

強粘質水田の排水法改善に関する研究

第1報 モミガラ暗渠とパンブレイカーの併用効果

小林 莊 司† 水 元 秀 彰††

STUDIES ON THE IMPROVEMENT OF DRAINAGE METHOD IN THE HEAVY CLAYEY PADDY FIELDS

1. The Effect of Using Together Pan-breaker and Underdrain with Rice Hull

Shoji KOBAYASHI & Hideaki MIZUMOTO

水稲作近代化の基幹として、区画拡大を中心とした土地基盤の整備がすすめられているが、工事後の水田は透水性の低下、排水不良などの弊害が大きくなり、大型機械の導入をはじめ、本来の成果があげられていない現状にある。

透水性が著しく小さいため、排水効果の低い強粘質水田土壌に対して、特に非灌漑期の排水能率を高めて土壌乾燥を促進し、機械の走行性を向上させる方法として、疎水帯（モミガラ埋戻）を設けた暗渠排水と心土破碎の組合せ効果を検討した結果、既往の工法に比べて機械の走行性を高める好適な土壌条件が得られた。

I 緒 言

稲作の近代化は、区画拡大、用排水分離を中心とする土地基盤の整備と、大型機械による一貫作業体系を確立する方向で推進されている。本道では、これまでに区画拡大工事が完了した水田は約30,000 haに達し、機械導入もすすんでいるが、区画拡大工事の際、土壌が踏圧、ネリツブシなどを受けて透水性が低下し、機械の走行性が著しく悪化している水田が少なくない。水田の分布は、低平地、沢地または丘陵に連なる緩波状性台地が多く、地形、水利状況からみて、排水は極めて困難な立地条件下にあるといえる。さらに土壌的特徴として、無機質水田土壌の約65%は粘土含量25%以上（LiC~HC）の強粘質土壌である。このような条件が重なっているため、土層全体の含水比が高く、機械の沈下、スリップ等が起り易い。

一方、春、秋は低温で蒸発散量が少ない上に、降水量が多い時期に当たるので、排水方法は特別な配慮をしなければ、機械の運行に支障のない土壌条件をもとめることは困難である。

目下のところ、排水施設の完備、心土破碎の施工ならびに耕起、代かき法の改善策が個々に、または総合組合せによって行なわれているが、十分な成果をあげていない。現在実施している暗渠排水は、いうまでもなく非灌漑期の地下水位低下のために設計され、心土破碎は堅密な下層土を破碎して亀裂をつくり、根の伸長と併せて浸透水の増大が主目的とされている。この2種類の工事を併用しても、表面排水効果が充分にあがらないのは、それぞれの施工の深さ、間隔等にも問題があるが、表面水を心土破碎溝で集水しても、これが暗渠排水に連絡する機構が断たれているところに問題点があるものと考えられる。不透水層をもつ強粘質水田土壌の表面排水効率を高める手段は、当面、機械力を用いて、田面全体の浸透性を大きくする

† 元中央農業試験場（現上川農業試験場専門技術員）

†† 中央農業試験場

ことであろう。現状では、心土破碎でつくられる集水路を暗渠の排水管に連絡する機構を完全にすることである。

そこで暗渠掘削帯の埋戻しに際し、掘上げた土壌の代わりにモミガラを用いて、できるだけ広い疎水帯を設け、これと直交方式に心土破碎を施工する工法を検討した。

本報告では、上記の工法を中心に、透水不良の代表的な土壌類型³⁾⁸⁾¹⁰⁾¹³⁾¹⁴⁾2種について、現地4か所で検討した。その結果、この工法は、既往のパンプレーカー単独施工ならびに一般に実施されている暗渠排水とパンプレーカーの組合せに比べて、含水比低下をはじめとする一連の性質が改善されたので報告する。

本研究の実施に当たり、中央農業試験場森哲郎化学部長には終始有益なご助言をいただいた。また同農試化学部木村清、松原一実、伊東輝行研究職員ならびに普及員研修で配当された大西麗園、堅木正博普及員には試験遂行上多大の援助をいただいた。さらに現地試験の設置ならびに調査に当たっては長沼町、沼田町を担当する地域農業改良普及員ならびに農業協同組合の職員各位には多大のご支援をいただいた。記して深く感謝の意を表する。

II 試験方法

この試験は、1970~1971年の2か年にわたって、沼田町と長沼町で実施した。

試験場所は、強グライ土壌¹⁰⁾¹³⁾(沖積土)と灰褐色土壌¹⁰⁾(洪積土)の2土壌類型について、両町に1土壌類型ずつ選定、設置した。いずれも区画拡大工

Table 1. Soil profiles of experimental fields (Numata)

Soil groups	Depth (cm)	Horizon	Texture	Soil Color	Structure	Hardness (mm)	Stickiness
Strong gley soil (Alluvial)	0—18	ApG	LiC	7.5 Y 5/1	granular×blocky	15	Very
	18—45	G	LiC	10 BG 4.5/1	Massive	17	Extremely
	45—100	G	LiC	5 BG 5/1	Massive	15	Extremely
Gray brown soil (Diluvial)	0—18	Apg	HC	2.5 Y 4/1	granular×blocky	15	Very
	18—32	A ₁₂ g	HC	2.5 Y 6/1	Massive	20	Extremely
	32—49	C ₁ g	HC	5 Y 6/1	blocky×prismatic	21	Extremely
	49—100	C ₂ g	HC	10 Y 7/1	prismatic×blocky	25	Extremely

