

## 圧縮が転換畑土壌の物理性に及ぼす影響

仲谷紀男\*, A. Eduardo G. DOS REIS\*\*, 加藤英孝\*\*\*, 前田乾一\*\*\*\*

Effects of compaction on some physical properties of drained paddy  
soils for upland crop production

Norio NAKAYA\*, A. Eduardo G. DOS REIS, Hidetaka KATOU\*\*\* and Ken-ichi MAEDA\*\*\*\*

\*National Institute of Agricultural Sciences

(present, Tropical Agriculture Research Center)

\*\*Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-BRASIL

\*\*\*National Institute of Agricultural Sciences

### I はじめに

水田を転換して畑作物を栽培する転換畑においては、水田に比較して土壌が強い乾燥を受けるために、表土はもちろんすき床層に亀裂が生成されたりあらたに構造が生成されて透水過多になることが多い<sup>1,5,10,12)</sup>。また、水田からの転換畑化が未熟な場合においては農業機械の走行によりすき床層がより強化されて逆に透水性が悪化する懸念もある。さらに、作土下の土層が無構造のグライ層では乾燥・脱水を受けると圧密層を形成して土壌中の水分移動を妨げることも指摘されている<sup>7)</sup>。このように、水田一畑の輪換利用における水田への復元時には透水性の制御が重大な課題となる。したがって、水田からの転換や田畑輪換の場合には純然たる畑地管理とは異なった考慮が必要と考えられる。

透水性の制御の問題は、水田一畑の輪換利用に限らず、従来から水田の基盤整備などに対しても重要視され、さまざまな研究がなされ<sup>8)</sup>、その中で一応の基準値などももうけられている<sup>11)</sup>。圃場において透水性制御方策が講じられた後の透水性の変化は現地構造の試料を測定して求められるが、方策を計画する段階における透水性の予測には、一般には測定精度を高めるために風乾土を現地構造と同じ仮比重になるように充てんして供試さ

れることが多い。土壌に処理を施した場合の透水性の変化の測定は風乾土についてであれば数多く測定され、新しい有益な知見を得ている<sup>2,6,13)</sup>。しかしながら、風乾土を供試して得た測定値には、現地に適用する場合におのずから制約があることは当然で、未風乾の現地構造を有する土壌を用いた場合の処理による透水性の変化の測定の必要性が痛感されている。とくに転換による透水性の変化と、それが再び水田へ復元された時の適正な透水性を維持する方策についての基礎的解明を行うことがきわめて重要であるにもかかわらず、未風乾土を供試材料とするこの種の研究は行われていない。

本報においては、水田一畑の輪換利用における水田復元時の土壌の透水性の変化要因の解明を目的として、未風乾の現地構造を有する土壌に一定の荷重を加えて圧縮を行ない、透水性制御の可能性を探るとともに、それに関与する土壌の要因を抽出することを試みた。

### II 実験方法

供試土壌：沖積土壌として農業研究センター川里圃場\*\*\*\*および黒ボク土壌として栃木県農業試験場内のそれぞれの転換畑の表土およびすき床層から現地構造の土壌を100 mlの試料円筒に採取した。これらの土壌の一般の性質を表-1に示した。

表-1 供試土壌の一般的性質

		仮比重	真比重	粗砂	細砂	シルト	粘土	土性	採土時の水分		土 壤 型
				%	%	%	%		重量%	pF	
川里	表土	1.04	2.65	7.1	7.6	37.7	47.6	HC	36.7	2.6	灰色低地土泉崎統 多湿黒ボク土瓦谷統
栃木	表土	0.66	2.45	9.8	21.4	23.1	45.7	HC	80.4	2.1	
〃	すき床	0.74	2.42	8.3	19.8	27.0	44.9	LiC	81.3	1.9	

\* 農技研 (現熟帯農業研究センター)

\*\* ブラジル国セラード農牧研究センター

\*\*\* 農技研

\*\*\*\* 川里圃場のすき床層土は 図-4 に示されるように、無荷重でもすでに  $4 \times 10^{-7}$  cm/sec の値を示す難透水性土であったので、本研究の試料として不適当と考え、一連の測定から割愛した。

