用される作土に対し、下層土での濃度は非常に低く、工事施工による濃度低下がはなはだしい。作物生育に対し、土壤中リン酸全量に対する一定割合が可給態として評価されるが、リン酸全量が高い水準ほど可給態画分の割合が大きい。したがって、工事施工によって作土中リン酸全量濃度低下は、土壤の混合割合に比例するのに対し、可給態水準はこれ以下の水準となる。特に黒ボク土では、移動量がきわめて小さいため、工事施工前の下層土の含有率が極めて低く、またリン酸全量に対する可給化率が小さく、この問題は重要である。先にも述べたとおり、リン酸は還元状態で可給化率が上昇すると言われ、この面で水稲作に対する影響はやや軽減されるものと期待されるが、転換畑利用時には、深刻である。特に、野菜類、麦類およびたまねぎ等のリン酸高水準要求作物の収量への影響は、小さくないものと思われる。したがって、圃場整備完了水田ではリン酸質資材の施用が重要である。

細粒質の土壌で、インターク・レートおよび孔隙率が工事施工2年後に回復し、3年後に再び低下する現象が観察されたが、これは一般的

なものか、気象的要因によってもたらされた当該年に特異的なものかは判断できなかった。

本調査では、作物の生育に影響の大きい要因である窒素無機化量、また夏期水稲栽培期間中の減水深および水稲生育の調査が行えず、水稲その他の作物生育への影響の調査が不十分であった。また透水性の回復に対する亀裂の寄与が大きいことを推論したがこれの直接の観察が行われなかった。土壤の変化の速度に比べ、5年間の調査期間は十分とは言えず、これらの点で、今後の研究が望まれる。

## V 摘 要

圃場整備工事が土壤の性質に及ぼす影響、工事後の変化ならびに水田および転換畑利用の当たっての問題点を明らかにするため、1986年に工事が行われた代表的な土壌タイプの3地区について、工事前および工事完了後4年間、土壤の透水性、物理性および化学性を調査した。その結果の概要は次のとおりであった。

### 1. 工事施工による変化

1) 工事の施工によって、作土—耕盤—耕盤下層という水田の層序が失われた。

2) 工事施工による物理性の変化は、作業機械による圧縮と練り返しによって説明され、固相率が大きくなり、粗孔隙率が低下した。また、インターク・レートが低下した。固相率の増加、粗孔隙率およびインターク・レートの低下の程度は粘質な土壌ほど大きく、多湿黒ボク土で小さかった。

3) 工事施工による化学性の変化は作土と下層との混層によって説明された。作土の可給態リン酸の値の低下が著しかった。したがって、圃場整備完了水田の化学性回復にはリン酸質資材の施用が有効である。

### 2. 水田土壌の回復

1) 層序の分化および耕盤層の構造の発達は施工1年後に始まる。インターク・レートの回

復は、耕盤層の発達と同時に進み、粗粒質など上ではおおむね施工3年後の回復するが、粘質が土壤では5年以上必要であった。

2) 飽和透水係数は、粗孔隙率に影響された。インテーク・レートの値には飽和透水係数および亀裂の影響が大きいと考えた。したがって、インテーク・レートの回復には輪換畑利用および深根性作物の導入が有効である。

