

# 土 壤 水 分 と 硬 さ

—— 土 壤 類 型 と の 関 連 ——

横 井 肇\*

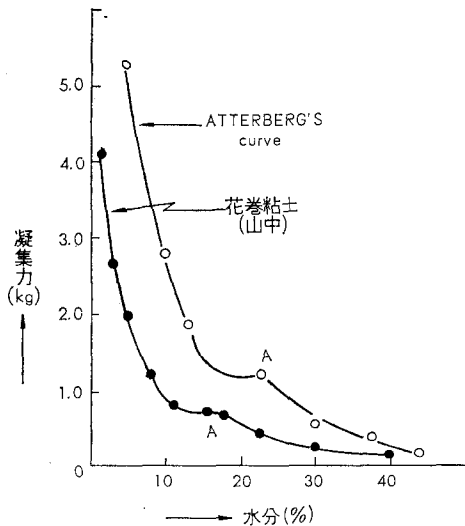
## 1. はじめに

我国のように比較的多雨な気象条件下においては、土壌水分の差異が農耕地の機械作業に大きな影響をおよぼしている。この問題は機械の作業走行の難易と、作業後の土壌状態の良否の問題に大別され、また水田と畑とは根本的に条件が異なるので、主な論議は水田における大型機械の走行の問題を中心として進めることとした。

## 2. 土壌の硬さ

土壌の硬さとは、加えられた外力に対する土壌の抵抗力と考えられ、基本的には粉体である土壌が持ちうる力の内容は粒子間のぎょう集力と粒子間のまさつ力が主体をなすと考えられる。

土壌のぎょう集力 (Cohesion) については、Atterberg (1912)<sup>1)</sup>以来、土壌水分の影響について実験的および理論的な研究が進められ、我国にも山中の研究<sup>3)</sup>がある。



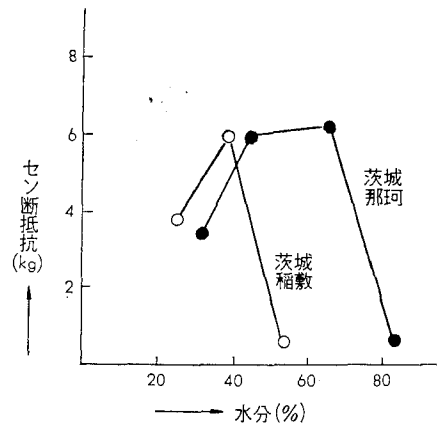
第1図 粘土の凝集力線

第1図 は山中の報告から引用した、粘土のぎょう集力曲線である。ここで注目されることは、変曲点、A附近で曲線の傾きがゆるやかなことである。すなわちこの点

\*農業技術研究所

の近くでは、水分の減少により、急激なぎょう集力の増加がないのである。この点は土壌の色が暗色から明色に変化し、土塊中に気相が侵入しはじめる点であり、肉眼的にも識別でき、かなりの支持力をもつと同時に、砕土困難な程硬いこともないと考えられる。

次に土壌粒子のまさつ力については、土壌の剪断抵抗 (Shearing Resistance) として測定されるが、第2図に筆者の測定結果を示した。土壌によって水分の影響が



第2図 剪断抵抗と水分

非常に異なることが認められた。すなわち一般的には水分の減少によって、剪断抵抗が大きくなるが火山灰土壌などでは一定以下に水分が減少すれば、剪断抵抗は小さくなる。この問題については、機会をえてさらに論じたい。

土壌の硬さの測定は、前記の切断抵抗、剪断抵抗のほか、圧密抵抗、円錐貫入抵抗、荷重板貫入抵抗、などによって行なわれるが、機械の作業走行のような複雑な力に対する抵抗力は一種類の測定では十分に対応できない現状である。したがって現段階では、硬さと水分の関係を直接機械走行と対比するに至っていないので、むしろ土壌の変形、流動および圧密に対する水分特性を指標として考察するのが妥当であろう。

## 3. 土壌類型との関係

農林省農政局農産課<sup>2)</sup>では大型機械に対する水田土壌の適性調査を全国的に実施したが、そのさい筆者の研究室では調査地点の作土土壌の送付を受け、液性限界、そ

性限界および 1 kg/cm<sup>2</sup> 荷重下の圧密平衡水分 (1 kg 平衡水分と略す) を測定し、大型機械走行との関連を検討した。第 1 表は調査例を土壌類型別に、土壌水分別にま