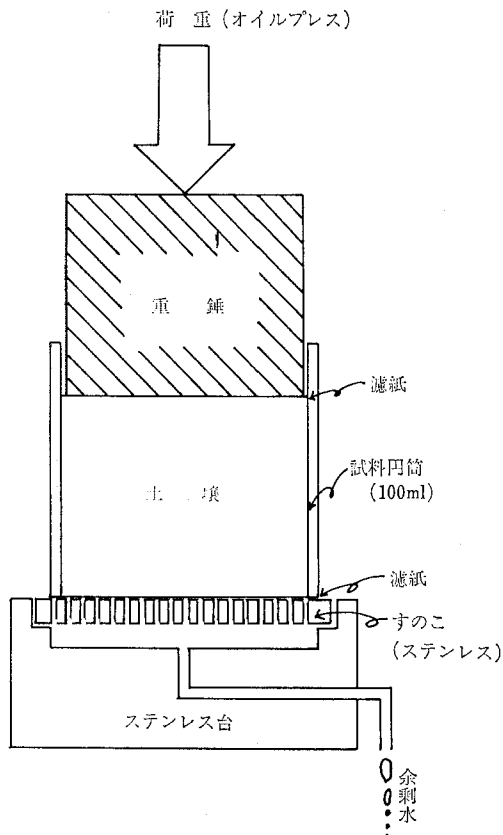


図-1 圧縮装置

圧縮方法：100 ml の試料円筒に採取した土壌について図-1 に示したように、オイルプレスを用いて荷重を加えた。その際に排出される余剰水は、試料下部からは濾紙を敷いたステンレス製のすのこを通じて、試料上部からは重錘脇から、除去した。加えた荷重は試料に対して、0, 20, 50, 100, 200, 300 kg で、30分間その荷重を持続した。以降の図には  $\text{kg}/\text{cm}^2$  に換算して表示した。

測定項目および方法：圧縮量をノギスで測定した後、山中式硬度計で土壌硬度を測定した。また、圧縮量を測定した別の試料を飽水させ、常法により飽和透水係数を測定（表示値は  $20^\circ\text{C}$  に換算）し、ついで加圧板法により孔隙分布を求めた。真比重はピクノメーター法によって求め、三相分布を算出した。測定は各荷重について、6連（0 kg 荷重）～3連（300 kg 荷重）で行なった。

### III 結果

圧縮による体積減少をノギスで測定した結果を圧縮率として図-2 に示した。これらの土壌の圧縮率は荷重の増加とともに増大し、 $0\sim 5 \text{ kg}/\text{cm}^2$  では急増するが、そ

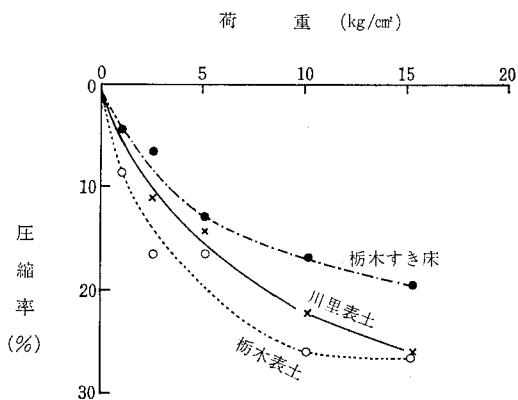


図-2 荷重と圧縮率との関係

れ以上の荷重ではその程度は弱まった。黒ボク土壌と言えどもすき床層では全体に圧縮率は小さく推移した。圧縮にもなって水が浸出する場合は飽和状態に近い土壌の圧密と考えられるが、圧密では時間の経過とともに圧密が進行し平衡に達するのにはかなり長時間を要することが一般的に認められている<sup>14)</sup>。本報においては一様に30分間のみの圧縮を行なっているの、それぞれの荷重において30分間では平衡には達していないと考えられ、測定された圧縮率はさらに高まる可能性がある。

土壌硬度の結果を図-3 に示した。いずれの土壌においても  $0\sim 5 \text{ kg}/\text{cm}^2$  の範囲では土壌硬度はほぼ直線的に増大し、 $5\sim 15 \text{ kg}/\text{cm}^2$  でも黒ボク土壌ではさらに増大し続けるが、川里沖積土壌ではほとんど変化しなかった。