3) 鉄酸化沈積物は施工1年後から回復し、グライ班は粗粒質な土壤で3年程度で消失したが、粘質な土壤では5年以上必要であった。

4) 交換性カリウムを除く交換性陽イオン類、可給態リン酸および遊離酸化鉄の層位分化には5年以上必要であった。

## 引用文献

1. 在原克之・渡辺春郎 (1988) 土肥誌59: 607-613
2. 土壤物理性測定法委員会 (1972) 土壤物理測定法: p177-182, 養賢堂, 東京
3. 古川秀顕 (1978) 水田土壤学: p264-274, 講談社, 東京
4. 古木敏也・多田 敦・林 直幹・上村道子 (1970) 農業土木試験場技報8: 129-160
5. 平岡正夫・木村洋二 (1976) 岡山農試研報1: 34-46
6. 平岡正夫・木村洋二 (1976) 岡山農試研報1: 47-52
7. 出井嘉光 (1967) 土壤の物理性16: 27-32
8. 岩間秀矩・奥山武彦 (1988) 土壤の物理性57: 47-51
9. 久津那造三・飯田周治・新村善男・上森 晃・瀬川篤忠 (1972) 土肥誌43: 165-171
10. 久津那造三・上森 晃・新村善男・飯田周治 (1972) 土肥誌43: 172-178
11. 亀和田國彦・吉沢 崇・小川昭夫・植木与四郎・内田文雄・岩崎秀穂 (1982) 栃木農試研報32: 7-26
12. 亀和田國彦・小川昭夫・吉沢 崇・植木与四郎 (1990) 栃木農試研報37: 115-132
13. 本村 悟・山中金次郎 (1963) 土肥誌34, 428-432
14. 本村 悟 (1969) 農技研報告B21, 1-114
15. 本村 悟 (1978) 水田土壤学: p12-90, 講談社, 東京
16. 諸遊英行 (1983) 土肥誌54: 434-441
17. 根岸久雄・古木敏也・菅原和夫・守屋 貢・多田 敦 (1972) 農業土木試験場技報A8: 1-65
18. 根本清一・国分欣一・増島 博 (1975) 土肥誌46: 136-244
19. 農業土木学会 (1979) 汎用耕地化のための技術指針: p45-81, 農業土木学会
20. 農林水産省農産課 (1979) 土壤環境基礎調査における土壤, 水質および作物分析法, 農林水産省農産課
21. 瀧島康夫・佐久間宏 (1969) 農技研報B 21: 225-328
22. 立谷寿雄 (1961) 福島農試: 1-83, 新規開田による水田土壤化現象および稲作の土壤肥料学的改良方策に関する研究
23. 栃木県 (1980) 土壤図
24. 栃木県 (1990) 木県農耕地土壤の実態
25. 栃木県 (1991) 栃木県の圃場整備
26. 上田弘美 (1981) 鳥取農試特研報4: 1-140
27. 上田弘美 (1985) 土壤の物理性51: 32-39
28. 渡辺春郎 (1979) 土壤の物理性39: 18-29
29. 八幡敏雄 (1971) 土壤物理: p112-122, 養賢堂
30. 山崎不二夫 (1971) 農地工学 (上): p69-86, p201-210, 東京大学出版会, 東京

**Changes of soil conditions in consolidated paddy fields and problems  
in rotation of the irrigated paddy rice and upland crops**

Kunihiko KAMEWADA, Yoshiro UEKI, Shinpei KANEDA and Takashi YOSHIKAWA

Summary

To reveal the influence of the farm land consolidation on the property of paddy soils and problems in rotation of irrigated paddy rice and upland crops, the drainage and physical and chemical properties of the soil were investigated in three regions with representative types of the soil. The study was carried out in a year before and four years after construction of the fields.

1. Change of the soil properties after construction.

1) The horizon sequence of plowed layer (first layer) -induced pan (second layer) -subsoil (third layer) was destructed by the construction work.

2) The change of physical properties of soil (the increases of solid phase, and decrease of pore ratio and intake rate) could be explained by the consolidation of the soil with construction vehicles. The degree of the change was higher in clayey soil than in wet Ando soils.

3) The change of chemical properties of soil could be explained by mixing of the soil layers. The decrease of phosphate concentration in plowed layer was prominent, and therefore, the application of phosphorus fertilizer was effective for the recovery of the chemical properties of the plowed layer.

2. Recovery of paddy field soil

1) The differentiation of the horizon sequence and the development of the structure of induced pan begin in the next year of construction of the field. The recovery of intake rate proceeded in parallel with the development of the structure of induced pan. It took three years in coarse textured soil and more than five years in fine textured soil for the intake rate to recover to the same level as that before the construction.

2) The value of hydraulic conductivity was related to the macro pore ratio. The value of the intake rate was influenced by the value of hydraulic conductivity and the existence of crack. Therefore, it was considered that the use of consolidation paddy fields as the drained fields for upland crop cultivation and the cultivation of deep-rooted crops were effective for the recovery of the intake rate.

3) The recoveries of iron mottle begin in next year of the construction. The gley reaction disappeared till three years after the construction in coarse textured soil, while it took more than five years in fine textured soil.

4) The horizontal differentiation of available phosphate, free iron oxide and exchangeable cations except potassium took more than five years after the construction.

[ Bull. Tochigi Agr. Exp.  
Stn. No.39 : 9~30 (1992) ]