Table 2. Physical and chemical properties of the soils on 4 experimental fields

Soil groups	Location	Depth (cm)	CEC (me)	T-C* (%)	T-N** (%)	Mechanical composition (International)				Permeability coefficient (cm/sec)	Consistency limit		
						c. s	f. s	silt	clay		LL'	PL''	SL'''
Strong gley soil (Alluvial)	A) Numata	0—18	23.0	3.38	0.24	1.6	20.7	38.6	39.1	2.4×10^{-7}	61.3	32.3	23.6
		18—45	24.2	1.52	0.12	1.4	25.1	36.7	36.8	1.1×10^{-7}	53.7	30.3	21.5
		45—100	22.4	1.47	0.08	3.7	29.6	32.2	34.5	5.6×10^{-8}	58.5	32.4	18.2
	B) Naganuma	0—12	17.8	2.80	0.23	1.6	7.8	54.7	35.9	1.2×10^{-7}	57.4	32.8	27.9
		12—20	18.3	2.60	0.22	1.2	8.0	55.1	35.7	5.5×10^{-7}	53.7	28.7	27.6
		20—45	15.8	1.40	0.10	0.1	3.7	63.3	32.9	3.3×10^{-7}	66.0	35.1	30.7
Gray brown soil (Diluvial)	C) Numata	0—18	17.5	3.49	0.27	1.2	10.2	42.7	45.9	1.2×10^{-7}	48.6	28.8	16.6
		18—32	17.5	2.03	0.12	0.2	5.4	38.2	56.2	5.5×10^{-7}	47.3	30.2	20.9
		32—49	18.8	1.01	0.08	0.3	3.8	31.0	64.9	3.3×10^{-7}	54.1	28.9	13.5
	D) Naganuma	0—14	19.2	2.60	0.19	15.4	21.7	37.6	25.3	2.3×10^{-7}	45.2	27.7	26.3
		14—18	19.3	2.26	0.16	13.2	20.5	39.1	27.2	1.4×10^{-6}	50.4	31.7	29.5
		18—40	21.2	0.53	0.04	5.6	20.5	50.5	23.4	4.4×10^{-6}	39.3	25.5	28.0

* total carbon ** total nitrogen

' liquid limit '' plastic limit ''' shrinkage limit

事が完了した水田で、長辺 70~180 m, 短辺 20~30 m, 面積 25~50 a, 工事後 3~5 年経過しているが、区画拡大工事後の暗渠排水は未施工である。

供試土壌の断面形態は、同一土壌類型では沼田町、長沼町の違いがあまりないので、沼田町の土壌断面を Table 1 に示した。また 4 試験地の理化学性は Table 2 のとおりである。強グライ土壌は、作土直下から色相が BG~G の青灰色を示し、 α , α' -Dipyridyl 反応が即時鮮明に現われるグライ層である。また 30~40 % の高い粘土含量で構造、孔げきの発達が悪く、粘着性も極めて強く、透水係数は 10^{-8} ~ 10^{-7} オーダーで著しく小さい。一方、灰褐色土壌は下層土の色相が 2.5 Y~10 Y で、グライ反応は示さないが粘土含量 25~65 % で高く、堅密度も 20 mm 以上、粘着性極めて強く、透水係数は 10^{-7} ~ 10^{-6} オーダーの土壌である。これらの土壌を、中川が提案している水田の透水条件による分類⁹⁾に対比すると、強グライ土壌は I (水理条件が悪く、透水性も小さい)、灰褐色土壌は G (水理条件は良いが透水性が小さい) に該当するものと考えられる。

試験区別と処理内容

①対照区(無処理), ②パンブレーカー単独施工区, ③土壌埋戻暗渠×パンブレーカー区, ④モミガラ暗渠×パンブレーカー区の 4 処理を各試験地に設置した。

以下の本文、表、図での表現は次のようにする。

① 対照区: Control

② パンブレーカー区: Panbreaker

③ 土壌暗渠区: Underdrain (soil)

④ モミガラ暗渠区: Underdrain (rice hull)
暗渠施工の③④区は、水田区画の短辺を 2 分した中央に、長辺に平行して 1 本の暗渠をとおり、直接明渠排水路に水溝で連結した(Fig. 1-1)。渠深は土壌暗渠 100 cm, モミガラ暗渠 75 cm とし、モミガラ充填の厚さは 50~55 cm である(Fig. 1-2)。パンブレーカー施工の②③④区は、短辺と平行(暗渠とは直交形式)に、間隔 3 m, 深さ 35~45 cm で施工した。施工時期は、全試験地 1970 年 4 月下旬から 5 月上旬に実施した。上記の処理以外のすべての管理は、各試験地農家の慣行法によって、

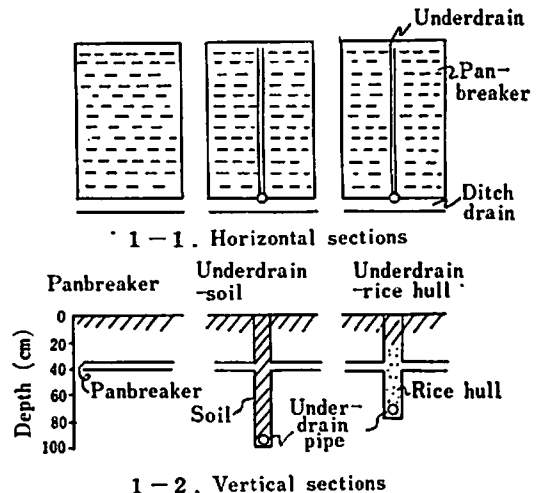


Fig. 1 Diagram of test plots

—Underdrain (soil), Underdrain (rice hull)

水稲栽培を行なった。

III 試験結果

1 非かんがい期の排水効果

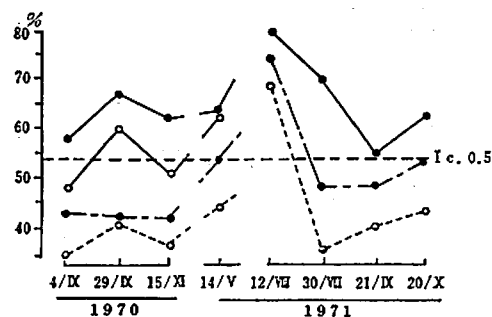
1) 土壌水分の変化

1970 年秋, 1971 年の春および秋にわたって、土壌水分の変化を追跡調査した。

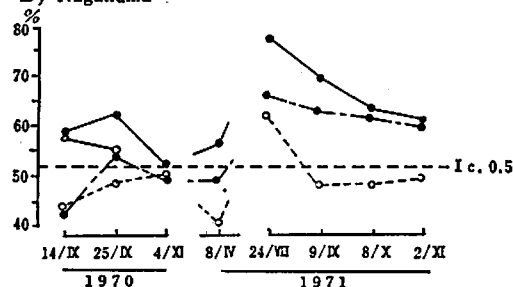
Fig. 2 に表層 25 cm 以内の含水比の変化を示した。各試験地とも、対照区>パンブレーカー区>土壌暗渠区>モミガラ暗渠区の順に含水比が低く経過した。この処理間差は強グライ土壌で大きく、灰褐色土壌では比較的小さい。また、2 年目の秋には土壌暗渠の効果がかなり低下し、パンブレーカー単独施工の効果はほとんどみられなかった。これらの理由としては、気象条件も関与しているとみなければならないが、やはりパンブレーカーの空隙閉塞と同時に土壌暗渠における埋戻し土壌の透水性が低下したことが影響しているように考えられる。

