

## マレーシャ・ムダ地区における重粘性土壌の物理性について

山下恒雄\*・永石義隆\*\*

Physical Properties of the Heavy Clayey Soils in Muda Area, Malaysia

Tsuneo YAMASHITA

Tropical Agriculture Research Center

Yoshitaka NAGAISHI

National Research Institute of Agricultural Engineering

## 1 ま え が き

マレーシャ・ムダ地区はマレー半島中央西海岸に位置する約10万haの重粘土水田地帯である。当地区ではカンガイ排水事業が進み、1970年から水稻の2期作栽培が行われている。当地区の水稻作期は主に乾期作が2月にシロカキ、3～4月に田植、7～8月に収穫、雨期作は8月にシロカキ、9月に田植、11月に収穫である。2期作を始めてから、乾期作の収穫作業及び雨期作のシロカキ作業は雨期の7～9月に遭遇する。この時期は雨のためホ場が湛水状態であり、排水施設の不備によるホ場の地耐力低下、また、大型農業機械の使用により水田耕盤の破壊などが原因で、コンバイン及びトラクターの使用が困難となってきた。一方、収穫期の労働力不足の解決や短期間に収穫完了をしなければならぬことなどの理由で、収穫作業の機械化は重要な問題である。収穫作業の機械化は機械の改良と選択、及び水田の地耐力強化の2つの方向から進める必要がある。

水田の地耐力を強化するためには、排水を十分に行う必要があるが、表面排水のみでは地耐力の強化は十分でない。重粘土水田では、土壌キ裂によって土壌水を吸水し、暗キヨとキ裂が連通して地下排水が行われ地耐力の強化ができる。

ここでは、本地区の水田土壌の物理性を紹介すると同時に、土壌キ裂の消長並びに地耐力低下の原因を究明するため、2・3の実験を行ったので報告する。

## 2 実 験 方 法

実験は試験ホ場の物理性、シロカキ作業による透水性の変化、湛水による土壌キ裂の崩壊及び地耐力と含水比、地下水位の関係を検討するために行った。

## 2-1 試験ホ場の土壌物理性

供試試料の採取は雨期（湛水期間中）及び乾期の両期間について行い、不攪乱試料は100cc円筒を使用し、攪乱試料はオーガーを使用して採取した。粒度分析は比重計法によって行ったが、分散剤はヘキサメタリン酸ソーダを使用した。比重試験はJIS規定で行った。コンステンシー試験は生土から2mm以上のレキや草木の根など除いて試験を行った。密度及び3相分布は100cc円筒で採取し、測定した。

## 2-2 透水試験

室内透水試験は100cc円筒によって採取した試料を用い、変水位透水試験法によって行った。現場透水試験は乾期においてはオーガーホール法、雨期（湛水期）においてはチューブ法によった。オーガーホール法は図-1に示すように測定孔をオーガーによって直径10cm、深さ50cmに掘り、水位と時間を測定し、図-1に示す式で透水係数を算出した。チューブ法は図-1に示すようにシリンドーを地中に押し込み、ガラス管によって水位変化と測定時間をはかり、図-1に示す式で透水係数を算出した。

また、シロカキ作業によってホ場の透水係数が減少する傾向がみられるため、室内実験を行った。実験は図-2に示す透水試験器を使用し、作土の土塊分布の異なった2種類の土をかきまぜる程度を強、中、弱に変え、シリンドーに詰め、経過日数による透水係数の変化を測定した。

## 2-3 スレーキングテスト

当地区において、乾期には蒸発によりホ場面に多数のキレツが発生する。しかし湛水するとキレツはほとんどなくなり、シロカキによって完全に消滅する。1つの原因として土壌がスレーキングをおこなっているためである

\*前・熱帯農業研究センター（現・農業土木試験場佐賀支場）

\*\*前・農業土木試験場佐賀支場（現・四国農業試験場土地利用部）

## 1. オーガーホール法

1)  $3h < Tu$  の場合

$$K_{20} = \frac{Q}{2\pi h^2} \times \left[ \log_0 \left\{ \frac{h}{r} + \sqrt{1 + \left( \frac{h}{r} \right)^2} \right\} - 1 \right] \frac{\mu_t}{\mu_{20}}$$

