

暗キヨ排水による重粘土水田の地耐力強化について

—マレーシヤ・ムダ地区における現地試験—

山下 恒 雄*

Study of intensifying the soil bearing capacity by underground drainage system at heavy clayey paddy field.

—The field study in the Muda Area, Malaysia—

Tsuneo YAMASHITA

National Research Institute of Agricultural Engineering, Saga-Branch.

1 ま え が き

暗キヨ排水は水田に適当な浸透をおこさせ、過剰水を排水することが目的である。その排水の結果、非カンガイ期には水田の乾燥によって地耐力は強化される。このことを利用して、水田の地耐力強化のための一つの手段として暗キヨ排水が考えられるので、マレーシヤ・ムダ地区において現地試験を行った。

当地区はマレー半島中央部西海岸に位置する約10万haの水田地帯である。1970年にカンガイ用ダム、主幹線水路等が完成し、二期作が可能となった。しかしながら二期作を実施するにあたり、田植および収穫作業の労働力の重なりが著しく、その上、他の地区からの雇用者の入手がむずかしくなってきたため、労働力の不足となり、それを機械化によって解消しなければ二期作の完全実施は困難とみられる。

一方、二期作が行われることによって、田面の乾燥期間が短く、大型機械の使用で水田地盤の軟弱化を招き、機械の走行が不可能になる傾向が強くなってきた。

したがって農作業を機械化するためには、軟弱で排水の悪い重粘土水田の改良を行い、地耐力を強化させる必要がある。この対策の一つとして当研究を実施した。

本報告では、ムダ地区（現地）に実験圃場を設置し、その試験地で暗キヨの種類、間隔による地耐力の変化について調査を行ったのでここに報告する。

2 研究の方法

マレーシヤ・ムダ地区では乾季作（3月ごろ田植、8月ごろ収穫）の収穫期、雨期作（9月ごろ田植、11月ごろ収穫）のシロカキ時期及び田植期に農業機械の導入が出来るように水田の地耐力を強化することが重要な目的

である。

水田の地耐力がもっとも必要な乾季作の収穫時期に、地表、地下排水を行える実験圃場を設置し、暗キヨによる地耐力の強化について調査を行った。これらの現地調査以外に、地耐力の強化を行うための基礎試験については本誌41号¹⁾に資料として報告した。

現地実験圃場はマレーシヤ・ムダ地区の中央に位置する都市アロルスターにより約3km西のケダ川に近いテロチェンガイの作物生産センター（Crop Production Center）にある実験農場の4区（1区画が約0.85ha）を使用した。図-1に示したように実験圃場は本暗キヨと弾丸暗キヨの組み合わせ区（No.16区）、本暗キヨ区（No.17区）、メクラ暗キヨ区（No.18区）、無暗キヨ区（No.19区）よりなっている。本暗キヨ及びメクラ暗キヨは各区ともう、10、20、及び27mの間隔に配置した。

この調査において、農業機械の走行性についての資料は種々あるが、安養寺²⁾が示したコンバイン「カナン」（熱帯農業研究センターの農業機械グループが開発した日本製中型収穫機）で、地耐力 2 kg/cm^2 （0～25cm深さの平均）を改良効果の目標とした。

暗キヨの施工は1978年4月～6月にかけて行った。その前10ヶ月は施工前調査、その後2年間施工後の調査を行った。調査は暗キヨ施工前後はほぼ同じ方法を取り、地耐力、地表・地下水位、土壌調査等を行った。調査は暗キヨ中間で排水路より10、30、60、90mの地点で行った。

1) 地耐力調査主に月1回調査し、収穫期には調査回数を増加した。測定器具は土質常数測定器（コーン断面 3.14 cm^2 、コーン先端角 30° 、自記式）を使用した。測定点は暗キヨ間中央で排水路に直角に4列、排水路よ