国立農試らの研究¹²⁾によれば、大型機械の作業可能限界としてコンシステンシー指数(Ic) 0.5 以上としている。当試験においては実際に大型作業機を走行させての諸調査を実施できなかったため、このコンシステンシー指数 0.5 の基準に対比してみると、モミガラ暗渠は常に安定して Ic 0.5 以上にあつて、機械作業が可能な範囲にあるが、

A) Numata

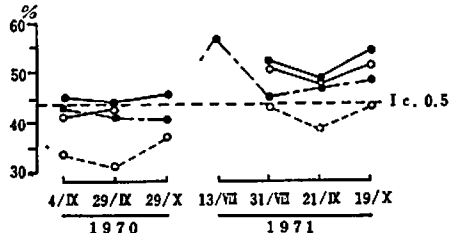


B) Naganuma

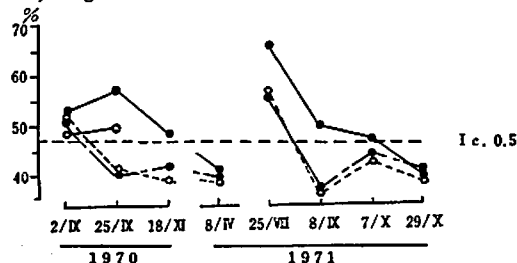


2-1. Strong gley soil

C) Numata



D) Naganuma



2-2. Gray brown soil

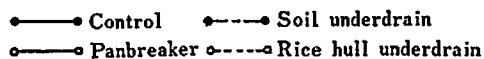


Fig. 2 Change of water content after cut-irrigation

パンブレーカー区はもとより、土灰暗渠でも $Ic \cdot 0.5$ 以下の時期がしばしばみれる。灰褐色土壌の長沼試験地では、工事初年目からモミガラ暗渠と土灰暗渠の差が小さく、土灰暗渠の効果が比較的大きい。当試験地の土壌は、他に比べて粒径分布に占める粗砂の割合が多く、下層土の気相も比較的多い傾向にあり、また透水係数も 10^{-6} オーダーで他の試験地より 1~2 オーダー大きいことなどが影響しているものと考えられる。

暗渠排水施工直上部からの距離によって、土壌乾燥に差がみられたので、暗渠工法別に作土の含水比を比較した結果では (Fig. 3), 両土壌ともモミガラ暗渠が低含水比の範囲が広い。なお土壌による差もみられ、強グライ土壌は暗渠の側方 5 m, 灰褐色土壌では約 8 m まで含水比の低下が顕著であった。この土壌間差は、地形を含めた土壌類型の特徴と考えられる。

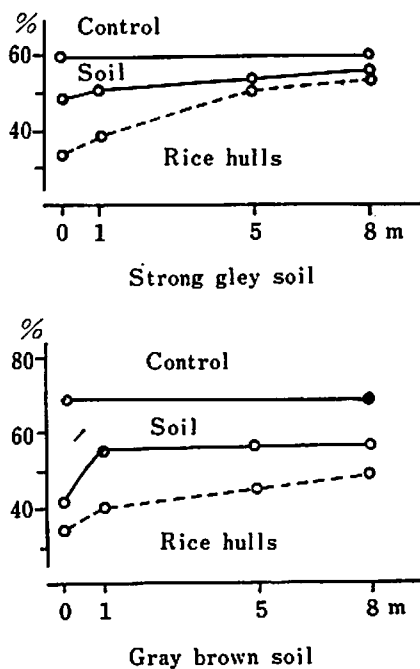
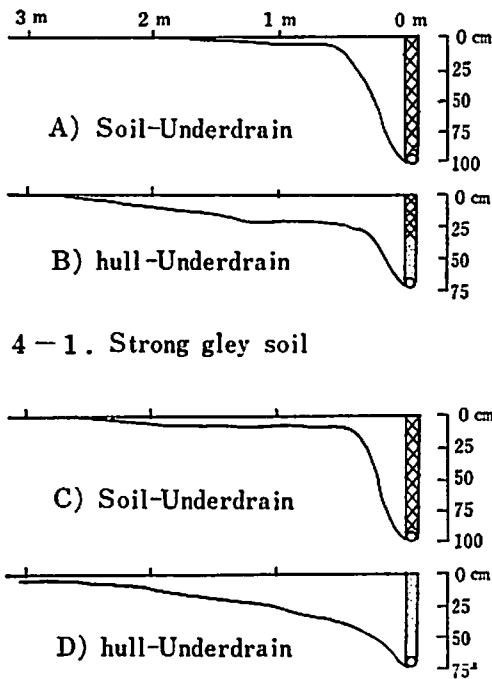


Fig. 3 Variation of soil moisture on the distance from the underdrain (Numata. August 30, 1971)

2) 地下水位勾配

明渠ならびに暗渠からの距離と地下水位勾配の



4-1. Strong gley soil

4-2. Gray brown soil

Fig. 4 Variation of lowering ground water table during non-irrigation period (Oct. 1971)

関係を、湛水期と落水期に測定し、試験地の水利条件を明らかにすると同時に、暗渠工法の違いを検討した。

ここでは、1971年10月、沼田の2土壌類型について土戻暗渠、モミガラ暗渠からの距離と地下水位の関係を示した(Fig.4)。両土壌とも土戻暗渠は、側方1m 足らずではほぼ田面まで水位が上がっているが、一方モミガラ暗渠では強グライ土壌が約2m、灰褐色土壌は約3m で田面に達している。4試験地の測定値を総合してみると、土戻暗渠に比べてモミガラ暗渠は、地下水位低下のおおよそ範囲が広がっている。これは、モミガラ充填による疎水帯の存在が水圧分布を弱めているものと考えられるが、土壌、地形ならびに田面の高低差なども含めて詳細な検討が必要であろう。