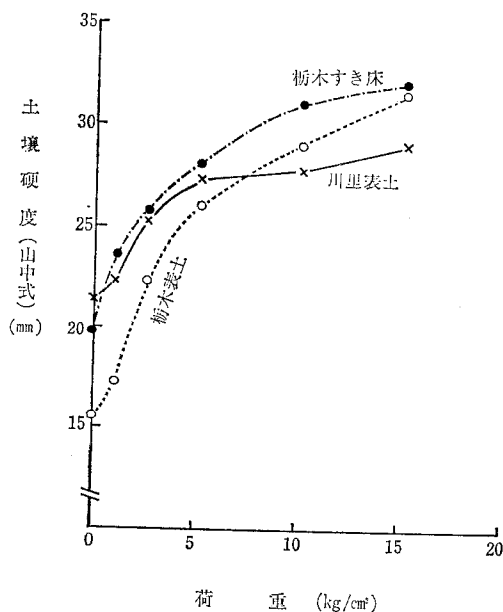


図-3 荷重と土壌硬度との関係

飽和透水係数の変化を 図-4 に示した。これによると、栃木黒ボク土壌では荷重 0~5 kg/cm<sup>2</sup>、川里沖積土壌では 0~10 kg/cm<sup>2</sup> の範囲でいずれの飽和透水係数も直線的に減少したが、それ以上の荷重においては前者では 10<sup>-7</sup> cm/sec 付近、後者では 10<sup>-8</sup> cm/sec 付近に収れんした。これらの結果からも黒ボク土壌は強度の圧縮を加えても透水性が極端に低下しないことが示された。

加圧板法によって測定した孔隙分布を 図-5 に示した。孔隙量は圧縮後の土壌の体積のいかんにかかわらず、そのなかに存在した量 (ml/100 ml コア) として示されている。この研究の目的は透水性を制御する要因を明らかにすることであり、透水性に関する孔隙は一応 pF 3 相当までと考えて、本測定では pF 3.0 相当までの粗孔隙と毛管孔隙のみを測定した。これらによると、pF 0~1.5 相当の粗孔隙は川里沖積土壌では 5 kg/cm<sup>2</sup> の荷重で消滅するのに対して黒ボク土壌では 2.5 kg/cm<sup>2</sup> の荷重ですでに消滅している。一方、pF 2.5~3.0 相当の孔隙に関しては、川里土壌では 15 kg/cm<sup>2</sup> の荷重でも荷重による影響を全く受けていないのに対して、黒ボク土壌では 5~10 kg/cm<sup>2</sup> 以上の荷重を受けると pF 2.5~3.0 相当の孔隙が明らかに減少している。この事実は次のように詳細に検討するとさらに明瞭に認めることができる。すなわち、川里土壌では荷重の増加とともにまず pF 0~1.5 相当の粗孔隙のみが減少し、ついでこの孔隙が消滅すると pF 1.5~2.0 相当の孔隙のみが影響を受けて減少すると言うように、より大きい孔隙が破壊されて後に、次の大きさの孔隙が破壊され、最後までもっとも

