

水田の落水後の水分動態(第2報)

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	寺沢, 四郎
巻/号	41巻10号
掲載ページ	p. 418-422
発行年月	1970年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



水田の落水後の水分動態(第2報)

耕盤圧縮による土壌水分吸引圧の変化

寺 沢 四 郎*

1. はじめに

水田の機械導入のさいに起こる土層圧縮で形成される耕盤は、土壌の支持力を増大する反面植物根の生長を阻害し、浸透排水を不良にするなど、さまざまな影響がみられる。本報では、耕盤層の圧縮程度が落水後の水分変化にどのような影響を与えるかについて実験を行ない、機械導入上の排水管理と土壌乾燥に関する知見を得ようとしたものである。

2. 試験方法

第1報で述べたと同じりライシメーター水田(枠面積 $5\text{ m} \times 3\text{ m}$)で過去数年しろかき移植田として使用してきた、荒川土壌(荒川河川敷)、長野土壌(長野県農試圃場)、千葉砂壤土(千葉県九十九里町角貝)を供試した。同一枠内を半分($1.5 \times 1.5\text{ m}$)に仕切り、対照区(非圧縮)と圧縮区の2区を設けた。圧縮区は作土 $0 \sim 10\text{ cm}$ をあらかじめ排除し、その下の耕盤層をスコップで十分につき固めたのち、作土をその上に戻し隣り合わせた対照区の作土と同じように均平し整地した。耕盤層の水分が多いため、つき固めによる硬度は余り増大せず、硬度指数で $18 \sim 20\text{ mm}$ 程度に過ぎなかった。このような処理の中でイネを栽培し、収穫4週間前から落水をはじめて土壌水分吸引圧の変化を追跡した。

落水後の水分変化をみるために、深さ $\sim 7\text{ cm}$ 、 $12 \sim 17\text{ cm}$ の各層位にテンシメーターを落水前に埋設しておき、刈取前後(10~11月)の落水に伴う土壌水分吸引圧の変化を測定した。刈取前の落水時には、深さ 60 cm に地下水を与え、その後の11月の期間は、排水バルブを開けて地下水を排除した。テンシメーターは毎日、10時に観測した。各土壌の保水性曲線は、土柱法、遠心法および気圧法で測定したものである。田植前

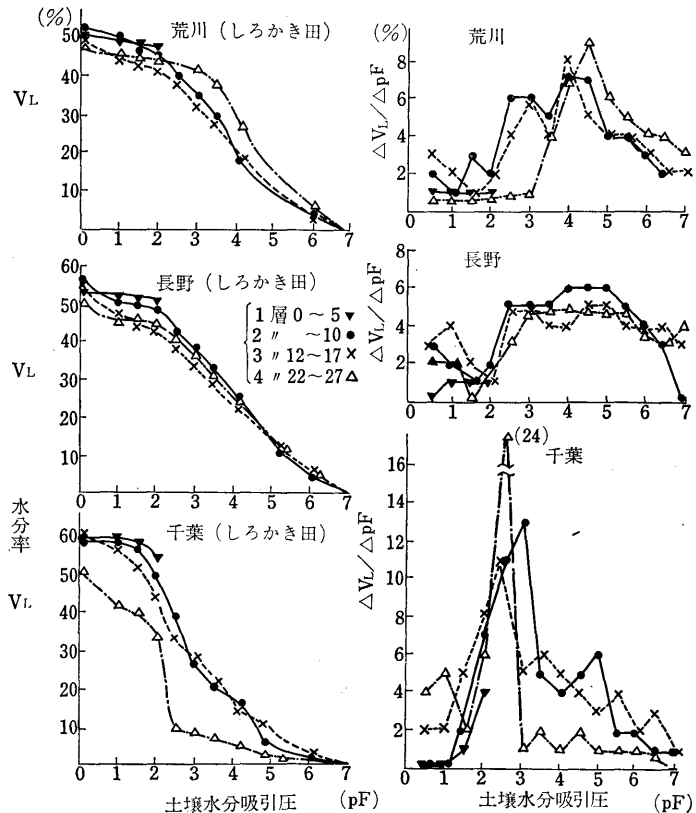
と刈取直後の3相分布は実容積法で測定した値である。

3. 実験結果と考察

(1) 保水性曲線について

過去3年間しろかき田として使用してきた供試土壌の保水性曲線と水分分布曲線を第1図に示した。吸引圧の単位は水柱高 H の $\log H = \text{pF}$ を用いた。測定結果は、耕盤層をつき固める前に採土した試料について得られた結果である。ここでとくにイネ刈取前後の対照区と圧縮区の保水性曲線を測定し得なかった点は不用意であった。第1図に保水性曲線を提示したのは、各供試土壌間の保水性の差異を達観し後述する落水後の水分変化に関連する説明に役立てようと考えたからである。

