

# 機械作業と水田土壌の物理性に関する研究 (第1報)

暗渠排水による土壌硬度と走行性の変化

国分欣一\*・根本清一\*・増島 博\*

土壌の支持力は土壌水分と密接な関係があり、排水不良の湿田、半湿田では機械作業の可能性はいちじるしく制限を受ける。湿田は排水を行なうことによって乾田化がはかられるとともに、機械の走行性も向上する。ここでは黒泥土壌に属する半湿田での暗渠の有無が土壌の支持力を構成する物理的要因におよぼす影響を調べ、トラクターの作業能率との関係について考察した結果を報告する。

## 1. 試験方法

1) 供試圃場：埼玉県鴻巣市の黒泥土壌粘土型に属する半湿田であって、1枚が約50m×20mのとなり合った2枚のホ場で、その一方は昭和25年に渠間10m深さ60cmに、径9cmの土管暗渠を施工してあり、一方は未施行である。土壌断面の形態は両圃場ともほぼ同様で第1表に示した通りである。また、その粒径組成とコンシステンシーは第2,3表に示した。

第1表 供試土壌断面の概要

層位	深さ (cm)	土性	土色	斑紋結核
I	0-18	LiC	10YR3/1	鉄膜状
II	18-26	LiC	10YR2/1	鉄膜状
III	26-38	LiC	10YR1/1	鉄膜状少
IV	38-	HC	10YR2/1	なし

第2表 粒径組成と全炭素

層位	粗砂	細砂	微砂	粘土	全炭素 (%)
I	9.2	20.1	44.7	26.0	5.15
II	13.2	20.7	40.8	25.3	5.07
III	6.2	35.3	33.2	25.3	9.52

第3表 コンシステンシー

層位	無暗渠田			暗渠田		
	液性限界	塑性限界	塑性指数	液性限界	塑性限界	塑性指数
I	109	62	47	112	62	50
II	113	60	53	112	56	56
III	152	71	81	152	76	76

2) 測定項目と方法：収穫直後の10月13日より1月27日まで、30~50日おきに土壌水分、三相分布、SR II型土壌抵抗測定器による円錐貫入抵抗、く形板沈下量、せん断抵抗の測定を行なった。三相分布の測定は高さ5cm、

容積100ccの金属円筒を用いた。貫入抵抗測定に用いた円錐は頂角30°、底面積2cm<sup>2</sup>と6cm<sup>2</sup>の2種を用い、貫入速度は1cm/secとした。く形板は2.5cm×10cmのものを用いた。せん断抵抗はリング型ねじりせん断型で次式によってせん断抵抗を算出し、0.1~0.5kg/cm<sup>2</sup>の荷重について荷重一抵抗値の関係を求めた。

$$S = \frac{3T}{2\pi(r_1^3 - r_2^3)}$$

ここで、S：せん断抵抗 (kg/cm<sup>2</sup>)、T：トルク (mkg)、r<sub>1</sub>：リング外径 (cm)、r<sub>2</sub>：リング内径 (cm)。水分の表示にコンシステンシー指数も用いた。液性限界(w<sub>l</sub>)、塑性限界(w<sub>p</sub>)の測定は未風乾試料を用いるほかはJIS法に準じて行ない、次式によってコンシステンシー指数を求めた。

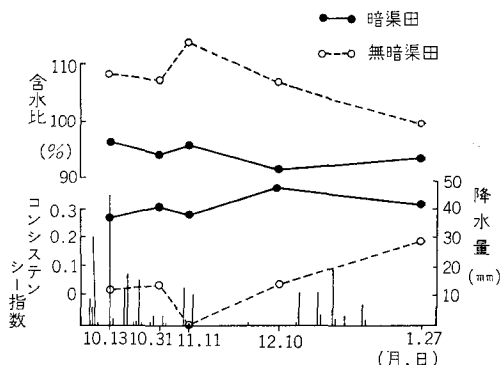
$$C. I. = \frac{w_l - w}{w_l - w_p}$$

ここで、C. I.：コンシステンシー指数、w：自然含水比

3) 耕耘試験：11月11、12日にトラクタによる耕耘試験を行ない、速度、耕深、耕巾、滑り率、タイヤ沈下量の測定を行なった。トラクタはファガソンFE35X(車輪型)とシバウラK20(装軌型)を用い、車輪型でロータリ耕を、装軌型でプラウ耕(14'2連)を両ホ場で行なった。