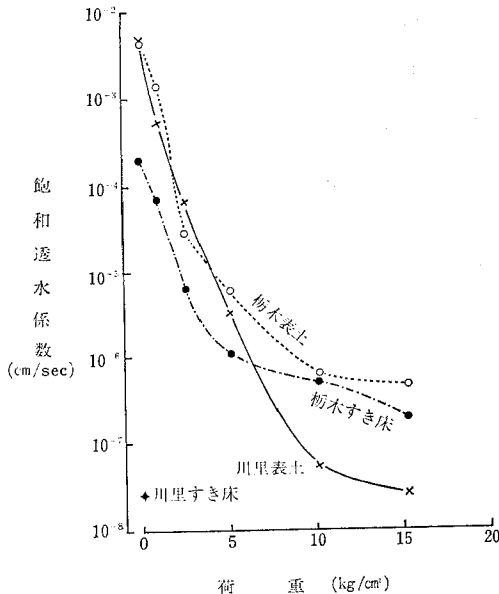


図-4 圧縮ともなう透水性の変化

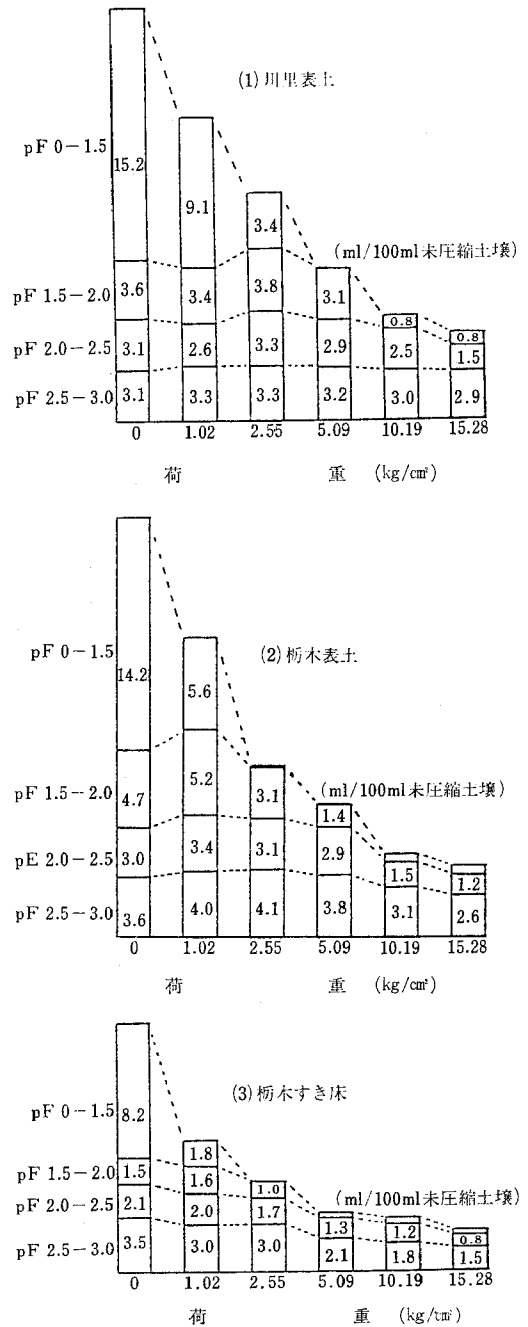


図-5 供試土壌の孔隙分布

微小な孔隙が荷重に抵抗して残存していることが認められる。換言すれば、川里沖積土壌では大孔隙が不安定であるのに対して微小孔隙の構造がきわめて安定である。一方、黒ボク土壌では低荷重でも大孔隙がもちろん影響を受けるが、同時に小孔隙へも影響を及ぼしていることが明らかで、小孔隙も比較的弱い力で破壊されやすい。

