

粗大有機物連用水田土壌の物理特性について

The Physical Properties of the Paddy Field Soil Treated with the Successive Application of Rice Straw

前 田 要*

I はじめに

水田土壌の地力増進を計るため、連年膨大な数にわたる有機物施用の試験が各地で行われている。しかしながら、従来、その効果を判定する場合、大部分が地力窒素発源様式などの解析を中心とした化学的手法による研究が主体をなしており、土壌構造と養分供給能などの相互関係を追研する際に必要と思われる物理・工学的な面に関しての詳細な検討例はきわめて少ない^{2,4,5)}。

一方、近年、水田の区画整備ならびに水田の高度利用などの事業が推進されるに及び土壌の物理・工学的な面での研究が急速に進み、かつ、測定法も統一化されたため、その用途も一般化されている。

筆者は、稲わら連用試験を実施する中で、土壌の生産性を解明するためには、単に化学的手法のみによらず、物理-化学的手法の関連から検討する必要性のあることを認識し、現在その見地から研究を進めている。

今回は、その一端として稲わらならびに稲わら堆肥連

用に伴う水田土壌の物理・工学的な変化について検討した結果を報告する。

II 試験方法

1 試験地の土壌条件

本試験の実施場所は上川農業試験場ほ場で、土壌は火山灰を母材とする沖積土であり、その土壌類型は、施肥改善調査要領によれば、黄褐色土壌・壤土マンガン型に属し、透水良好（減水深；30 mm/1日）な乾田タイプの土壌である。土層断面形態についてみると、第1層（0～12 cm）は腐植および糸根状斑に富む灰黒色を呈し、粘着・可塑性中庸できわめて軽しような土壌である。また、第2層（12～19 cm）は鋤床層を形成しており、ち密度 24 mm ときわめて堅い。第3層（19～53 cm）は腐植もほとんどみられず、土性も粗粒化し、53 cm 下には砂礫層が出現する。

なお、試験地土壌の理化学的な特徴については表-1に示した。

表-1 試験地土壌の一般理化学性

層位	層厚 (cm)	容積重 (g)	粒 径 組 成 (%)				土性	pH (H ₂ O)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	腐植 (%)	CEC (m.e)	塩 基 飽 和 度 (%)	磷酸吸 収係数
			粗砂	細砂	微砂	粘土									
Apg	0~12	78	9.4	41.2	26.1	23.3	CL	5.78	0.49	6.46	13.2	11.1	27.4	35.0	1,820
A12g	12~19	79	6.9	43.8	26.6	22.8	CL	5.85	0.43	5.62	13.1	9.7	28.8	22.4	1,742
Cg	19~53	78	1.9	47.9	32.4	17.8	CL	6.45	0.11	1.28	11.6	2.2	18.2	42.6	1,870

2 試験区の構成

本試験は昭和37年に開始し、現在もなお継続中である。

試験区の内容は表-2に示すとおりで、稲わらの切断長は10～15 cm、稲わらの鋤込み時期は秋10月下旬～11月上旬、春4月中旬～下旬であり、耕起および鋤込み方法は攪拌耕（12 cm 耕深）によった。また、供試粗大有機物の成分組成については表-3に示した。

表-2 試験区の内容

試験区名	有機質資材 施用量 (kg/a)		備 考
	稲わら	稲わら 堆 肥	
無 施 用 区	—	—	共通施肥量； N, P ₂ O ₅ , K ₂ O をそれぞれ硫酸 過石、塩加でア ール当り 0.8, 0.7, 0.6 g 連 年施用。
堆 肥 区	—	80	
稲わら春施用区	40	—	
稲わら秋鋤込区	40	—	

* 道立上川農業試験場

表-3 粗大有機物の成分組成

区 分	原物当り(%)			乾物当り(%)		
	水分	T-N	T-C	T-N	T-C	C/N
稲 わ ら	12.0	0.56	34.6	0.64	39.3	61.4
稲わら堆肥	59.2	0.72	11.6	1.76	28.3	16.1