3) 三相分布

機械作業に直接影響する表層25cm 以内の三相分布の変化をみると (Table.3)、各試験地とも気相、固相は対照くパンブレーカー土戻暗渠くモミガラ暗渠の順に増加し、一方液相が減少する傾向が顕著である。特に気相割合でみると、乾燥がすすんだ1970年は各試験地ともモミガラ暗渠が

Table 3. Measurement of volume composition

Soil groups	Location	Plots	Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Air phase (%)	Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Air phase (%)
			1970	4/X		1971	21/X	
Strong gley soil	Numata	Control	36.7	58.3	5.0	40.1	57.8	2.1
		Panbreaker	43.4	46.9	8.3	40.4	54.6	5.0
		Underdrain {soil hulls}	42.6	46.4	11.0	40.1	54.0	5.9
			45.9	39.1	15.0	40.0	49.7	10.3
	Naganuma	1970 14/X				1971 8/X		
		Control	40.1	56.6	3.3	37.4	60.0	2.6
		Panbreaker	38.0	55.9	5.5	37.3	59.1	3.6
		Underdrain {soil hulls}	40.3	53.5	6.2	37.9	58.1	4.0
Gray brown soil	Numata	1970 4/X				1971 21/X		
		Control	43.3	52.5	4.2	45.1	52.4	2.5
		Panbreaker	42.7	50.5	6.8	44.9	52.5	2.6
		Underdrain {soil hulls}	42.3	47.9	9.8	47.6	49.6	2.8
	Naganuma	1970 2/X				1971 7/X		
		Control	39.5	57.3	3.2	44.4	53.3	2.3
		Panbreaker	41.0	53.5	5.5	45.8	50.5	3.7
		Underdrain {soil hulls}	40.9	51.9	7.2	44.9	50.4	4.7
			43.0	41.9	15.1	52.0	42.6	5.4

10~17%に達し、対照の3~5%に比べるまでもなく、水田作土としてはかなり高い気相率である。1971年は全体に乾燥が悪かったのも、強グライ土壌、沼田のモミガラ暗渠が10%に達したほかは、すべて5~6%以下であった。一般水田の調査事例をみても、本道では秋の作業時に気相が10%を越える土壌は、粗粒質の乾田または泥炭地の一部に限られるようである。

一連の調査のなかで、1971年8月(落水直後)から11月(降雪直前)まで気相率の変化を経時的に追跡調査した結果によれば、モミガラ暗渠は落水後急激に増加するが、一方パンプレーカー単独施工ならびに土戻暗渠では、これに比べて著しく緩慢であった。このような時間的な差がモミガラ暗渠の大きな特徴の1つである。パンプレーカー溝からの距離と土壌乾燥の関係を調査した結果においても、パンプレーカー単独施工および土戻暗渠は側方0.5m離れると気相の低下がみられるが、モ

ミガラ暗渠では側方1mまで高い気相率が保持された。

4) 暗渠掘削帯に埋戻した土壌の物理性

従来の暗渠掘削施工においては、土管等の排水管理後、先に掘上げた土壌を埋戻している。この埋戻し土壌の透水性が、周囲の未掘乱土層より大きくなければ、暗渠排水に表面水排除の機能を直接的に期待することはできない。

本試験で設置した土戻暗渠の施工後2年目における地表下50cm部位の物理性を調査した結果(Table.4)では、未掘乱土層に対比すると気相が少なく、含水比が多くなって透水係数は1~2オーダー低下している。このような現象は、経年的に土壌粒子の凝集、酸化鉄の集積などによって、漸次孔げき、構造が発達し、透水性は復元するものと考えられるが、これらは地下水位の低下が認められた以後に明瞭な変化をもたらすものであり、ここに供試した土壌類型では、かなり長年月を要

Table 4. Physical properties of the returned soil over underdrain

Soil group	Location		Bulk density (g/100 ml)	Volume composition			Water content (%)	permeability coefficient
				Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Air phase (%)		
Strong gley soil	Numata	Control	134	50.7	43.9	5.4	32.7	6.5×10^{-7}
		Underdrain (soil)	114	42.5	56.5	1.0	49.4	6.1×10^{-8}
	Naganuma	Control	109	41.9	57.2	0.9	52.5	1.5×10^{-6}
		Underdrain (soil)	107	41.0	57.3	1.7	53.5	5.9×10^{-7}
Gray brown soil	Numata	Control	137	51.8	46.9	1.3	34.4	6.9×10^{-8}
		Underdrain (soil)	115	43.5	54.6	1.9	47.4	8.0×10^{-8}
	Naganuma	Control	125	47.1	46.4	6.5	37.0	1.1×10^{-4}
		Underdrain (soil)	116	43.8	51.0	5.2	44.0	3.8×10^{-6}

(Sampling; November 1971. at 50 cm depth)

するものと考えられる。

5) パンプレーカー通過部の性状

本試験のパンプレーカー施工直後の形状はFig. 5の左端に示されるように明瞭な空隙が形成された。長沼と沼田では、機種が異なるため、その空隙断面積は長沼の場合約50 cm²で比較的小さいが、沼田では約100 cm²で、かなり大きな空隙が形成された。この段階では同一機種であれば、土壌類

型の差はみられない。施工後は、慣行どおり一連の作業体系によって水稻を栽培し、1作後における空隙の残存状態を調査した。その結果強グライ土壌について示すとFig. 5のとおりである。空隙断面の大きかった沼田では、両土壌のモミガラ暗渠区のみが、施工時に近い状態で保持されていたが、一方空隙断面の小さい長沼では、両土壌ともに全区を通じて空隙はほとんどみられなかった。