*農業土木試験場佐賀支場

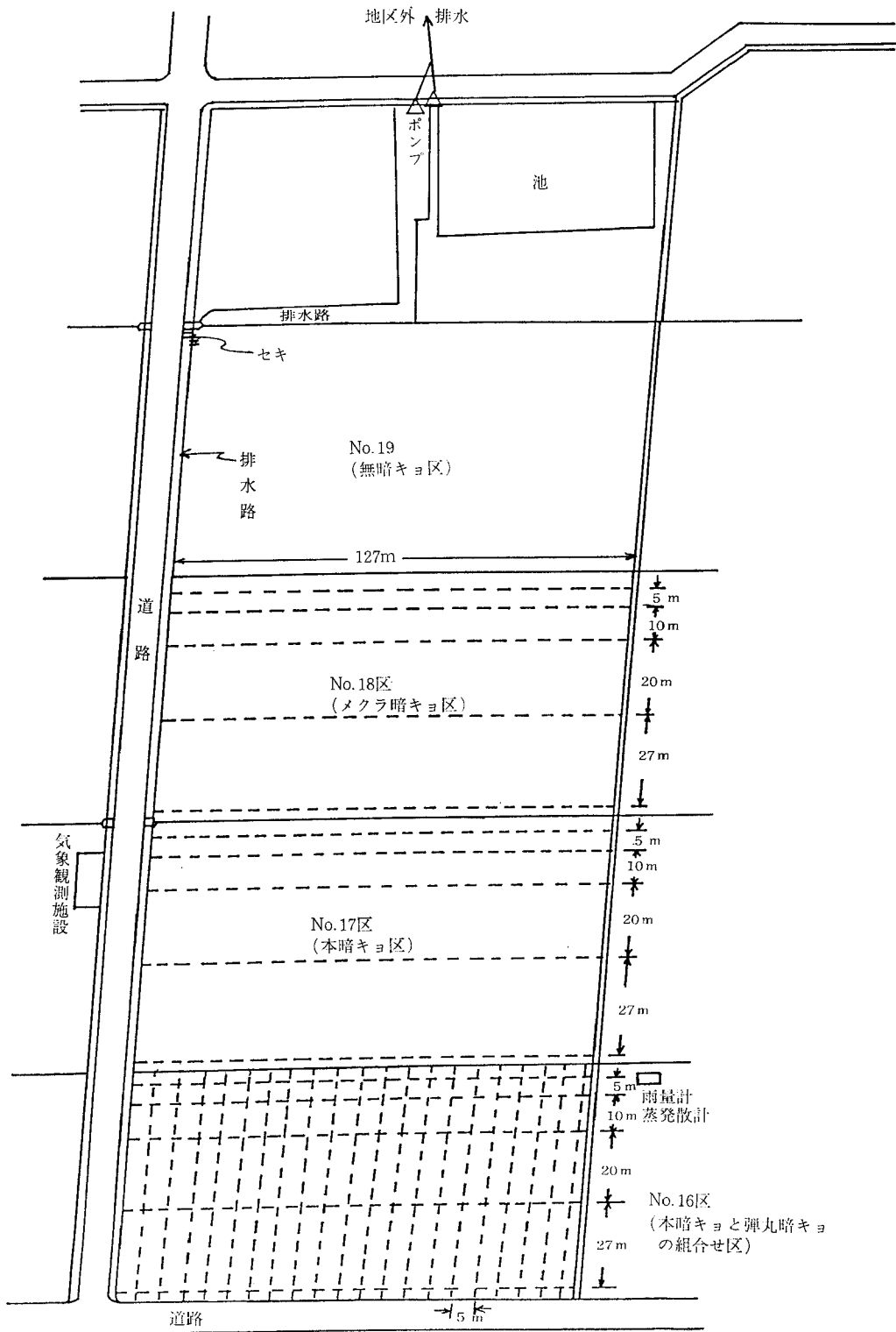


図-1-1 実験圃場の暗キョ配置図

り3点(排水路より30, 60, 90m)で、合計1区画12点である。測定は1点につき6回行いその内、5回の平均値である。

2) 地表、地下水位深さ60cmの孔にストレーナーのついた塩ビ管を挿入し、まわりにフィルターとして砂を入れ地表水、地下水を連結して測定した。なお、1978, 79および80年の収穫後の調査を行ったが、1978年の調査は地表水のみ測定した。

3) 土壤調査不攪乱試料の採土はサンプラー(鉄製、100cc円筒、打ち込み式)を主に使用した。非タン水期には、採土を行うと共に調査孔を掘り土壤断面、キ

レッツ調査等を行った。

採土した後、密度、粒度分析、液性・塑性限界、比重試験および三相分布測定などを行った。試験は三相分布測定を除いてJIS規格に従った。三相分布は100cc円筒で採取した土の重量と比重により算出した。現場透水試験は非タン水期にオーガーホール法で、タン水期にはチューブ法で測定した¹⁾。

圃場の水収支は1978年の収穫前後に行ったが排水口に三角ゼキと水位計を、また図一1-1に示す位置に雨量計と蒸発散計(60cm×60cm正方形、耕土15cmの有底、稲は4株、水位は自記記録)を設置した。

