

## 第1章 緒 論

北海道における水稲栽培の歴史は、記録からみると1600年代の後半（1685年：大野町，1692年：亀田村）にまでさかのぼることができる<sup>21)</sup>。

一方、本格的な水田の造成は明治中期に石狩、空知、上川地方へと進展し、さらに大正時代には網走、十勝地方へと北進をつづけ、現在の本道稲作の中核地帯である空知、上川の基盤が確立されたのは昭和に入ってからである。この間、種々の曲折を経ながらも地道な試験研究の積み重ねによる諸技術の向上（品種改良、栽培技術の改善、土壌改良、病害虫防除体系の確立など）によって、現在の単位面積当りの玄米生産量は九州南部や四国の、いわゆる西南暖地を凌ぐまでに至った。

このように、東南アジアの熱帯地方に端を発した水稲が、厳しい温度環境の北海道に定着するまでには、幾多の厳しい試練を経ている。

北海道の気象的な特徴をみると、年平均気温は4～9℃で、南部と北部では2℃位の較差がみられ、東部は西部に比べて低い。また年次間の気温の変動が他府県に比べて大きく、このことが北海道農業を不安定にしている大きな要因でもある。さらに年降水量は800～1,600mmで、他府県に比べて少ないが、作物生産上格別支障をきたすほどではない。

つぎに、北海道農業の生産力基盤である土壌の特性を概括すると、その大きな特徴は火山性土、泥炭土、重粘土、ろ土など、いわゆる作物栽培の立地条件としては問題の多い不良土壌が広範囲に分布することである。これら不良土壌に対する土壌改良試験は古くからおこなわれ、その後の北海道農業の発展と我国における食糧生産確保の面に大きく貢献した<sup>21)</sup>。

一方、北海道に分布する水田実績面積は約250,000haを数えるが、その中のほぼ75%は半湿田あるいは湿田としてとらえられる灰色台地土、灰色低地土、グライ台地土、グライ土、泥炭土に

よって占められている。さらに、粘土含量が25%以上で、かつ土性がLiC～HCのいわゆる“強粘質水田”は道内無機質水田土壌の約65%に相当するといわれており<sup>51)</sup>、グライ土、グライ台地土、灰色低地土および灰色台地土などの大部分の土壌型はその中に包含される。また地域別にみると、空知および上川管内に広く分布するなどの特徴がある（Table 1参照）。

北海道において、水田土壌の分類とその特性ならびに改良対策の指針が示されたのは、1953年以降開始された施肥改善事業の成果に負うところが大きい。すなわち、中山<sup>10)</sup>は1953年から1963年までの10箇年間、北海道の主要水田地帯約56,000haについて詳細な土壌調査と施肥試験を実施し、道内に分布する水田土壌の特質とその生産性との関係を明らかにした。その中で、寒地稲作の安定化を図るためには土壌類型ごとの土壌管理および肥培管理法の確立が重要であり、かつ湿田型土壌では排水法の改善によって通気、通水性ならびに土壌の酸化を促進し、水稲根の活性を高める必要があろうと指摘している。しかしながら、その後道内に分布する湿田型土壌をはじめとする強粘質水田の理工学特性を体系的に検討した論文はまったく見当たらない。

一方、農業構造改善事業の一環として1962年ころから着手された水田の圃場整備は、機械化作業体系の確立と水稲栽培の省力化に寄与する反面、一方では土壌の排水性低下をもたらす要因ともなった。すなわち、強粘質で排水不良な湿田地帯では、圃場整備時のブルドーザーによる圧密作用、あるいは秋期の多雨条件下での土壌のこねまわしによる構造破壊が従来より一層排水不良をもたらした。

さらに、稲作の機械化が急速に進展するなかで、水田作土層は大型作業機械による踏圧、過度な代かきなどで泥状化が促進され、加えてコンバイン

Table 1. Distribution of paddy fields in Hokkaido\*

Subprefecture Soil group	(ha)												Total	Ratio (%)			
	Ishikari	Kamikawa	Shiribeshi	Oshima	Hidaka	Kushiro	Abashiri	Sorachi	Rumoi	Hiyama	Iburi	Tokachi			Nemuro	Soya	
Andosols	—	590	—	—	—	505	354	524	118	—	—	—	—	—	—	2,091	0.9
Wet Andosols	950	1,500	—	—	75	—	133	1,855	42	1,902	—	—	—	—	—	6,457	2.6
Gley Andosols	420	400	—	—	—	—	45	1,690	366	369	—	—	—	—	—	3,290	1.3
Brown Forest soils	—	1,234	2,880	285	1,621	244	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,264	2.5
Gray Upland soils	160	11,401	6,470	—	85	—	—	—	—	—	—	—	86	—	—	18,202	7.3
Gley Upland soils	—	3,728	1,893	—	146	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,767	2.3
Brown Lowland soils	1,340	9,470	10,373	4,780	4,185	3,020	1,600	1,202	2,954	55	—	—	1,924	—	—	40,903	16.5
Gray Lowland soils	1,787	19,083	13,041	2,750	3,025	2,710	922	4,458	1,302	513	—	—	3,474	—	—	53,065	21.4
Gley soils	8,572	27,398	11,146	2,481	1,180	928	2,921	1,749	621	217	—	—	1,547	—	—	58,760	23.7
Muck soils	1,480	—	255	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,735	0.7
Peat soils	12,880	24,580	7,441	—	1,079	1,882	810	15	467	1,239	—	—	1,055	—	—	51,448	20.8
Total	27,589	99,384	53,499	10,296	11,396	9,289	6,785	11,493	5,870	4,295	—	—	8,086	—	—	247,982	100

\* Hokkaido Central Agricultural Experiment Station (1981)

によって排出される稲わらの直接圃場への還元は地表面の土壤乾燥化を阻む大きな要因ともなってきた。<sup>58,76,91)</sup>

従来、排水不良な強粘質水田の一般的な特徴として、①粘土含量が高く、粘性が強い、②圃場全体の地下水位が高い、③下層にち密な土層が存在する、④液性限界、塑性限界および塑性指数がいずれも高く、易耕性、すなわち耕起・碎土性ならびに作業機械導入可能な圃場条件の確保が劣るなどの点 que 取り上げられているが、土壤排水性の劣る要因としては前述の人為的な諸要因が地表面の排水機能低下を助長している事実も見逃せない。

事実、強粘質水田は一般の無機質水田に比べると通気、通水性が悪く、過湿あるいは過乾に陥り易い。たとえば、地下水位が低い場合には乾燥し易く、一旦乾燥すると土層全体が硬くしまつて耕起・碎土を困難にし、かつ下層土への根の伸長を阻む。また、地下水位が高い場合の強粘質水田は周年湛水状態になるため地盤が軟弱で、作業機械の走行に著しい支障をきたし、労働生産性を低下させる阻害要因ともなる。したがって、これら強粘質水田固有の土壤工学的特徴は田畑輪換をはじめとする水田の高度利用面においても支障要

因や制限要因にもなっている。

一方、寒冷地において良品質米の安定的生産を維持するためには、冷涼な気象条件に対処しうる土地基盤の整備、確保と合理的な栽培技術の導入が必要であることは論をまたないが、とくに初期生育の劣る排水不良地帯では水稻の初期生育量の増大を図り、生育遅延による登熟性の悪化および品質低下の軽減につとめなければならない。また湿田型土壤において地力のもつ多面的な機能を水稻生産の安定化に向けて有効に活用するためには土壤的な欠陥の是正によって土壤固有の負要因(主として排水性)を排除し、かつ土壤環境を酸化的に保つて水稻に対する養分供給様式の改善を図ることが重要である。そのためにはこの種水田土壤の理工学的な特徴に即した適切な排水法、耕起・碎土法ならびに水管理技術などの導入によって土壤の乾燥化を促進し、水稻に対する施肥ならびに土壤養分供給様式の大幅な改善が基本的な問題として取り上げられなければならない。

一方、強粘質水田の合理的な土層改良と用排水組織を確立するためには、まずその理工学的特性を解明する必要がある。すなわち同一強粘質水田であっても、母材・堆積様式・地形・土壤の生成

過程などの相違によって、その理工学的性質は異なるものである。また、同一立地条件下にあっても人為的な土壌管理（土層改良の有無、耕起・碎土法、作業機種、有機物施用の有無、用排水施設の施工法ならびに土地利用形態など）の差異によっても著しく変動することが予想される<sup>33)</sup>。

以上のような背景から、筆者は北海道上川管内に分布する圃場整備後の強粘質な排水不良田を中粒質の乾田と対比しながら、かんがい期および非かんがい期の土壌の理工学特性を明らかにし、それに基づき合理的な排水不良対策、土壌管理法および水管理法を確立する目的で本研究を行ない、13箇年にわたる種々の成果を取りまとめたものである。

本論文を取りまとめるに当っては、北海道大学教授前田隆博士より懇篤なるご指導を賜り、さらにご校閲の労をおとりいただいた。

北海道大学教授岡島秀夫博士、同教授片岡隆四博士には本論文校閲の労をおとり下さり、有益なご助言を賜った。

帯広畜産大学名誉教授山田忍博士には土壌学全般にわたるご指導と有益なご助言を賜った。

道立天北農業試験場長南松雄博士にはこの研究の端緒を賜り、さらに研究遂行上多くの便宜と有益なご指導をいただいた。

農林水産省農業研究センター横井肇博士および

農林水産省熱帯農業研究センター仲谷紀男博士には土壌の理工学性の測定法について懇切なご指導をいただいた。

また、道立中央農業試験場専門技術員小林荘司氏、道立上川農業試験場専門技術員山口正栄氏、道立中央農業試験場野崎輝義氏の各氏には水田土壌調査の全般にわたり、有益なご指導をいただいた。