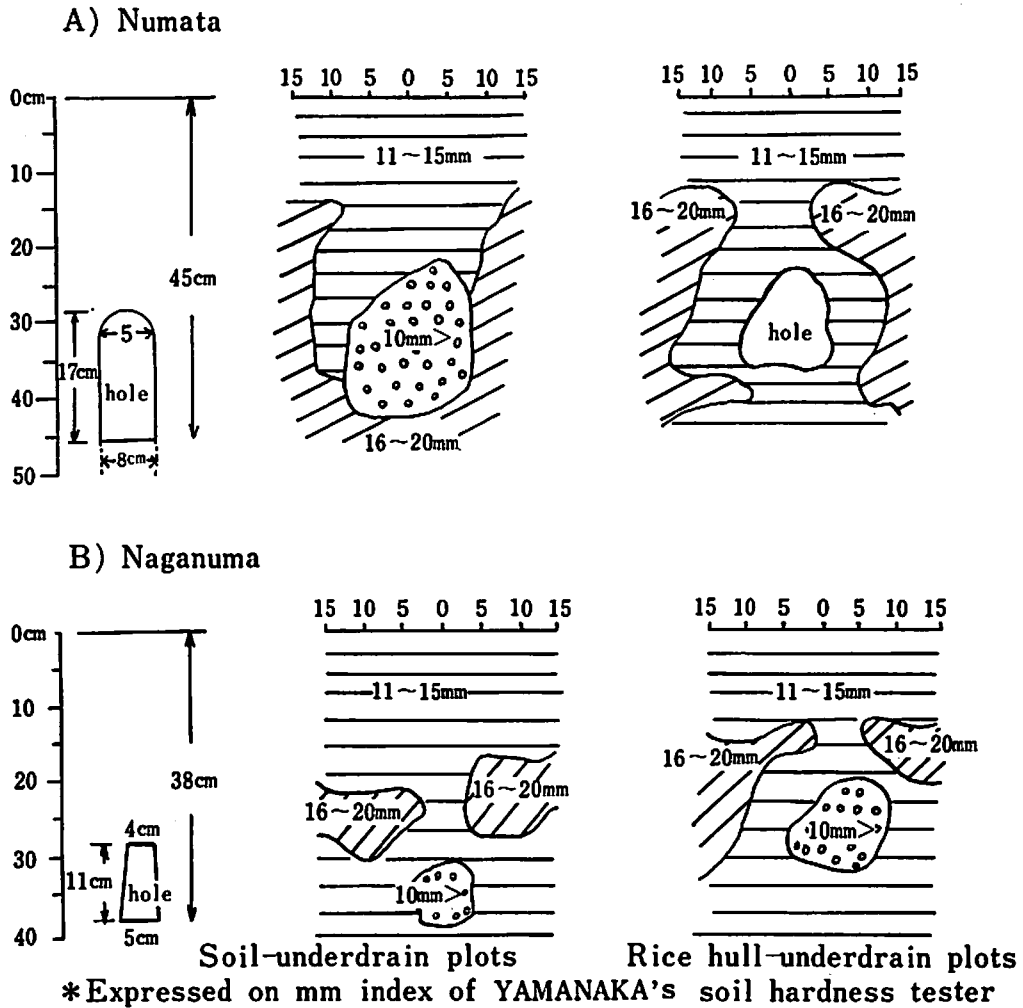


Fig. 5 Variation of hardness on the distance from passed panbreaker sections
(October 1970, Strong gley soil)

すなわち、沼田のパンブレイカー区、土戻暗渠区と長沼の全処理区は土壌類型に関係なく、1作後には周辺の土壌が崩れた状態でふさがり、外観上はほとんど空隙を認めえなかった。これが、水稻2作後(1971秋)になると、沼田のモミガラ暗渠も強グライ土壌ではほとんどふさがり、灰褐色土壌のみが施工時の約 $\frac{1}{3}$ の断面積の空隙が残った。チゼル通過跡に大空隙がみられない場合は、含水比が極めて高いヘドロ状態の部分と、斑鉄の形成があって若干の孔隙がみられる部分とが不規則に分布していた。このような状態においてもわずかながら浸透水の流出がみられる場合が多い。

チゼル通過部を中心とした土壌硬度(山中式硬度計の読み)の分布を強グライ土壌についてみると、Fig. 5のとおり、最も含水比の高いチゼル通過跡は10 mm以下、周辺の15 cm内外も10~15 mmで、不通過部の16~20 mmに比べてかなり軟弱であった。

6) 亀裂の発達状況

落水後の土壌乾燥は、蒸発量と浸透量によって支配され、それらは亀裂の発生状況で大きく左右される。

平方メートル当たりの亀裂の総延長と総面積を土壌別、処理別に比較した(Table. 5)。延長、面

Table 5. Distribution of cracks on the soil surface

Soil groups	Location	Crack	Control	Underdrain	
				Soil	Rice hull
Strong gley soil	Numata	Length	80.5	395.0	778.0
		Area	60.4	411.3	776.6
	Naganuma	Length	862.0	538.0	954.0
		Area	797.5	512.5	981.5
Gray brown soil	Numata	Length	272.0	332.0	681.0
		Area	204.0	341.9	761.1
	Naganuma	Length	712.0	758.5	1015.5
		Area	578.8	660.7	963.2

Length cm/m². Area cm²/m².

積ともに対照区く土層暗渠区くモミガラ暗渠区の順に増大している。特に沼田では2土壌ともに処理間の差が顕著である。亀裂の大きさを地表面の幅によって区分し、それぞれの深さを調べた結果では、幅と深さはほぼ平行して発達していることが認められた。処理別にみると、対照区およびパンブレーカー単独施工区では、亀裂の総延長および面積ではかなりみられるが、その深さが5 cm以内のものが圧倒的に多いのに比べて、モミガラ暗渠では幅10 mm以上で深さも15 cm以上の有効な亀裂が多いことが確かめられた。

これまで一般に、土壌面からの蒸発は、土壌が水で飽和されている場合に最大になるとされていたが、後藤¹⁾は土壌面に亀裂が発生した場合に日蒸発量が最大値になることを明らかにしている。土壌表面に発達した亀裂が、表面水の浸透、蒸発を促進する大きな要因である。強粘質土壌では液性限界付近で亀裂の発生が始まるとされているが、本試験に供試した土壌について、この点の確認ができなかったため、今後、母材、有機物等の関連で亀裂発生の機構を検討したい。

7) 浸透水量

パンブレーカーならびに暗渠の施工方法によって、含水比、気相および亀裂などにそれぞれ顕著な差が認められたので、落水後の地表面排水効果を総合的に比較検討するため、二重棒法²⁾によ