荒川、長野土壌はほぼ類似した保水性曲線を示しているが、高吸引圧範囲の水分分布曲線では違った曲線の形を描いている。すなわち、荒川土壌では $\text{pF} 2.5$ と 4.0



第1図 供試土壌の保水性

* 農技研化学部 (東京都北区西ヶ原2-1-7)

第1表 供試土壤の一般物理性

土壤	圧縮処理	測定期日	層位 (cm)	全重量 W (g)	実容積 V (c. c.)	固相重量 S (g)	液相率 V_L (%)	固相率 V_S (%)	気相率 V_A (%)	全孔隙 P (%)	含水比 Mo (%)	
荒川	対照	A*	15	180.7	93.2	141.5	39.2	54.0	6.8	46.0	27.7	
			B**	5	175.0	93.4	132.0	43.0	50.4	6.6	49.6	32.5
				15	163.7	84.2	127.1	36.6	47.6	15.8	52.4	28.8
	圧縮	A	15	188.0	98.1	146.3	41.7	56.4	1.9	43.6	28.5	
			B	5	179.6	96.3	134.8	44.8	51.5	3.7	48.5	33.2
				15	188.0	98.4	148.0	40.0	58.4	1.6	41.6	27.0
長野	対照	A	15	185.8	98.2	143.1	42.7	55.5	1.8	44.5	29.8	
			B	5	169.1	91.1	127.4	41.7	49.4	8.9	50.6	32.7
				15	168.8	90.2	127.5	41.3	48.9	9.8	51.1	32.4
	圧縮	A	15	188.4	99.6	146.9	41.5	58.1	0.4	41.9	28.3	
			B	5	175.5	97.9	127.5	48.6	49.9	2.1	50.1	37.6
				15	191.6	100.0	148.2	43.4	56.6	0	43.4	29.3
千葉	対照	A	15	133.7	76.0	94.1	42.1	36.4	24.0	63.6	39.6	
			B	5	166.7	95.9	116.8	49.9	46.0	4.1	54.0	42.7
				15	143.0	83.8	97.1	45.9	37.9	12.2	62.1	47.3
	圧縮	A	15	161.8	94.1	113.1	48.7	45.4	5.9	54.6	43.1	
			B	5	169.1	98.1	117.1	52.4	45.7	1.9	54.3	44.7
				15	166.5	98.5	113.0	53.5	45.0	1.5	55.0	47.3

* A, 田植前つき固め直後 ** 刈取直後。

範囲はほぼ同じ区域にあって、固相率は 49~60%, 液相率は 36~48%, 気相率は 0~15% の範囲である。これらの土壤の土性 (CL または LiC) は類似しているが、荒川土壤の粘土鉱物はイライト、パーミキュライト、カオリン混合の粘土からなり、長野土壤はモンモリロナイトを主体とした土壤である。一方千葉砂壤土の場合は固相率 36~45%, 液相率 42~54%, 気相率 2~24% の分布範囲をとり、とくに気相率の変化幅が大きい。

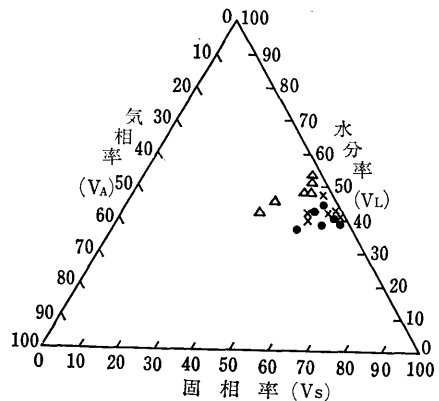
深さ 12~17 cm (以後耕盤層とよぶ) の圧縮の有無による固相率の変化をみると、荒川、長野土壤ではつき固めでわずか 3% 程度の固相率の増加をみるにすぎず、千葉砂土では 9% の増加を示している。第3図に示した貫入抵抗からもわかるように、荒川、長野土壤は固相率が高い

