

# 湿田土壤の物理性の特徴について

後藤 定年

(兵庫農科大学)

最近水田における農作業の機械化が急速な発展を遂げつつあるが、この場合全国的に広く分布する湿田の存在はこれに対する最大の障害となつて、広範囲な機械導入の前途を大きくはばんでいる。

これまで湿田の改良は、主として作物栽培の場として種々研究されてきたのであるが、最近においては農作業機械化のため大規模な機械導入ができるように、これを整備することが土地改良上の重要な問題としてとりあげられるようになった。この問題を早急にまた最終的に解決するには、湿田それ自身が本質的にあまりにも多くの問題を有しているため困難であると思われるが、先ず湿田土壤の物理性に関する研究を深く掘り下げ、これによつてこれまで不可解とされていた諸問題解決の足がかりを獲得して、湿田改良の最も基本的な原理と対策を確立しなければならないと考える。

この目的に沿うよう、これまで湿田土壤の物理性に関して研究した結果のうち、湿田土壤の物理性として最も特徴的とされしかも最も本質的なものと考えられる2, 3の事項について述べる。

## I 湿田土壤の Consistency について

Consistency は含水量の状態によつて、土壤の凝集力、粘着力等の諸性質および流動と変形に対する抵抗の大小等を表わすものであるが、表1のような湿田と乾田土壤各2試料について、液性限界、塑性限界、塑性指数、収縮限界、容積変化および線収縮について実験した結果<sup>(1)</sup>は表2のとおりである。

表 1

土 壤	> 2mm	2-0.05mm	0.05-0.005mm	0.005mm >	採 土 地 名
	レキ	砂	シルト	粘土・コロイド	
湿田 (A)	4.91	26.81	25.82	42.30	兵庫県 多紀郡 西紀村 川北
湿田 (B)	4.48	27.86	25.74	41.42	" " 篠山町 沢田
乾田 (A)	12.64	54.13	19.76	12.99	" " " 農大農場
乾田 (B)	9.83	39.83	27.25	22.48	" " " 西岡屋

表 2

	液性限界	塑性限界	塑性指数	収縮限界	容積変化	線収縮
湿田 (A)	72.48	29.13	43.35	24.61	52.90	13.20
湿田 (B)	76.56	31.83	44.73	26.73	56.87	13.96
乾田 (A)	31.70	17.53	14.14	23.76	34.10	9.31
乾田 (B)	49.09	26.79	17.30	22.79	34.16	9.35

表2に示すように、湿田においては乾田に比しいずれの数値も大である。液性限界の大なることは、毛管圧力・表面摩擦および粘着力を失なうに至るまで多くの水分量を要することを表わすものであり、また他面たん水状態から排水する場合多くのエネルギーを要することを表わすものである<sup>(2)</sup>。塑性指数の大なることは、含水量の比較的広い範囲において、破壊されることなく変形する塑性としての性質を有することを表すものである。また、湿田土壌の容積変化と線収縮はともに大であるが、これは収縮限界に至るまでに多量の水分を失い、この結果容積の変化量が著しく大なることを表すものである。したがって、湿田においては、乾燥のため田面が干上る場合にはキ裂が生じ安く、比較的高い含水量すなわち液性限界に近い水分量においてもキ裂が発生し、その幅が大きく発展するとともに、キ裂面積も著しく増大する。

また湿田における塑性指数が乾田に比較して大きい性質は、表面のみならず図2のように深さとともに増大する傾向を有している。

## II 湿田のぬかるみについて

湿田に機械を導入する場合において第一の障害は湿田がぬかることである。兵庫県篠山地方における最も極端な例をあげると、役牛を入ると足がぬかり腹がつかえて牛耕ができず、したがってこれまで耕したことがなく、例年株間株間に植付をしているところがある。湿田がぬかるのは湿田土壌に支持力が不足するためであるが、水田において人、馬、履帯および車輪が安全に走行するためには各 $0.4 \sim 0.5 \text{ Kg/cm}^2$ 、 $0.8 \text{ Kg/cm}^2$ 前後、 $0.4 \sim 0.6 \text{ Kg/cm}^2$ および $0.8 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(5)</sup>の接地圧を要するとされている。水田における支持力が不十分であると導入される機械によつては沈下が腹部まで達して作業が不可能になるしたがって湿田において機械力を導入して安全に作業を行うためには少なくとも $0.5 \text{ Kg/cm}^2$ 程度の接地圧が必要とされる。