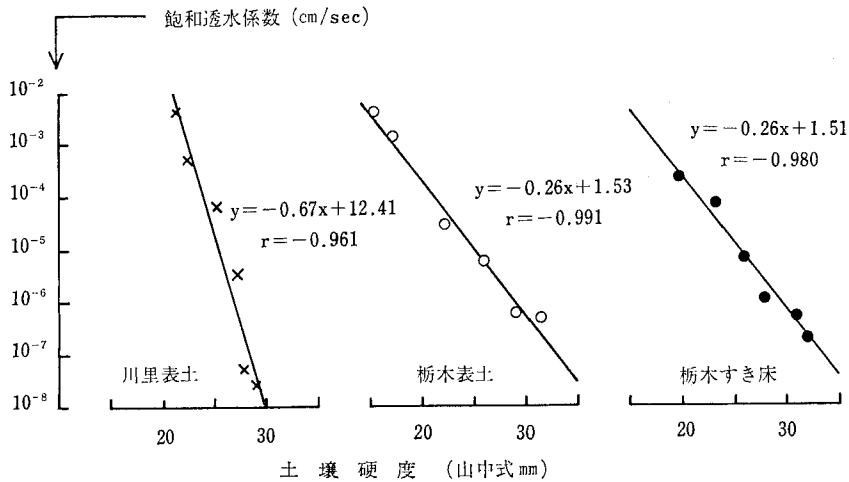


図-6 圧縮ともなる土壌硬度の変化と透水性

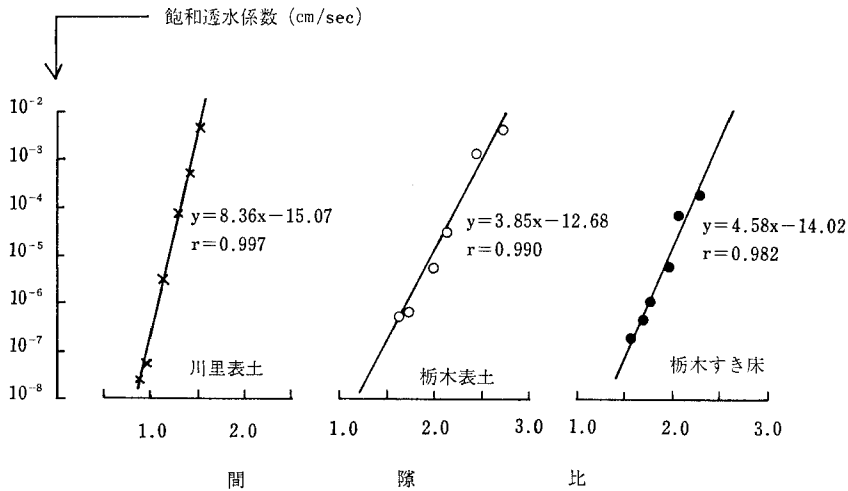


図-7 圧縮ともなる間隙比の変化と透水性

これらの事実から土壌の種類によって団粒の圧縮に対する抵抗性が異なることが示唆され、同じ大きさの団粒でもその生成要因・作用によって機械的強度が異なることが推定される。

つぎに、圧縮された土壌における透水性と相関の高い土壌の物理性を検討すると、土壌の硬度と間隙比にそれを求めることができ、それらの結果を 図-6, 7 に示した。それらによると、いずれの場合もきわめて高い相関が認められ、それぞれの土壌について任意の飽和透水係数の時の土壌硬度や間隙比を求めることができる。この事は、転換畑の水田復元時の透水制御に対して、圧縮がきわめて有効な手段の一つと考えられることを示唆するとともに、圧縮した場合だけでなく一般的に土壌硬度や間隙比が透水性の指標として有効であると言うことができよう。

土壌の透水性はおもに土壌の構造に影響され、なかでも粗孔隙（非毛管孔隙）に著しく影響され、透水性と粗孔隙との間には高い相関が認められている<sup>3,9)</sup>。

供試した土壌では、孔隙分布の項でも明らかにしたように、 $pF 0 \sim 1.5$  相当の粗孔隙が  $2 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$  の荷重で消滅した。しかしながら、粗孔隙が消滅した試料でも荷重の増加とともに透水性は減少している。したがって、透水性に関与する要因を粗孔隙の分布量のみを求めるのではなく、より広い範囲の透水性を支配する要因を明らかにする必要があると考えられる。

#### IV 考 察

従来、この種の研究では先に述べたように未風乾の現地構造の土壌を用いることはほとんどなかったために、現在までのところ研究結果の蓄積はほとんどなされてい

ない。ここでは、本邦でもっとも代表的と考えられる川里沖積土壌と栃木黒ボク土壌の現地構造の試料を用い、圧縮された時の物理性の変化を追求するとともに透水性をおもに支配している孔隙分布を明らかにしようとしたものである。

孔隙分布と透水性との関係を図-4と図-5を比較しながら検討すると、荷重の増加とともに逐次破壊される孔隙を有する川里土壌の例では、pF 0~1.5 相当の粗孔隙は先に述べたように荷重  $5 \text{ kg/cm}^2$  で消滅しており(図-5)、この  $5 \text{ kg/cm}^2$  の荷重は飽和透水係数  $3 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$  (図-4) に相応している。したがって、この荷重域では pF 0~1.5 相当の粗孔隙以外は変化していないこととあわせて考えれば、この粗孔隙が関与する飽和透水係数は  $10^{-5} \text{ cm/sec}$  までであるとは言える。同様にして、pF 1.5~2.0 相当の孔隙は荷重  $10 \text{ kg/cm}^2$  でほとんど消滅し、これは  $5 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$  に相当することから、この孔隙は  $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm/sec}$  の透水性に関与していると言える。つぎに、pF 2.0~2.5 相当の孔隙に関しては、 $10^{-8} \text{ cm/sec}$  のオーダーの透水性に関与しているが、pF 2.5~3.0 相当の孔隙に関しては、 $15 \text{ kg/cm}^2$  までの荷重では変化が認められないことと透水性がもはや変化しないことから、透水性には関与していないことが読みとれる。