2)  $h \leq Tu \leq 3h$ 

$$K_{20}' = \frac{3 \cdot Q \cdot \log_e(h/r)}{\pi \cdot h \cdot (h + 2Tu)} \left( \frac{\mu_t}{\mu_{20}} \right)$$

$K_{20}$  : 透水係数 (cm/sec)

$Q$  : 単位時間当りの透水量 (cm<sup>3</sup>/sec)

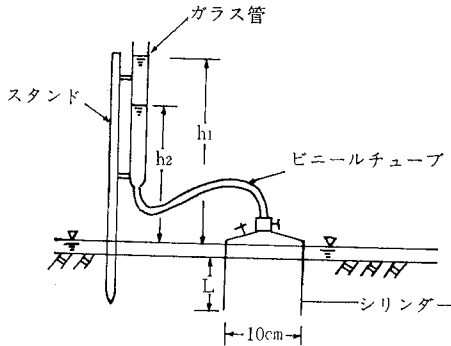
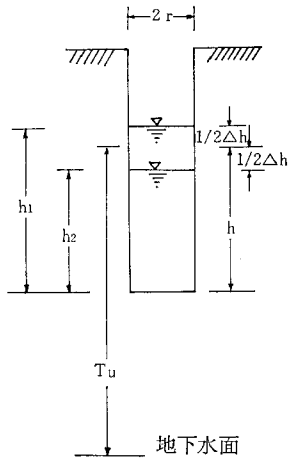
$$Q = \frac{\pi r^2 (h_1 - h_2)}{t_2 - t_1}$$

$h_1$  と  $h_2$  : 時刻  $t_1$  と  $t_2$  における水位 (cm)

$r$  : オーガーホールの半径 (cm),

$Tu$  : 測定水位から地下水面までの距離 (cm)

$\mu_t$  と  $\mu_{20}$  : 測定時および20℃における水の粘性係数



## 2. チューブ法

$$K_{20} = \frac{a \cdot L}{A} \times \frac{2.30}{t_2 - t_1} \times \log \left( \frac{h_1 + L}{h_2 + L} \right) \left( \frac{\mu_t}{\mu_{20}} \right)$$

$K_{20}$  : 透水係数 (cm/sec)

$a$  と  $A$  : ガラス管とシリンダーの断面積 (cm<sup>2</sup>)

$L$  : 土壌中に押込んだシリンダーの長さ (cm)

$h_1$  と  $h_2$  : 時刻  $t_1$  と  $t_2$  における水位 (cm)

$\mu_t$  と  $\mu_{20}$  : 測定時および20℃における水の粘性係数

図-1 現場透水試験方法および算出式

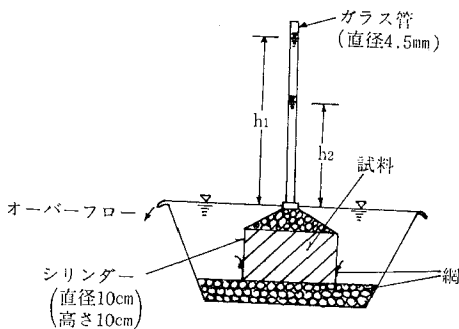


図-2 透水試験器

と考えられたのでこのテストを実施した。

このテストには基準はないので、佐藤<sup>(1)</sup>の方法に基づいて行った。しかし、一部実験器具の不足のために変更した。試料は作土(0~10cm), 下層土2種類(30~40cm, 40~50cm)の3種類を使用した。試料は液性限界に相当する含水比で十分練り合わせてから、図-3に示すような直径5.6cm, 高さ1.0cmの塩ビ製リングに気泡を追い出