湿田における支持力が湿田土壌の物理性、特に密度・剪断応力その他に関係あることは明らかであるがここにおいては湿田におけるぬかるみの本質を知るため、湿田と乾田の土壌について、田面からの種々の深さにおける密度を比較した。すなわち表3のような湿田と乾田各2か所から試料を採り、密度については乾燥密度と湿潤密度とを調べた。この結果は図1のとおりである<sup>(4)</sup>。

先ず乾燥密度について述べると、乾田においては田面で $0.82$ 、深さ $55 \text{ cm}$ にて $1.57$ に達し、以後の密度増加は小である。また密度の深さに対する増加割合すなわち密度こう配は $1 \text{ m}$ につき $1.4$ であるこれに反し湿田においては、田面で $0.56$ 、深さ $70 \text{ cm}$ にて $1.16$ に達し、以後の密度増加は小であるまた密度こう配は $1 \text{ m}$ につき $0.9$ であり、いずれも乾田に比較して小である。

次に湿潤密度について述べると、乾田においては田面で $1.41$ 、深 $15 \text{ cm}$ で急激な不連続的密度増加がみられ、深さ $50 \text{ cm}$ にて $1.8$ に達し、以後の増加は小である。また密度こう配は $1 \text{ m}$ につき $1.7$ である。これに反し湿田においては、田面で $1.32$ 、深さによる密度の不連続的な増加はみられず、深さ $70 \text{ cm}$ にて $1.55$ に達し、密度こう配は $1 \text{ m}$ につき $0.4$ である。

乾田においては、深さ $15 \text{ cm}$ 付近より不連続的湿潤密度の増加がみられ、この付近に耕盤が形成されていることが明らかである。これに反し湿田においてはこのような不連続的湿潤密度の増加がなく、乾田の場合のような強固な支持力をあたえる耕盤が存在しない。また密度こう配が小であるため極限における密度も小で、充分なる支持力を与える密度の存在する深さが、導入される機械の沈下限界深度より

大である。

表 3

土 壤	深さ cm	> 2 mm	2-0.05	0.05-0.005	0.005 >	採 土 地 名
		レ キ	砂	シルト	粘土・コロイド	
湿田 (C)	12	—	18.1	53.8	28.1	兵庫県多紀郡篠山町西岡屋
	24	—	22.5	47.1	30.4	
	36	—	18.0	47.6	34.4	
	48	—	15.6	42.9	41.5	
	60	—	12.4	32.4	55.2	
	72	—	3.8	16.7	79.5	
湿田 (D)	12	—	19.5	55.1	25.4	兵庫県多紀郡丹南町初田
	24	—	14.2	58.8	27.0	
	36	—	16.4	51.4	32.2	
	48	—	13.4	49.0	37.6	
	60	—	6.0	31.2	62.8	
	72	—	4.2	22.7	73.1	
乾田 (C)	12	—	22.3	66.4	11.3	兵庫県多紀郡篠山町郡家
	24	—	34.7	50.9	14.4	
	36	—	31.2	45.8	23.0	
	48	—	34.6	33.7	31.7	
	60	—	22.3	30.6	47.1	
	72	—	—	—	—	
乾田 (D)	12	—	46.5	42.1	11.4	兵庫県多紀郡丹南町野中
	24	—	42.5	41.3	16.2	
	36	—	46.8	25.4	27.8	
	48	—	41.2	23.8	35.0	
	60	—	30.5	25.8	43.7	
	72	—	—	—	—	