一方、黒ボク土壌では弱い荷重でも小孔隙までが影響を受けるために、川里沖積土壌の例のように明解に言及できないが、pF 0~1.5 相当の粗孔隙はおおよそ  $10^{-5} \text{ cm/sec}$  までの透水性に、pF 1.5~2.0 相当の孔隙は  $10^{-6} \text{ cm/sec}$  のオーダーの透水性に関与し、pF 2.0~2.5 相当の孔隙は  $10^{-7} \text{ cm/sec}$  のオーダーの透水性に関与していると解釈できる。pF 2.5~3.0 相当の孔隙も若干減少していることから透水性に関与していることがうかがえるが、定量的な言及はできない。したがって、圧縮された土壌においては透水性と孔隙の大きさとの間には密接な関係が存在することがうかがわれる。すなわち、土壌の透水性は圧縮によって制御され、それに関与する要因は孔隙の大きさの違いであることが示唆される。

水田としての適正減水深は、一般に平均  $20 \text{ mm/日}$ <sup>11)</sup> と言われており、これをかりに飽和透水係数に換算すれば(動水勾配を1と仮定)  $2.3 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$  となる。また、透水性と孔隙の大きさおよびその分布量との関連で考察したように、これは明らかに粗孔隙が関与する範囲である。水田の漏水対策は機械的鎮圧以外に土壌の粘土粒子の分散性を高めて不透水層を作る方法もあるが、ここでは供試土壌を圧縮によってのみ透水性を制御することにして考察すると、川里表土では約  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ 、栃木表土では約  $2.8 \text{ kg/cm}^2$ 、栃木すき床では約  $1.7 \text{ kg/cm}^2$  の荷重を負荷させることによって  $2.3 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$  す

なわち  $20 \text{ mm/日}$  の浸透量となる。これらの荷重は機械的鎮圧のみによっても得ることは可能で、圧縮のみによって透水性を制御することが可能であることを示唆している。

供試した土壌の性質が大きく異なる沖積土壌と黒ボク土壌であるにもかかわらず、未風乾の現地構造を有する土壌の場合には圧縮によってその物理性の変化が同じ傾向を示していることから、これらの結果を一般の土壌に普遍化できる可能性がうかがえる。しかしながら、土壌が圧縮を受ける時はその時の水分含量によりその変化が大きく異なる<sup>4)</sup>。本報では試料採取時の水分含量でのみ圧縮を行っており、現地圃場における水分変化を考えれば当然供試土壌の水分の異なる場合についての検討が必要である。また、現場の問題として、存在する亀裂の圧縮による変化等も透水性に大きく関与するものと考えられるが、この点についても未検討である。今後、本報の結果を基礎にして、その他の種類の土壌についてのみならず、供試土壌の水分が異なる時に圧縮を受けた場合の土壌の透水性ならびに関連する性質を明らかにしたい。

## V 要 約

水田一畑の輪換利用における水田復元時の土壌の透水性の制御を目的として、未風乾の現地構造を有する土壌に一定の荷重を加えて圧縮を行ない、透水性制御の可能性を探るとともに、それに関与する土壌の物理的要因を抽出してその機作を解明しようとした。