3 調査結果

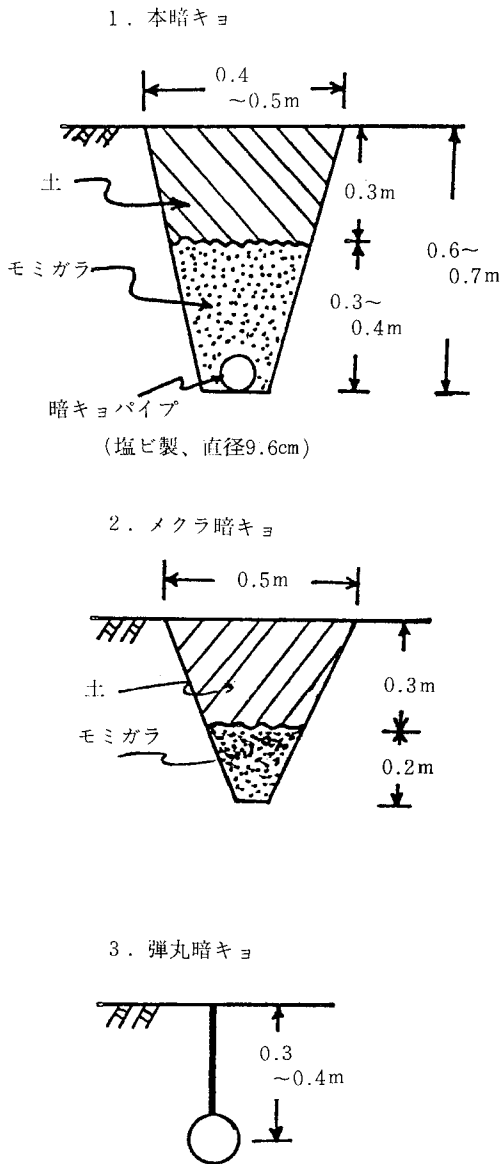
実験圃場は1977年7月より1980年7月まで前述した測定項目で調査を行った。1978年は用水不足のため単作であったが、他の年は二期作であった。

1) 地耐力調査

調査期間中の地耐力測定結果を図一2に示す。ムダ地区の圃場地耐力は乾季に大きな値(10kg/cm²以上)を示し、タン水、しろかき作業によって急速に減少する。地耐力は乾季作の田植後、収穫前の落水時まで約1.5kg/cm²で一定の値を示し収穫時にわずかに上昇する。しかしながら、雨季作のしろかきによって地耐力は約1.0kg/cm²と減少し、乾季に入って圃場の水がなくなり地耐力は増加するという型を示す。

また図一2の結果より、明らかに暗キヨ施工後は施工前に比較して地耐力は増加を示している。これを地耐力が一定していると考えられる乾季作のタン水期間の末期(収穫時の落水前3~6日)の時に測定した値と比較すると表一1のように本暗キヨ区の増加は大きい。すなわち本暗キヨの間隔5, 10, 20および27mで1980年の結果は1977年より55, 28, 10および25%の増加で暗キヨ間隔が小さいと大きな値を示している。また、1980年の調査結果より無暗キヨ区と他の区を比較すると組み合わせ暗キヨ区で6~32%, 本暗キヨ区で5~35%, メクラ暗キヨ区で-2~+12%の増加を示している。以上の結果、暗キヨによる地耐力は強化されたと考えられる。

地耐力がもっとも問題となる乾季作の収穫時の地耐力の変化について3回調査を行った。その結果を図一3-1, 3-2, 3-3に示す。各回とも地耐力を増すために、落水を2~3週間前より行ったが表面排水が十分でなく、残留水が多かった。これはみな口が小さいこと、田面が不均一であること、水草が多いことなどが原因であった。また暗キヨの覆土が厚く、重粘土であったため、収穫時の短期間の落水によって暗キヨに通じるキ裂を発生させるまでにはいたらなかった。これらの原因により収穫時には地耐力の増加はあまりみられなかった。