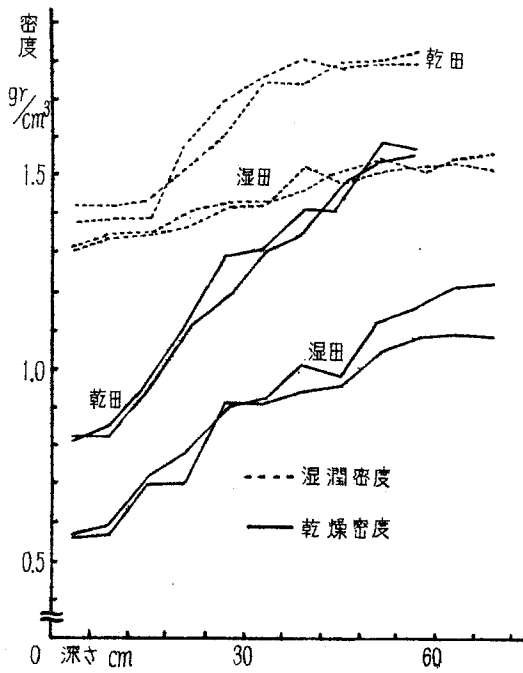


図1 湿潤密度と乾燥密度

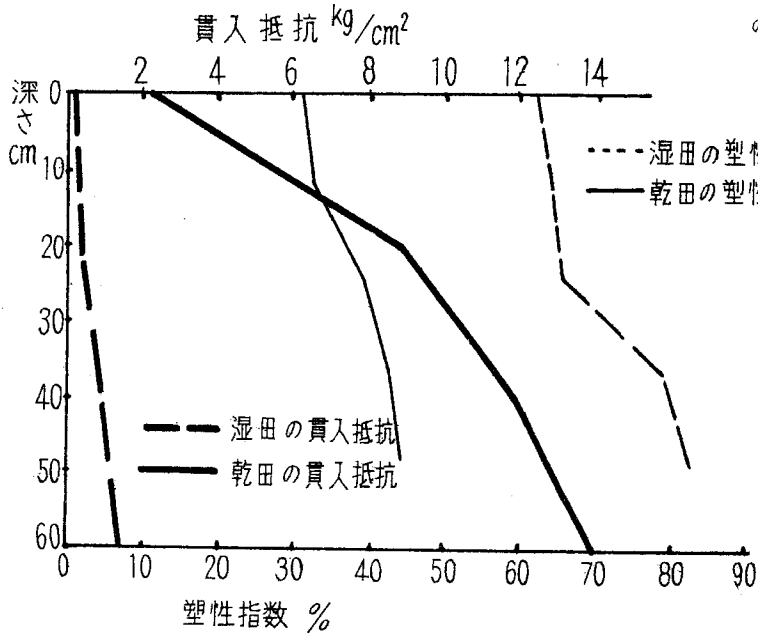


図2 塑性指数・貫入抵抗と深さ

湿田と乾田において深さによる支持力の変化を知るため Proctor Needle を使用した。その結果は図2のとおりである。これによると乾田においては湿田に比較して、湿潤密度の場合と同様各深さにおいて支持力が大なるのみならず、耕盤付近において貫入抵抗が急速に増加することが明らかである。

なお学内の水田にて TC-10 (井関農機 10 HP)、AT-5 (芝浦機械 9 HP) および DEXTA (フォードソン 30 HP) を走行し湿潤密度と貫入抵抗との関係を検討した。その結果は図3のとおりである<sup>(5)</sup>。この水田が乾田であるためそのまま湿田の場合に適用できないが、この結果によると機械の沈下が限度以内では湿潤密度が最小の場合で 1.6 程度である。したがってこのような機械を導入するためには、湿田においても 1.6 程度の湿潤密度を必要とするとともに、この程度の密度を有する深さが機械の許容沈下深度内にあることが必要である。