道立上川農業試験場土壌肥料科長古山芳広氏、同野村美智子氏、同土居晃郎氏、元同藤原耕治氏、同木村清氏、道立中央農業試験場稲作部栽培第1科長水野直治博士、同稲津脩氏の各氏には多大なるご指導と助言を賜った。

元道立中央農業試験場長島群佳郎博士、同中山利彦博士、元道立上川農業試験場長森哲郎氏、同場長長内俊一博士、元道立天北農業試験場長後藤計二氏、元道立根釧農業試験場長松代平治氏、同場長奥村純一博士、道立中央農業試験場稲作部長男沢良吉氏、同化学部長岩淵晴郎博士、同特別研究員渡辺公吉氏、同科長黒川春一氏には終始激励と助言をいただいた。

さらに、現地試験を実施する上で農業改良普及所をはじめとする関係機関の方々には長年にわたりご便宜、ご指導をいただいた。

ここに、以上の各位に衷心からの感謝の意を捧げる次第である。

## 第2章 強粘質水田の理工学的な特徴

グライ土およびグライ台地土などの類型に属する水田土壌群の大半は粘土含量が高く、かつ土性が細粒質なため、一般的には排水性に劣り、かつ水分過剰ないわゆる“強粘質水田”と称せられている。

施肥改善ならびに地力保全基本調査に基づくと、北海道には粘土含量が25%以上で、土性がLiC～HCの強粘質を呈する排水不良田が低地、台地併せて約90,000ha（全水田面積の約36%に相当）分布している。

これらの水田の立地条件は、標高が低く圃場全体の地下水位が高いため土層全体が湿潤で、孔隙の絶対量が多いにもかかわらず過剰水がその大部分を占めているために有効孔隙量が少ない低地水田と、標高が比較的高い地帯に分布し、下層に孔隙絶対量の少ないち密な不透水層をもつ台地水田の2群に大別される。

これら水田の共通的な特徴は、融雪後および落水後の土壤乾燥が悪く、わずかな降雨でも地表面に停滞水が生じ地盤が軟弱になるため作業機械の走行に支障をきたしたり、また耕起・碎土性なども他の乾田型無機質土壌に比べると著しく劣っている。そのため、これら強粘質水田の土壤理工学的な特徴は稲作近代化の基本となる一連の機械化作業体系の確立と水稻生産の安定・良質化を図るうえで大きな支障要因や制限要因となっている。

本章では強粘質水田の理工学的な特徴と排水性不良の要因解析を中心に検討する。

### 第1節 強粘質水田の土層断面形態 ならびに一般理化学特性

本調査には上川管内中央部に分布する圃場整備を完了した代表的な4地点を選定し、かつ比較対象として道立上川農業試験場圃場の中粒質の乾田型土壌（褐色低地土）を供試した。

その土壤断面柱状図ならびに一般理化学特性をそれぞれFig 1, Table 2およびTable 3に示した。

#### 1. 土層断面形態

a) グライ土〔I〕；上川郡当麻町（1970年春圃場整備完了）。この土壌は非固結水成岩を母材とする河成沖積土壌で、土層全体が湿潤で粘着性が強く、土壤還元（Fe<sup>(II)</sup>存在量）の指標である強度なジピリジル反応がみられる。また38cm以下の土層は円礫を含むグライ層となっており、86cm下には湧水面がみられる。

b) グライ土〔II〕；上川郡鷹栖町（1970年夏圃場整備完了）。この土壌は非固結水成岩を母材とするオサラッペ川流域の沖積土地帯に位置しており、Apg層およびBg層の土色は黄褐色～灰色を呈し酸化沈積物の集積が顕著に認められるが、45cm以下の土層はグライ層となっており、70cm下には湧水面が出現する。

c) グライ土〔III〕；上川郡鷹栖町（1969年秋圃場整備完了）。この土壌は非固結水成岩を母材とする水田で、圃場整備後の収穫作業に一貫して普通型コンバインを導入しているため表層土のねりつぶしと下層土の踏圧が連年繰り返されており、地表水の排除機能はきわめて劣っている。また各層位とも粘性が強く、15cm以下はグライ層となっており、77cm下には湧水面がみられる。日減水深は7～10mm程度で、水の降下浸透はほとんどみられない。

d) グライ台地土；旭川市神楽町西神楽（1965年秋圃場整備完了）。この土壌は非固結火成岩を母材とする洪積土壌で、Apg層およびBg層の粘着性が強く、Bg層およびCG層には鮮明なジピリジル反応がみられ、CG層以下のち密度（山中式硬度計）は24mm以上できわめて高く、固くしまっているのが特徴である。

e) 褐色低地土；旭川市永山（道立上川農業試

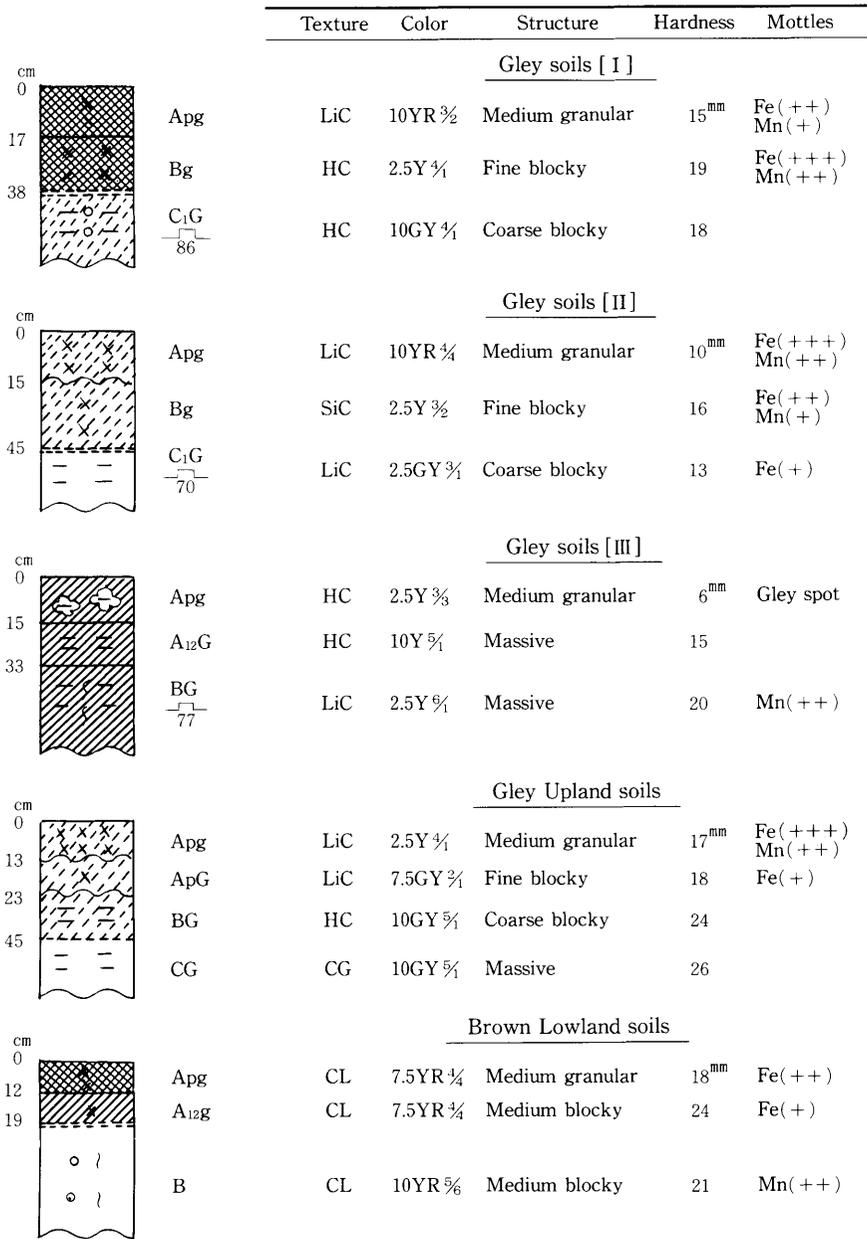


Fig 1. Soil profiles of five paddy fields studied

験場圃場)。この土壤の表層には火山灰を母材とする黒色の腐植に富む土層が20cm近く堆積している。また下層には砂礫層が浅く出現するため、日減水深は20~30mm程度であり、水田の透水性としては理想的である<sup>29)</sup>。