III 試験結果ならびに考察

1 有機物連用土壌の一般化学的特徴

本論に入る前に、有機物連用土壌の主な化学性的変化

についてその概要をのべる。

なお、以下にのべる資料は、すべて、試験開始後9~13年目に得られた結果である。

表-4で明らかなように、稲わらおよび稲わら堆肥連用土壌は無施用土壌に比べ全炭素および全窒素含量が高く、かつ、塩基置換容量も増大の傾向にあるが、pH、石灰飽和度ならびに鉄、マンガン含量は総体的に低下している。中でも、稲わら春施用区での減少度合が著しい。

このことは、後述するように、透水性がきわめて良好な乾田タイプ土壌では、稲わらなどの粗大有機物の施用

表-4 粗大有機物連用土壌の化学性

試験区名	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	腐植 (%)	CEC (m·e)	石灰飽和度 (%)	活性2価鉄 (mg)	遊離酸化鉄 (%)	易還元性マンガン (mg)
無施用区	5.62	4.15	0.32	13.0	7.2	27.6	27.1	263.2	0.85	12.8
稲わら堆肥区	5.56	4.57	0.45	10.2	7.9	29.9	19.5	265.6	0.70	10.7
稲わら春施用区	5.25	5.13	0.44	11.7	8.8	29.0	17.9	231.0	0.79	8.1
稲わら秋鋤込区	5.35	4.70	0.43	10.9	8.1	28.1	21.6	255.9	0.80	11.9

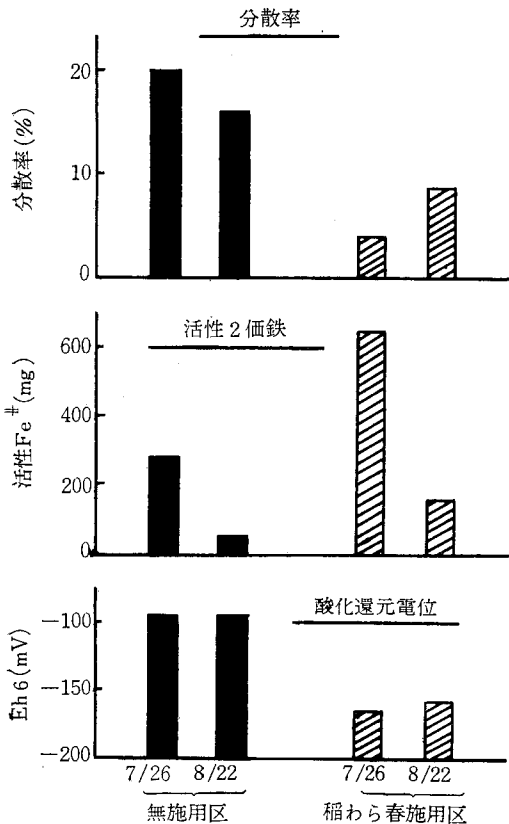


図-1 分散率、活性2価鉄含量ならびに酸化還元電位

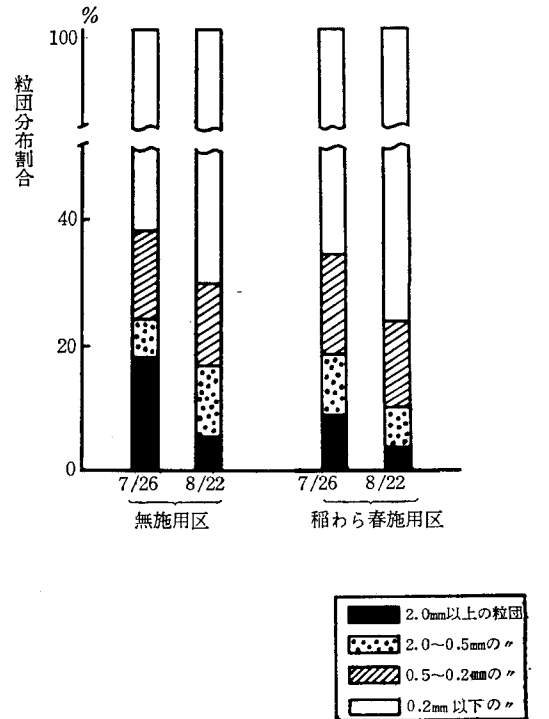


図-2 粒団分布

に伴って土壌の還元化が促進されると、土壌の粒子間結合力が弱化するために、鉄、マンガン、マグネシウムなどの塩基類が可動性に富み、浸透水とともに下層へ流亡することを示している。