図一1-2 暗キヨの構造

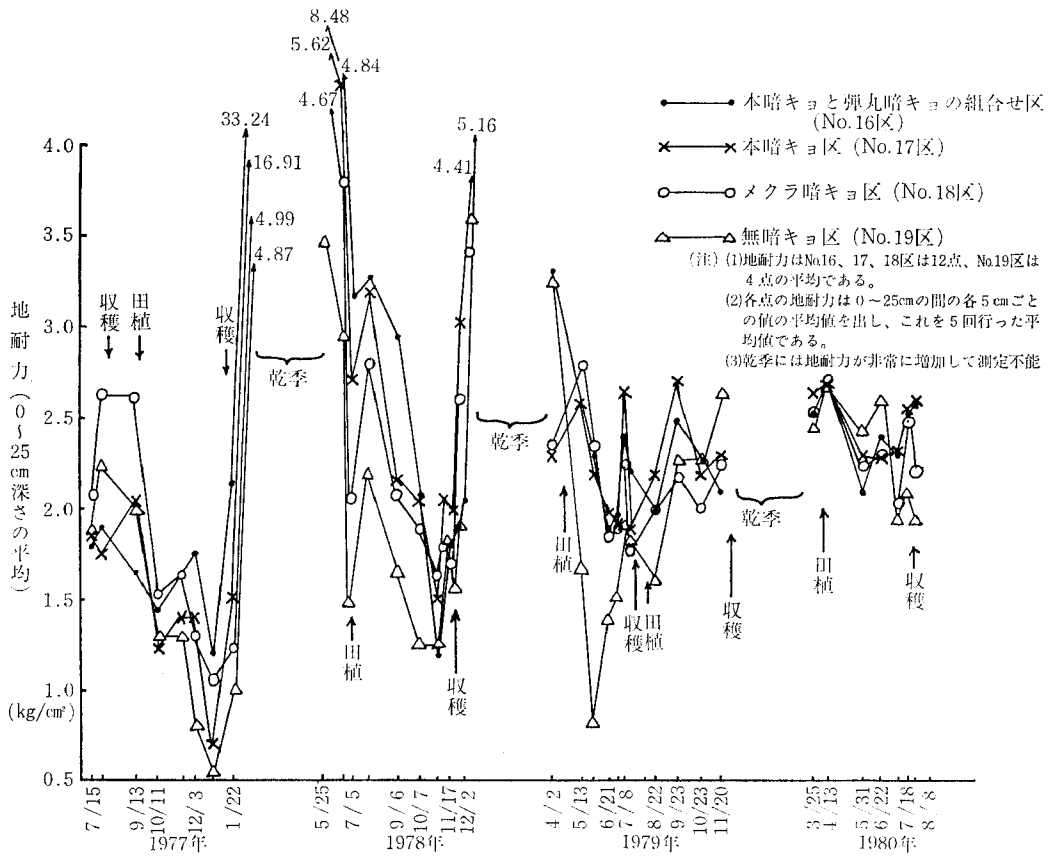
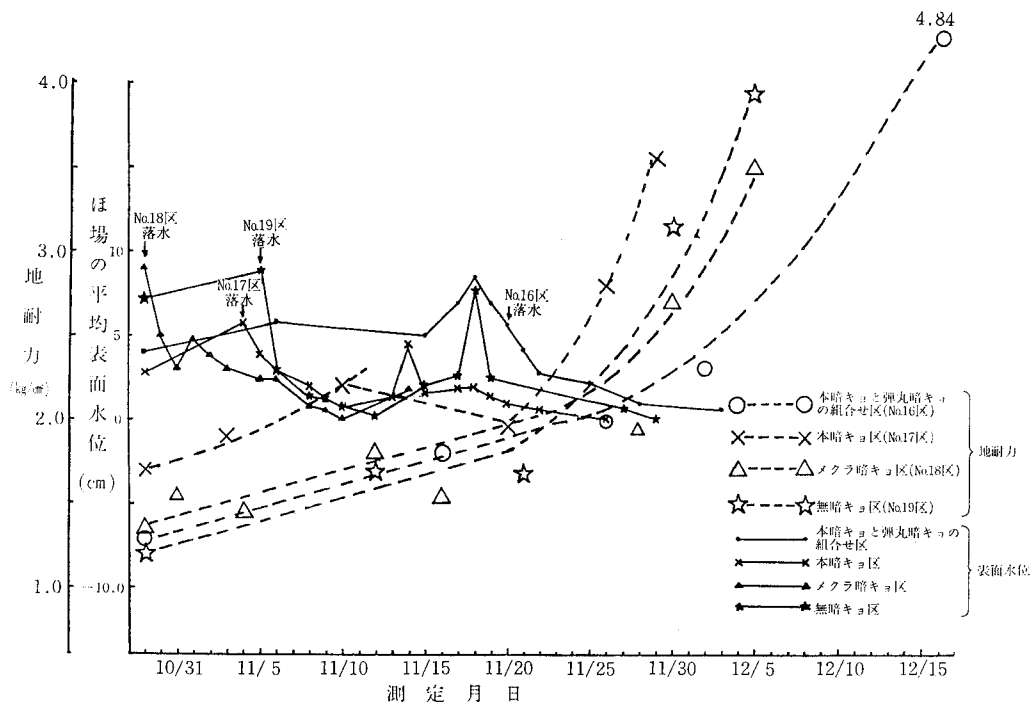


