

報 文

水田土層の物理的性質とその浸透量との関係について

山崎 不二夫* 八幡 敏雄 田淵 俊雄
多田 敦 田淵 公子

(東京大学農学部)

I はしがき

われわれは先に秋田県六郷地区の機械開田地域において開田方法や開田後の年数による水田浸透量の相異を問題にしたが、⁽¹⁾それはいわば水田浸透を表面的に扱ったのであつて、その水田土層の内部構造にはほとんどふれなかつた。こゝでは前報⁽¹⁾で述べた水田群の中から土層が平面的に均一な水田を2枚えらんで、浸透量測定と同時(35年7月)に土層の物理的性質の測定をおこなつた結果にもとづき水田土層の物理的性質とその浸透量との関係を究明する。

II 浸透量を規定する要因

まず最初に単位断面積当りの浸透量(q)を規定する要因について考えてみると、それには水頭勾配(J)と呼ばれるポテンシャルの項と透水係数(K)と呼ばれる抵抗係数の項がある。前者は境界条件であり後者はその土層のもつ特性である。これを式に表わすと $q=KJ$ といわゆるDarcy式である。

水頭勾配。水頭勾配は水の土層への流入点と流出点が決まれば、その間を流線がたどる長さ L と流入流出两点の水頭差 Δh により $\frac{\Delta h}{L}$ で表わされる。これを図1のような下端に飽水したレキ層がある水田を

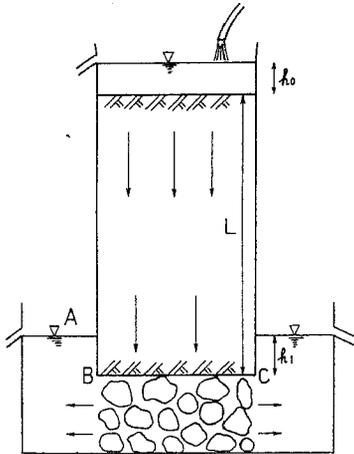


図-1

仮想して考えてみよう。レキ層の透水係数が土層の透水係数よりも非常に大きければ、レキ層の中の水頭損失は0とみなすことができるから、土層の下端B-Cでは水頭はすべて等しい。そして土層中の水の流れはすべて鉛直下方に向つて生じ、その土層下端B-Cは流出面とみなすことができる。この場合には流入面と流出面の水頭差は $h_0 + L - h_1$ で水頭勾配は $\frac{h_0 + L - h_1}{L} = 1 + \frac{h_0 - h_1}{L}$ である。ところがレキ層の中の水頭損失が0でない場合には浸透層の中にレキ層を含めて考えなければならないから、土層の下端B-Cは流出面とみなすことができず、流出面としては排水面Aをとらなければならない。そして流れも鉛直方向ばかりでなくなるから、その解析には複雑な流線網を画くことが必要となつてくる。実際の水田において流出面と考えられるのは不飽和なレキ層、暗キヨ、排水路水面、地下水面(偽地下水面⁽²⁾ではない)等であるが、このような水田浸透水の流出先をも含めて考えた水田土層内の水の運動に関する研究はまだほとんどおこなわれておらず、いろいろと不分明のことが多い。

透水性。これには大別して2種類あり、第一はかなり太い根や動物のあけた穴やキレツから成るもので、それが流入面から流出面まで連続的につながっていればその浸透量に対する影響は決定的に大きい。第二は透水係数によつて一般に表示されている土壤間ゲキの性質である。これはDarcy式の係数とし

* 昭和36年6月22日受理

て定義されて古くから研究の対象となつている。(ただしこれら2種類の透水性は土壤構造的にも浸透の機構の上からも明確に二分されるものではない。)こゝでは研究の対象を後者の透水性にしばり実験水田もキレツや大孔ゲキのないと思われるものをえらんだが、今後、前者のような非平均的な透水構造の水田の研究もおこなう必要がある。