付近にピークを持つ凸型の分布がみられ、長野土壤では pF 2.5 から 5.5 付近まで台地型の分布曲線をとる、しかも pF 4.0 以上の非自由水が比較的多い傾向がある。長野土壤はモンモリロナイトの粘土鉱物を含むため膨潤水などの水和水を多量に保持するものと思われる。荒川土壤の第4層 (25 cm) は表層に比べて pF 0~3 の保水性がきわめて低く、pF 4 以上の非自由水は顕著に増加する。この第4層は固相率の大きい密層で、非毛管孔隙がきわめて少なく、つき固めなどの圧縮をうけると、この種の保水性曲線の型が変化するものと考えられる。長野土壤の場合も固相率の大きい第4層は、表層土に比べて pF 3 以下の保水性が低く密化による毛管孔隙の減少が推察される。

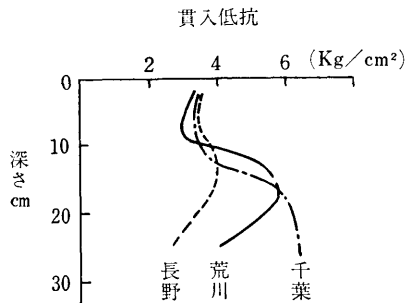
一方、千葉砂土では、pF 2 から吸引圧が増すにつれて保水性曲線は急速に低下し、pF 2.5 付近の毛管水の分布量がきわめて多いことが認められる。第2、3層は多少粘土を含む砂壤土であるが、第4層は海成砂層からなり pF 3 以上の保水性は著しく小さい。後述する圧縮区の耕盤層 (第3層) をつき固めた場合には、おそらく pF 2.5 以下の保水性が低下し難動態の毛管水が増加するものと思われる。