## 2. 結果と考察

収穫後の経時的な土壌水分の変化を第1図に、また三相分布の変化を第4表に示した。作土の土壌水分は日時



第1図 土壌水分の変化

\* 農事試験場

第4表 土 壤 三 相 の 変 化

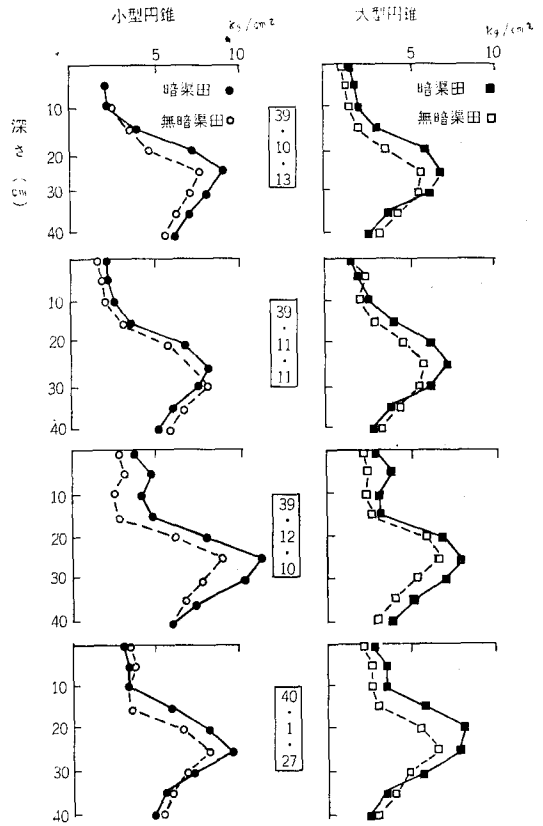
測定月日	暗渠	深 さ (cm)	気 相 (%)	液 相 (%)	固 相 (%)
10. 13	無	0-5	4.9	72.6	22.5
		5-10	7.8	69.2	23.0
		10-15	1.4	73.3	25.3
	有	0-5	1.9	72.9	25.2
		5-10	0.8	72.1	27.1
		10-15	1.6	69.8	28.6
11. 11	無	0-5	0.8	71.3	27.9
		5-10	1.1	68.8	30.1
		10-15	2.0	71.7	26.3
		15-20	0.7	67.9	31.4
		20-25	1.6	65.3	33.1
		25-30	5.5	65.2	30.1
	有	0-5	3.1	68.9	28.0
		5-10	1.4	68.7	29.9
		10-15	0.6	69.9	29.5
		15-20	1.8	68.6	29.6
		20-25	2.1	67.1	30.8
		25-30	7.9	60.0	32.1
1. 27	無	0-5	3.1	68.9	28.0
		5-10	2.8	70.0	27.2
		10-15	3.8	70.0	26.2
		15-20	2.4	68.6	29.0
		20-25	2.2	65.4	32.4
		25-30	4.7	65.5	29.8
	有	0-5	4.4	66.0	29.6
		5-10	3.3	63.2	33.5
		10-15	2.7	66.8	30.5
		15-20	2.5	64.3	33.2
		20-25	2.5	65.3	32.2
		25-30	2.2	66.8	31.0

と共に減少するが、無暗渠田にくらべ、暗渠田は常に低水分に推移した。このことは三相分布の変化にも同一の傾向としてあらわれているが、10月13日の調査では暗渠田の方が無暗渠よりも液相割合が高く、気相が小さくなっている。これは暗渠田の方が高い固相割合をもっているためと考えられる。両ホ場とも乾燥ともなると固相割合も増大するが、最も乾燥した1月27日には暗渠田の固相割合は無暗渠田のそれよりも明らかに高く、乾燥ともなう収縮を示した。

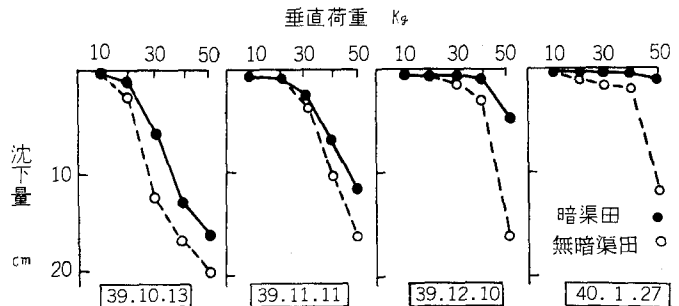
これらの変化は明らかに土壌の硬さに影響を及ぼしており、第2.3図に示したように日時と共に円すい貫入抵抗は大きく、く形板沈下量は小さくなった。暗渠田と無暗渠田では、暗渠田の方が貫入抵抗が大きく、沈下量は小さく推移した。

