

解 説

水田泥の攪拌沈降硬化について

藤 尾 福 蔵*

Rheological Properties of Paddy Soil

Fukuzo FUJIO

Tohoku National Agricultural Experiment Station

1. 結 言

第1表は、水稲移植機の開発研究と利用性能試験が全国的に開始された昭和41年の東北6県水稲移植機関係試験成績書より、水稲移植機の作業精度を集計したものである。この表によれば、全欠株率の平均はほぼ12から16%と必ずしも高くないが、その最大値は、マメトラとカンリウでは30%、ダイキンでは20%を越し、いずれの機種も全欠率の変異が非常に大きい。また、カンリウは、特に機構上の欠陥から機械的欠株が多い。最も有望視されたダイキンは、稚苗播きの培土方式であるため、浮苗欠株がやや多く、マメトラは、成苗ピンセット方式であるため、損傷欠株がやや多い傾向がうかがわれる。

第1表 水稲移植機作業精度

名柄型式	全欠株率 平均値 (%)	同最大 値 (%)	同最小 値 (%)	機械的 欠株 (%)	浮苗欠 株 (%)	損傷欠 株 (%)
マメトラAT 一2型(成苗 用)	12.4	34.2	2.0	4.7	3.1	4.6
ダイキンPT 一20型(稚苗 用)	11.8	23.0	5.3	4.0	5.2	2.6
カンリウTM 1-1型(稚苗 用)	15.6	32.5	5.6	8.1	4.1	3.4

注 東北6県水稲移植機関係試験成績書より作成
昭和41年8月

以上のような作業精度の結果は、育苗法の相違に基づく苗素質、水田の代かき後移植時の水深と泥の物理的条件、移植機の構造とその作用、オペレーターの運転技術などによるものとみられたが、全欠株率の変異が大きいことには、水田泥の物理的性質としての泥の粘度と硬さおよび流動の程度が強く関係するのではないかと考察された。そこで、東北各地の農業試験場では、代かき後、植付日数をかえたり、また、植付前に落水したりして、

水稲移植機の利用試験を行なったが、水稲移植機の能率的利用に適すると考えられる見掛上流れにくい程度の硬さの泥が得られず、この試験は失敗に終わった。

十分な代かきによって水中に懸濁した土粒子は、液状(ゾル)からフォークト体(ゲル)に転移するビンガム限界($pF \sim 1$)附近までは5日から10日以内に沈定するものと考えられるが、数日で流れにくい硬さの泥を得るには、なんらかの手段で、ビンガム限界より更に水分のすくない $pF \sim 0$ 附近の泥、すなわち、粘性に剛性が共存するフォークト体の泥にしなければならない。

沈定泥の土粒子は、網目状あるいは蜂巢状に配列結合して、その構造内は完全に水が充され、土粒子間にはファン・デル・ワールス力が作用し、泥はある程度凝集している。このような沈定泥では土粒子が粗充填に配列され、その結合力が弱いから、なんらかの手段で泥を攪拌(練返し)すれば、土粒子間の結合が破れて、構造拘束水が自由化し、泥が一時的に軟くなる。このように泥はチクソトロピーの性質が強い。しかし、土粒子間にはファン・デル・ワールス力が作用しているから、粗充填に配列された土粒子の結合が攪拌(練返し)により破壊されれば、沈定状態における土粒子の配列よりも、密充填になりやすい状態に土粒子が配向配列されて、泥は攪拌後急に沈降硬化するものと考えた。

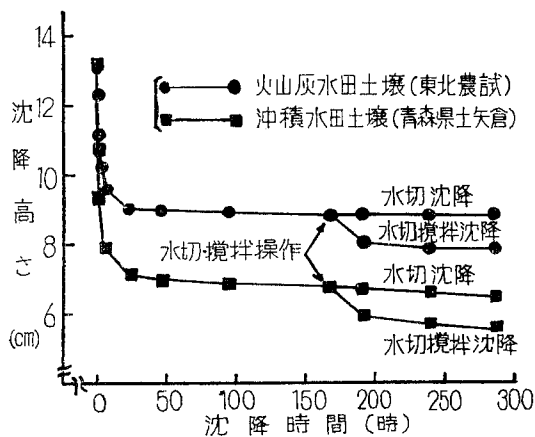
そこで本研究は、水稲移植機を有効に利用するための水田整地法を確立しようと、水中で沈定した泥を攪拌すれば、その後、泥の沈降硬化が促進されること、また、24種の東北各地の水田土壌について、沈定濃度に調整して沈降した泥の硬さを円筒沈下による粘稠度とその降伏値で捉え、実用上有効な結果を得たのでここに報告し、ご批判を仰ぎたい。