すようにして均一に詰めて供試体を作成した。この場合、リング及びプラスチック板にはグリスを薄く塗布して、供試体の収縮を容易ならしめた。試料は自然乾燥(気温28~35℃, 湿度75%程度)により含水比を調節し、各3個の供試体を3~4mm目の金網上に置き、水中に静かに1日間浸漬させた。その後、金网上的残留分の土と崩落した土の炉乾燥土重量を求め、全重量に対する崩落土の百分率を崩落率(%)とした。

## 2-4 pF-水分の測定

この実験の試料は100cc円筒によって採取した不攪乱試料と、オーガーによって採取した攪乱試料の2種類を使用し、pF, 1.0まで土柱法で、pF, 2.8まで吸引法で実験を行った。pF, 5.5及び7は風乾及び絶乾時の含水比とした。

## 2-5 ホ場における地耐力と含水比、地下水位の関係

乾期の初めに水田が乾燥していく条件を利用して、ホ場において地耐力と含水比、地下水位の関係を調査した。オーガーでホ場に測定孔を直径10cm, 深さ60cmに掘り、

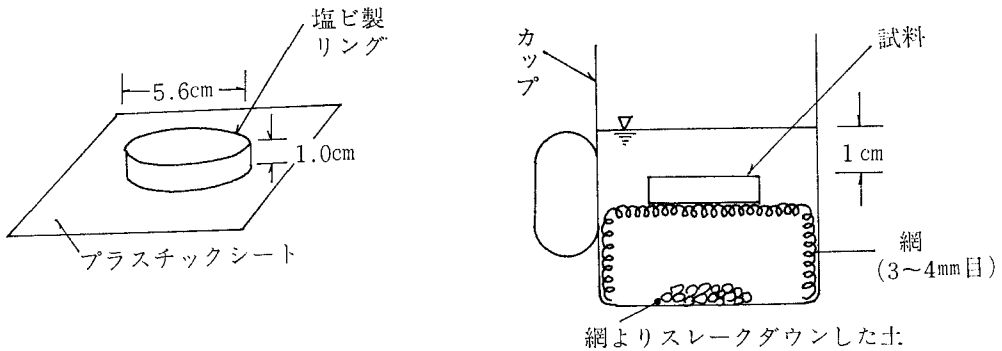


図-3 スレーキングテスト試験器

そこで地下水位を、その周辺で土質常数測定器（コーン断面積3.14cm<sup>2</sup>、自記式）を使用して地耐力を、100cc筒で土を採取して含水比を測定した。蒸発量はこの測定地点より約150m離れた気象観測施設のデータを利用した。なお、この試験地点より排水路までの距離は約120mであった。

2-6 室内実験による地耐力と含水比、地下水位の関係

試験ホ場より土を採取し（深さ0~40cm）、根や石などの障害物を取り除き、十分に練りかえして、ポリバケツ（84ℓ）に入れ、自然乾燥を行いながら、地耐力、含水比及び地下水位を測定した。

3 実験結果

3-1 試験ホ場の土壌物理性

調査は雨期（1977年10月）と乾期（1978年3月）に行ったもので結果を表-1に示す。

この結果より、試験ホ場の土壌は粘土含有量が多く（0.005mm以下で75%、0.002mm以下で60%）、乾燥密度及び

固相の値は大きい。自然含水比は当然のことながら、雨期に大きく乾期に小さいが、深さ40cm以下では年間の変化はあまり大きくない。液性限界は下層にいくほど大きな値を示すがソ性限界はほとんど変化はない。ソ性図（図-4）に示すように液性限界（WL）とソ性指数（Ip）の関係はIp=1.14（WL-39）で示され、A線より大きい勾配で、ほとんど値はA線の上に位置する。なお、日本の土壌の1例として、有明粘土では液性限界とソ性指数の関係はIp=0.74（WL-24）で示される。乾期に50cm×50cm×10cmに3層の穴をほり空隙量を測定した結果、表層（0~10cm）では平均44%の値であるが、30cm以下ではほとんどない。もっとも深いキ裂は70cmであった。