透水係数と飽和度。透水係数には飽和透水係数と不飽和透水係数の2種類がある。正確には透水係数は土壤含水量の関数であつて、その値は含水量によつていろいろに変化する。しかしながら透水性の指標として一般に用いられているのは飽和透水係数 K_0 、すなわち間ゲキの中が水ですべて飽和されている時の透水係数である。この値が大きければその土の透水性が良いといふ、小さければ透水性が悪いといふ。ところがAB2つの土柱をとり上げてAの K_0 がBの K_0 より大きいからAの方がBよりも常に透水性が良い状態にあるといふことはできない。それは透水係数が含水量によつて変化するためであつて、この場合にAの含水量が小さくBの含水量が大きければ、たとえ K_0 が $A > B$ であつてもその時の透水係数 K が逆に $A < B$ になることもありえる。このように透水係数が含水量によつて変化する例として表2の飽和透水係数 K_0 と準飽和透水係数 K_0' をあげることができる。準飽和透水係数は土柱試料の下端から水を試料内に浸みこませた後に測定した値であつて、どの試料も含水量が飽和に達しておらず、その値は K_0 より低い。

含水量分布。以上のように透水性には含水量が影響するから、実際の水田の透水性を判断するためには水田土層の各深さの K_0 だけを測定しただけでは不十分であり更に各土層の含水量を知る必要がある。しかし含水量は変動するものであるから、詳しくは時期的な変動状態や変動をおこす要因について知らねばならない。含水量分布の変動は大別すれば次の2段階に分けて考えることができよう。第一は浸透がおこるまでの経過によつて定まる含水量で、水が土層に浸入する時に第一次的に定まるものである。この際にはその土層の成層状態や含水量分布、水の浸入条件等が影響しよう。第二は浸透がおこつた後に生じる二次的な変化である。この際には土壤の化学的組成、有機物、微生物などが影響を及ぼすであろう。

III 実験結果の検討

浸透量。表1に示したように土層の物理的性質測定時(35年)にはNo.1の水田で 6mm/day ($7 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$) No.2の水田で 3.0mm/day ($3.5 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$)であつた。

表-1

水 田	開 田 方 法	mm/日			
		減 水 深		平均浸透水深	
		34年	35年	34年	35年
No. 1	30年人力開田 35年ブルドーザ開田仕直す	127	9.5	86	6.0
No. 2	29年人力開田	75	38	108	30

この平均浸透水深は東大式降下浸透量測定器⁽³⁾で水田内16ヶ所を測定した値の平均である。この値を降下浸透量(流れは鉛直と仮定する)として以下の話を進めてゆく。これによるとNo.1の浸透量とNo.2の浸透量の比は1:5であり、その原因はNo.1の水田がブルドーザ開田をしたことにあることがわかつ

ている。(1)

(註) No. 1, No. 2の水田の概況については文献1を参照されたい。No. 1及No. 2の水田は文献1の中の水田D及Bに相当する。

飽和透水係数の分布。thinwall sampler で深さ10cmごとに構造を乱さない試料を2ヶづつ採取して実験室にもちかえり、真空減圧下で飽水させ飽和透水係数 K_0 を測定した。表2の結果は2

表-2

水田	深さ cm	三相分布%			Eh mV	pH	腐植 %	真比重	土性	飽和透 水係 数 K_0 $10^{-3}cm/sec$	準飽和状態			自然状態				記 号
		Vs	Va	Vw							飽和 度%	K_0 $10^{-3}cm/sec$	K_0/K_0	飽和 度%	水頭 勾配	K $10^{-3}cm/sec$	K/K_0	
1	10-20	25	7	68	+108	7.0	16.5	2.3	CL	0.1	94	0.07	0.7	91	1.9	0.004	0.04	A
	20-30	26	9	65	+431	6.3	10.8	2.4	SL	0.1	92	0.09	0.9	88	1.9	0.004	0.04	B
	30-40	26	12	62						2	89	0.2	0.1	85	1.6	0.005	0.003	C
	40-50	26	11	63						3	91	0.3	0.1	85	1.3	0.005	0.002	D
	50-60	33	10	57	+353	6.1	4.0	2.6	SL	2	93	1	0.5	85				E
2	10-20	23	3	74	+413		15.6	2.4	SL	0.05	92	0.04	0.8	92	2.3	0.02	0.4	a
	20-30	23	14	63						3	89	0.5	0.2	82	1.0	0.04	0.01	b
	30-40	25	15	60	+472		6.8	2.6	LiC	2	89	0.4	0.2	81	0	∞		c
	40-50	26	14	60	+512	6.2	4.9	2.6	SL	3	90	0.6	0.2	81	0.2	0.2	0.07	d
	50-60	32	14	54	+474	6.0	1.1	2.7	SL	4	89	0.8	0.2	80				e