土壌水分が土壌の硬さに与える影響を表層(0~10cm)について、大型円すいの貫入抵抗とコンシステンシー指数、三相分布との関係についてみたのが第5表である。

この結果、無暗渠田と暗渠田の間では、測定時において円錐貫入抵抗、コンシステンシー指数、液相割合、固相割合のいずれも有意差があった。しかし両ホ場とも、貫入抵抗とコンシステンシー指数の間の相関は明瞭ではなかった。貫入抵抗と三相分布の液相割合との間には、無暗渠田、暗渠田とも負の相関があり、水分の減



第2図 貫入抵抗の変化



第3図 く形板沈下量の変化

少により土の硬さをますことを示した。また、貫入抵抗と固相割合の間には無暗渠田では明らかな関係は認められないが、暗渠田では正の相関が認められた。一方、液相割合と固相割合の間には両ホ場とも正の相関があり、水分の減少によって硬さをますということの中に固相の増加による部分を含んでいることを示している。このこ

第5表 土壌の円錐貫入抵抗と他の物理量

項目		無暗渠田	暗渠田	差の有意性
平均値	貫入抵抗	1.87(0.44)	2.35(0.89)	**
	コンシステンシー指数	0.08(0.18)	0.37(0.13)	**
	液相割合	70.1(1.86)	67.3(3.45)	**
	固相割合	26.8(2.43)	29.7(2.56)	**
相関係数	貫入抵抗-コンシステンシー指数	0.258	0.387	
	貫入抵抗-液相	-0.470*	-0.573**	
	貫入抵抗-固相	0.333	0.552**	
	液相-固相	-0.561**	-0.565**	

(注) 平均値は 10月13日~1月27日の深さ 0~10cm についてえられた。各項目に対応のあるもの19測定の平均。( )はその標準偏差。差と相関係数の有意性は \*は5%, \*\*は1%の水準を示す。

とは、貫入抵抗とコンシステンシー指数の間の単純相関が有意にならない原因でもある。

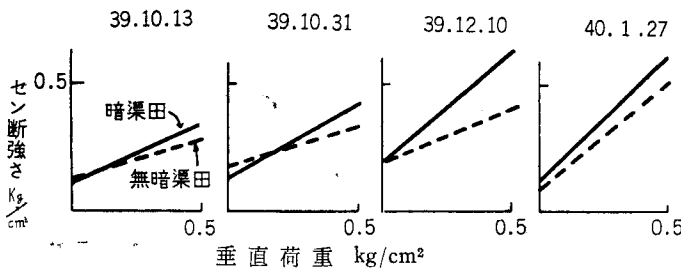
第5表のデータから貫入抵抗(Y)の液相割合(X<sub>1</sub>)と固相割合(X<sub>2</sub>)に対する回帰は次式で表わされる。

$$\text{無暗渠田では } Y = -0.249X_1 + 0.030X_2 + 0.82$$

$$\text{暗渠田では } Y = -0.100X_1 + 0.116X_2 + 0.96$$

これから、無暗渠田では、貫入抵抗の増大は主として水分の減少によってもたらされるのに反して、暗渠田では固相割合が貫入抵抗に及ぼす影響が重大であることを示している。無暗渠田の固相割合の水準では支持力を発現する骨格構造としてはまだ不十分であると考えられる。

せん断抵抗の時期的変化は第4図に示した。粘着力(c)には明らかな傾向はみられなかったが、せん断抵抗角(φ)の値は乾燥が進むほど増大した。



第4図 せん断抵抗の変化

トラクターによる耕耘試験は11月11日(無暗渠田)、12日(暗渠田)に行なわれたが、11月9日に12.5mmの降雨があり、かなり湿潤な状態であった。その結果は第6表に示した。

暗渠田では車輪型によるロータリ耕、装軌型によるプラウ耕ともに可能であったが、無暗渠田では装軌型によるプラウ耕は可能であったが、車輪型によるロータリ耕は、タイヤの沈下が大きいか又は車輪の滑りが大きく、

作業不能であった。

第6表 トラクターの作業性能 (11月11, 12日)

トラクター 作業機	暗渠	速度 (m/sec)	耕深 (cm)	車輪の滑り率		タイヤ 沈下量 (cm)
				左	右	
車輪型 ロータリ	無	—	作業不能 (cm) 13	—	(%) 28.2	(%) 29.9
	有	0.64 0.62	12 11	170 158	14.2 15.8	12.6 16.7
装軌型 プラウ	無	0.83	19	—	6.2	8.0
	有	0.83	21	50	1.3	2.7