て浸透水量の調査を行なった。Fig. 6に1970年沼田で実施した2土壌タイプの測定値を示した。対照区くパンブレーカー区く土層暗渠区くモミガラ暗渠区の順に浸透水量の増大が顕著であった。こ

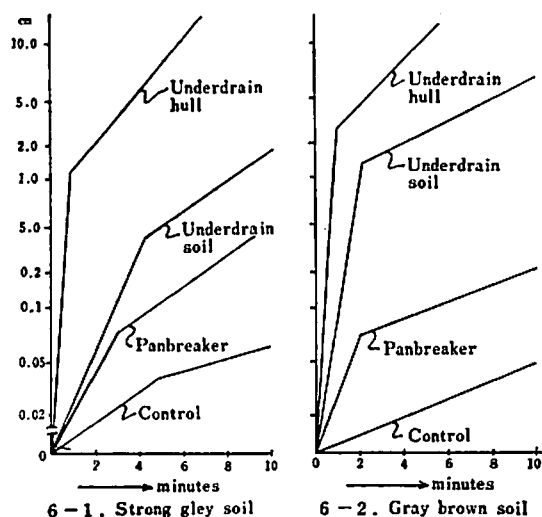


Fig. 6 Measurement of downward percolation (Numata, November 5, 1970)

の傾向は2か年間の調査で、4試験地とも同様であった。一定時間当たりの浸透水量は、幅10 mm以上の亀裂の発生量と密接な関係にあるものと考えられた。

注) 内棒直径30 cm, 外棒直径50 cm, 高さ25 cmの円筒を土中に深さ10 cm打込み、充分給水したのち、外棒の水深10 cmに保って降下浸透水量を測定した。

2 水稻栽培期間中の減水深ならびに降下浸透量

水稻の生育、収量と降下浸透量は密接な関係¹⁵⁾にあるが、本試験で施工したパンブレーカーならびに暗渠排水工法が、水稻生育前半の田面水の浸透に及ぼす程度を知るため、一筆減水深ならびに降下浸透量(直径30 cmの円筒をスキ床層まで打込み)を測定した。Table. 6に1970年の測定値を示した。

一筆減水深は5~10 mm/日でその差が近似的であるため、土壌タイプならびに処理間の差は判然としませんが、モミガラ暗渠が若干多い傾向がみられた。なお10 mm/日以上の場合がみられたが、これは畦畔からの浸透量が大きかったものと考え

Table 6. Measurement of downward percolation and consumptive water depth (mm/day)

Soil group	Locations	Date	Control		Underdrain (soil)			Underdrain (hull)		
			Downward percolation	Consumptive water depth	Downward percolation Direct upper	Side 1 m	Consumptive water depth	Downward percolation Direct upper	Side 1 m	Consumptive water depth
Strong gley soil	Numata	18/Ⅵ	4.0	4.1	4.8	3.8	5.1	4.7	3.8	8.2
	Naganuma	21/Ⅶ	3.8	6.6	3.0	3.3	17.0	4.1	4.7	6.7
Gray brown soil	Numata	19/Ⅶ	—	5.1	6.5	4.6	6.5	5.4	4.8	7.6
	Naganuma	9/Ⅶ	9.0	12.7	8.6	9.2	11.0	6.2	8.2	—

られる。

降下浸透量は、いずれも 10 mm/日以下でその差は小さく、処理間および暗渠直上と側方 1 m の測定場所による差はほとんど認められない。しかし土壌類型間では、強グライ土壌の 3~5 mm/日に対して灰褐色土壌が 5~10 mm/日で、絶対値は小さいがその差がみられた。本試験で実施した処理による影響は、一般慣行として行なわれる代かき作業できわめて小さくなるものと考えられる。

ここで行なった測定法は、いずれも蒸発量が含まれるので、1971 年にはマリオット式降下浸透量測定法¹⁰⁾によって、田面水が作土層を通過して降下浸透する量を厳密に測定した。この結果では、対照区で 0.1~1.0 mm/日、土戻暗渠直上部で 0.3~2.0 mm/日、モミガラ暗渠直上部では 1.2~3.7 mm/日となり、それぞれ処理間の差は認められたが、いずれも測定値は極めて小さかった。このように、暗渠埋戻し材料をはじめ処理間の差は一応認められたが、絶対値がいずれも著しく小さく、この程度の差が水稻の養分吸収ならびに根の

活性にどう影響するかについては、今後の検討にまたなければならない。

3 埋設モミガラの変化

疎水材として、暗渠掘削帯に充填したモミガラは、分解がすすんで容積の減少による沈下ならびに透水性の低下など、疎水材としての持続性が問題となる。

本試験に使用したモミガラの新鮮物、暗渠に埋設後 1 年目ならびに 2 年目の材料について、容積重と透水係数の変化を検討した (Table. 7-1)。荷重 2.5 kg/cm² 下でみると、容積重は新鮮モミで 13.8 g/100 ml に対して埋設 1~2 年目のモミ (上部 5~10 cm 部位) は 18~19 g で、約 40 % の増加がみられた。透水係数も容積重とほぼ平行的な関係にあり、経年的に若干低下の傾向がみられたが、2.5 kg 荷重では、いずれも 10⁻¹ オーダーであった。2 年目のモミに 10 kg の荷重をかけても 10⁻² オーダーであった。現実の場面では、3 kg/cm² 以上の圧密をうけることはないものと判断されるので、本実験の結果から、充分の安全性をみても、

Table 7. Variation of the buried rice hull

7-1 Relation between permeability coefficient and bulk density

	Rice hull	Load (kg/cm ²)		
		2.5	5.0	10.0
Bulk density (g/100 ml)	0 *	13.8	13.9	15.8
	1	18.3/13.7**	20.1/14.6	23.2/16.7
	2	18.7/17.2	19.7/18.8	22.5/21.6
Permeability coefficient (cm/sec)	0	5.8×10 ⁻¹	4.3×10 ⁻¹	1.8×10 ⁻¹
	1	2.6/2.8×10 ⁻¹	1.6/1.5×10 ⁻¹	5.6/6.1×10 ⁻²
	2	2.3/1.6×10 ⁻¹	1.4×10 ⁻¹ /8.1×10 ⁻²	4.4/3.5×10 ⁻²