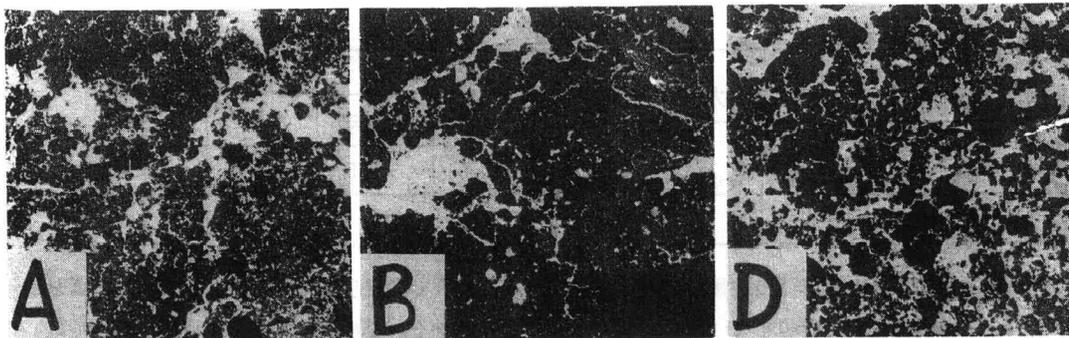
Vs : 土の固体部分の容積率%

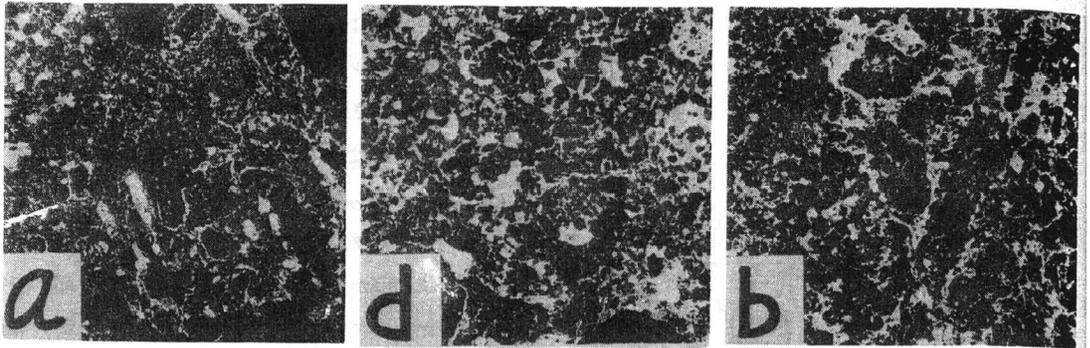
Va : 土の空気含有率

Vw : 土の含水率

ヶの試料の平均値である。この両水田の土層の透水係数の分布をみると特徴的なことが2つある。第一は透水係数の値によって土層が上と下の2つのグループに分けられることであり、第二は同じ20-30cmの深さの層でNo. 1とNo. 2の値が違うことである。これはNo. 1がブルドーザで転圧された結果であろう。またNo. 2ではその土層が手で触れた感じではいわゆる盤らしくなっているにもかかわらず、 K_0 の値がその下層とほとんど同じなのは興味深い。