## 2. 土壤の理工学性

土壤の理工学的な特性は以下の実験方法にしたがって測定した。

①粒径組成……2.0 mm篩別風乾細土を過酸化水素で処理し、腐植を除去する。ついで粗砂を篩別し

Table 2. Physical and engineering properties of soil used

Soil	Horizon	Mechanical Composition (%)				Texture	Atterberg factors			Shrinkage limit (%)	Permeability coefficient (K <sub>20</sub> , cm/sec)
		Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay		Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plasticity index		
Gley soils [ I ]	Apg	13.5	14.3	32.9	39.3	LiC	93.6	47.9	45.7	34.9	$2.5 \times 10^{-6}$
	Bg	6.9	8.2	30.9	54.0	HC	107.8	50.0	57.8	33.4	$5.1 \times 10^{-7}$
	C <sub>1</sub> G	4.4	18.1	30.4	47.1	HC	63.5	29.2	34.3	28.3	$2.6 \times 10^{-6}$
Gley soils [ II ]	Apg	5.4	14.5	38.9	41.2	LiC	79.5	48.8	30.7	31.1	$4.5 \times 10^{-5}$
	Bg	0.2	9.1	52.0	38.7	SiC	70.0	43.0	27.0	30.0	$6.7 \times 10^{-7}$
	C <sub>1</sub> G	6.4	23.2	43.9	26.5	LiC	54.0	37.6	16.4	27.1	$1.5 \times 10^{-6}$
Gley soils [ III ]	Apg	0.8	14.0	37.0	48.2	HC	62.2	38.7	23.5	23.5	$7.0 \times 10^{-6}$
	A <sub>12</sub> G	0.2	14.5	38.9	46.4	HC	59.2	39.0	20.2	23.2	$2.5 \times 10^{-6}$
	BG	0.2	31.1	36.6	32.1	LiC	49.0	32.5	16.5	21.8	$3.4 \times 10^{-5}$
Gley Upland soils	Apg	18.5	13.7	30.7	37.1	LiC	80.9	42.7	38.2	33.2	$3.2 \times 10^{-4}$
	ApG	36.8	2.0	26.2	35.0	LiC	89.4	48.0	41.4	32.9	$4.0 \times 10^{-5}$
	BG	3.1	9.4	35.5	52.0	HC	65.0	36.6	28.4	30.9	$3.1 \times 10^{-7}$
Brown Lowland soils	Apg	9.4	41.2	26.1	23.3	CL	59.2	44.3	14.9	38.4	$2.1 \times 10^{-4}$
	A <sub>12</sub> g	6.8	43.8	26.6	22.8	CL	54.9	39.6	15.3	36.6	$2.4 \times 10^{-5}$
	B	1.9	47.9	32.4	17.8	CL	—	—	—	—	—

た後、篩を通過した部分はカルゴンで分散し、ピベット法によってシルトおよび粘土含量を求める。なお、粒径区分および土性区分はすべて国際土壤学会法に基づいた。

②液性限界、塑性限界、収縮限界……すべて日本工業規格 (J I S) A 1205, A 1206, A 1209による<sup>11)</sup>。また供試試料は2.0mm篩別風乾細土を使用した。

③飽和透水係数……100 ml容の採土管で採取した不かく乱試料を真空デシケーター中において60mg Hgの減圧で20時間飽水させた後定水位法で測定した。なお以下にのべる透水係数はすべてこの方法によるものである。

前記測定法によって得られた供試土壤の工学的な特徴をTable 2に示した。

Table 2から明らかなように、グライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土の土性はいずれもHC~LiCで粒径組成中に占める粘土含量割合は40%前後の高い値を示している。また液性限界、塑性指数が大きく、かつ収縮限界が小さい。

一方、比較対象に供試した褐色低地土は前4土壌 (グライ土3, グライ台地土1) に比べると粘土含量が少なく、液性限界および塑性指数が小さく、かつ収縮限界が大きい傾向にある。さらに、土壤水の降下浸透能と密接に関係する透水係数のオーダーをみると、強粘質で排水不良なグライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土の4土壌はいずれも $10^{-5} \sim 10^{-7}$  cm/secであるのに対し、排水良好な褐色低地土では $10^{-4} \sim 10^{-5}$  cm/sec程度で、前4土壌に比べると明らかに大きい。

これらのことから、この研究に供試したグライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土の4土壌はいずれも粘土含量が高く、かつ排水性に劣っているため、機械化農作業を進めるうえで問題の多い土壤と言える。

### 3. 土壤の化学性

つぎに、土壤の化学性をみると (Table 3), 排水不良なグライ土〔I〕,〔II〕,〔III〕およびグライ台地土の4土壌は排水良好な褐色低地土に比べると

Table 3. Chemical properties of soils used

Soil	Horizon	Depth (cm)	T-C (%)	T-N (%)	Humus (%)	NH <sub>4</sub> -N on anaerobic incubation (mg/100g)	CEC (me)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> absorption coefficient	Free-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Gley soils [ I ]	Apg	0 - 17	6.48	0.38	11.2	12.40	25.7	1,613	0.54
	Bg	17 - 38	6.60	0.32	11.4	4.62	26.9	1,679	0.41
	C <sub>1</sub> G	38 - 62	1.79	0.05	3.1	1.22	25.7	1,676	0.46
Gley soils [ II ]	Apg	0 - 15	2.36	0.23	4.1	3.14	20.4	1,120	1.40
	Bg	15 - 45	0.58	0.07	1.0	1.22	18.2	840	1.69
	C <sub>1</sub> G	45 - 60	0.41	0.04	0.7	0.83	20.9	690	1.53
Gley soils [ III ]	Apg	0 - 15	3.26	0.25	5.6	7.40	24.4	1,120	1.20
	A <sub>12</sub> G	15 - 33	3.63	0.28	6.3	6.90	23.8	1,084	1.48
	BG	33 -	3.42	0.27	5.9	7.33	23.8	863	1.58
Gley Upland soils	Apg	0 - 13	3.68	0.20	6.3	6.30	25.0	2,019	1.12
	ApG	13 - 23	2.43	0.24	4.2	4.91	23.2	1,713	1.00
	BG	23 - 45	1.85	0.02	3.2	1.38	20.0	1,779	1.59
Brown Lowland soils	Apg	0 - 12	6.46	0.49	11.9	2.77	27.4	1,820	1.14
	A <sub>12</sub> g	12 - 19	6.62	0.43	9.7	1.82	28.8	1,742	1.32
	B	19 -	1.28	0.11	2.2	0.73	18.2	1,870	1.03

全般に NH<sub>4</sub>-N 生成量が大きい。このことは、湿田型土壌の方が乾田型土壌より窒素潜在地力に富んでいることを示している。

また、グライ土〔I〕および褐色低地土は全炭素、全窒素含量が高く、表層土の腐植含量は10%以上である。さらに、グライ土〔II〕は他土壌に比べ遊離酸化鉄含量が高い特徴を示している。

## 第2節 湛水条件下における作土の 土壌構造

湛水および非湛水の繰り返される水田作土の土壌構造は、本質的には土壌粒子の耐水性粒団化度、すなわち土壌粒子そのものの分散性の強弱によって左右されるであろうが<sup>119)</sup>、一方では作業機種、代かきの精粗、有機物施用の有無、落水時期、耕起深など人為的な影響によって規制される面がきわめて強い<sup>24, 41)</sup>。

強粘質なグライ土〔I〕およびグライ台地土において、水稻栽培期間中の作土の土壌構造変化を

みるため湛水後の活性2価鉄生成量の推移、土塊組成、耐水性粒団組成および分散率などの関係を乾田型土壌の褐色低地土と対比して検討した。その実験方法ならびに実験結果を以下に示す。

### 1. 実験方法

①活性2価鉄……湛水後のグライ土〔I〕、グライ台地土、褐色低地土の各水田から採取した試料を直ちに0.2% AlCl<sub>3</sub>溶液 (pH 4.0) で処理し、その浸出液を  $\alpha$ - $\alpha'$ ジピリジル溶液で発色させた後、分光光度計で比色定量する。波長は520nmである。

②Eh<sub>6</sub>……圃場から採取した湿潤土をポリ袋中で良くねりつぶした後、200ml容ポリビーカーに移し空気との接触をさけるため、土表面を1cmぐらい脱塩水で満たし、白金電極 (HORIBA No.3010) 挿入10分後に酸化還元電位計の数値を読みとり、同時に測定した pH (H<sub>2</sub>O) および温度によって Eh<sub>6</sub> に補正した。また、単位は mv で表示した。

③土塊組成……植代直後の作土層の湿潤土を1,000ml容採土管で3箇採取し、40, 20, 10, 5 mm

の網目篩上に静かに移し、水中で軽くゆすって篩別する。測定値は乾土の重量比で表示した。

④分散率および耐水性粒団……齊藤<sup>113)</sup>の方法に準拠した。すなわち乾土10g相当量の湿潤土を容量500mlの振とう瓶に秤取し、水道水で定容後往復振とう器(120rpm)で15分間振とうする。振とう後の試料について分散率は

$$\text{分散率}(\%) = \frac{\text{水だけで分散させた場合(測定時)の0.02mm以下の粒子含量}}{\text{完全分散させた場合の0.02mm以下の粒子含量}} \times 100$$

式で求め、耐水性粒団量は2.0, 0.5, 0.2mm篩を用いて水中篩別法によって一次粒子を含めた値で表示した。

## 2. 実験結果

湛水期間中の活性2価鉄生成量、酸化還元電位(Eh<sub>6</sub>)、土塊ならびに耐水性粒団組成、分散率の

測定結果をTable 4に示した。

Tableから明らかのように、グライ台地土はグライ土(I)に比べ湛水初期は活性2価鉄生成量が少なく、かつ40mm以上の大土塊割合が高い傾向がみられ、分散率もきわめて大きい。また両土壤とも土壤還元化の進行(活性2価鉄生成量の増加ならびに酸化還元電位の低下など)に伴って2.0mm以上の耐水性粒団が崩壊し、20 $\mu$ 以下の土壤粒子の分散率が明らかに低下している。この現象は土壤還元の発達によって作土層の土壤構造が泥状化の方向にあることを示している。

つぎに、20 $\mu$ 以下の土壤粒子の分散率と2.0mm以上の耐水性粒団割合、また分散率と活性2価鉄生成量との関係を見ると(Fig 2)、分散率と2.0mm以上の耐水性粒団間には正の関係が、また分散率と活性2価鉄生成量との間には逆に負の関係が認められる。