第 1 表 機械運行の難易の調査例数

	土壌水分 <sup>①</sup> 降 雨	湿 潤 型				乾 燥 型				計
		泥炭質 炭 泥	黒 泥	強イ グ ラ イ	グ ラ イ	灰 色	灰 褐	黒 色	黄 褐	
可	<P.L			1	3	1	3	5	1	14
	P.L~L.L	1	1	1	2	2	9		1	17
	>L.L				1					1
能	<1 kgeq		1	2	4	2	10	5	1	25
	>1 kgeq	1			2	1	2		1	7
	少 雨	1	2	2	4	2	6	2	2	21
	多 雨		1	3	4	14	4			26
困難と不可能	<P.L			1		3(2)				4(2)
	P.L~L.L	1	2	3	3		5			14
	>L.L	1	2		2		1			6
	<1 kgeq	1	1	3	1	3(2)	3			12(2)
	>1 kgeq	1	3	1	4		3			12
	少 雨	3	5	4	2		3(3)			17(3)
	多 雨	1	1	5	7	8(1)				22(1)

- P.L : 索性限界, L.L : 液性限界, 1 kgeq : 1 kg 平衡水分  
少雨 : 前日換算10mm以下
- ( ) : 抵抗過大例

第 2 表 水分による機械運行の難易の判定※  
(一致した例数 : 一致しない例数)

	土壌類型	索性限界	液性限界	1 kg 平衡	降 雨
可	湿 潤 型	1 : 3	4 : 0	3 : 1	5 : 1
	乾 燥 型	13 : 15	27 : 1	22 : 6	16 : 25
能	小 計	14 : 18	31 : 1	25 : 7	21 : 26
困難と不可能例	湿 潤 型	9 : 1	3 : 7	5 : 5	2 : 12
	乾 燥 型	11 : 1	3 : 9	7 : 5	19 : 2
	小 計	20 : 2	6 : 16	12 : 10	21 : 14
計		34 : 20	37 : 17	37 : 17	42 : 40

- 抵抗過大による運行困難例を除く。
- \* 一般的に乾燥した状態を運行可能とし、湿潤な状態では運行不可能として判定した場合。

とめたもので、第 2 表には土壌水分による機械運行の難易の判定がどの程度一致したかを示した。

ただしこの種の調査は、実際問題として完全にはできないことを留意しなければならない。すなわち同一地点で水分の多少に応じて試験調査ができれば理想的であるが、現地水田において短期間にそのような調査は非常に困難なことである。したがって多くの調査が単一の調査事例に留まって、厳密な意味で一致例と不一致例は対比できないが、かなり多数の事例の結果であり、大きな誤りはないと思われる。

これらの結果よりみると、索性限界および液性限界による判定はいずれも単独では非常に片よっている。すなわち索性限界によれば、それ以下に乾燥して不可能や困難な例はほとんどないが、それ以上に湿潤でも可能な場合がある。反対に液性限界以上に湿潤で可能な例は例外的であるが、それ以下に乾燥しても不可能や困難な場合が少なくない。換言すれば両者の中間の水分の場合には判定が非常に難しいことになる。一方 1 kg 平衡水分は一二の例外を除いて、両限界水分の中間にあって、平均的に運行の難易の判定に役立つ可能性がある。いうまでもなくこの 1 kg 平衡水分以上に湿潤な場合には、トラクターの接地圧をうけると、土壌中に過剰水を生ずる可能性が大きく、したがって土壌の硬さは大きく低下すると想像される。

次に注目すべきことは、第 1, 2 表にみられるが、土壌類型を湿潤型と乾燥型に大別すると、特徴的な点が認められる。まず索性限界と液性限界の中間の微妙な水分で、可能例 : 困難、不可能例の比をみると、湿潤型土壌では 3 : 6 であり、乾燥型土壌では比率が反対になり 14 : 8 となる。また降雨条件で同様な比率をみると、湿潤型土壌は少雨条件下で 5 : 12 となり乾燥型土壌は 16 : 5 となる。したがって土壌類型を考慮して、土壌水分特性を活用すれば、より正確に運行の難易を判定できると考えられる。

#### 4. 今後の問題

前記のように、大型機械の運行の難易と土壌条件との関係はきわめて複雑であり、土壌水分との関係にも種々の例外的現象が認められた。先にのべた土壌水分特性は、いずれも風乾細土について測定したもので、現地の構造は考慮していない。したがって現地の構造を保った土壌の性質が、風乾細土と非常に異なる場合には問題が残されているはずであろう。このような考え方に従って調査例の中、常識的にみての例外を選び出した。これらの事例について土壌調査表から、現地の土壌構造を参考とし、原因を推定して整理した。その結果は第 3 表に示したが、大局的にみれば、(1) 固結性の強弱、(2) 透水性の