なお、稲わら施用に伴う土壌化学性の詳細な変化については別報を参照されたい。

2 湛水条件下における土粒子の動態

湛水期間中において、土壌の粒団組成、分散率ならびに土壌の還元程度について検討した結果は 図-1 および 図-2 に示すとおりである。図からも明らかなように、活性 2 価鉄溶出量が多く、かつ、 E_{hc} の低下が著しい稲わら春施用区は、土壌還元発達程度の比較的緩慢な無施用

区に比べ、耐水性粒団中に占める 2.0 mm 以上の大粒

表-5 土壌還元発達時における 3 相組成

区 名	容積重(g)		含水比 (%)	3 相組成 (%)		
	湿 土	乾 土		固 相	液 相	気 相
無 施 用 区	152.3	87.1	75.0	29.0	65.2	5.8
稲 わ ら 堆 肥 区	148.7	82.4	80.5	27.2	66.3	6.5
稲 わ ら 春 施 用 区	144.9	75.6	91.8	26.0	69.3	4.7

表-6 落水後の土壌 3 相分布

試 験 区 名	8 月 25 日 (落 水 後)						11 月 1 日 (取 穫 後)					
	容積重	3 相 組 成 (%)			孔隙率	容気度	容積重	3 相 組 成 (%)			孔隙率	容気度
		固 相	液 相	気 相				固 相	液 相	気 相		
無 施 用 区	78.2	28.4	68.4	3.2	71.6	4.5	93.7	36.3	61.2	2.5	63.7	3.9
稲 わ ら 堆 肥 区	71.8	25.9	68.7	5.4	74.1	7.3	89.0	34.7	60.3	5.0	65.3	7.7
稲 わ ら 春 施 用 区	64.0	22.4	70.2	7.4	77.6	9.5	67.9	26.1	54.4	19.5	73.9	26.4
稲 わ ら 秋 鋤 込 区	70.5	26.5	68.3	5.2	73.5	7.1	85.7	32.6	57.4	10.0	67.4	14.8

団割合および 20 μ (シルト) 以下の土粒子の存在量を示す分散率がいずれも低く推移する傾向が認められる。この傾向は、表-5 の土壌 3 相組成面においても明瞭にうかがわれ、稲わら春施用区では土壌 3 相中に占める固相率の割合がきわめて低く、反面、液相率は逆に著しく高い値を示している。

これらの諸事象は、稲わら施用に伴って土壌の還元化が助長されると、土粒子間の結合力が弱化し、作土の土塊が崩壊して、泥状化が著しく促進される姿を物語っている。

なお、湛水条件下における土粒子の動態については、すでに斎藤⁹⁾により詳細に報告されているが、本実験結果が示すように、稲わら施用によって土壌の分散率が著しく低下した原因としては、土壌還元発達に起因する土粒子自体の活性の高まりがフロックの形成を旺盛にしたためと考えられる。

3 落水後の土壌の物理・工学的性

1) 土壌の 3 相組成、透水係数及び孔隙率

落水後、コアの試料について土壌 3 相組成、透水性ならびに孔隙率について検討し、結果は表-6、図-3 および 図-4 に示した。

まず、落水後および収穫後における土壌の 3 相組成をみると、各時期とも、稲わらおよび稲わら堆肥施用区が有機物無施用土壌に比べ容積重および土壌 3 相中に占める固相率の割合が少ない。また、孔隙率および容気度も稲わらおよび稲わら堆肥施用により著しく高まる傾向にあるが、その程度は稲わら春施用>稲わら秋鋤込み>稲わら堆肥の順に大きい。また、0.18 mm 以上の粗孔隙