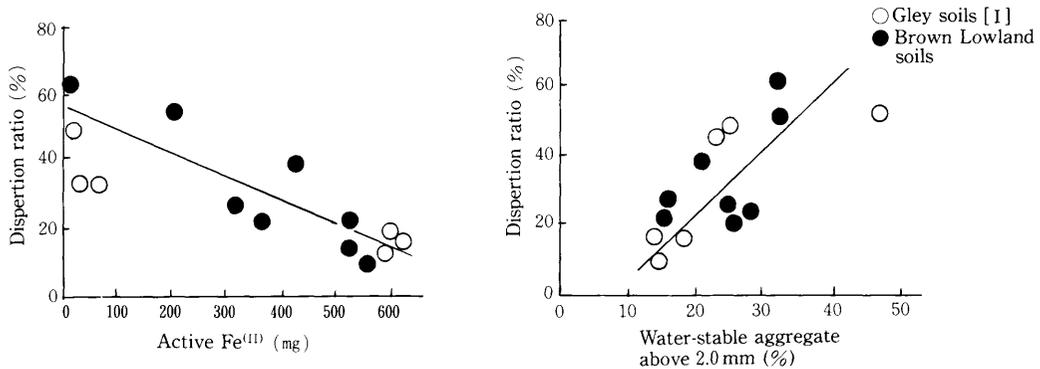


Fig 2. Relationship between dispersation ratio and active Fe<sup>(II)</sup> and water-stable aggregate (1972)

一方、比較対象に供試した中粒質(壤土)の褐色低地土ではさきのグライ土(I)およびグライ台地土に比べると活性2価鉄生成量が少なく、かつEh<sub>6</sub>の低下も小さい。さらに、土壤の還元化に伴う分散率の低下も前2土壤に比べると幾分小さく経過している。

つぎに、耕起前から落水後に至るまでの土壤3相の分布をみると(Table 5)、グライ土(I)およびグライ台地土は褐色低地土に比べ耕起前ならびに落水後の土壤含水比および液相割合が高く、反面

固相および気相割合が小さい。

また、湛水代かき後は各土壤とも非湛水期間に比べ含水比が急激に増加するため液相割合の増加および固相率の低下が顕著である。

したがって、これら湛水後における土壤3相分布の特徴は土塊、耐水性粒団の崩壊など土壤粒子の活性度と密接に関連しているものと思われる。

以上の諸事象から、強粘質な排水不良田は中粒質な乾田型土壤に比べると湛水後の土壤還元の発達が急速に進行するため、耐水性粒団の崩壊と作

Table 4. Changes of physical and chemical properties of plowed layers under flooded and non-flooded conditions

(Part 1)

(1972)

Soil	Water content of wet soil (%)	Immediately after the final puddling (May 13)									
		Composition of clods (%)					Composition of water-stable aggregates (%)				Dispersion ratio (%)
		> 4.0 cm	4.0~ 2.0cm	2.0~ 1.0cm	1.0~ 0.5cm	< 0.5 cm	> 2.0 mm	2.0~ 0.5mm	0.5~ 0.2mm	< 0.2 mm	
Gley soils [ I ]	46.2	19.1	37.7	11.8	6.8	24.6	25.6	10.7	9.8	53.9	22.3
Gley Upland soils	48.6	29.5	27.7	10.3	4.5	28.0	23.8	10.8	9.9	55.5	46.2
Brown Lowland soils	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(Part 2)

Soil	Water content of wet soil (%)	Period of progressed soil redution (July 27)					Water content of wet soil (%)	After the surface drainage (Aug 28)				
		Composition of water-stable aggregates (%)				Dispersion ratio (%)		Composition of water-stable aggregates (%)				Dispersion ratio (%)
		> 2.0 mm	2.0~ 0.5mm	0.5~ 0.2mm	< 0.2 mm			> 2.0 mm	2.0~ 0.5mm	0.5~ 0.2mm	< 0.2 mm	
Gley soils [ I ]	52.1	21.2	14.0	14.6	50.2	16.5	44.3	29.5	8.5	9.4	52.6	37.3
Gley Upland soils	48.4	14.1	7.6	10.2	68.1	14.3	47.8	53.2	1.3	5.6	39.9	33.1
Brown Lowland soils	42.0	17.6	6.9	13.5	62.0	19.9	42.3	4.8	11.3	13.8	70.1	16.2

(Part 3)

Soil	Active Fe <sup>(III)</sup> (mg/100g)			Eh <sub>6</sub> (mv)		
	June 2	July 27	Aug 28	June 2	July 27	Aug 28
	Gley soils [ I ]	262.3	502.0	416.4	-94	-189
Gley Upland soils	63.9	608.8	86.2	-15	-206	—
Brown Lowland soils	39.0	281.1	45.4	+131	-92	-93

前田 要：北海道の強粘質水田の理工学特性と排水不良対策に関する研究

Table 5. Composition of soil three phases of plowed layers (1975)

Soil	Before plowing (late April)			Submerged period (late July)			After surface drainage (early Sept)					
	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases (%)			Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases (%)			Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases (%)		
		Sv	Mv	Av		Sv	Mv	Av		Sv	Mv	Av
Gley soils [ I ]	80.9	30.0	66.8	3.2	97.4	25.2	68.4	6.4	72.3	32.6	62.9	4.5
Gley Upland soils	79.9	31.0	65.0	4.0	92.5	26.3	68.2	5.5	72.0	32.4	62.6	5.0
Brown Lowland soils	58.3	39.9	55.7	4.4	75.0	29.0	65.2	5.8	58.4	36.8	56.9	6.3

土層の泥状化を強める度合いがきわめて大きいものと考えられる。またこのことは、排水不良田における地表水の排除とキレツ生成を遅延させる一要因でもある。

### 第3節 土壌水分特性

前節では、湛水および非湛水条件下における水田作土の土壌構造の特性を強粘質を呈する細粒質なグライ土〔I〕、グライ台地土と中粒質の褐色低地土を対比して検討し、前2者は後者に比べ落水後の土壌乾燥がきわめて劣ることを明らかにした。本節では土壌の乾燥化に関与する土壌水分特性について検討する。

#### 1. 実験方法

①pF（土壌水分張力値）……市販のテンシオメーターの装置（素焼カップと水銀マンオメーターによる方法）を使用した。測定位置は地中深5cm、10cmである。またこのpF値が大きいほど土壌水分が少なく、圃場が乾燥している状態を示す。

②コンシステンシー指数（Ic）……次式によって求めた。

$$I_c = \frac{W_L - W}{I_P} = \frac{W_L - W}{W_L - W_P}$$

ここに Ic : コンシステンシー指数  
 W<sub>L</sub> : 液性限界(%)  
 W<sub>P</sub> : 塑性限界(%)  
 I<sub>P</sub> : 塑性指数

W : 自然含水比(%)

この値は圃場の乾燥（土壌水分の低下）に伴って増大する。また大型機械走行可能な値は0.5以上である<sup>103)</sup>。

③容気度……次式によって求めた。

$$U = \frac{V_A}{V_A + V_L} \times 100$$

ここに V<sub>A</sub> : 気相率(%)  
 V<sub>L</sub> : 液相率(%)  
 U : 容気度(%)

④不かく乱土壌の収縮常数……100ml容の採土管で採取した不かく乱の未風乾試料をデシケーター中に放置し自然乾燥させる。脱水・収縮がほぼ終わった後105℃で24時間乾燥させ収縮常数を求めた。その計算式はつぎのとおりである。

$$W_s = W - \left\{ \frac{(V - V_0) \cdot r_w}{W_s} \times 100 \right\}$$

ここに W<sub>s</sub> : 収縮限界(%)  
 V : 湿潤土の体積(cm<sup>3</sup>)  
 V<sub>0</sub> : 乾燥土の体積(cm<sup>3</sup>)  
 W<sub>s</sub> : 乾燥土の重量(g)  
 r<sub>w</sub> : 水の単位体積重量(g/cm<sup>3</sup>)

また、体積変化量(%)は(V - V<sub>0</sub>/V) × 100の式によって求めた。

#### 2. 実験結果

平年に比べ融雪期が7日ほど早く、かつその後

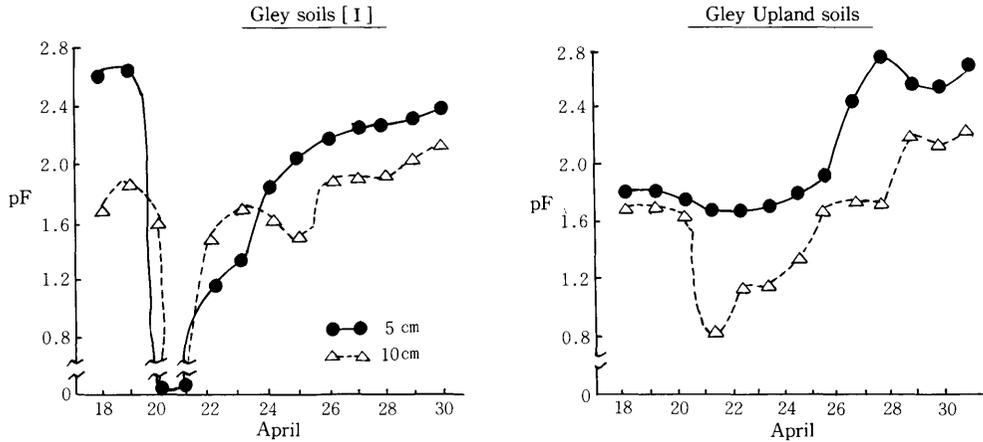


Fig 3. Change of pF values in ill-drained paddy fields (1972)