良否の2つが大きな問題点であると考えられた(過乾による抵抗過大が原因となる事例は、明らかに別種の問題として)。

第3表 現構造地の影響

1. 多水分, 多雨条件下で運行可能な例

原 因	多水分	多 雨
表土の固結性が強い	5	12
下層土の固結性が強い	5	23
表土の透水性がよい	3	8

2. 少水分, 少雨条件下で運行困難な例

原 因	少水分	少 雨
表土の固結性が弱い	5	13
下層土の固結性が弱い	3	5
地下水が高い	3	8
表土の透水性が悪い	3	8
過乾による抵抗過大	2	3

○固結性は硬度計の読みによる

○透水性は土性による

第4表 テストブロックの圧碎抵抗

	府 県	層 位	土壌類型	土 性	仮比重	圧碎圧	
						(kg/c	m <sup>2</sup> )
湿潤型	新 潟	1	強グライ	LiC	〃	0.7	0.2
		2				0.7	0.3
	秋 (八 郎 潟)	2	〃	〃	0.7	0.1	
乾	佐 賀	1	グライ	HiC	〃	0.9	0.4
		2				0.8	0.4
燥型	鳥 取	1	黄 褐	LiC	〃	1.3	1.3
		2				1.4	2.0
	宮 城	1	灰 褐	〃	〃	0.9	0.9
2	1.1	1.1					

\*一旦風乾後毛管飽和

水田土壌の固結性については、土壌類型との関係も次第に明らかになりつつあり、第4表<sup>5)</sup>にテストブロックの圧碎抵抗を示したが、現地構造を破壊しないブロックの硬さは、湿潤型の土壌では非常に弱いことが認められている。土壌調査に際して、土壌類型を決定するに酸化沈積物を重視するのが普通であり、とくに鉄、マンガンの行動が大きな指標となっている。これらの酸化物は、還元態で存在した場合より、明らかに固結性を強める役割を有するはずであり、今後この問題の原理的な追求と実際的な応用を早急に検討すべきであろう。

また透水性については、いうまでもなく一般的な排水に大きく影響する因子であると同時に、きわめて直接的

にトラクター接地部の直下での過剰水の移動にも関係していると考えられる。問題を簡単化するため、加圧下の透水性がダーシの法則によると仮定して試算すれば、1 kg/cmの加圧下で、10%容量の水が1 cm移動する時間は、透水係数が $1 \times 10^{-3}$ の土壌では0.1秒であり、以下 $10^{-4}$ :1秒、 $10^{-5}$ :10秒…となる。したがって透水性の良好な土壌では、多少湿った条件下でも、接地部直下の土壌は一定限度まで排水され、強度が増すことも考えられる。なお水田土壌の透水性は、単に孔隙量によるものではなく第5表<sup>4)</sup>に示したように土壌類型と関連深く、とくに強グライ土壌の透水性は極端に悪いものであり、固結性とも関係した今後の問題点と考えられる。

第5表 水田土壌の透水係数

府 県	土壌類型	土 性	処 理	孔隙量 %	透水係数 $K_{20}$
新 潟	強グライ	LiC	原 土	71.7	$3.8 \times 10^{-7}$
			風乾土充てん	67.2	$2.2 \times 10^{-5}$
佐 賀	グライ	HiC	原 土	63.1	$1.4 \times 10^{-4}$
			風乾土充てん	63.5	$1.9 \times 10^{-6}$
埼 玉	黒 泥	LiC	原 土	57.7	$8.5 \times 10^{-4}$
			風乾土充てん	〃	$2.3 \times 10^{-6}$

5. おわりに

以上の論議は、いずれも従来常識的あるいは経験的に知られていた事実を若干の実験結果を基にして裏づけたに過ぎない。この種の問題は最近ようやく試験研究が始まったばかりであり、とくに測定法が十分確立されていないことが最大の障害であったと考えられる。しかしながら測定法の改良は急速に進行しており、正確な実験結果の積み重ねによって、問題点は次第に解消しつつある。したがって今後は大型機械の走行に対する土壌の改良、ならびに水稲生育収量に対する影響に研究の重点が移ると想像される。

引用文献

1. A. Atterberg(1912): Intern. mitt. Bodenkn
2. 農林省農政局(1955): 地方保全対策資料 14号
3. 山中全次郎(1955): 農技研報告 B 6
4. 横井 肇 福核盛一(1965): 土肥講演要旨
5. 横井 肇 秋山 豊(1965): 39年度成績書