本実験での円筒沈下による軟かい泥の粘稠度とその降伏値の測定は、北海道大学理学部中川鶴太郎教授のご指導によるものであり、ここに深く謝意を表する。

2. 泥の沈降特性

第1図は、土壌孔隙の多い腐植に富む火山灰水田土壌

* 農林省東北農業試験場

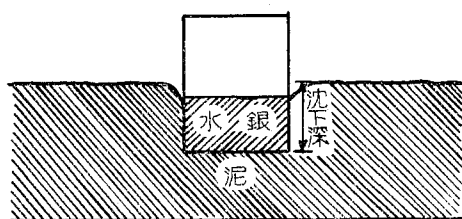
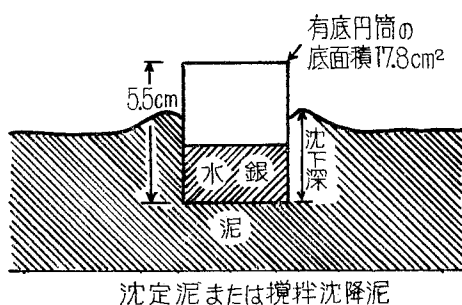


第1図 泥の沈降特性

(東北農試用)と代表的沖積水田土壌(青森県田舎館村土矢倉)生土を熱乾土換算で土48.5gに水82.4gの割合に調整し、その懸濁液を内径19.4cm²のメスシリンダーに入れて沈降させた場合の土粒の沈降特性を示したものである。

いずれの供試土壌も沈降経時による泥の沈降高さは双曲線的に減少し、火山灰水田土壌の方が沈降高さが大きい。この差は、火山灰水田土壌が腐植に富み、団粒が発達しているためである。

沈定状態の泥は凝集過程にあるため、上水を切り泥を攪拌すれば、いずれの供試土壌も、同様に、沈降が促進される。これは、緒言で述べたように、沈定泥を攪拌す



第2図 円筒沈下による泥の変形の様相

れば、土粒の結合が破壊されて、沈定状態における土粒の配列よりも、密充填になりやすい状態に土粒が配向配列されるためである。しかし、沈定泥と攪拌沈降泥の土粒の配列がどのように相違しているかは、今後の研究課題であるように考えられる。

3. 円筒沈下による泥の変形の様相

第2図は、円筒沈下による泥の変形の様相を、沈定泥または攪拌沈降泥と攪拌泥について、模式的に示したものである。

沈定泥または攪拌沈降泥は、円筒の側面の部分の泥が幾分かがった状態でもって、円筒の周囲に緩かな傾斜で盛上った。このようなことから、沈定泥または攪拌沈降泥の変形は、明らかに、塑性的であるといえるが、攪拌沈降泥は沈定泥より泥の盛上りが大きかった。このことからして、攪拌沈降泥は明らかに固体的性質としての剛性を有するものと見受けられた。沈定泥または攪拌沈降泥に対して攪拌泥は円筒沈下によって、外見上あかも弾性的に変形した。

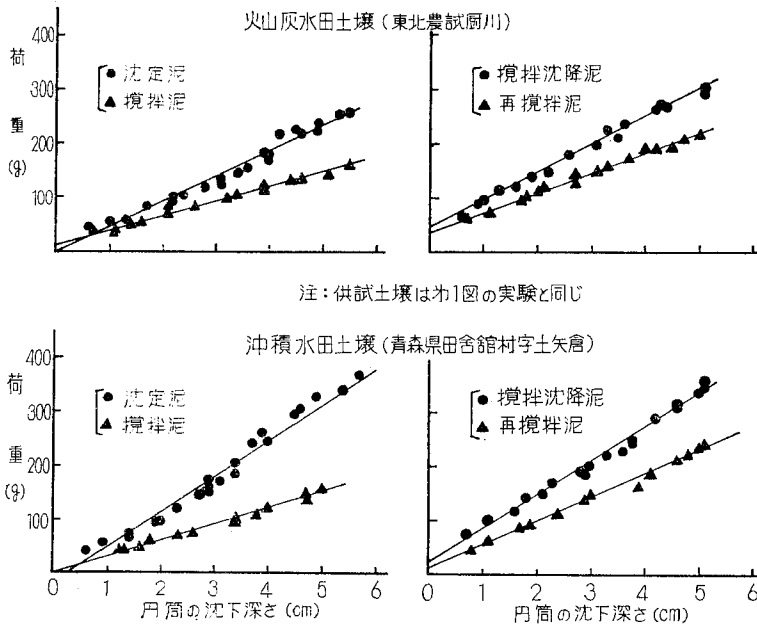
以上のような沈定泥または攪拌沈降泥と攪拌泥の変形の相違が、いかなる理由により生じたものかは、今後の土粒組立てにおける力学的研究の成果を待たなければならないと考えられる。