の天候も順調に推移した年（1972年）にグライ土〔I〕およびグライ台地土両圃場において耕起前の土壤水分 pF 値の推移を測定した。

結果は Fig 3 に示すように、両土壤ともに地中深 10cm の pF 値が 5cm に比べ常に低く経過しており、下層ほど湿潤であり、しかも大部分が pF 2.0 以下である。また土壤別にみるとグライ台地土の方がグライ土〔I〕よりも地中深 5cm の pF 値が幾分高く、かつ地中深 5cm と 10cm の較差が大きい傾

向にある。さらにグライ土〔I〕では 4 月 19、20 日の降雨（16mm）後には地中深 5cm の pF 値が 0 以下となり、圃場には随所に表面停滞水がみられた。

一方、融雪期が平年に比べ 5 日ほど遅れ、かつその後も降雨が続いた年（1973年）に耕起前の土壤 3 相組成および大型機械走行能の指標であるコンシステンシー指数 (Ic)、pF 値を排水良好な褐色低地土と対比して検討した結果をみると (Table 6)、

Table 6. Comparison of soil physical and engineering properties at the different sampling time

Soil and sampling date	Horizon	Distribution of soil three phases (%)			Water content by weight (%)	pF	Ic	Shrinkage factors		Permeability coefficient (K <sub>20</sub> , cm/sec)	
		Sv	Mv	Av				Shrinkage limit (%)	Volumetric change (%)		
Before plowing (May 4)	Gley soils [I]	Plowed soil	28.4	56.1	15.5	74.8	0	0.21	32.9	30.3	3.3×10 <sup>-3</sup>
		Subsurface soil	28.5	59.5	12.0	80.2	0	0.29	39.1	29.5	2.5×10 <sup>-4</sup>
	Gley Upland soils	Plowed soil	32.4	62.6	5.0	72.0	0	0.23	40.2	24.2	4.2×10 <sup>-4</sup>
		Subsurface soil	33.4	56.6	10.0	62.7	1.9	0.47	40.0	30.0	3.3×10 <sup>-5</sup>
After surface drainage (Sept 3)	Gley soils [I]	Plowed soil	32.6	62.9	4.5	72.3	0	0.22	42.1	32.7	9.4×10 <sup>-7</sup>
		Subsurface soil	34.0	62.5	3.5	70.5	0.9	0.47	38.9	35.9	4.0×10 <sup>-7</sup>
	Gley Upland soils	Plowed soil	27.6	67.7	4.7	93.3	0	-0.32	46.3	57.3	4.7×10 <sup>-6</sup>
		Subsurface soil	35.8	62.6	1.6	65.4	1.7	0.41	40.6	28.5	6.1×10 <sup>-7</sup>
Before plowing (May 7) After surface drainage (Sept 17)	Brown Lowland soils	Plowed soil	36.7	46.8	16.5	47.5	2.5	1.28	38.6	9.6	1.8×10 <sup>-4</sup>
		Plowed soil	35.9	54.7	9.4	63.0	2.1	1.08	40.9	10.2	2.5×10 <sup>-4</sup>

排水不良なグライ土〔I〕およびグライ台地土の2土壌は土壌3相中に占める固相率の割合が30%前後で比較的小さく、かつ全般に液相率が50~60%にも達している。また土壌含水比も65%以上(pF 1.8以下)で、排水良好な褐色低地土に比べると著しく高い。さらに大型機械走行上の指標となるIc値も常に0.5を大幅に下回っており、地盤が軟弱な様子がうかがえる。

つぎに、1973年における落水後の土壌の理工学性をみると、排水不良なグライ土〔I〕およびグライ台地土の土壌含水比は65%以上であり、Ic値もきわめて小さい。とくに心土の透水係数のオーダーは $10^{-7}$ cm/secで作土の $10^{-4}$ cm/secに比べると著しく小さく、下層土への水の動きが困難な様子を示している。また不かく乱土壌で得られた収縮常数をみても、土壌含水比が62~93%の範囲内で変動する体積変化量の幅は24~57%であり、乾田型土壌の褐色低地土の値(10%前後)に比べると著しく大きく、このことは強粘質のグライ土〔I〕およびグライ台地土は中粒質な褐色低地土に比べ脱水に伴う土壌粒子の集合度合がきわめて大きいことを示唆している。

さらに、グライ土〔II〕と褐色低地土の両圃場で落水後の土壌含水比、pF、容気度ならびにキレツ生成などの関係を見ると(Fig 4, Fig 5)作土層の大部分が泥状化した厚い和水膨潤層で占められているグライ土〔II〕では落水後の地表面水の消失がきわめて緩慢であり、補助排水(圃場内に溝切り機によって作溝)を伴った場合でも落水7日後にようやく地表面に初期キレツの生成が認められる程度で(pF 1.5, 含水比67%), 大キレツの生成が開始される(pF 2.0, 含水比61%)までには10日以上も要した。一方、乾田型土壌の褐色低地土では落水後の地表水の消失が早く、落水3

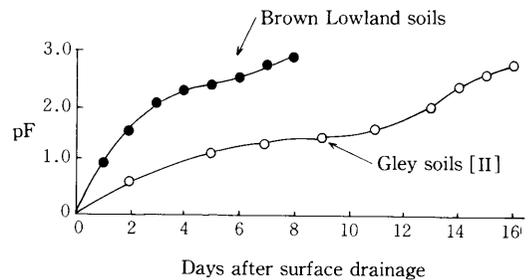


Fig 4. Change of pF values after surface drainage (in 5 cm depth)

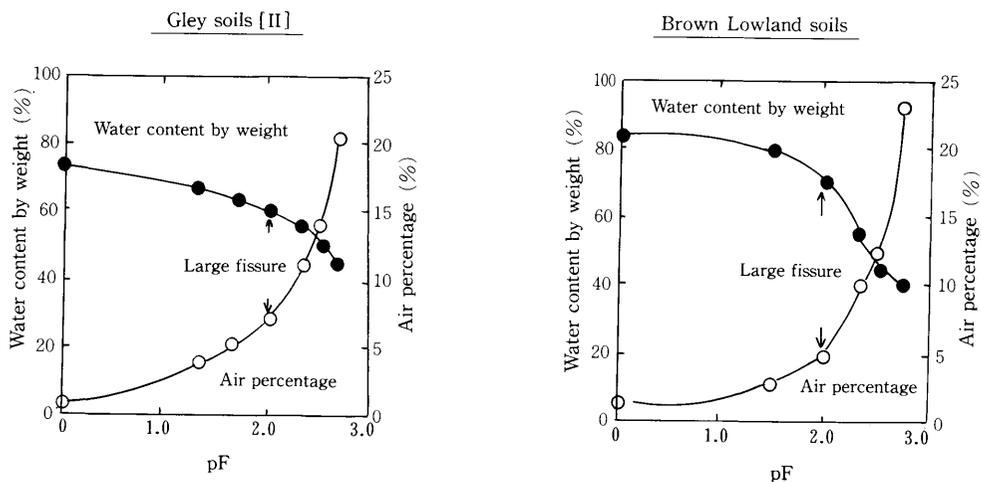


Fig 5. Relationship between pF values and water content by weight and air percentage in well and ill-drained paddy fields

日後には pF 1.7 (含水比72%) に達して初期キレツの生成が開始され、4日後には大キレツの生成 (pF 2.0, 含水比68%) が認められるなど土壤の乾燥が急速に行われる。また、両土壤とも pF 値が 2.7以上に達し、圃場での正規収縮がほぼ完了し、残収縮が始まる変曲点に達したと思われるに要した落水後の日数はグライ土〔Ⅱ〕で15日間、褐色低地土では7日間であり、排水不良田における土壤の乾燥化過程はきわめて緩慢であった。

以上のように、強粘質の排水不良田では融雪期の違いや降雨量の多少にかかわらず耕起時の土壤水分状態が過湿状態にあり、かつ落水後の圃場乾燥化も乾田型土壤に比べると大幅に遅延するため、収穫時の大型機械導入にあたっては排水法の改善による土壤の乾燥化対策が強く要求される。

#### 第4節 土壤の乾燥化過程と理工学性の変動

前述の第2、3節の試験結果から、強粘質な排水不良田では圃場乾燥程度の差異によって土壤の理工学性が著しく変動することが予測されたので、グライ土〔Ⅰ〕とグライ台地土において土壤水分状態と理工学性との関係を検討した。

##### 1. 実験方法

①圧碎強度……さきの不かく乱土壤の収縮常数を求めた炉乾燥試料を供試して単純圧縮試験器 (MARUTO LK 50-13168) によって測定した。

②アッターベルグ常数……自然含水比 (湿润土) の状態で、さきの方法にしたがって測定した。

③その他の測定法ならびに値の算出法は前記方法に準ずる。

##### 2. 実験結果

土壤水分が理工学的特性におよぼす影響について検討した結果を Fig 6以下に示した。

まず、土壤3相組成間の相互関係をみると (Fig 6), 液相割合が45~75% (含水比50~120%) の範囲内では液相率と容気度の間に高い負相関 ( $r = -0.893^{***}$ ) が認められ、土壤水分の飽和に伴