3-2 透水試験

試験ホ場において採取した不攪乱試料の室内実験による透水係数を表-2-1に、ホ場で乾期と雨期に行った現場透水係数を表-2-2に示す。

雨期における現場透水係数と雨期に土を採取して測定した透水係数は非常に小さい値であった。これに対して

表-1 試験ホ場の土壌物理性

試料採取時	深度 (cm)	自然含水比 (%)	真比重	密度 (g/cm <sup>3</sup> )		三相分布 (%)			コンソリデーション (%)			粒度分析 (%)		
				湿潤	乾燥	固相	液相	気相	液性	ソ性	ソ性指数	0.005 mm以下	0.005~0.074 mm	0.074 mm以上
1977年 9月26日 ~10月5日 (雨期)	0~10	76.2	2.60	1,494	0,855	32.9	63.9	4.3	86.0	36.2	49.8	74.1	24.9	1.0
	10~20	62.5	2.59	1,612	0,998	38.6	61.4	0.9	83.6	35.4	48.2	72.7	26.4	0.9
	20~30	51.9	2.61	1,693	1,120	42.9	57.3	0.6	85.1	34.0	51.1	74.3	24.2	1.0
	30~40	44.5	2.66	1,736	1,203	45.2	53.4	1.6	93.7	31.4	62.3	76.7	22.2	1.1
	40~45	44.8	2.71	1,733	1,147	44.2	53.6	2.2	101.1	31.3	69.8	78.6	19.5	2.0
1978年 3月10日 ~26日 (乾期)	0~10	20.7	2.55	1,464	1,213	47.5	25.3	27.2	73.4	34.3	39.1	76.3	23.3	0.5
	10~20	27.5	2.59	1,751	1,375	53.3	37.6	9.3	76.8	33.1	43.7	74.0	25.3	0.7
	20~25	28.9	2.62	1,856	1,439	55.0	41.6	3.4	81.8	33.9	47.9	73.5	25.6	0.9
	30~35	35.6	2.62	1,766	1,306	49.7	46.5	3.8	92.5	30.2	62.3	78.0	21.0	1.0
	40~45	40.4	2.72	1,804	1,281	47.1	51.9	1.1	102.5	29.6	72.9	73.5	24.6	1.9

(注) この結果は雨期では24点、乾期では17点の平均値である。

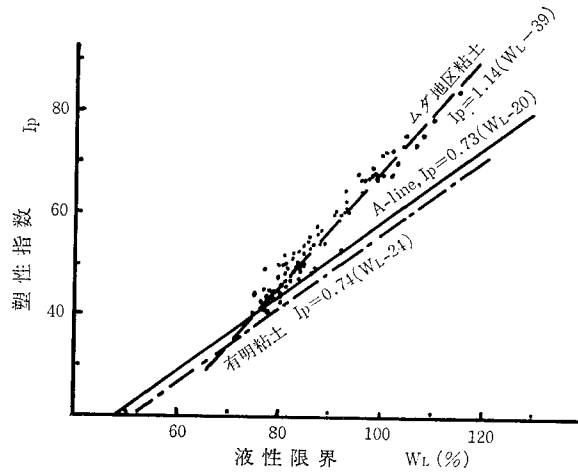


図-4 ソ性図 (日本統一土質分類)