図-2 調査期間(3年間)の地耐力の変化

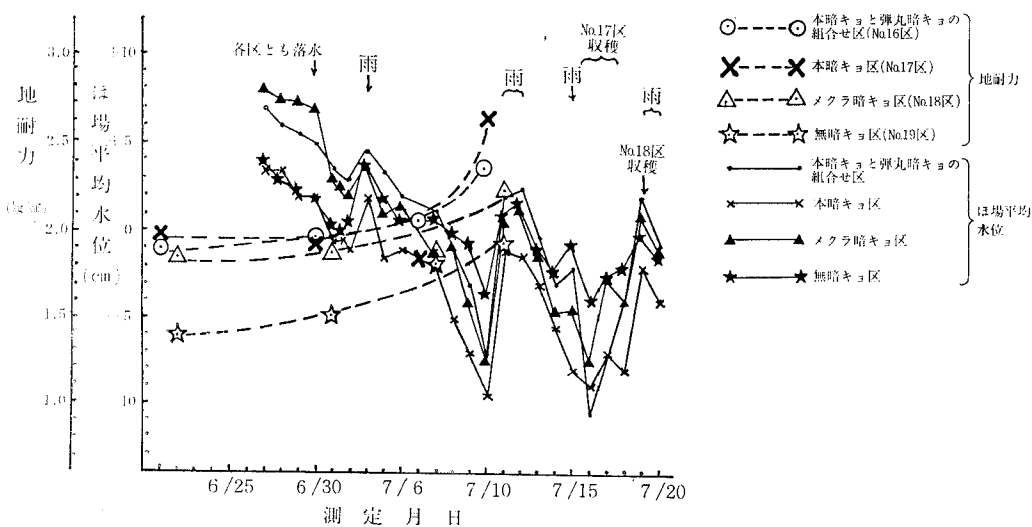
表-1 暗キヨ間の地耐力の比較

圃場No.	月日 暗キヨ間隔	(A)	(B)	(A)と(B)	(C)	(A)と(C)	(D)	(A)と(D)	備考
		15/7/1977	17/11/1978	の比	8/7/1979	の比	18/7/1980	の比	
16	5m	1.37	1.21	-12	1.89	+38	2.12	+55	本暗キヨと 弾丸暗キヨ の組合せ区
	10m	2.02	2.38	+18	1.95	-3	2.57	+27	
	20m	1.93	1.72	-11	2.09	+8	2.07	+7	
	27m	1.87	1.89	+1	2.38	+27	2.49	+33	
17	5m	1.40	1.77	+26	1.95	+39	2.17	+55	本暗キヨ区
	10m	1.58	2.88	+82	1.89	+20	2.04	+29	
	20m	2.18	1.98	-9	1.76	-19	2.47	+13	
	27m	2.25	2.31	+3	1.76	-22	2.63	+17	
18	5m	2.40	1.86	-22	1.85	-23	1.91	-20	メクラ暗 キヨ区
	10m	1.83	1.91	+4	1.75	-4	2.09	+14	
	20m	1.89	1.35	-29	1.81	-4	2.18	+15	
	27m	2.18	1.62	-26	2.17	-1	1.98	-9	
19		1.83	1.44	-21	1.83	0	1.95	+7	無暗キヨ区
		暗キヨ施工前 10ヶ月	暗キヨ施工後6ヶ月		暗キヨ施工後1.3年		暗キヨ施工後2.3年		

(注) (1) 地耐力は各暗キヨ間の中央で排水路から30m, 60m, 90mの平均値 (kg/cm²) である。
 (2) 各点の地耐力は0~25cmの間の各5cmごとの値の平均値で、5回行った平均値である。
 (3) 地耐力の測定は土質常数測定器(コーン断面3.14cm², コーン先端角30°, 自記式)を使用した。



図一三—1 収穫期における地耐力と圃場表面水位の変化について (1978年)