量および飽和透水係数のオーダーも粗大有機物施用によ

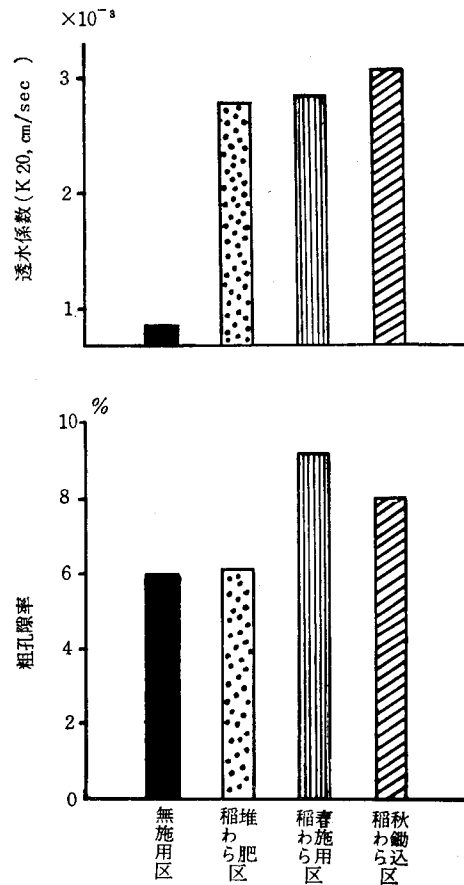


図-3 粗孔隙量および飽和透水係数

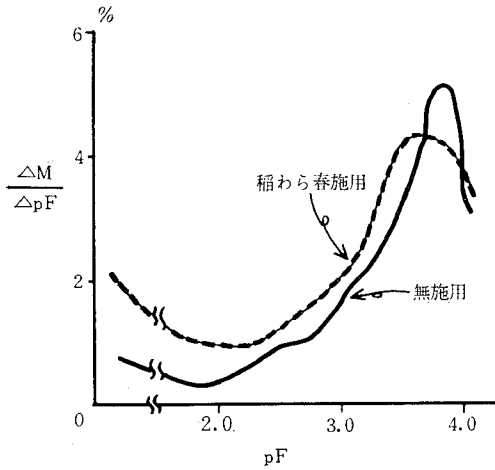


図-4 孔隙分布

って著しく高まっている (図-3)。

つぎに、pF—水分分布曲線を見ると (図-4)、稲わら春施用区では pF 0~1.7 の粗孔隙に相当する部分の変化量が 1% 以下できわめて小さく、しかも、pF 4.0 近辺で大きな山がみられるのに対し、稲わら春施用区では pF 0~1.7 の範囲内における変化量は終始 1~2% と比較的高い値で推移し、かつ、0.18~0.1 mm (pF 1.7~3.0) の大きさに相当する孔隙分布量も常に無施用区を上回っている。

以上のことより、湛水条件下にあって泥状で推移した作土の構造は、落水後、再び粒団生成に転じ、とくに、稲わら春施用区では未分解有機物の関与により粗孔隙の多い、いわゆる青峰³⁾が指摘しているようなパン状構造が形成されるものと考えられる。

いずれにしても、粗大有機物の土壌構造形成にはたす役割はきわめて大きく、中でも、稲わら春施用区のような未分解有機物の施用効果をもっとも顕著である。これらに関しては出井⁴⁾によっても同様なことが照会されている。

4 耐水性粒団組成および土塊の崩壊度

土壌の耐水性粒団組成割合をみると (図-5 参照)、粗大有機物連用土壌は、耐水性粒団中に占める 2.0 mm 以上の大粒団の割合がきわめて高いのに対し、0.5 mm 以下の小粒団の割合は逆に著しく低下している。また、傾向としては稲わら堆肥に比べ稲わら春施用及び稲わら秋鋤込の両区において明瞭である。

つぎに、川口²⁾の方法に準拠し水中振とう法によって粒団の崩壊程度をみたところ (図-6)、大粒団組成割合が高く、粗孔隙量の多い稲わら春施用土壌では、20 mm 以上の大土塊の占める割合が 30% 以下で、各土塊群の