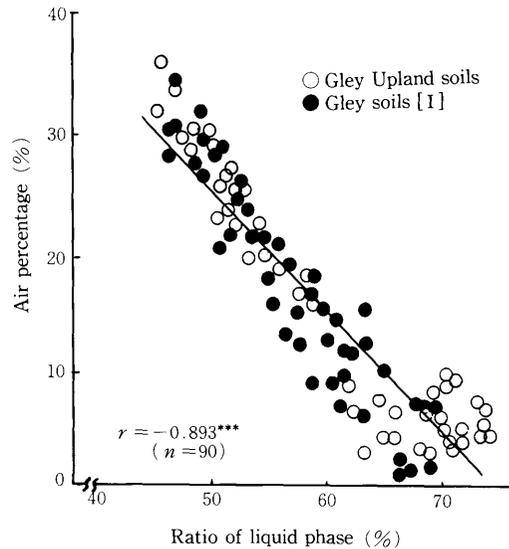


Fig 6. Relationship between ratio of liquid phase and air percentage in heavy clayey ill-drained paddy fields

って気相割合が明らかに低下する。

さらに、容気度と透水係数の関係では (Fig 7), 両者間に明瞭な正の相関 ( $r = 0.839^{***}$ ) が得られ、このことは土壤の乾燥化に伴う気相割合の増加によって透水性の増大する様子を示している。

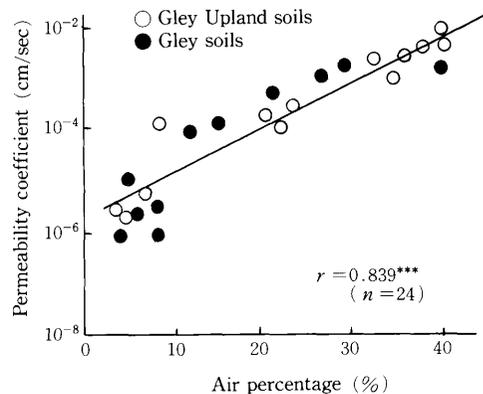


Fig 7. Relationship between air percentage and permeability coefficient in heavy clayey ill-drained paddy fields

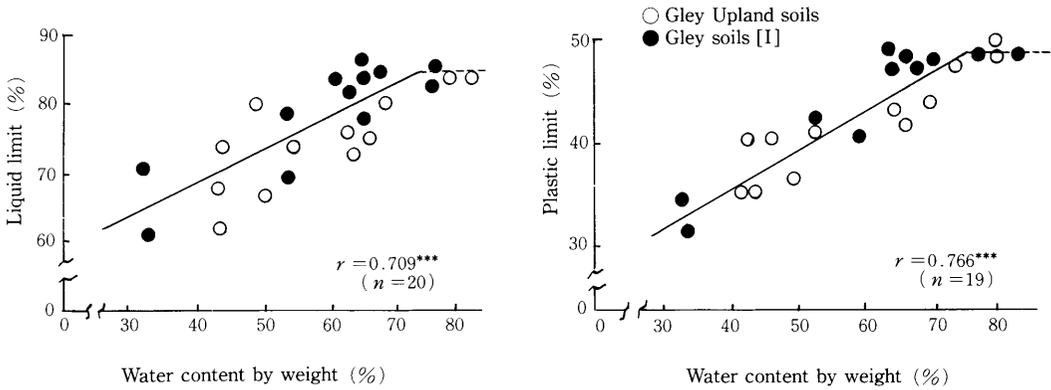


Fig 8. Relationship between water content by weight and liquid limit and plastic limit in heavy clayey ill-drained paddy fields

つぎに、土壤含水比とアッターベルグ常数（工学的特質面）との関係を見ると（Fig 8），両土壤とも土壤含水比がほぼ70%以下の範囲内では含水比の低下に伴って液性限界，塑性限界がいずれも低下する傾向にあり，それらの間には各々高い正の相関係数（ $r = 0.709^{***}$ ， $r = 0.766^{***}$ ）が得られた。

一方，Fig 9から明らかなように，土壤の地耐力，すなわち大型機械走行能力と密接に関連する土壤の圧砕強度およびIcと土壤含水比との間にはいず

れも負相関（ $r = -0.765^{***}$ ， $r = -0.747^{***}$ ）が得られ，土壤含水比の低下に伴って圧砕強度，Icが顕著に増大する。

ちなみに，グライ土〔I〕およびグライ台地土において大型機械走行可能な土壤のコンシステンシー指数（Ic値で0.5）を得るために必要な土壤含水比の値はほぼ61%以下（Ic値で0.5以上）であり，またこの時の土壤圧砕強度は8 kg/cm<sup>2</sup>程度である。

なお，両土壤のアッターベルグ常数をCasagrande

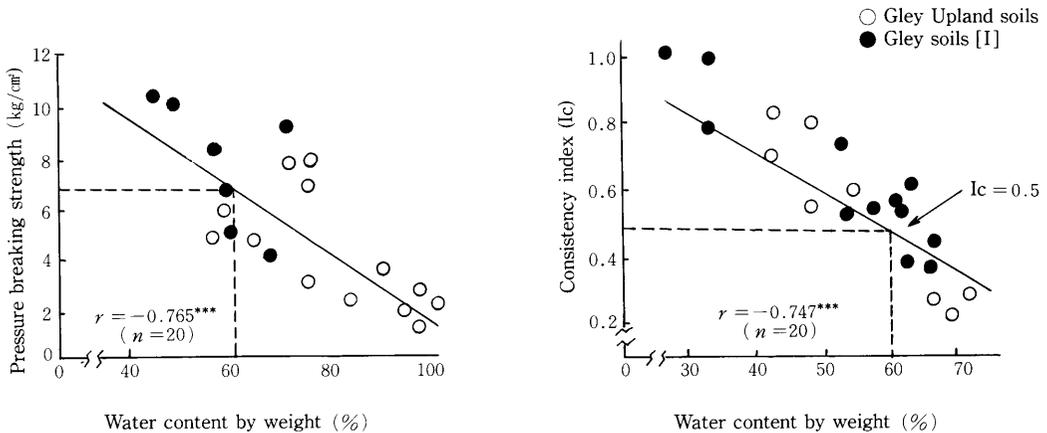


Fig 9. Relationship between water percentage by dry weight and pressure breaking strength and consistency index in heavy clayey ill-drained paddy fields

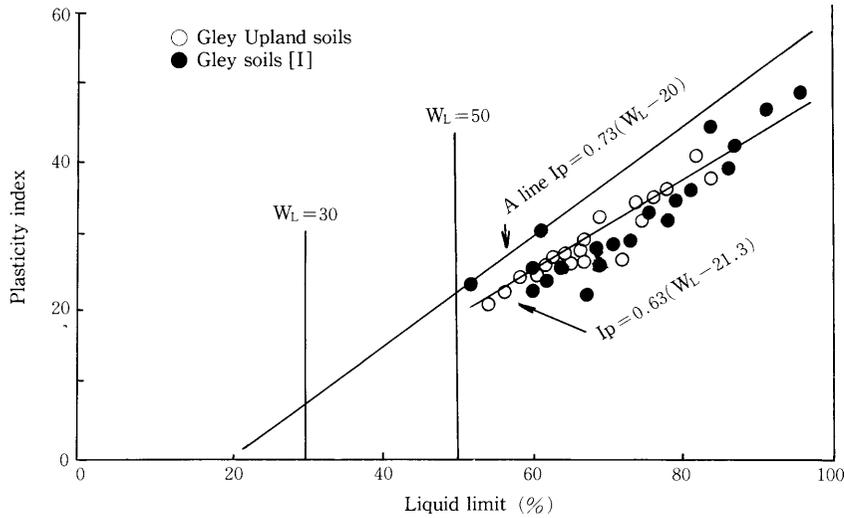


Fig 10. Casagrande's plasticity chart

の塑性図上にプロットすると(Fig 10), 両土壤とも米国統一分類基準(土木学会編集:工質工学, 6, 67, 1968)ではA線の下に位置し, 高圧縮性の無機質シルトと有機質粘土の領域に入る。

以上の結果を整理すると, 強粘質な排水不良田の理工学的な特性は中粒質な乾田型土壤に比べると土壤粒子の活性が高く, かつ作土層の泥状化が著しいため土壤の含水比ならびに土壤3相組成中に占める液相割合がきわめて高く, 反面固相割合及び気相割合が小さい。さらに土壤の工学的性などの面でも後者に比べ前者の方が液性限界, 塑性限界, 塑性指数ならびに自然構造土壤の体積変化量が大きい特徴を示す。しかしながら, 土壤含水比の低下によってこれらの値がいずれも減少することから<sup>72,123)</sup>, この種土壤の土地改良の方法としては, 適切な排水法改善技術を確立し, 土壤の乾燥化を促進することが稲作の機械化と水稻の生産性を高めるうえで不可欠な条件として取り上げられる。

## 第5節 土壤群別の理工学特性

この実験は, 土壤類型および土壤管理前歴の異なる水田土壤の理工学的特性を検討し, それに基づいた土層改良法を確立するための基礎資料を得

る目的で行った。

### 1. 実験方法

①かく乱土壤の工学特性……各地点から採取した試料について, 土壤3相組成, 収縮限界, 圧砕強度をさきの測定法で求め, これらに及ぼす含水比, 粘土および腐植含量の影響をみる。供試試料点数は40である。

②収縮常数……土壤類型ならびに土性の異なる2.0mm篩別の風乾細土を用いて収縮常数を求める。供試材料の点数は21である。

### 2. 実験結果

供試土壤の腐植含量, 粒径組成, 3相組成, 含水比ならびに不攪乱土壤の収縮限界, 圧砕強度について検討した結果をTable 7に示した。

その結果をみると, 供試土壤の腐植および粘土含量はそれぞれ3.7~76.9%, 8.1~73.0%と幅が広く, かつ容積重も15~120の範囲内に幅広く分布している。また含水比および土壤3相中に占める液相割合は泥炭土が著しく高い特徴を示すが, 他の無機質土壤は各々25~100%, 30~70%の範囲内に分布する。