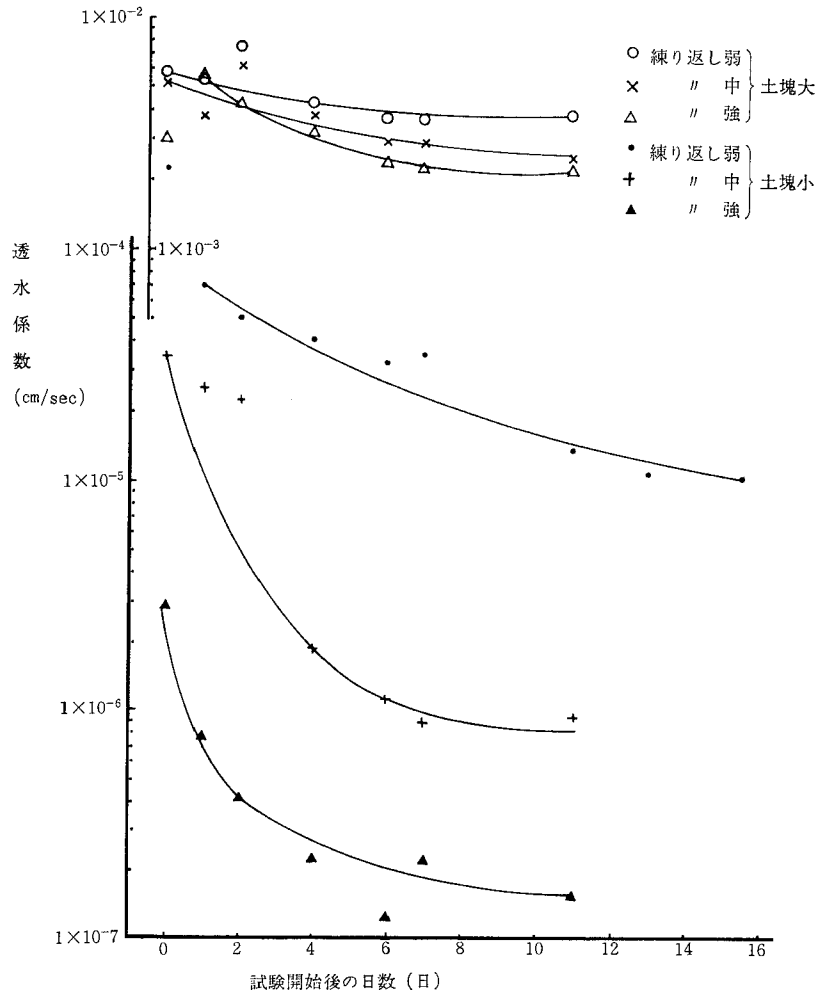


図-5 作土の透水係数

表一2-1 不攪乱試料の透水係数

採取深度(cm)	透水係数 (cm/sec)
15 ~ 20	$1.23 \times 10^{-6}$
20 ~ 25	$2.72 \times 10^{-7}$
30 ~ 35	$1.28 \times 10^{-7}$
40 ~ 45	$4.53 \times 10^{-7}$

(注) 試料採取日は1979年5月30日

表一2-2 現場透水係数

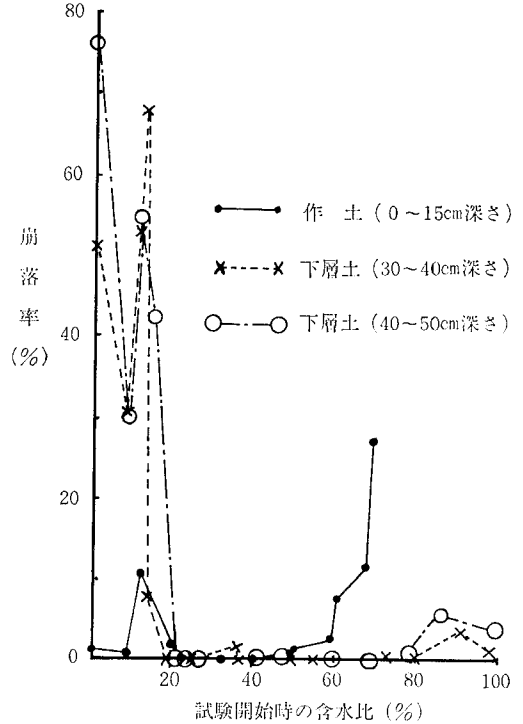
測定月	深度 (cm)	透水係数 (cm/sec)	測定月	深度 (cm)	透水係数 (cm/sec)
3月 (乾期)	0~25	$3.90 \times 10^{-2}$	6月 (雨期)	0~10	$8.33 \times 10^{-6}$
	25~40	$2.70 \times 10^{-3}$		14~24	$9.42 \times 10^{-7}$
	40~50	$2.86 \times 10^{-4}$		24~30	$5.07 \times 10^{-7}$
	50~60	$1.14 \times 10^{-5}$			