4. 水田泥における円筒の荷重と沈下深さとの関係

第3図は、第1図の実験と同じ濃度の土壌懸濁液を、縦60cm、横25cm、深さ15cmの容器に、第1図の実験の懸濁液の高さと同じになる量入れ、それを167.5時間沈降させた泥と沈降泥の上水を切り攪拌した泥(以下前者を沈定泥、後者を攪拌泥という)、また、沈定泥の上水を切り攪拌後72時間沈降させた泥とこの沈降泥の上水を切り再攪拌した泥(以下前者を攪拌沈降泥、後者を再攪拌泥という)について、円筒の荷重と沈下深さとの関係を第2図に示したサイズの円筒により測定した結果である。

いずれの水田土壌、状態の泥とも、円筒の沈下深さは、円筒の荷重の増加に伴って、直線的に増大するが、その増大の程度は沈定泥よりも攪拌泥の方が大きく、攪拌沈降泥よりも再攪拌泥の方が大きい。これは泥にチクトロピー的性質があることを意味するものである。

また、いずれの水田土壌も、攪拌沈降泥は沈定泥よりも円筒の荷重増加に伴う沈下深さの増大が小さい。これは、明かに、泥の水切り攪拌により、その後、泥の硬化が促進されたことを証明するものである。



注：供試土壌は前1図の実験と同じ

第3図 水田泥における円筒の荷重と沈下深さとの関係

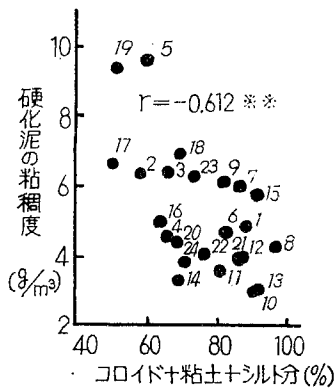
第2表 円筒沈下による泥の粘稠度・降伏値・硬度

供試土	火山灰水田土壌			沖積水田土壌				
	指標	粘稠度	降伏値	沈下深さ 1 cm の硬度	粘稠度	降伏値	沈下深さ 1 cm の硬度	
沈定泥	g/cm ³	2.16	-0.18	g/cm ²	3.66	-1.04	g/cm ²	2.62
攪拌泥	g/cm ³	1.51	0.57	g/cm ²	1.68	0.02	g/cm ²	1.70
攪拌沈降泥	g/cm ³	2.88	2.49	g/cm ²	3.54	1.17	g/cm ²	4.71
再攪拌泥	g/cm ³	2.10	1.91	g/cm ²	2.50	0.39	g/cm ²	2.89

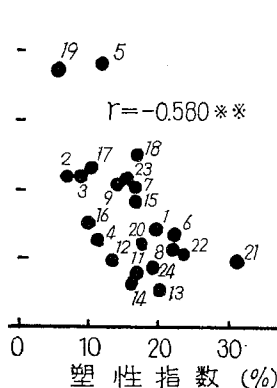
5. 円筒沈下による泥の粘稠度・その降伏値・硬度

第2表に示した粘稠度とその降伏値とは、第3図の実験について、円筒の沈下深さと荷重との一次実験式を求め、その係数項 (g/cm) と定数項を使用円筒の底面積 (17.8cm²) で除して、それぞれ粘稠度 (g/cm³) と降伏値 (g/cm²) と仮定したものである。

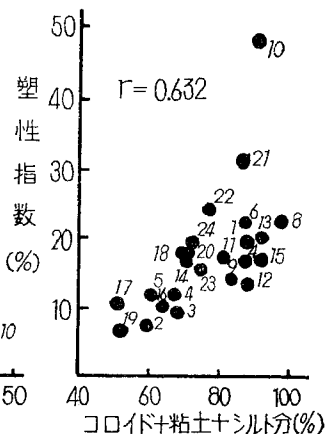
粘稠度と硬度は、いずれの水田土壌においても、沈定泥より攪拌泥の方が、攪拌沈降泥より再攪拌泥の方が小さい。つまり、泥は攪拌により粘稠度と硬度が大きく減