なお, 各土壤の採取時期が異なるため中粒質

Table 7. Physical and engineering properties of core soil samples

Sampling sites and number of samples	Humus (%)	Texture	Mechanical composition (%)			Bulk density (%)	Water content by weight (%)	Distribution of soil three phases (%)			Shrinkage limit (%)	Pressure breaking strength (kg/cm <sup>2</sup> )	
			Coarse sand + Fine sand	Silt	Clay			Sv	Mv	Av			
NAKA FURANO	2-1A	10.1	CL	56.3	22.9	20.8	106.3	38.7	40.9	41.1	18.0	29.9	1.83
"	6-1A	14.9	CL	55.0	22.0	23.0	88.7	52.5	34.4	46.6	19.0	38.6	1.69
"	6-1B	14.9	CL	55.0	22.0	23.0	92.6	48.6	36.0	45.0	19.0	38.9	0.80
"	6-2A	76.9	Peat	9.4	15.3	8.1	16.8	411.3	8.9	69.1	22.0	39.3	1.94
"	6-2B	76.9	Peat	9.4	15.3	8.1	15.0	455.3	9.2	66.8	24.0	46.6	1.75
"	11-1A	20.7	SCL	59.6	19.7	20.7	46.8	88.7	18.9	41.5	39.6	32.5	0.34
"	11-1B	20.7	SCL	59.6	19.7	20.7	56.9	76.4	23.5	43.5	33.0	36.9	0.59
"	14-1A	3.7	CL	51.4	24.0	24.6	93.2	41.0	34.3	38.2	27.5	35.3	2.18
"	14-1B	3.7	CL	51.4	24.0	24.6	96.0	42.5	35.2	40.8	24.0	37.1	1.40
"	15-1A	10.7	CL	56.3	21.9	21.8	97.6	47.8	40.6	46.7	12.7	34.9	4.32
"	15-1B	10.7	CL	56.3	21.9	21.8	120.1	38.6	44.7	46.3	9.0	30.7	7.22
"	16-1A	14.9	CL	38.5	39.5	22.0	64.3	91.9	23.9	59.1	17.0	62.0	1.14
"	16-1B	14.9	CL	38.5	39.5	22.0	64.9	83.1	25.1	53.9	21.0	51.4	1.28
SHIBETSU KITAMACHI	6-1A	39.2	Peat	9.8	30.1	33.9	31.5	252.7	12.6	79.6	7.8	83.2	2.86
"	6-1B	39.2	Peat	9.8	30.1	33.9	37.5	216.0	14.0	81.0	5.0	78.7	4.14
FUREN	2-2A	35.4	Peat	21.1	28.4	29.5	70.4	88.1	29.0	62.0	9.0	48.8	5.25
"	2-2B	35.4	Peat	21.1	28.4	29.5	63.3	100.0	25.7	66.3	8.0	47.7	9.62
"	2-1A	18.2	LiC	23.8	35.3	40.9	76.4	75.4	30.4	57.6	12.0	36.0	7.21
"	2-1B	18.2	LiC	23.8	35.3	40.9	74.1	78.7	29.7	58.3	12.0	43.3	6.51
TAYORO	1-2A	4.0	LiC	40.2	34.0	25.8	116.3	26.0	42.8	30.2	27.0	16.8	1.13
"	1-2B	4.0	LiC	40.2	34.0	25.8	117.4	25.1	42.5	29.5	28.0	20.6	2.00
"	1-4A	6.6	HC	5.4	21.6	73.0	105.3	41.8	37.0	44.0	19.0	22.4	3.69
"	1-4B	6.6	HC	5.4	21.6	73.0	104.8	41.8	37.2	43.8	19.0	19.6	4.24
TAYORO HIGASHI	6-1A	24.2	Peat	28.9	27.2	27.9	74.9	58.6	30.6	43.9	25.5	38.4	0.78
HIGASHIKAWA	2-1-1	15.2	CL	55.5	25.2	19.3	92.8	50.4	36.2	46.8	17.0	39.1	1.42
"	11-A	13.7	CL	56.1	27.5	16.4	85.3	56.7	30.6	48.4	21.0	34.8	1.36
TOMA	OB-1	11.2	LiC	27.8	32.9	39.3	75.0	74.8	28.4	56.1	15.5	39.6	9.41
"	OB-2	"	LiC	"	"	"	86.5	61.2	32.1	52.9	15.0	33.6	8.51
"	OB-3	"	LiC	"	"	"	92.7	59.1	35.2	54.8	10.0	32.7	11.10
"	OB-4	"	LiC	"	"	"	92.6	55.3	35.8	51.2	13.0	27.7	11.35
NISHIKAGURA	TA-1	6.3	LiC	32.2	30.7	37.1	87.0	72.0	32.4	62.6	5.0	54.4	6.52
"	TA-2	"	LiC	"	"	"	79.5	73.7	30.4	58.6	11.0	50.8	2.78
"	TA-5	"	LiC	"	"	"	86.2	65.0	31.0	56.0	13.0	37.3	6.01
"	TA-7	"	LiC	"	"	"	86.8	59.6	30.8	51.7	17.5	30.5	7.57
NAGAYAMA	01-A	8.9	CL	50.6	26.1	23.3	78.2	87.9	28.4	68.4	3.2	49.2	2.55
"	01-B	8.9	CL	"	"	"	93.7	65.3	36.3	61.2	2.5	40.9	7.82
"	03-A	7.9	CL	"	"	"	71.9	97.8	25.7	68.7	5.4	60.7	1.16
"	03-B	7.9	CL	"	"	"	89.0	67.8	34.7	60.3	5.0	46.8	5.14
"	05-A	8.4	CL	"	"	"	70.5	97.2	26.5	68.3	5.2	66.5	0.85
"	05-B	8.4	CL	"	"	"	85.7	67.0	32.6	57.4	10.0	45.4	4.60

(CL, SCL) なものであっても高い含水比、液相割合を示している。

つぎに、不かく乱土壌の収縮限界および圧砕強度をみると、それらの値は各々16～84%、0.3～11.4kg/cm<sup>2</sup>の範囲内に分布しており、きわめて幅が広い。

一方、腐植および粘土含量、含水比および固相率が収縮限界ならびに圧砕強度に及ぼす影響を Fig 11～Fig 14に示したが、まず土壌3相中に占める固

相率と収縮限界の間には両者間にきわめて高い負の相関係数 ( $r = -0.637^{***}$ ) が得られ、また土壌含水比と収縮限界との間にも1%水準で有意な関係 ( $r = 0.424^{**}$ ) が認められる (Fig 11, 12)。さらに、粘土および腐植含量との関係を見ると (Fig 13, 14)、圧砕強度と粘土含量との間には1%水準で有意な関係 ( $r = 0.424^{**}$ ) がみられ、粘土含量の増加に伴って明らかに圧砕強度が高まり、しかも粘土含量が40%前後で著しく増大する特徴

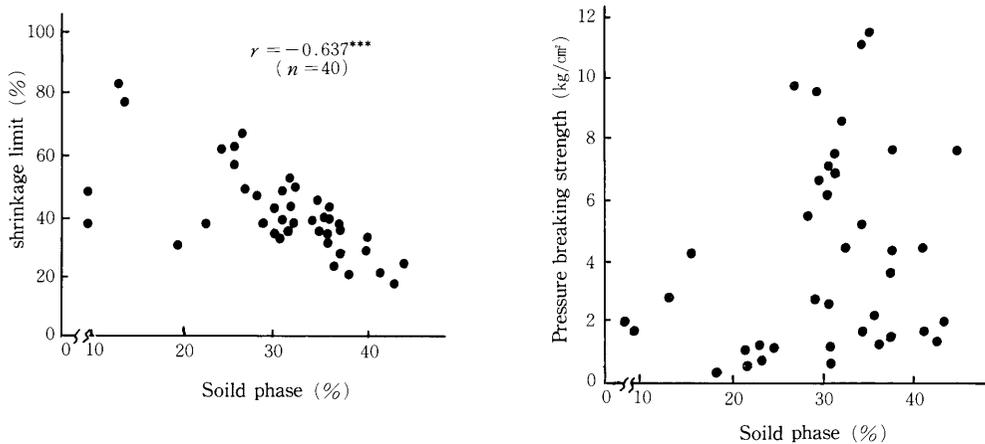


Fig 11. Relationship between soil solid phase and shrinkage limit and pressure breaking strength

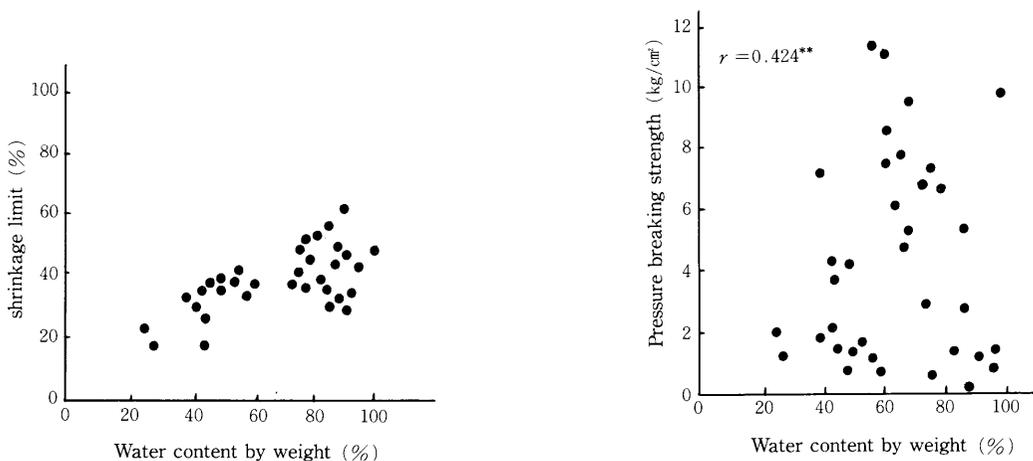


Fig 12. Relationship between water content by weight and shrinkage limit and pressure breaking strength