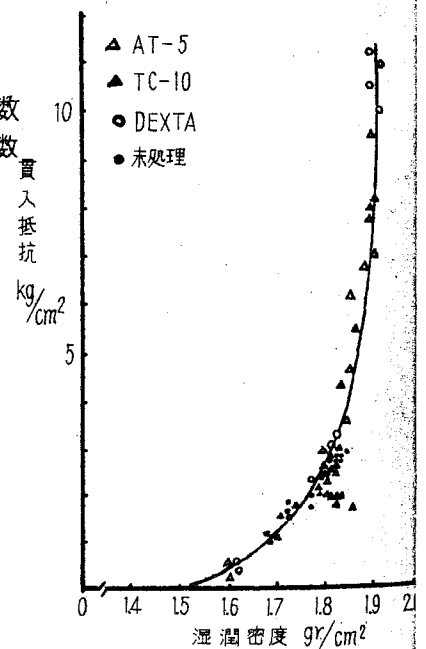


図3 湿潤密度と貫入抵抗

### Ⅲ 湿田におけるキ裂に伴う蒸発について

昭和30年篠山地方の湿田においては、例年にない日照が続き深刻な水不足をきたした。このため田面が干上り、幅10cm以上のキ裂が生じ、これによつて300町歩以上に及ぶおびただしい被害が生じた。湿田におけるキ裂は乾田のものに比しその線形は単純であるが幅と深さが著しく大である。これは含水比の比較的高い液性限界付近においても発生し、この発生とともに蒸発が加速され、キ裂の進行を促進する結果をきたしている。

これまで一般に、土壌面からの蒸発は土壌面が水分にて飽和された場合において最大とされていたが、土壌面にキ裂が生じた場合にはこれより大なる蒸発が起る。

湿田土壌においてキ裂を生じた場合と、これを生じない場合との蒸発を比較するため鉄板製45×15×10cmの箱に湿田土壌をつめ、たん水状態にして2種類の試料を作り、湿度50%、温度30度の人工気象室に入れ乾燥し、蒸発とともにキ裂の発生と進行状況を調べた。横軸に経過日数、縦軸に蒸発量とキ裂面積をとり、湿田土壌面にキ裂が生じた場合とこれを生じなかつた場合とを比較したものが図4である。また図4には人工気象室の温度と湿度とを付記したがいずれも約10%程度の誤差を生じた。