プレパラート構造。乱さない試料をそのまま風乾してからバルサムで固定してプレパラートを作り土壌構造を拡大(10倍)してみたところ、次のようなことがはつきりした。(写真ABD, a b d)





No. 1 (写真 A, B, D), No. 2 (写真 a, b, d) とも上層の透水性の小さいグループに属する土では大きな間ゲキは存在するが地肌はべつたりして間ゲキの数は少ないし、下層の透水性の大きい土では大小様々な間ゲキが縦横に存在し、固体部分は地肌というよりは粒子のように分散している。特に深さ 20-30 cm の層における No. 1 (B) と No. 2 (b) の間ゲキ状態が相異している。このようにプレバレート構造によって分けたグループ区分は飽和透水係数によっておこなったグループ区分と良く一致するようである。

このようにプレバレート構造は透水係数と密接な関係にあるが、透水係数を規定する一要因と考えられている間ゲキ率はまったく関係がないようにみえる。(図 2) さらに真比重、土性、腐植含量なども

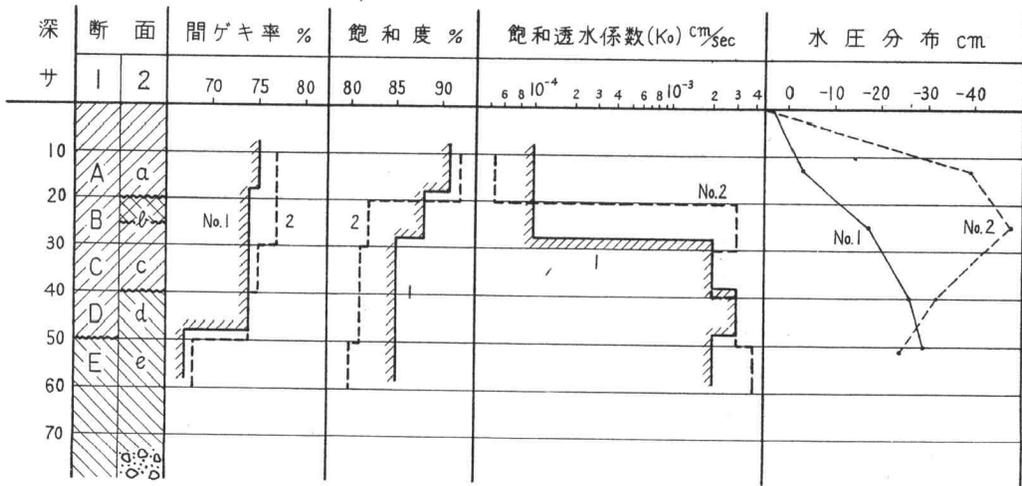


図 - 2

測定したが、これらによっても土層の上層と下層の差がはつきりしている。しかしながらこれらと透水係数がどの程度関係しているかということはこれだけのデータからでははつきりしない。特に No. 1 の水田のように人為的に締固めた場合には、その関係は薄くならざるをえないであろう。