第4図



第5図



第6図

第 3 表 第 4 表の実験の供試土壌

土 壌 No.	採 集 場 所	JIS による土性名	JIS による粒径分布					腐植含 量	塑性指 数
			粗砂分	細砂分	シルト分	粘土分	コロイ ド分		
			%	%	%	%	%	%	%
1	青森田舎館村字土矢倉	シルト質ローム	1.7	10.0	71.9	11.6	4.8	8.1	19.5
2	青森農試五戸支場	ローム	12.0	28.6	43.1	9.5	6.8	11.5	7.2
3	岩手農試県北分場	粘土質ローム	4.8	27.6	44.4	14.5	8.7	10.0	9.0
4	東北農試本場(火山灰)	シルト質ローム	3.0	30.0	51.5	12.5	3.0	18.7	11.4
5	東北農試盛岡試験地	ローム	5.3	33.9	49.0	7.6	4.2	7.3	11.8
6	岩手紫波町平沢字館(谷地)	シルト質粘土ローム	3.5	12.8	59.7	18.5	5.5	19.6	22.1
7	同 上(乾田)	シルト質粘土ローム	2.0	10.4	61.6	19.0	7.0	11.3	16.7
8	岩手紫波町北日詰字牡丹野	粘土	0.8	2.0	46.4	33.8	17.0	4.4	22.0
9	岩手農試県南分場	シルト質粘土ローム	5.2	11.2	57.4	16.9	9.3	4.6	14.0
10	八郎潟中央干拓地(ヘドロ)	シルト質ローム	0.8	7.7	81.7	4.8	5.0	9.5	46.9
11	秋田農試本場	粘土	4.1	14.1	49.7	23.2	9.0	7.5	17.0
12	東北農試栽培第一部	シルト質粘土ローム	0.8	11.4	58.8	19.0	10.0	7.3	13.3
13	宮城農試古川分場	シルト質粘土	2.8	4.9	56.1	29.2	7.0	8.1	20.0
14	宮城農試本場	粘土質ローム	6.6	22.6	44.8	14.8	11.2	8.3	16.4
15	山形農試最上分場(火山灰)	シルト質粘土	2.7	5.3	57.8	23.9	10.3	22.0	16.6
16	山形農試庄内分場	ローム	11.0	24.4	49.1	8.9	6.6	9.5	10.0
17	山形農試尾花沢分場(火山灰)	ローム	22.0	26.8	37.2	8.8	5.2	26.5	10.7
18	山形農試本場(熟田)	粘土質ローム	10.8	19.0	40.9	20.1	9.2	11.3	16.9
19	同 上(新田)	粘土質ローム	16.8	30.9	31.5	10.8	10.0	8.3	6.6
20	山形農試置賜分場	粘土質ローム	10.0	19.2	49.4	11.4	10.0	9.5	17.5
21	福島農試浜支場	粘土	0.6	12.1	52.5	18.8	16.0	9.0	31.2
22	福島農試冷害試験地	シルト質ローム	4.4	17.9	61.7	8.7	7.3	10.5	23.7
23	福島農試会津支場	シルト質粘土ローム	5.1	20.1	52.0	12.1	10.7	9.3	15.5
24	福島農試本場	粘土	4.0	23.6	37.6	18.9	15.9	8.0	19.0

注：塑性指数は風乾土について行なった値である。

少し、チクソトロピーの性質が強い。

また、粘稠度と硬度は、沈定泥より攪拌沈定泥の方が、攪拌泥より再攪拌泥の方が大きい。特に沈定泥と攪拌泥では降伏値の存在がはっきりしないが、攪拌沈定泥と再攪拌泥は降伏値の存在が明らかである。しかし、流れにくい泥ほど降伏値より粘稠度の方が大きくなるように観察された。

6. 沈定濃度の沈定泥の土壤別粘稠度・降伏値・含水比

第 4 表は、第 3 表に示した東北各地の水田土壌 24 種をそれぞれ沈定容積濃度に調整し、7 日間(八郎潟中央干拓地ヘドロのみ 10 日間)沈降させた泥について、第 3 図の実験で使用した円筒の荷重と沈下深さとの関係を実験し、それより、第 2 表と同様に粘稠度・降伏値・硬度を求め、また沈降泥の含水比を示したものである。