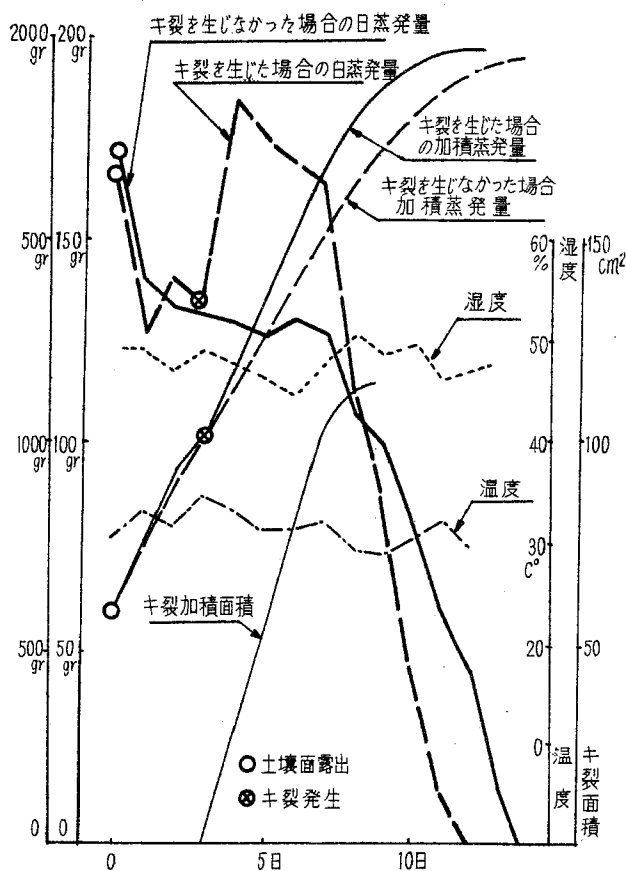


図4 加積キ裂面積・日蒸発量・加積蒸発量と経過日数

図において明らかであるように、キ裂を生じなかつた場合においては、たん水状態から蒸発が進行すると土壌面露出時蒸発の極大を生じ、なお蒸発が進行する場合には急速に蒸発量の減少をきたし一時蒸発量の減少割合は抑制されるが、塑性限界付近に近づくに従い蒸発量は再び急激に減少し停止するに至る。しかしながら土壌面にキ裂が生じた場合においては、土壌面露出時日蒸発量は最大を示し、一時蒸発量は減少するが、再び日蒸発量は増加し極大を生ずるに至る。その後日蒸発量は急激に減少するがその割合はキ裂を生じなかつた場合に比し大である。したがつて蒸発の停止する時期もキ裂を生じなかつた場合に比し早くかつ全蒸発量も大である。

日蒸発量と含水比との関係についてもほぼ同様のことがいえ

るが、キ裂を生じた場合においては、土壤面露出時とこれよりわずかな含水比の小なる時期に第二の日蒸発量の極大を生ずる原因はキ裂による垂直方向の蒸発面積増加により、飽和度の高い深部からの蒸発が促進されるためと考えられる。

なお蒸発経過日数と加積キ裂面積との関係は図4のとおりである。湿田土壤においては液性限界付近の高い含水比においてもキ裂が発生し、一度キ裂が生ずると蒸発による僅少な含水比の減少も急速なるキ裂の発達を促進している。含水比が50%付近になるとキ裂の増加割合も減少し、塑性限界付近においてはキ裂の増加は僅少であるが、収縮限界を越えてもなお少量の増加が認められる。

#### IV 結 論

1. 湿田の液性限界・塑性限界・塑性指数・収縮限界・容積変化および線収縮は乾田のそれに比しいずれも大である。
2. 湿田の乾燥密度・湿潤密度および深さに対する密度こう配はいずれも乾田のそれよりも小である。
3. 乾田においては深さ15cm付近に湿潤密度の急激な不連続的増加がみられ、耕盤の形成が明らかであるが、これに反し湿田においてはこのこう配が小であつて連続的に増加し耕盤の形成がみられない。これが湿田におけるぬかるみの主な原因となつている。
4. 湿田と乾田について、Proctor Needle を使用して貫入抵抗により支持力の検討をしたが、湿潤密度の場合と同様な結果を得た。
5. AT-5, TC-10 および DEX TA を導入するためには湿潤密度が1.6程度で、これが導入機械の許容沈下深度内に存在する必要がある。
6. 湿田においてたん水状態から蒸発が進行する場合、土壤面露出時蒸発量が最大になるが、キ裂が発生しなお蒸発が続くときはこれより含水比の小なる時期に日蒸発量の極大値が現われる。
7. 湿田においてキ裂を生じた場合は、これを生じなかつた場合に比し、蒸発の停止する時期が早くかつ全蒸発量も大である。
8. 湿田土壤においては液性限界付近の高い含水比においてもキ裂が発生する。

#### 参 考 文 献

- (1) 後藤、小林：湿田土壤の亀裂の性状と一防止法、農業土木研究、25巻2号 1957
- (2) 後藤、小林：湿田土壤の物理的性質の研究  
2. 非水における土壤水分系のエネルギー特性について、兵庫農科大学研究報告、5巻1号 1961
- (3) 庄司：農業機械学概論、p57 1953
- (4) 後藤、小林：湿田土壤の物理的性質の研究  
1. 時に深田の密度こう配、ちよう度および支持力について、兵庫農科大学研究報告、4巻2号 1960
- (5) 後藤、居垣、小林、石田：湿田における機械化に関する基礎的研究  
1. トラック車輪の接地圧と沈下について、兵庫農科大学研究報告、5巻2号 1962