(2) 3相分布について

供試土壤の一般物理性は第1表と第2図に示した。まず3相分布をみると、荒川、長野の両土壤の3相分布の



第2図 3相分布



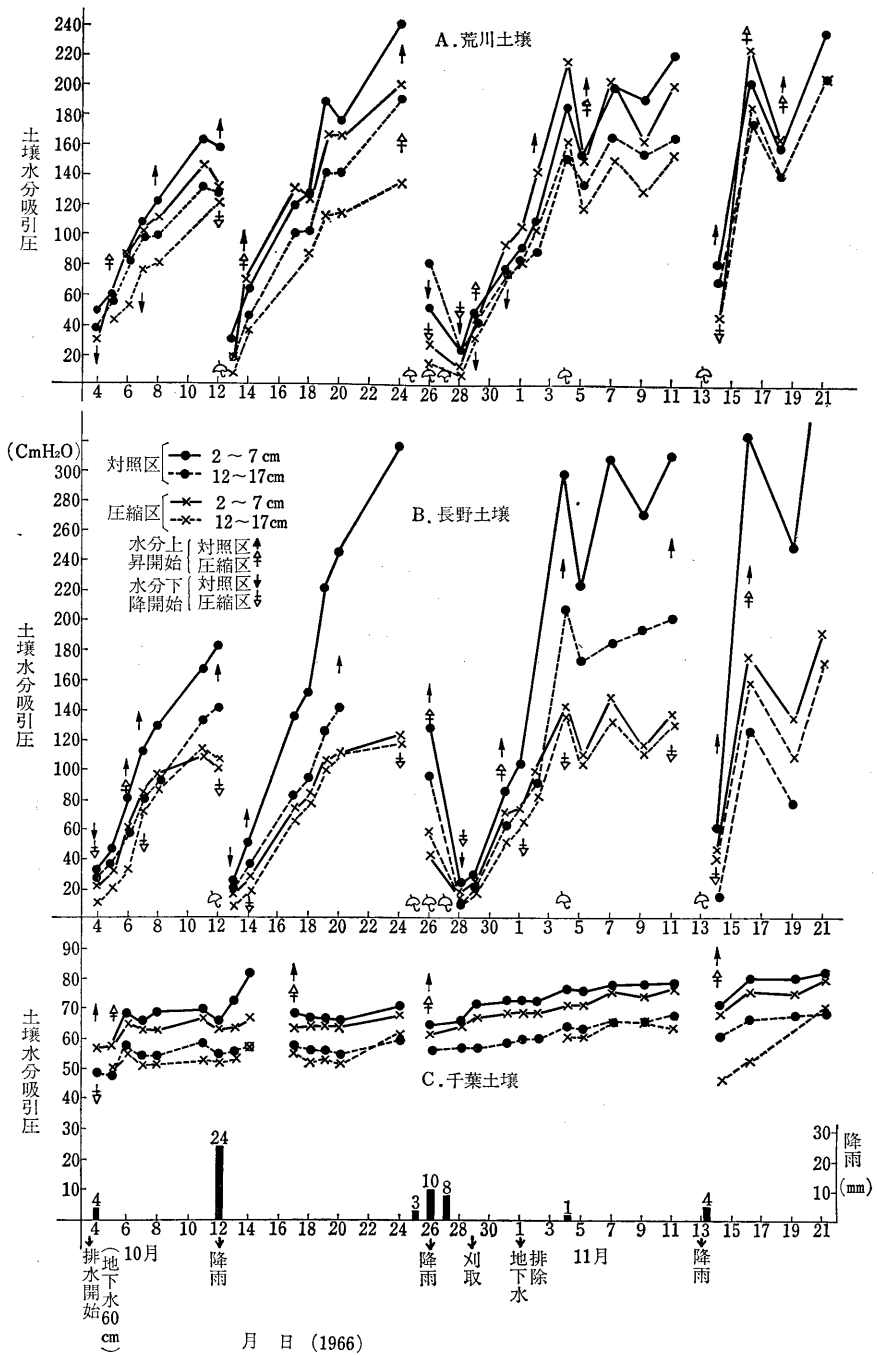
第3図 コーン貫入抵抗

うえにすでに深さ 15 cm の付近にスキ床層が形成されており、しかも多水分状態でつき固めているため圧縮による固相率の増加はきわめて少ない。その点千葉土壤では深さ 20 cm 付近にスキ床層がみられ、深さ 15 cm の部分はまだ充填圧縮の余地が残されて固相率を増加したものと思われる。

耕盤層の圧縮により、いずれの土壤も気相率と全孔隙は明らかに減少しており、とくに千葉土壤において顕著である。一作後の耕盤層の 3 相分布の変化をみると、荒川、長野土壤の対照区は固相率を減少しているが、圧縮区では、あまり変わっていない。対照区における固相率の減少については、春耕のさいの耕盤層の耕起あるいは漑水下の土壤の膨潤によるものと思われる。膨潤をおこさない千葉砂土では、いずれの区でも一作後の固相率は変わっていない。以上述べたごとく、一作後の 3 相分布の変化は圧縮区ではあまり認められないが、対照区では固相率の減少と気相率の増大が認められ、これが落水後の水分移動に影響を及ぼしているものと考えられる。

(3) 落水田における土壤水分吸引圧の変化

イネ刈取前後の土壤水分吸引圧の変化は第 4 図に示した。耕盤層に挿入したテンシオメーターカップが一部破



第 4 図 土壤水分吸引圧の経時的变化

損したので、測定値が抜けた個所がある。図中の矢印は土壤水の下降あるいは上昇移動の始まる時期を示しており、この移動方向は、作土層(2~7 cm)と耕盤層(12~17 cm)の動水勾配 ($\Delta\psi = \Delta h / \Delta l$, Δh : 2点間の吸引圧差, Δl : 距離) から判定した。

全般的にみて、落水と降雨後における吸引圧は漸次増大するが、4 mm 程度の降雨があれば急速に吸引圧は低下し再び蒸発と地下排水によって吸引圧は増大の傾向を示す。すなわち吸引圧の変化は気象条件により著しく変化しやすく、その影響は細粒質土壌の方が大きい。このような変化はとくに、吸引圧 pF 3 以下の保水性の低い土壌にみられ、砂土では比較的吸引圧の変化は小さく、土層間の水分平衡が早いようである。