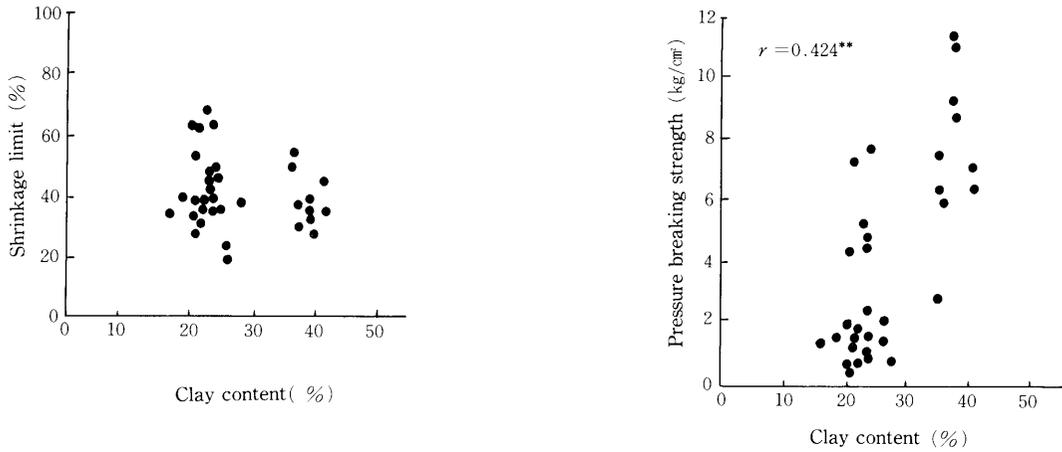


Fig 13. Effect of clay content of various soils on shrinkage limit and pressure breaking strength

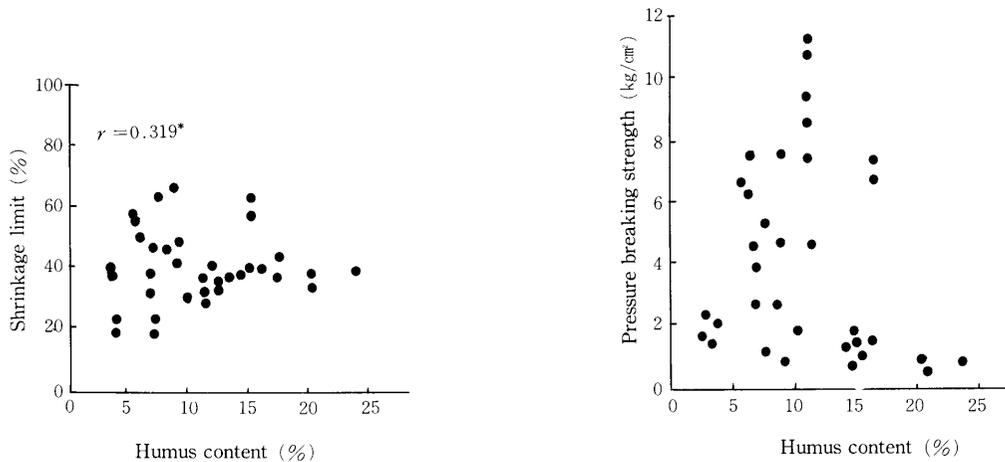


Fig 14. Effect of humus content of various soils on shrinkage limit and pressure breaking strength

を示す。

以上の結果から、強粘質水田土壌の体積変化を支配する要因としては、不かく乱土壌3相組成中に占める固相率の影響が最も大きく、ついで土壌水分の順となり、このことは固相率が高く、土壌水分が低い場合には脱水に伴う土壌の体積変化量の少ないことを示している。さらに、土壌の圧碎強度は粘土含量によって支配されていることが明らかである。

つぎに、腐植および粘土含量を異にする2.0mm篩別風乾細土の収縮特性について検討した結果をみると(Table 8)、全般に粘土含量の高いものほど収縮限界の高い傾向を示すが、5%水準では有意な関係が認められない(Fig 15)。しかしながら、この中には泥炭土および集塊岩など特異的な性質を示す土壌も含まれており、その影響が統計的な有意差を小さくしているものと考えられる。

一方、腐植含量と収縮限界の間には両者間にき

Table 8. The shrinkage factors of prepered air dried soil samples

Sampling sites and number of prepared samples	Humus (%)	Mechanical composition (%)			Texture	Water content by weight (%)	Shrinkage factors			
		Coarse sand + Fine sand	Silt	Clay			Shrinkage limit (%)	Shrinkage ratio (%)	Volumetric change (%)	Linear shrinkage (%)
WASSAMU 31-1	7.4	20.3	49.4	30.3	SiC	59.7	30.3	1.39	40.2	10.6
" 69-1	3.1	13.6	41.5	44.9	LiC	54.8	21.2	1.60	53.8	13.4
" 94-1	5.7	28.4	7.1	64.5	HC	67.8	29.4	1.41	54.1	13.4
" 116-1	4.3	70.1	14.7	15.2	SCL	47.4	25.9	1.55	33.3	9.3
KENBUCHI 3-3	2.2	2.1	29.6	68.3	HC	86.4	25.4	1.53	93.3	19.5
" 37-1	2.3	10.8	47.6	41.6	SiC	54.4	22.3	1.61	51.7	13.0
" 69-4	1.8	19.1	18.2	62.7	HC	65.6	10.8	1.96	107.4	21.7
" 70-1	21.1	46.1	12.3	41.6	LiC	72.9	37.4	1.18	41.9	11.0
" 70-2	50.7	28.5	34.2	37.3	"	154.1	75.8	0.70	54.8	13.8
IWAMIZAWA 01-A	7.7	8.5	53.1	38.4	LiC	63.7	27.5	1.43	51.8	13.0
" 03-A	8.7	"	"	"	"	65.7	27.3	1.44	55.3	13.8
" 07-A	7.3	"	"	"	"	66.9	27.9	1.44	56.2	13.9
NAGAYAMA 01-A	8.9	50.6	26.1	23.3	CL	65.1	37.5	1.28	35.3	9.8
" 03-A	7.9	"	"	"	"	68.7	38.7	1.22	36.6	10.2
" 07-A	8.4	"	"	"	"	72.5	44.1	1.17	33.2	9.3
TOMA OB-1	11.2	27.8	32.9	39.3	LiC	72.7	35.4	1.95	48.1	12.3
" OB-2	"	"	"	"	"	73.5	31.5	1.82	56.3	13.8
" OB-7	"	"	"	"	"	63.0	25.0	1.45	54.7	13.6
NISHIKAGURA TA-1	6.3	32.2	30.7	37.1	LiC	65.8	29.4	1.78	51.7	13.0
" TA-2	"	"	"	"	"	71.4	29.6	1.55	58.4	14.1
" TA-7	"	"	"	"	"	67.4	28.5	1.62	55.6	13.9

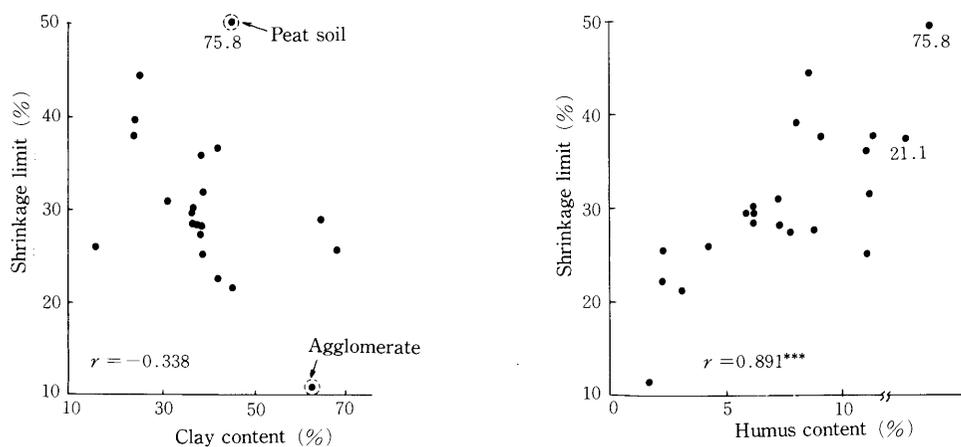


Fig 15. Effect of humus and clay content on shrinkage limit

わめて高い正の相関係数 ( $r=0.891^{***}$ ) が得られ、腐植含量の増加に伴って収縮限界が明らかに高まっている。

以上を総括すると、粘土含量の高い強粘質水田土壌は脱水に伴う体積変化量の大きいことを裏付けており、さきに取り上げた4土壌(グライ土

〔I〕, 〔II〕, 〔III〕およびグライ台地土)などはそれらを代表する土壌といえよう。

勿論、粘土鉱物の種類が高膨潤性のものであるか低膨潤性のものであるかによって脱水に伴う体積変化量は異なるが、筆者の供試した土壌では上述の関係が得られた。