7-2 Decomposition of the buried rice hull (Dry matter percent)

Rice hulls	Loss on ignition (%)	Ash (%)	Total carbon (%)	Total nitrogen (%)	C/N Ratio
0	84.0	16.0	35.8	0.45	80.6
1	71.7/76.9	28.3/23.3	20.0/36.3	0.27/0.39	76.0/94.3
2	58.9/76.6	41.1/23.4	24.0/29.5	0.38/0.42	63.9/70.9

* 0 : Fresh rice hull 1 : Rice hull after one year 2 : Rice hull after two years

** Upper/Under

埋設後数年間は、モミガラ透水係数低下を問題にすることはないのであろう。

なお分解度について、2, 3 の分析を行なった結果は Table. 7-2 のとおりである。炭素率は新鮮物の 80 に対して、1 年後に 76, 2 年後は 64 とわずかながら順次低下している(上部 5~10 cm 部位)。灼熱損失量でみると、新鮮物の 84 % が、1 年後 72 %, 2 年後 59 % とそれぞれ低下し、1 年間で 12~13 % の割合で分解が進んでいることになる。埋設帯を上部 (5~10 cm) と下部 (50 cm 部位) に分けてみると、いずれの性質も下部の変化は小さいが、これに比べて上部の変化はかなり大きいようである。現場での観察によると、表層部の埋戻し土壌に接している 5~10 cm の部分には微細な土砂の混入がみられ、モミの色も黒褐味が強くなり、明度、彩度ともに明らかに低下している。

暗渠に埋戻したモミガラの変化に関する調査例は少ないが、農業土木試験場が実施した 3 か年の観察では、モミガラの腐朽、沈下はあまりないことが報告されている¹¹⁾。

IV 考 察

現在実施されている水田の基盤整備は、用排水を分離し、農道の完備した大区画水田を造成して、大型機械による一貫作業をすすめることにある。

本研究では、区画拡大後における水田の多くが、土層の透水性が小さいため土壌乾燥が悪く、これが機械の導入および作業能率を低下させているので、これを解決する一手法として、暗渠にモミガラを充填して疎水帯をもうけ、これを活用したパンプレーカーの施工によって、一連の排水性を高める観点から検討した。この結果、既往のパンプレーカー単独施工または土戻暗渠とパンプレーカ

ーの組合せ工法に比べて、落水後の土壌水分低下が早く、三相分布に占める気相および固相の増加が顕著にみとめられた。このように表土の乾燥がすすむ結果、収縮が起こり、表層に亀裂が発達し、降雨後も湛水時間が短くなり、コンシステンシー指数を安定して 0.5 以上に保持する土壌条件の整備ができた。このような変化は、明らかに土壌硬度に影響し、機械の走行性を高めるための重要な条件である。土壌硬度と含水比は逆比例¹⁵⁾、大型機械の走行性と土壌硬度が密接な関係にあることは、多くの研究によって明らかである⁷⁾¹²⁾¹⁶⁾。本試験では、大型機械を使用した走行性調査ができなかったため、動貫入試験器¹²⁾を使用して土壌硬度を測定し、モミガラ暗渠とパンプレーカーを組合せた場合の走行性に関する効果を検討した。ここで使用した動貫入試験器とコーンペネトロメーターの関係は Fig. 7 に示されるとおり、関係式 $Y = 6.66X - 2.69$, $r = 0.92$ で極めて高い相関が得

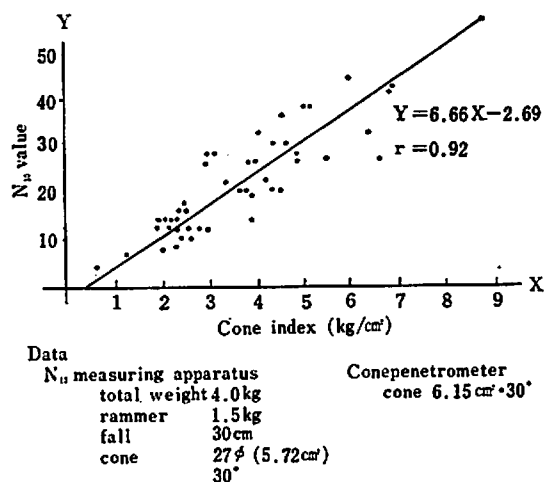


Fig. 7 Correlation between N_{10} value and cone index

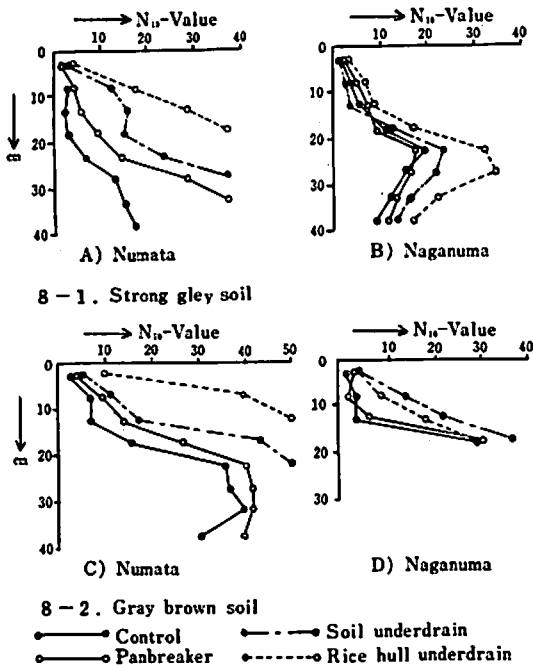


Fig. 8 Change of soil hardness by N_{10} value
(September 25, 1970)

られている。測定結果は Fig. 8 の N_{10} 値にみられるとおり、強グライ土壌・長沼では各処理区の値が近似しているが、他の試験地はモミガラ暗渠が安定して高い土壌硬度に達しており、 N_{10} 値と作業難易性基準¹²⁾に示されている N_{10} 値 30 以上の作業容易の範囲にある。表層 15 cm 以内の N_{10} 値と処理の効果では、対照区およびパンブレーカー単独施工区は 4 試験地とも 5～8 以下で、大型機械は沈下、スリップが起り、作業不能の状態であるが、モミガラ暗渠は N_{10} 値 15 以上で、コーン指数 3 kg/cm² 以上に該当し、作業が可能な硬度に達している。これらのことから、モミガラ暗渠の施工は、他の工法に比べて機械の走行性に対する好適土壌条件の整備に有効な手段と考える。