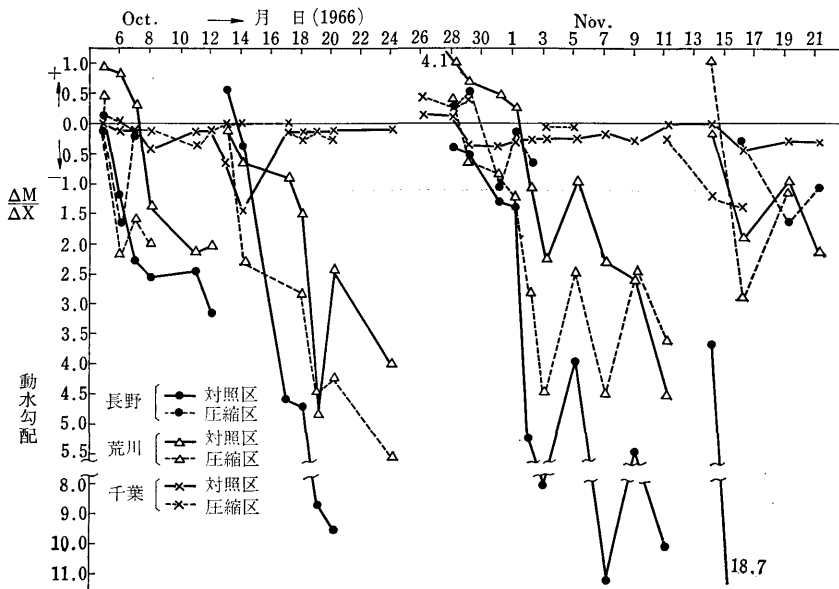
刈取前後の吸引圧の違いはあまり明らかでないが、刈取前の方が刈取後に比べて吸引圧の変化が大きく、下層の吸引圧が高くなる。また降雨量の多少で土壌乾燥に遅速を生ずると思われるが、一般に刈取後の方が早く吸引圧が増加する傾向が認められる。刈取前は地下水が供給され刈取後は排除した条件なので両者の水分変化を比較しにくい面もあるが、刈取前は植物群落で蒸発面の受光量が少なく通風も悪いから刈取後に比べて土壌乾燥のおくれを起こすことは容易に考えられる。

つぎに、耕盤層の圧縮による水分変化について述べる。刈取前の荒川土壌では、1層、2層とも対照区は圧縮区よりも低吸引圧の状態を経過している。しかし刈取後になると両者の差は小さくなり、表層では圧縮区の方が高い吸引圧を示す場合もありはっきりした傾向は認めがたい。土壌水の移動方向についてみれば、降雨時以外は上昇移動の場合が多く現われ、土壌面蒸発に伴う乾燥過程が支配的に起きることが推察される。長野土壌の場合は、全期間を通じて明らかに圧縮区の方が対照区より吸

引圧が高い。とくに対照区の1層では、水柱高 300 cm にも及ぶ高吸引圧に達しており、これに付随して2層の吸引圧も急速に増大する。一方圧縮区では、対照区に比べていずれの層も吸引圧はかなり低く、しかも1層と2層の吸引圧差は小さく水は下向に移動しているようにみえるが、テンシヨメーターの測定のプロなどを勘案すれば動水勾配は事実上0に近いものと考えられる。3相分布で述べたごとく圧縮区の耕盤層は固相率が57%、気相率0の密状態であり、全孔隙は比較的動きにくい毛管水で占められ不透水層を形成しているものと思われる。降雨で供給された水のごく一部は地下排水し、大部分の水は作土層に貯留されて蒸発による損失過程を経るものと考えられる。他方対照区の耕盤層は、固相率49%、気相率10%で重力水の地下排水は比較的容易に行なわれるものと考えられるので、作土層の残留水分はそれだけ少なくなり、蒸発による吸引圧の増加は早くなるものと推察される。