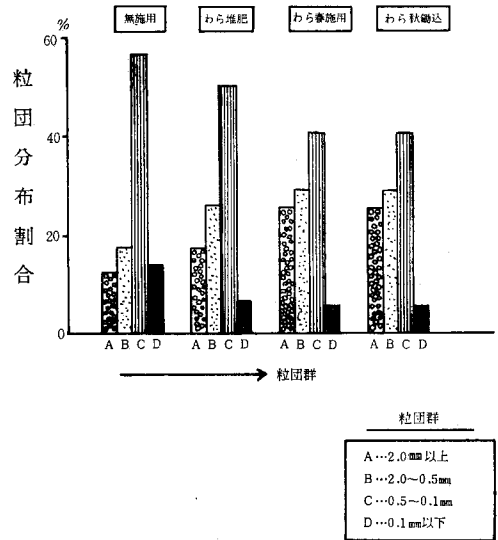


図-5 粒団分布

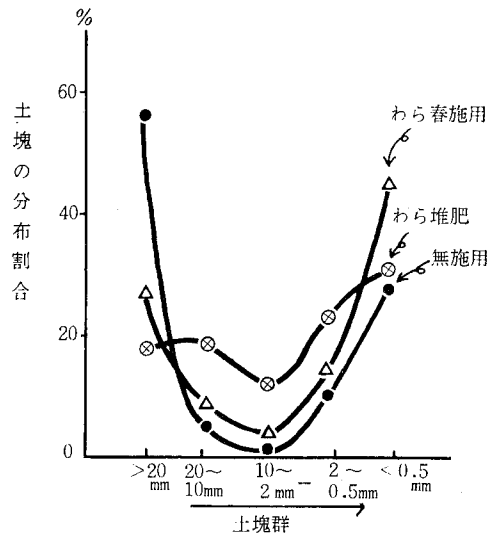


図-6 水中振とう後の土塊分布

分布割合が比較的整一化しているのに対し、有機物無施用土壌では 20 mm 以上の大土塊が依然として 60% 前後も残っており、土塊の崩壊が困難な様子がうかがえる。

5 アッターベルグ常数

各土壌のアッターベルグ常数について検討した結果は表-7に示した。

液性限界、塑性限界は稲わら及び稲わら堆肥施用により全体的に高まっており、かつ、湿土では塑性指数も増加の傾向にある。

また、塑性限界における剪断強度を示すタフネス指数

表-7 アッターベルグ常数

区 別	乾燥別	液性 限界 (WL)	塑性 限界 (WP)	塑性 指数 (IP)	流動 指数 (If)	タブ ネス 指数 (It)
無 施 用 区	湿 土	68.9	46.2	22.7	12.8	1.77
	風乾細土	54.9	39.6	15.3	7.2	2.13
稲わら堆肥区	湿 土	79.0	51.7	27.3	19.6	1.30
	風乾細土	59.2	44.3	14.9	7.4	2.01
稲わら春施用区	湿 土	70.2	46.9	23.3	14.7	1.59
	風乾細土	58.0	43.1	14.9	8.0	1.86
稲わら秋鋤込区	湿 土	69.5	46.2	23.3	17.6	1.32
	風乾細土	60.0	43.7	16.3	7.4	1.71

も、粗大有機物施用土壌では明らかに低下しており、傾向としては稲わら春施用及び秋鋤込み土壌の方が稲わら堆肥に比べ顕著である。

久保田⁹⁾によると、土壌の物理・工学的性に及ぼす堆肥連用の影響は土粒子の表面活性によって支配され、表面活性の大きな土壌では親水的性質を高める効果が小さいのに対し、表面活性の小さな土壌では逆に親水性を高め、そのことが微細構造の増加並びに液性限界、塑性限界及び塑性指数の増大をもたらすと報告している。

したがって、本土壌の様に火山灰を母材とする土壌では表面活性が小さなために後者の特性を示したものと考えられる。

6 収縮限界および圧砕強度

自然構造土壌の収縮特性、圧砕強度、並びに生土、風

表-8 自然構造土壌の収縮常数および圧砕強度

区 別	8 月 25 日 (落水後)						11 月 1 日 (収穫後)					
	含水比	圧強	砕度	収縮比	体積変化	線収縮	含水比	圧強	砕度	収縮比	体積変化	線収縮
	%	kg/cm ²	%	%	%	%	%	kg/cm ²	%	%	%	%
無 施 用 区	87.9	2.55	49.2	1.12	43.5	11.3	65.3	7.82	40.9	1.22	29.8	8.4
稲わら堆肥区	97.8	1.16	60.7	0.96	35.0	9.4	67.8	5.14	46.8	1.09	22.9	7.0
稲わら春施用区	113.1	0.87	67.2	0.88	39.5	10.3	80.1	1.42	52.9	0.83	22.6	7.1
稲わら秋鋤込区	97.2	0.85	66.5	0.90	27.5	7.6	67.0	4.60	45.4	1.05	22.7	7.0