図一三—2 収穫期における地耐力と圃場水位の変化について (1979年)

また弾丸暗キヨは乾季作のしろかき前のタン水により穴のまわりの土がはく離し、穴がつまり排水効果はほとんどなかった。

土壌の物理性の変化は、密度と固相が15~25cmの深さでわずかに増加しているが、これは硬い層が浅くなったことを示している(表2-1, 2-2, 2-3, 参照)。

2) 暗キヨ施工前後の土壌の物理性の変化について

透水係数は暗キヨ施工後では施工前よりもわずかに1

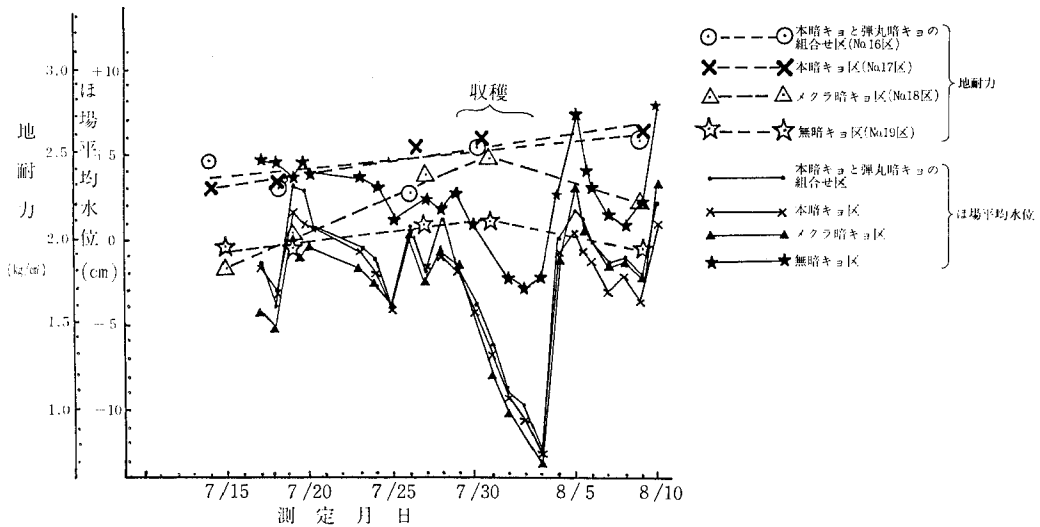


図-3-3 収穫期における地耐力と圃場平均水位の変化について(1980年)

表2-1 土壌の物理性(暗キヨ施工前)

土壌採取日: 26/9-5/10/1977

圃場 No.	深 さ (cm)	含水比 (%)	密度 (g/cm³)		三相分布 (%)			液性・塑性限界			粒度分布 (%)			備 考
			湿 潤	乾 燥	固相	液相	気相	L.L (%)	P.L (%)	P. I	粘土	シルト	砂	
16	0-10	68.8	1.555	0.925	35.9	63.1	1.4	76.8	32.9	42.3	69.2	29.9	0.9	本暗キヨと弾丸暗キヨの組合せ区
	10-20	55.6	1.648	1.063	41.0	58.7	1.1	79.0	35.3	43.7	68.5	29.6	2.0	
	20-30	48.9	1.689	1.138	43.8	55.1	2.1	81.2	34.3	46.9	71.3	28.1	0.7	
	30-40	45.1	1.695	1.171	44.7	52.5	2.8	90.6	33.5	57.1	72.8	25.6	0.7	
17	0-10	76.2	1.494	0.855	32.9	63.9	4.3	86.0	36.2	49.8	74.1	24.9	1.0	本暗キヨ区
	10-20	62.5	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	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	1.736	1.203	45.2	53.4	1.6	93.7	31.4	62.3	76.7	22.2	1.1	
18	0-10	70.0	1.566	0.925	35.7	64.4	0.8	80.5	34.3	46.3	70.9	27.5	1.6	メクラ暗キヨ区
	10-20	55.5	1.684	1.088	42.2	59.6	0.1	81.3	34.4	46.9	69.2	28.6	2.2	
	20-30	48.1	1.730	1.170	45.1	56.1	0.5	86.0	31.3	54.7	71.2	26.2	2.6	
	30-40	43.6	1.743	1.214	45.7	52.9	1.4	88.2	31.4	56.8	73.2	25.3	1.5	
19	0-10	69.0	1.555	0.924	36.0	63.2	1.5	79.3	35.3	43.9	68.7	30.0	1.3	無暗キヨ区
	10-20	54.2	1.635	1.075	41.6	57.8	1.4	80.3	33.2	47.1	68.4	30.4	1.2	
	20-30	45.1	1.754	1.210	46.0	54.5	0.1	80.3	31.5	48.9	69.3	29.0	1.7	
	30-40	40.4	1.763	1.254	47.6	50.7	1.7	86.9	30.3	56.6	70.0	28.5	1.5	