得られた結果は次のとおりである；

- 1) 飽和透水係数に関しては、栃木黒ボク土壌では荷重  $0 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ 、川里沖積土壌では  $0 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$  の範囲でほぼ直線的に減少したが、それら以上の荷重においては、透水性は漸減し、 $15 \text{ kg/cm}^2$  の荷重では前者では  $10^{-7} \text{ cm/sec}$ 、後者では  $10^{-8} \text{ cm/sec}$  に取れんした。
- 2) 土壌の粗孔隙は  $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$  の荷重で消滅し、その粗孔隙は  $10^{-5} \text{ cm/sec}$  までの透水性を支配すると考えられた。
- 3) 圧縮された土壌の硬度や間隙比と飽和透水係数との間には高い相関が認められた。
- 4) したがって、転換畑の水田復元時の土壌の透水性の制御には、圧縮が有効な手段の一つで、土壌硬度や間隙比が透水性の指標として有効であると考えられるとともに、さらに農業機械による土壌の密化の防止のための判断基準としてこれらを有効な指標として利用できる可能性が示唆された。

## 謝 辞

栃木県農試川田登部長には黒ボク土壌採取に便宜を与

えられ、また同土壌における機械走行性にもなうち密化について御教示を賜った。記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 足立忠司, 堤 聡, 竹中 肇: 畑地転換による水田用水量の変化—一段丘上水田の例—, 農土論集, **65**, 20—26 (1976)
- 2) 荒川 稔: 土の低圧締固めについて, 農土論集, **42**, 8—12 (1972)
- 3) Baver, L.D. Soil Physics, 3rd Ed., p.261—273 (1956)
- 4) Baver, L.D. Soil Physics, 4th Ed., p.104—109 (1972)
- 5) 南 松雄, 前田 要: 水田転換畑の生産性向上に関する研究. 第1報 水田の畑地化に伴う土壌の理化学性の変化. 北海道立農試集報, **29**, 72—85 (1974)
- 6) Motomura, S., F.M. Lapid and H. Yokoi: Soil structure development in Ariake polder soils in relation to iron forms. Soil Sci. Plant Nutr. **16**, 47—54 (1970)
- 7) 中野啓三: 低湿重粘土水田の畑転換に伴う土壌物理性の推移. 北陸農試報告, **21**, 63—94 (1978)
- 8) 農林省農林水産技術会議事務局: 重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究, 研究成果56 (1972)
- 9) Parr, J.F. and A.R. Bertrand: Water infiltration into soils. Adv. Agr. **12**, 311—363 (1960)
- 10) 桜井一男: 沖積転換畑における耕盤の透水性について, 土壌の物理性, **44**, 52—56 (1981)
- 11) 多田 敦: 水田転作(土肥学会編) 3. 基盤整備と用排水, p.45—64, 博友社 (1979)
- 12) 竹中 肇: 転換畑における土壌水分と土壌構造の変化, 土壌の物理性, **31**, 24—28 (1975)
- 13) 横井 肇, 池宗勝三郎, 水野要蔵, 小柳芳郎: 土壌の透水係数の方向性について, 土肥誌, **40**, 271—275 (1969)
- 14) Yong, R.N. and B.N. Warkentin: 土質工学の基礎 《土の力学的挙動》(山崎不二夫, 山内豊聡監訳): p.167—220 (1972)

(1983. 6.29受理)

Summary

The possibility of controlling the permeability of soils immediately after reconversion of upland fields into paddy fields in the paddy field-upland field rotation was evaluated by analysing the changes of permeability and related physical properties of compacted soils. Soil samples used were undisturbed and not subjected to air drying.

The results obtained are as follows;

- 1) The hydraulic conductivity (log scale) of Tochigi andosol and Kawasato alluvial soil decreased abruptly when the load applied increased and ranged between 0—5 kg/cm<sup>2</sup> and 0—10 kg/cm<sup>2</sup>, respectively. Beyond these loads, the values for the former soil reached 10<sup>-7</sup>cm/sec and for the latter 10<sup>-8</sup>cm/sec.
- 2) The disappearance of soil macro-pores, when a load of 3—5 kg/cm<sup>2</sup> was applied, was considered to be one of the factors whereby the hydraulic conductivity could be controlled up to 10<sup>-5</sup>cm/sec.
- 3) There were a high positive correlations among soil hardness, void ratio and hydraulic conductivity of compacted soil.
- 4) Consequently, compaction was considered to be a useful method for controlling the permeability of soils. In addition soil hardness and void ratio which were considered to be valuable indices of soil permeability may also be applied for assessing soil compaction by agricultural machinery.