土壌条件と作業性能の関係を考察すると、車輪の滑り率は明らかにせん断抵抗の大きい暗渠田の方が小さかった。タイヤ沈下量は暗渠田の方が少ないが、とくに車輪型でこの差が大きい。これは車輪型と装軌型の接地圧のちがいに基づくものである。この試験に用いた車輪型トラクターの車輪円錐指数は約 3.0kg/cm<sup>2</sup> であって、土壌の円錐貫入抵抗は暗渠田では10~15cmの深さで3kg/cm<sup>2</sup>をこえるのに反し、無暗渠田では15~20cmにならないと3kg/cm<sup>2</sup>の値を示さない<sup>2)</sup>。ロータリを下した場合に後輪接地圧が若干低下することを考慮に入れると、車輪型の場合、車輪円錐指数と貫入抵抗から推定される沈下量と実際の沈下量は比較的よい一致を示すといえる。装軌型の場合、使用トラクターの接地圧は0.31kg/cm<sup>2</sup>で、実際の沈下量は接地圧と円すい貫入抵抗、あるいは、く形板沈下量から推定されるよりかなり大きい。これは装軌型の接地圧が接地面積に均等にかかるものではなく、局部的に接地圧の大きい部分<sup>4)</sup>のできる<sup>4)</sup>ことが認められており、その影響と考えられる。

長崎は大型機械の走行不能現象を、①スリップする、②スリップしつつめりこむ、③めりこんでからスリップする、④めりこむの4型に分類し、それらが土壌硬度相との関連においては現われることをのべている。今回の場合、無暗渠田での車輪型の作業不能は④の型であり、暗渠田の場合は③に近い形で一応耕耘は行なわれた。長崎は③の型は耕盤が軟弱な場合、④の型はかなりの深さまでヘド

ロ状態の場合に見られるとのべている。無暗渠の場合、必ずしも全層ヘドロ状とはいえない。しかし、その時の土壌水分は液性限界以上であり、このような場合には間ゲキ構造の破壊により、間ゲキ水の自由化が行なわれて軟化現象がおこると考えられる<sup>5)</sup>。暗渠田の場合はコンシステンシー指数+0.3まで排水されており、三相分布の固相割合も無暗渠田より大きい。さらに11月11日の測定で暗渠田、無暗渠田ともに35cm前後の地下水位を示した

地点があり、その点における0~5 cmの気相割合は無暗渠田の0.8%に対して暗渠田は3.4%と大きい。このことは暗渠田の土壤水分は土粒子による拘束性が大きく、荷重によって構造が破壊された場合自由化する水の絶対量も少ないことを示す。その場合、 $pF$ の低下も無暗渠田より少ないであろう。 $pF$ の低下はそのまま軟化現象<sup>6)</sup>につながるから、土壤硬度の固相割合への回帰性の強い暗渠田は無暗渠田にくらべて、より広い低 $pF$ 領域にわたって走行性が保たれると推論される。

### 3. ま と め

湿田は排水によって乾田化がはかられると共に、機械の走行能も向上する。この報告では黒泥土壌粘土型の半湿田での暗渠排水が土壤硬度の変化ならびに物理性に及ぼす影響を調べて走行能との関連を考察した。

落水後の時期的な経過にともなう土壤の乾燥は暗渠田は早く、無暗渠田は緩慢であり、円錐貫入抵抗は土壤水分の減少にしたがって増大し、暗渠田では固相容積の増大が硬度の増大に關与していることがみられた。トラクター車輪の沈下量は車輪円錐指数と貫入抵抗から推定さ

れる量とほぼ一致した。せん断抵抗も乾燥にともなって大きくなり、暗渠田が無暗渠田より大きく、トラクター車輪のすべり率もこの傾向に従った。このホ場での落水2カ月後における車輪型トラクターの耕耘作業は暗渠田では可能であり、無暗渠田では不可能であった。この時の土壤水分は無暗渠田が多く、コンシステンシー指数は-0.1であり、暗渠田では+0.3であった。また暗渠の施工は土壤固相を増大し、高水分におけるチクソトロピーを減少して走行性を改善することが示唆された。

この報告は「大型機械化にともなう水田土壤基盤整備の総合的研究」の一部として著者らの分担した部分を取りまとめたもので、多大の協力を受けた農事試験場作業技術第1研究室長遠藤俊三技官、同第2研究室長谷喜久治技官ならびに両研究室の諸氏に感謝いたします。

### 引 用 文 献

- 1) JIS A 1205, 1206, 土質工学会 (1964) 土質試験法 76-81
- 2) 農事試験場作業技術第2研究室 (1966) 大型機械化に伴う水田土壤基盤整備の総合的研究成績書 53-68
- 3) 長崎 明 (1963) 土壤の物理性 (9) 30-37
- 4) 沢田健吉 (1965) 土と基礎 13 (8) 27-32
- 5) 須藤清次 (1965) 土壤の物理性 (13) 1-12
- 6) 安富六郎・竹中肇・須藤清次 (1965) 農土論集 (14) 49-53