桁オーダーが大きくなっただけであった。

と弾丸暗キヨの組合せ区 (No.16) および本暗キヨ区で 3mm/日、他の区で 1mm/日となり本暗キヨ区は他の区より大きい。しかし暗キヨによる排水量としては一般に小さい値である。

3) 収穫前後の圃場の水収支

1978年の収穫前後に圃場の水収支を測定したので結果を表-3に示す。この結果より地下流出量は本暗キヨ

表2-2 土壌の物理性 (暗キヨ施工後1年)

土壌採取日: 4-6/7/1979

圃場 No.	深 さ (cm)	密 度 (g/cm ³)		含 水 比 (%)	三 相 分 布 (%)			備 考
		湿 潤	乾 燥		固 相	液 相	気 相	
16	0-10	1.510	0.869	74.2	33.5	64.1	2.4	本暗キヨと 弾丸暗キヨ の組合せ区
	10-20	1.641	1.088	51.5	42.0	55.3	2.7	
	20-30	1.727	1.233	39.8	47.3	49.2	3.5	
17	0-10	1.547	0.955	62.4	37.2	28.5	3.9	本暗キヨ区
	10-20	1.621	1.098	50.1	41.9	53.6	4.6	
	20-30	1.718	1.243	38.3	47.6	47.5	4.9	
18	0-10	1.499	0.897	67.9	34.7	60.3	5.2	メクラ暗キヨ区
	10-20	1.640	1.119	47.5	43.1	52.2	4.9	
	20-30	1.768	1.283	36.3	50.0	46.9	3.1	
19	0-10	1.533	0.919	67.9	35.6	61.9	2.5	無暗キヨ区
	10-20	1.636	1.163	42.3	44.9	47.3	7.8	
	20-30	1.707	1.201	42.1	46.6	50.6	2.9	

表2-3 土壌の物理性 (暗キヨ施工後2年)

土壌採取日: 2-5/8/1980

圃場 No.	深 さ (cm)	密 度 (g/cm ³)		含 水 比 (%)	三 相 分 布 (%)			備 考
		湿 潤	乾 燥		固 相	液 相	気 相	
16	0-10	1.520	0.910	67.4	35.1	61.1	3.9	本暗キヨと 弾丸暗キヨ の組合せ区
	10-20	1.663	1.128	48.2	48.2	53.5	3.0	
	20-25	1.716	1.204	46.1	46.1	51.2	2.7	
17	0-10	1.559	0.954	64.0	37.1	60.4	2.6	本暗キヨ区
	10-20	1.674	1.134	48.0	43.8	54.0	2.2	
	20-25	1.735	1.230	41.7	47.5	50.6	2.0	
18	0-10	1.526	0.941	62.7	36.4	58.5	5.1	メクラ暗キヨ区
	10-20	1.698	1.167	46.2	45.1	51.3	2.0	
	20-25	1.705	1.179	44.7	45.4	52.6	2.0	
19	0-10	1.565	0.935	67.4	36.2	63.0	1.8	無暗キヨ区
	10-20	1.678	1.116	51.0	43.1	56.3	0.7	
	20-25	1.727	1.216	42.0	47.1	51.1	1.8	

表-3 圃場における水収支 (1978年収穫前後)

区	測定日 (月/日)	流入		流出				降雨日および 降雨量
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
組合せ区 No.16	10/29~11/6	331m ³ (34%)	587m ³ (64%)	487m ³ (53%)	30m ³ (3%)	234m ³ (25%)	167m ³ (18%)	10/31~11/1 70.3mm
メクラ暗キ ヨ区No.18	10/30~11/9	431 (42)	595 (58)	49 (5)	571 (56)	305 (30)	101 (10)	
無暗キヨ区 No.19	10/29~11/5	612 (51)	598 (49)	749 (62)	22 (2)	204 (17)	235 (19)	
本暗キヨ区 No.17	11/10~11/15	60 (13)	397 (87)	136 (30)	41 (9)	103 (23)	177 (39)	11/12~11/14 46.8mm
無暗キヨ区 No.19	11/12~11/15	17 (4)	393 (96)	177 (43)	142 (35)	68 (17)	23 (6)	
組合せ区 No.16	11/15~11/20	409 (41)	591 (59)	487 (49)	93 (9)	100 (10)	320 (32)	11/16~11/17 70.8mm
本暗キヨ区 No.17	11/15~11/19	389 (39)	609 (61)	119 (12)	656 (66)	69 (7)	154 (15)	