この実験において、 $20\text{g}/\text{cm}^2$ 以上の硬度を示した土壌は No.5, No.19 の水田土壌、これが 20 未満 15 以上の土壌は No.4, No.7, No.18 の水田土壌、15 未満 10 以上は No.1, No.2, No.3, No.6, No.9, No.10, No.15, No.17, No.21 No.23 水田土壌である。また、これが 10 未満の土壌は No.8, No.11, No.12, No.13, No.14, No.16, No.20, No.22, No.24 各水田土壌である。

一般に、沈降硬化泥の粘稠度は、第 4 図、第 5 図に示したように、コロイド・粘土・シルト分の合計値と塑性指数が小さい土壌ほど大きく、そして、コロイド・粘土・シルト分の合計値と塑性指数との間には、第 6 図のような正の相関が認められ、また、粘稠度が大きい泥は硬度も大きいことから、硬度との間にもほとんど同様の関係が認められた。腐植含量の多い土壌は、保水性が高いため、沈降泥の含水比が大きい、このことは粘稠度または硬度とはっきりした関係がないように見受けられる。

第4表 沈定濃度の沈降泥の土壌別粘稠度・降伏値・含水比

土壌 No.	沈下深さSと荷重Wとの実験式	r	粘稠度	降伏値	沈下深さ 1 cmの硬度	沈降泥の 含水比
			g/cm ³	g/cm ²	g/cm ²	(%)
1	W= 86.8S + 119.1	0.985	4.88	6.69	11.57	101.6
2	W=113.6S + 92.9	0.979	6.39	5.22	11.61	106.0
3	W=113.8S + 85.3	0.980	6.40	4.79	11.19	83.5
4	W= 81.0S + 190.5	0.961	4.55	10.71	15.26	123.2
5	W=171.9S + 188.3	0.962	9.66	10.58	20.24	85.1
6	W= 83.8S + 103.1	0.976	4.71	5.80	10.51	184.8
7	W=107.8S + 216.6	0.879	6.06	12.18	18.24	102.2
8	W= 76.5S + 77.4	0.986	4.30	4.35	8.65	91.7
9	W=109.6S + 114.2	0.976	6.16	6.41	12.57	71.6
10	W= 53.8S + 131.7	0.905	3.02	7.40	10.42	202.8
11	W= 64.2S + 88.6	0.988	3.61	4.98	8.59	103.2
12	W= 70.6S + 104.7	0.987	3.97	5.89	9.86	97.1
13	W= 55.7S + 74.2	0.990	3.13	4.17	7.30	129.2
14	W= 59.8S + 61.6	0.988	3.36	3.46	6.82	109.4
15	W=102.3S + 117.3	0.991	5.75	6.59	12.34	198.3
16	W= 89.1S + 63.4	0.985	5.01	3.56	8.57	113.3
17	W=118.4S + 104.5	0.986	6.66	5.87	12.53	199.6
18	W=123.6S + 157.7	0.990	6.95	8.87	15.82	80.4
19	W=168.2S + 260.5	0.967	9.45	14.64	24.09	48.4
20	W= 79.3S + 80.1	0.990	4.46	4.50	8.96	113.0
21	W= 70.0S + 109.8	0.993	3.93	6.17	10.10	136.6
22	W= 73.4S + 96.5	0.978	4.13	5.42	9.55	156.5
23	W=112.0S + 153.7	0.985	6.30	8.64	14.94	83.1
24	W= 67.6S + 68.4	0.990	3.80	3.84	7.64	85.7

おわりに

引用文献

これまで述べたように、沈定泥またはある程度沈降凝集した泥の上水を切りその泥を攪拌すれば、泥の沈降硬化が促進されるという本実験研究を基に、秋田県農試では、湛水ロータリー代かき3日後に落水代かきをローターで2回行ない、ただちに1~3cm程度湛水して、2~3日間泥の沈降硬化を図り、機械移植作業を実施した。その結果、機械移植作業に好適した泥の水田条件が得られて、作業精度の高い能率的機械移植作業が可能であったということが、東北地域の農業機械ブロック会議で報告された。

- 1) 昭和41年水稲移植機関係試験成績, 1966.8. 東北農業試験場・東北6県各地農業試験場。
- 2) 中江克巳・藤尾福蔵・木村勝一。1967. 水田の塑性・液性泥におけるレオロジーに関する研究, 第1報, トラクタ作業から見た泥田のレオロジー研究上の問題。農業機械会東北支部報 No.14: 35~41.
- 3) 藤尾福蔵, 1972, 水田の塑性・液性泥におけるレオロジーに関する研究, 第2報, 円筒沈下による攪拌硬化泥の粘稠度とその降伏値について, 農業機械学会東北支部報 No.19: 15~20.