飽和度の分布。これも表 2, 図 2 に示したように K_0 と同様にかなりはつきりと 2 つのグループに分

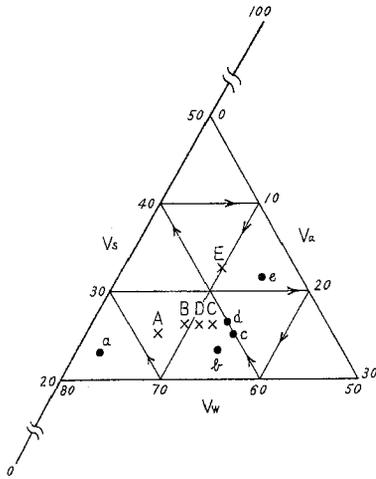


図-3 三相分布

ちに水田土層の浸透へ持ちこむだけの知識をわれわれは残念ながらもつていない。

透水係数Kの分布。以上のように飽和度が100%でなくしかも不均一であるから、先にえたK₀の分布がそのまま浸透時のKの分布になってはいないことが推察される。そして透水係数の大きいグループは飽和度が低く、透水係数の小さいグループは飽和度が高いという飽和度分布の特徴から判断されることは、各深さの透水係数Kの差が均和透水係数K₀の差ほど大きくはないということである。すなわちちみつな上層の透水係数と粗しような下層の透水係数とが飽和度の違いによつて実さいにはかなり近接した値になっているということが推察される。また上層はタン水の下にありながら意外なほど不飽和で、せいぜい90%程度であるから、その部分でさえKとK₀とは一致せず、KはK₀よりかなり小さいというのがむしろ一般のようである。

そこで実際の透水係数を知るために水頭測定⁽⁶⁾をおこなつて水頭勾配Jを算出し、 $K = \frac{q}{J}$ の式からKを算出した。この際、下層の値も算出したが、含水量がかなり低いから開放浸透⁽⁴⁾や部分的流れ⁽⁵⁾といった場合も考えられ、上層と同じように計算することはかなりの危険を含んでいる。この値をK₀と比較してみると予期したとおりかなり小さい。そして各深さのKの大小関係はK₀ほどの開きはなく、かなり均一化している。たとえばNo.1の20-30cmの層と30-40cmの層の比がK₀では $\frac{0.1}{2} = \frac{1}{20}$

であつたのが、Kでは $\frac{0.004}{0.005} = \frac{1}{1.3}$ になつており、上層の透水性の悪いグループと下層の透水性の良いグループが飽和度の媒介によつて大幅に近寄つたことを示している。またこのことはNo.1とNo.2の土層の最も特徴的な違いだつた深さ20-30cmの透水性に関してもいえることで、K₀では

$$\frac{0.1}{3} = \frac{1}{30} \quad \text{であつたものが} \quad \frac{0.004}{0.04} = \frac{1}{10} \quad \text{にまで変化している。}$$

以上、水田浸透と土層の物理性の関係について土層の1m深くまでめぐりこんで調べることを試みたが、水田浸透量の予知というような目標達成のためには予期したように多くの問題が未解決のまゝに残されており、ここではそれらの問題点を並べただけに終つてしまつたようである。今後、水田浸透水の

かれる。すなわち飽和に近い上層(90%台)と飽和度の低い下層(80%台)である。ただしNo.1の20-30cmの層は中間的な値、88%を示し、No.2の20-30cmの層は下層のグループの値82%を示している。このように飽和度が深さによつて不均一なので、土層の透水性を推定する時にはK₀の分布とともに飽和度分布もとり上げなければならない。

しかしながらタン水時の水田土層内の含水量分布、特にカンガイ初期からの含水量変化といった方面の研究はなおざりにされてきており、簡単な砂による室内実験的なことさえもまだほとんどおこなわれていない。たとえば砂に関して得られた「開放浸透」⁽⁴⁾や「部分的流れ」⁽⁵⁾の知識は「密-粗の成層状態における下層のかんりの不飽和状態」を一応説明してくれそうであるが、それを直

追跡、水田土層の含水量分布の変化、等について更に研究を進めていかなければいけないと痛感している。

終りに実験調査を熱心に手伝って下さった岩手大、石川武男、長崎明両氏、宇大、伊藤精延氏、東大沢野佐知子嬢に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 下層に砂レキ層をもつ浅耕土漏水田の浸透について、山崎、八幡、田淵、石川、長崎、農土研 29.1
- 2) 半湿田の土壤断面の物理的性質と浸透、山崎、八幡、長田、田淵、農土研 28.4
- 3) 水田の降下浸透量の新しい測定法、山崎、八幡、長田、岩田、田淵、農土研 27.6
- 4) 成層土壤の降下浸透に関する研究、山崎、研究の資料と記録 6集(東大土地改良研究室)
- 5) 浸潤とそれに続く浸透Ⅱ、田淵、農土研別冊 2号
- 6) 台地水田の降下浸透 山崎、八幡、田淵、農土研 28.3