水田全面を均一に乾燥させるためには、パンブレーカーの効果を高める施工法が伴わなければならない。パンブレーカーによる集水機能は、土壌類型別施工法ならびに機種によって異なる。まず、チゼル通過部の空隙をできるだけ大きく、安定して保持することが前提と考えられる。本試験のなかで、施工 2 年後に空隙が明瞭に残ったのは、

灰褐色土壌（洪積土）に施工時 100 cm² の大きな空隙をつくり、これが疎水帯をもったモミガラ暗渠に連結している場合のみであった。これからみて、チゼル通過部の空隙を保持し、パンブレーカーの効果を高める条件としては、①空隙断面が大きい（50～100 cm²）、②粘土含量が高い、③土層のち密度が大きく、④施工時の含水比が低いこと、⑤施工の深さが 30～35 cm 以下であること等が重要な条件と判断された。この面については母材、鉱物組成ならびに有機物などからさらに検討する必要がある。

V 摘 要

透水性が著しく小さいため、地表排水が悪い、強粘質水田（2 土壌類型）に対して、機械の作業能率が高い土壌基盤を得るため、疎水帯（モミガラ充填）を設けた暗渠排水と心土破碎を組合せた併用効果について検討し、概略次の結果を得た。

1) パンブレーカー通過部の空隙保存状態は、土壌条件によって異なるが、暗渠の施工法によるちがいがみられた。

すなわちパンブレーカーをモミガラ暗渠に組合せた場合に、空隙が最も安定して残った。

2) モミガラ暗渠にパンブレーカーを組合せた場合は、落水後の土壌水分低下が早く、土壌硬度の増大および表層の亀裂発達においても、土戻暗渠にパンブレーカーを施工したものに比べて顕著な効果がみられた。

処理別にみると対照区くパンブレーカー単用区く土戻暗渠区くモミガラ暗渠区の順位であった。

3) 暗渠の影響する範囲についてみると、表土の三相分布、含水比、土壌硬度ならびに地下水位などからみて、モミガラ暗渠では側方約 5 m まで効果が認められたが、土戻暗渠の場合は約 1 m 程度であった。

4) これらのことから、既往の排水工法に比べて、モミガラ暗渠にパンブレーカーを組合せた場合は、機械の走行性を高めるための、好適土壌条件の整備に顕著な効果をあげるものと考えられた。

5) 埋設モミガラは、上部に土砂の混入がみられ、原形が崩れて、 C/N 比も低下し分解が進行し

ているが、施工後 2 年間における透水性の変化は僅少であった。

引用文献

- 1) 後藤定年, 1963; 湿田土壌の物理性の特徴について, 土壌の物理性, 8.
- 2) 後藤定年ほか, 1958; 湿田土壌の亀裂の性状と一防止法, 農土研究, 25, 2.
- 3) 北海道開発局重粘地グループ, 1967; 重粘性土壌の生成, 分類と土地改良, 北海道北部の土壌.
- 4) 古木敏也, 多田 敦, 林 直幹, 上村道子, 1970; は場整備に伴う透水条件の変化について, 農土試報告, 8.
- 5) 五十崎 恒, 1957; 適正浸透量について, 農土研究, 24, 6.
- 6) 金子 良, 1966; 多収穫田の構造と用排水, 土壌の物理性, 15.
- 7) 国分欣一, 根本清一, 増島 博, 1966; 機械化作業と水田土壌の物理性とに関する研究, 土壌の物理性, 15.
- 8) 松坂泰明, 1969; 本邦水田土壌の分類に関する研究, 農技研報告, B20.
- 9) 中川昭一郎, 1964; 湿田の乾田化に伴う透水条件の変化について, 農土試報告, 2.
- 10) 中山利彦, 1968; 北海道における水田土壌の特質とその生産性に関する研究, 道農試報告, 16.
- 11) 農林水産技術会議, 1971; 重粘地帯水田の土層改良と用排水組織に関する特別研究推進会議資料.
- 12) ———, 1969; 大型機械化に伴う水田基盤整備に関する研究.
- 13) 小山正忠, 1962; 特徴土層に基づく水田土壌分類, 農技研報告, B12.
- 14) 寺沢四郎, 1971; 水田土壌群の物理的特徴に関する研究, 農技研報告, B22.
- 15) 山中金次郎, 松尾憲一, 1962; 土壌硬度に関する研究, 土肥誌, 33, 7.
- 16) 山崎不二夫ほか, 1960; 水田の降下浸透の新しい測定法, 農土研究, 27, 6.

Summary

At the heavy clayey paddy field which had poor surface drainage because of very

slow permeability, the soil condition for improvement of working efficiency of agricultural machines was obtained by using rice-hull underdrain along with pan-breaker ("hull-underdrain+pan-breaker").

The results were summarized as follows:

1) Preserved hole of pan-breaker trace was differed by soil conditions and forms of underdrain, i.e., the hole of pan-breaker trace was kept the most stable in the case of "hull-underdrain+pan-breaker".

2) The effects of "hull-underdrain+pan-breaker" was more clear than that of soil underdrain with pan-breaker in relation to decreasing of soil moisture, increasing of soil hardness and development of cracks on the surface layer after cut-irrigation.

The effects of the experimental plots are; rice hull underdrain > soil underdrain > pan-breaker > control.

3) Judging from the volume composition, soil moisture, soil hardness of the surface soil and ground water table, the effects of the underdrain were recognized as far as about 5 meters from the rice hull underdrain and about 1 meter from the soil underdrain.

4) As mentioned above, "hull-underdrain+pan-breaker" had more remarkable effects which gave suitable soil condition for the trafficability of agricultural machines than the drainage methods hitherto in use.

5) The decomposition of the buried rice hull was advanced at the upper part of it, i.e., mixing of soil, breaking of the original form and lowering of the ratio C/N, but it had little influence on the permeability of the rice hull.