(注) (1) 降雨前のタン水量 (2) 降雨量 (3) 落水後のタン水量 (4) 表面流出量 (5) 蒸発散量
(6) 地下流出量 (含む暗キヨ流出量)

圃場の面積は、No.16 (8350m²) No.17 (8597m²) No.18 (8469m²) No.19 (8506m²) である。

4 ま と め

以上の調査および実験結果より、圃場は重粘土壌で透水性の悪い状態であったが暗キヨ排水により地耐力は年ごとに増加を示している。特に本暗キヨ区の増加は大きい。これは暗キヨにより地下排水が行われ、非タン水期に地中の乾燥効果は大きくなり、また、農作業を変えたこと(しろかき用水を入れる前に1回耕耘を行うようにしてしろかき作業の回数を少なくした。)によって地耐力は増加したと考えられる。しかしながら、表面排水が不十分であったため収穫時の短期間の地耐力の増加はわずかであった。これは本暗キヨの施工時の土の埋めもどし量が多すぎたため、土が圧縮され不透水層を作ったと考えられる。表面排水をさらに十分に行えるなら地耐力の増加はさらに大きくなる。したがって表面排水を迅速に行うため間隔の小さい2~5mの補助暗キヨとその排水を集める本暗キヨの組み合わせ暗キヨが効果的であろう。土がスレーキングをうけやすいため補助暗キヨはモミガラなどを詰めた溝切り型暗キヨが良いと考えられる。現在、マレーシア、タイなどでは圃場整備を行うにあたって用排水路の密度が大きくなるように努力されていると聞いている。暗キヨ排水を行うにあたってまず排水路が完備することが重要であるが、水田の地耐力を強

化するには種々の作業を組み合わせで行うべきである。たとえばしろかき作業を少なくすること、圃場の均平化をはかること、水田の排水口を圃場の規模に合わせて大きくすること、補助暗キヨを大幅に入れることなどである。暗キヨ排水は直接大きな効果を示すので重要な方法である。

今回の研究は著者が1977年3月から1980年8月まで熱帯農業研究センターよりマレーシア・ムダ地区に派遣されたとき試験を行ったものである。このような研究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前所長、梶原前部長、八島主任研究員、四国農業試験場の永石土地基盤研究室長、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皆様の多大な御援助を頂いたことを記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 山下恒雄・永石義隆：マレーシア・ムダ地区における重粘土壌の物理性について、土壌の物理性、41、80~86、(1980)。
- 2) Hisao Anyoji and S. H. Thavaraj: Draft Report on Suitability of Farm Mechanisation on Weak Soil Foundation in the Muda Project Area, 1977.

(昭和57年1月5日受理)

Summary

Underground drainage in paddy fields may contribute to the consolidation of the soil bearing capacity of the fields at the time of harvesting in order to facilitate farm works.

The present field study was carried out in test plots located in the Muda area, Malaysia. The following 4 plots were set up : plot without drainage, plot with blind drainage, plot with drainage complete underground, plot with drainage complete underground and mole drain.

The soil conditions peculiar to the area are known to contribute to the formation of a weak foundation in the rainy season. When large machines operate, gradually making farm work difficult. Under such circumstances, it is necessary to promote land consolidation and to increase the soil bearing capacity by improving the drainage.

From the results obtained during the investigation, it was demonstrated that the soil bearing capacity increased year after year, especially in the plots with drainage complete underground. During the period of construction of the underground drainage system which covered three years, the soil bearing capacity increased from 7 to 55%. Compared with the plot without drainage, the values of the soil bearing capacity of the plots with a drainage system increased as follows: + 6~32% (plot with drainage complete underground and mole drain), + 5~35% (plot with drainage complete underground) and - 2~+12%(plot with blind drainage), respectively.

However, the soil bearing capacity increased only slightly during the finite interval between the onset of drainage to the harvesting period. Since the drainage of the surface water was difficult to carry out during such a short period, the soil was insufficiently dried.

Supplementary underground drainage is necessary to drain fast and uniformly the surface water of the field and the excess water in the soil zone.