表一3 室内透水試験の供試土の土塊の分布

	25.4mm 以上	25.4~ 19.1mm	19.1~ 2.0mm	2.0mm 以下	供試時の 含水比
	%	%	%	%	%
粗を供試土	1.7	37.4	42.9	18.0	6.8
細かい供試土	0	0.7	70.4	28.9	6.1

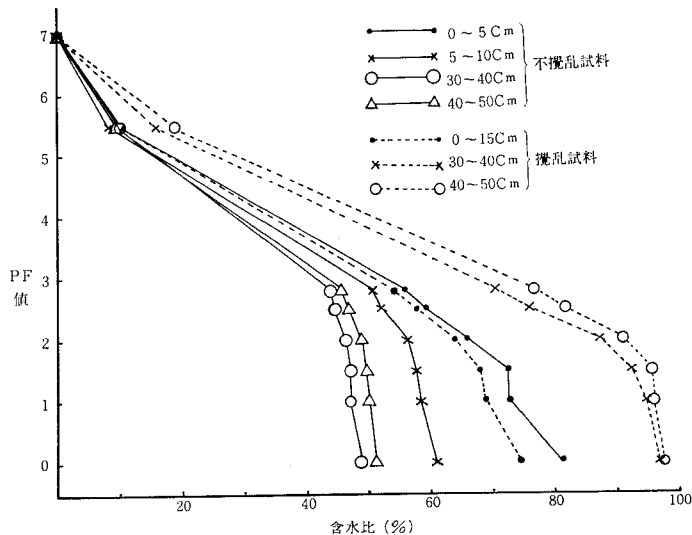
乾期の現場透水係数は極めて大きな値となっている。このことは、土壌の透水性が土壌キ裂によって大きく左右されることを表わしている。

また、シロカキ作業によってホ場の透水係数が減少するため、作土を採取し、かきまぜて室内透水試験を行った。その結果を図一5に、試験に使用した土塊の分布を



図一6 スレーキングテスト結果一

表一3に示す。この結果から、土塊が大きい場合は土をかきまぜる程度にかかわらず透水係数は $10^{-2}$ cm/secであった。しかし、土塊が小さい場合は土をかきまぜる程度により透水係数は大幅に変化する ( $10^{-5}$ ~ $10^{-7}$ cm/sec),したがって、シロカキ作業によって土の透水係数を減少させないためには耕耘作業により土塊を小さく碎かないようにし、シロカキ作業をなるべく少なく行う方が良い。



図一7 PF値と含水比の関係

## 3-3 スレーキングテスト

スレーキングテストの結果を図-6に示す。なお、図中の値は3個の平均値を示す崩落率(%)は次式で算出した。

$$\text{崩落率}(\%) = \frac{\text{金網からスレークダウンした土の乾燥重量}}{\text{供試土の乾燥重量}} \times 100$$

この結果より、作土と下層土は異なった特性を示す。乾燥状態(含水比20%以下)では、下層土はスレーキング作用を受けやすく、崩落率の最高は30~40cm深さの試料で68%、40~50cm深さの試料で75%であったが、作土は11%であった。含水比20~60%の領域では、作土も下層土もスレーキング作用を受けにくく、崩落率は5%以下であった。含水比60%以上の時には、作土はスレーキング作用を受けやすく、崩落率は30%であったが、下層土はスレーキング作用を受けにくく10%以下であった。

## 3-4 pFと含水比の関係

試験結果を図-7に示す。

この結果より、自然土の場合、作土は粗孔隙が多いが下層土は非毛管孔隙が多く、透水性が極めて低いことを示している。

## 3-5 ホ場における地耐力と含水比、地下水位の関係

結果を図-8, 9, 10に示す。

この結果より、地耐力は含水比60% (0~25cm深さの平均値) 以下、地下水位30cm以下になると増加が著しい。また、地下水位を30cmに低下させるためには蒸発のみを排水量とした場合、80mm必要とする。地下水位低下速度は湛水期間は遅いが、地盤面下では地下水位が低くなる