表-9 生土および風乾細土の収縮常数

区 別	風乾別	含水 [*] 比 (%)	収縮 限界 (%)	収縮 比	体積 変化 (%)	線収 縮 (%)
無 施 用 区	生 土	80.3	36.7	1.26	54.9	13.6
	風乾土	71.2	41.3	1.18	35.3	9.7
稲わら堆肥区	生 土	87.4	42.4	1.16	52.2	13.1
	風乾土	76.8	44.6	1.16	37.4	10.2
稲わら春施用区	生 土	81.5	39.6	1.24	52.0	13.0
	風乾土	81.6	44.7	1.13	41.8	11.0
稲わら秋鋤込区	生 土	94.2	55.1	1.03	40.3	10.7
	風乾土	72.2	39.2	1.12	40.3	10.6

* ベースト状試料の値

乾細土の収縮常数について検討した結果は表-8、表-9に示した。

まず、自然構造土壌で得られた結果をみると(表-8)、落水後における収縮限界は先述の孔隙特性面の影響が強く反映し、粗大有機物施用土壌が無施用土壌に比べ著しく高く、かつ、体積変化量並びに線収縮量は逆に低下の傾向にある。また、土塊の崩壊の強弱をあらわす圧砕強度も粗大有機物施用土壌ではきわめて小さな値を示して

いる。これらの関係は表-9の生土および風乾細土についても全く同様ながいえる。

以上の結果より、粗大有機物施用によって形成される土壌の粒団は、脱水・収縮に対してきわめて安定的であり、このことは、粗大有機物施用が土壌構造の発達・維持の面に貢献する度合いがきわめて高いことを実証している。

IV 要 約

透水性の良好な黄褐色土壌において、粗大有機物連用水田土壌の物理・工学的特性に及ぼす影響について検討した結果を要約するとつぎのとおりである。

1) 湛水期間中における土粒子の動態は、土壌の還元発達程度によって左右される面が強く、稲わら春施用区では強還元化に伴い土粒子間の結合力が弱体化し、粒団の崩壊並びに分散率の著しい低下が認められ、その結果作土の土壌構造は極度に泥状化した。

2) 粗大有機物の施用によって土壌が膨軟化し、かつ、粗孔隙量並びに飽和透水係数のオーダーが高まって、土壌の透水性はきわめて良好化した。また、耐水性粒団形成に寄与する粗大有機物施用の効果はきわめて高く、中でも、稲わら春施用及び秋鋤込みの両区では耐水性粒団組成中に占める 2.0 mm 以上の大粒団割合が 25

%にも達した。

3) 粗大有機物施用土壌では土塊の崩壊度が高まって、タフネス指数及び圧碎強度が著しく低下した。以上の事象より、粗大有機物施用によって土壌の易耕性の高まることが想定された。

4) 自然構造及び風乾細土の収縮限界は粗大有機物施用により何れも高まる傾向にあり、同時に、体積変化量及び線収縮量は逆に低下した。これらのことから、粗大有機物の関与によって形成される粒団は、乾燥・脱水作用に対し安定的であると推論された。

5) 以上のことを総括すると、水田土壌に対する粗大有機物施用が土壌の構造形成面に寄与する度合はきわめて高く、中でも稲わらなどの未分解有機物の施用効果が

最も顕著である。

〔謝辞〕本報告をとりまとめるにあたり、上川農試土壌肥料科長南松雄博士には種々便宜を賜った。記して感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 青峰重範：土壌肥料講座2，朝倉書店，144～147（1961）
- 2) 川口桂三郎・喜田大三：土肥誌，27，9（1956）
- 3) 久保田徹：土肥誌，42，1（1971）
- 4) 出井嘉光：土壌の物理性，16，27～32
- 5) 斎藤万之助：土壌の物理性，25，28～32（1971）
- 6) 南松雄・前田要：道農試集，23（1971）