千葉砂壤土の場合は、荒川、長野土壌とは異なり吸引圧の増加はきわめて少なくほぼ平衡状態に近い変化を示す。このような変化の中で圧縮区は対照区よりも低い吸引圧を経過しており、両区とも水は上昇移動を主体とした変化をとることが認められる。もちろん落水または降雨直後では地下排水による下降移動をとるものと思われるが、重力水の排水は短時間に完了して土層間の毛管調整作用で平衡状態となり、以後は蒸発に伴う上向き水分動態に変わるものと思われる。圧縮区が低吸引圧を示す理由については、前述

した排水不良による保留水の増大のほかにつきのような点が考えられる。すなわち耕盤層が圧縮されると細孔隙が増え、毛管力の増加で水は細孔隙に吸引されて飽水状態となり、毛管力の働くメニスカスが減少する²⁾。しかし一部に空気が残っているから、その液気界面に弱い毛管力のメニスカスを形成して、低い吸引圧を示す状態をとることが考えられる。このような低い吸引圧を示す耕盤層の上に接する土層では、位置のポテンシャルだけ



第5図 作土層の動水勾配の経時的変化

低い吸引圧で平衡するものとすれば、全体的に吸引圧の低下を招来することが考えられる。この点は、土層圧縮で吸引圧の低下が起きるかどうかの吟味がなければならず今後の検討課題としたい。

つぎに、1層と2層間の動水勾配の変化をみると第5図のように示される。落水後または降雨後の乾燥過程における動水勾配は一側にほとんど含まれ、2層から1層への上昇移動が支配的に起きることが認められる。+側の動水勾配を示す時期は、落水または降雨後1~2日程度であり、この期間は地下排水による水分損失過程が主要なものとなされる。下降移動から上昇移動に変わる点すなわち動水勾配0の点はいわゆる圃場容水量に相当する水分状態と考えられるが、第1報で述べたごとく細粒質土壌では乾燥に伴う構造変化により一定の圃場容水量を示し得ないことがむしろ問題として重要である⁷⁾。もちろん蒸発のない条件下で排水のみを行なわせれば下降移動の停止点があるいは存在するかもしれないが、本実験の条件下で水田の圃場容水量を論ずるにはあまり適当でないと考える。しかし排水のよい千葉土壌の場合は、動水勾配は0の近くで変化しているから、一応圃場容水量の吸引圧の推定が可能であり、第4図に示した落水2日目の吸引圧は地下水面上の高さの水柱高にほぼ対応している。

動水勾配の土壌間の差異については、長野土壌の対照区で最も変化が大きく、ついで荒川土壌、千葉土壌の順に小さくなる。対照区と圧縮区の間には一定の傾向は認めがたい。

以上述べたことを要約すると、圧縮区の作土の水分状態が低吸引圧で変化することおよび乾燥過程における水の運動方向が下降移動より上昇移動が優勢であることな

どから、耕盤層の圧縮は作土層内の地下排水を抑制して保留水分を増加させ、これが落水または降雨後の土壌水分吸引圧を低下させるものと推察される。

4. まとめ

ライシメーター水田における耕盤層の圧縮の有無による落水後の水分変化を追跡し、つぎの結果を得た。

(1) 耕盤層のつき固めにより固相率は3~10%程度増加し、逆に気相率は10%程度減少して透水性を低下しているものと思われる。しかも田植前につき固めた圧縮層は、一作後でもほとんど固相率は変わらず、逆に対照区では固相率は減少して気相率が増加し透水性が高まるものと思われる。

(2) イネ刈取後の落水田の土壌水分吸引圧は、圧縮区の方が対照区に比べて低い吸引圧で変化する。落水後または降雨後の作土の乾燥過程では、おもに上昇移動による水分動態を示し、蒸発による水分損失が支配的に起きることが推察された。

(3) 耕盤層圧縮の影響は、作土層に保留された水の地下排水を抑制して貯留水分の減少をおさえ、これが蒸発に伴う土壌乾燥をおくらせる原因であることが推察された。

謝辞 この研究を進めるにあたり農技研土壌物理研究室の方々から多大の協力をうけた。記して厚く謝意を表す。また、有益なご指摘をいただいた農技研横井肇氏に謝意を申し上げる。

文 献

- 1) 寺沢四郎：水田の落水後の水分動態（第1報），土肥誌，41，383（1970）
- 2) 美園 繁・川尻美智子：水田土壌の物理性に関する研究（第2報），土肥誌，35，422（1964）