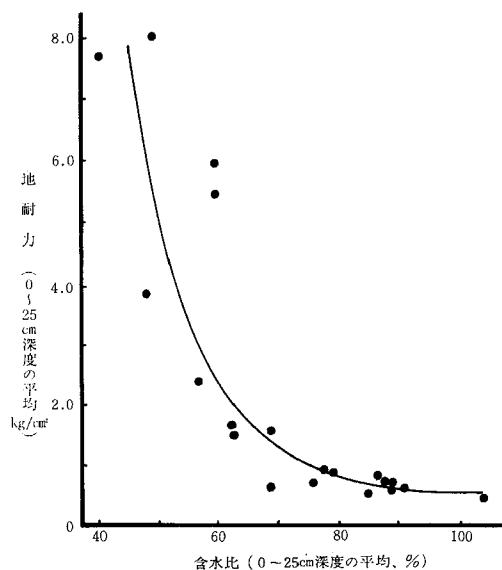


図-8 ホ場における地耐力と含水比の関係

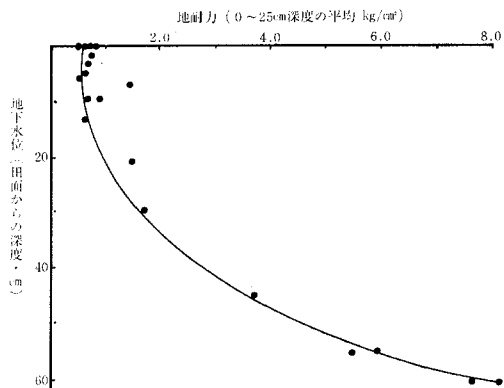


図-9 ホ場における地耐力と地下水位の関係

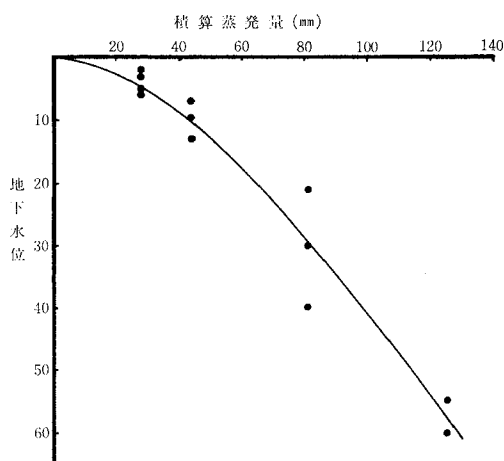


図-10 ホ場における蒸発と地下水位低下の関係

ほど速い。

## 3-6 室内実験による地耐力と含水比、地下水位の関係

実験結果を図-11, 12に示す。

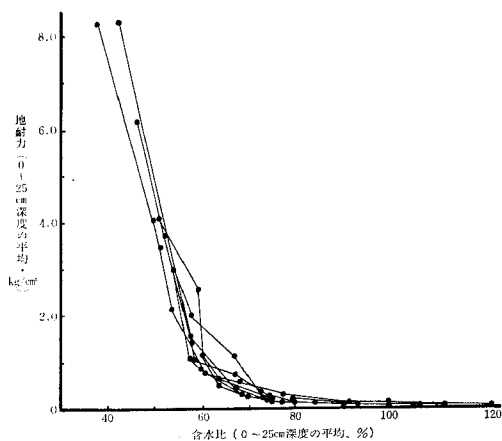


図-11 室内実験における地耐力と含水比の関係

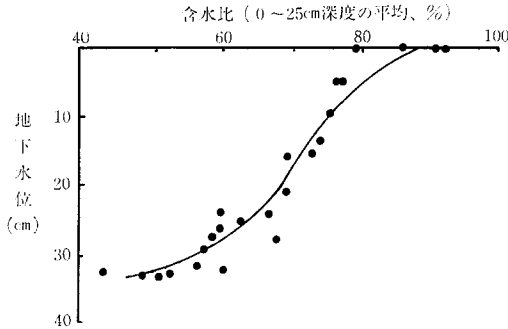


図-12 室内実験による含水比と地下水位の関係

この結果より、地耐力は含水比57%あたりより急激な増加を示す。初期含水比が大きいときは蒸発による排水量が小さいため地耐力の増加に時間がかかる。したがって、ホ場において表面排水を早く完了することが地耐力強化のために重要である。

#### 4 まとめ

今回の実験結果より次のことが言える。

1) 試験ホ場の土壌は重粘土（粘土含有量75%）で、乾燥密度及び固相の値は日本の海成粘土地帯の水田土壌と比較して大きい。深さ40cm以下は土壤水分の年間変化は少なく、液性限界は下層になるほど大きな値を示している。ソ性図より液性限界とソ性指数の関係は式 $IP=1.14(WL-39)$ で示され、A線より大きな勾配となっている。乾期には表層にキ裂の発達があり、30cm以下になるとほとんどない。

2) 本地区の土壌は毎年乾期にPF. 4程度の乾燥履歴を受けるため、カンガイ水の流入や降雨により水浸した場合にスレーキングを受けやすい。したがって、発生したキ裂や施工した弾丸暗キョが降雨やカンガイ水により再湿潤した場合、土壌がスレーキングを起こして閉鎖しやすい。

3) 作土の細土塊をかきまぜた場合、土の透水係数は大幅に減少（ $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{cm/sec}$ ）するが、粗い土塊をかきまぜた場合は透水係数は低下しない（ $10^{-2} \text{cm/sec}$ ）。

ホ場における現場透水試験の結果より、乾期には透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{cm/sec}$ （深さ60cmまで）であるが、雨

期には $10^{-6} \text{cm/sec}$ （深さ30cmまで）に低下した。この原因は土壌が湛水によってスレーキングを起こしたこととシロカキ作業によって作土が練り返され、水みちがふさがれてしまったためであると推定される。

4) 地耐力はホ場条件によって異なるが、同一ホ場においては、土壤含水比が60%以下、地下水位が30cm以下の条件のとき地耐力は急激な増加を示す。このことは室内実験結果でもほぼ同様な傾向を示した。また、この条件は蒸発による排水では80mm以上の排水を行うと満足できる。

以上の結果より次のことを提案したい。

マレーシャ・ムダ地区の水田土壌は乾期に蒸発量が多く、降雨がないため平均30cm程度までキ裂が発達し、透水性はよく、地耐力も大きい。しかし、土壌が湛水によって再湿潤されるとスレーキングによってキ裂がつぶされ、さらにシロカキによって土壌はかきまわされて排水不良となり、ホ場の地耐力は低下する。

したがって、地耐力を強化するためには耕起は粗く行い、シロカキ作業をなるべく少なくすることが必要である。できれば中干し並びに収穫前の早い時期に落水し、表面排水や地下排水を行い、表面水や土壤水の水みちになるキ裂の発達を早め、キ裂を暗キョにつなげることが必要である。

今回の試験は著者のうち、山下が1977年3月から1979年7月まで、永石が1979年6月にマレーシャ・ムダ地区に熱帯農業研究モニターより派遣されたとき試験を行ったものである。このような調査、試験の機会を与えていただき、種々な面で御指導いただいた熱帯農業研究センターの岡部所長、梶原部長、八島主任研究員、および農業土木試験場農地整備部の各研究員の人々に感謝いたします。また、現地のムダ農業開発庁やムダ州作物生産センターの職員の人々の多大な御援助を頂いたことをここに記して謝意を表します。

#### 引用文献

- 1) 佐藤晃一：粘質土壌の乾燥前歴と収縮ならびにスレーキング特性について、農土論集、28、12～16（1969）

[1979.10.5受稿]