

## 笠岡湾干拓地における暗渠の機能試験

長堀金造・天谷孝夫・高橋 強<sup>a)</sup>

(農地整備学研究室)

Received November 1, 1984

### An Experimental Study of Underdrain Function in Kasaoka Bay Polder

Kinzo NAGAHORI, Takao AMAYA and Tsuyoshi TAKAHASHI<sup>a)</sup>

(Laboratory of Land Consolidation)

In the experimental field of Kasaoka bay polder, experiments of underdrain function were carried out using underdrains buried in muddy soil layer just after the land drainage.

The results for 4 years are summarized as follows :

1) From results of the experiment using lysimeter filled by sea bottom mud soil of Kasaoka bay, 70 cm depth at upstream end and 80 cm depth at downstream end (incline : 1/500) were determined most rational depths for underdrain.

2) From observed results of underdrain discharge and groundwater level, all the three types of polyethylene net pipe, vinyl chloride colgate pipe and polyethylene straight pipe showed good results discharging more than 30 mm/day of underdrain water.

3) The effect of chaffs for underdrain was very high and it was found that chaffs functioned effectively as filter even 4 years after burying. On the contrary, when underdrains were filled by spot soil or mountain soil, permeability of soil layer decreased and underdrainage function was obstructed.

4) When the polyethylene synthetic-high polymer soil conditioner (Soilter) was scattered on the filled spot soil, a fairly good result was obtained, and it was judged that Soilter was sufficiently effective as filter.

### 緒 言

一般に干陸後の圃場では、乾燥促進の方法として水切溝の掘削や耕起・反転等を行い、ある程度の乾燥が進められた段階で、次は暗渠を埋設して地下水位を低下させることにより、より深い土層までの乾燥を促進させると共に、地耐力の増強を図ることが必要である。笠岡湾干拓地では干陸当初から畑作物の栽培が計画されており、海面干拓地でもあることから強力な除塩対策を講じなければならないが、従来のお米栽培のように湛水による除塩はできないので暗渠による地下排水によって除塩を促進させなければならない。

以上のようなことから、干陸後、比較的早い時期に暗渠を埋設して地下排水を強化することが必要であるが、未だ十分に亀裂の発達していない軟弱なヘドロ土層に暗渠を埋設して効果的な地下排水を期待するには多くの問題が残されている。そこで、昭和53年9月と11月に試験圃場の一部に暗渠を埋設し、適切な管種やフィルター材の選定上の問題、暗渠の間隔、深さ、管径、勾配等の暗渠排水計画に重要な諸要因を明らかにし、さらには軟弱なヘドロ土層における施工計画上の諸問題について検討することを目的として、暗渠排水試験を行って

a) 現在、京都大学農学部

きた。

本報では、この内暗渠の管種、フィルター材及び埋戻し法に関する試験結果から暗渠の機能についての検討と考察を行ったものである。

### 試験地の概要

試験地は、Fig. 1 に示すように干拓地区内の中央部やや北寄りに位置した約 500×400 m (20 ha) の一圃場内にある。干陸前の標高が -3.0 m~-4.2 m の範囲にあるほとんど起伏のない平坦な区域で、昭和 51 年 11 月から 52 年 3 月にかけて徐々に干陸された。

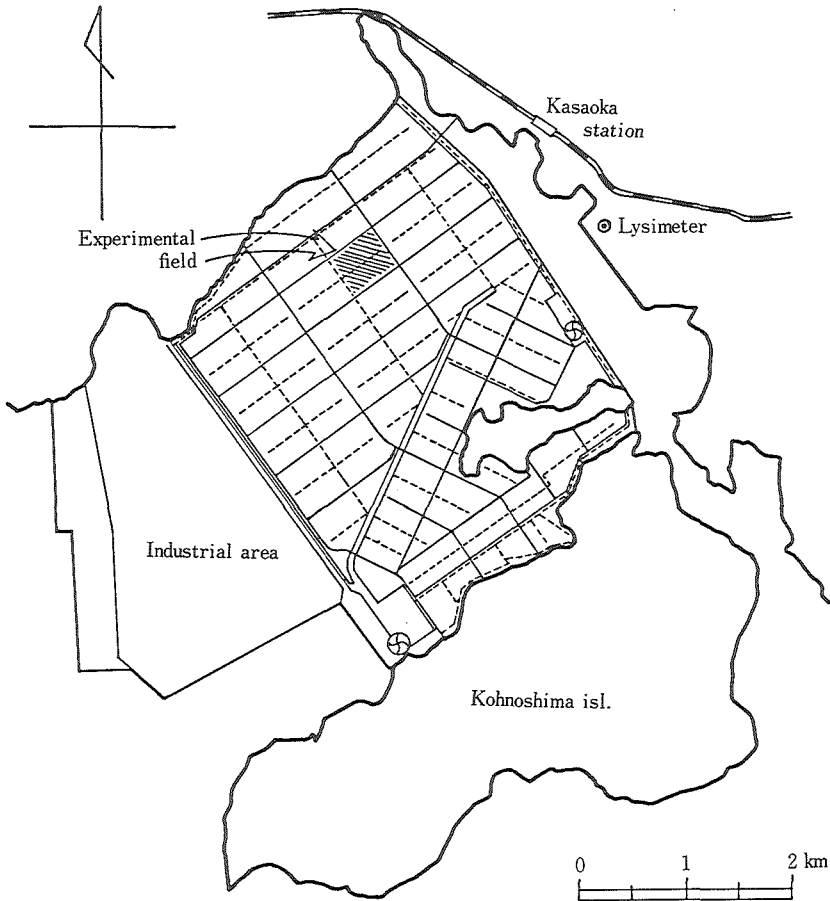


Fig. 1. Location of experimental field in Kasaoka bay polder.

干陸後の試験圃場では、夏期の乾燥を待ってから 52 年 10 月に圃場の中央部に Fig. 2 にあるような小排水路が、また 12 月には圃場乾燥工の第一段階として集水溝とそれに直交する水切溝が掘削された。この水切溝は、その後の圃場乾燥工及び暗渠排水工との組合せを考慮して、5 m, 7.5 m, 10 m, 15 m, 20 m といろいろの間隔で施工されたものである。さらに、53 年 3 月と 9 月には試験圃場の一部 (試験区 No. 1, 2, 3 及び No. 5, 6, 7) に既設の水切溝と直交して水切溝が施工された。

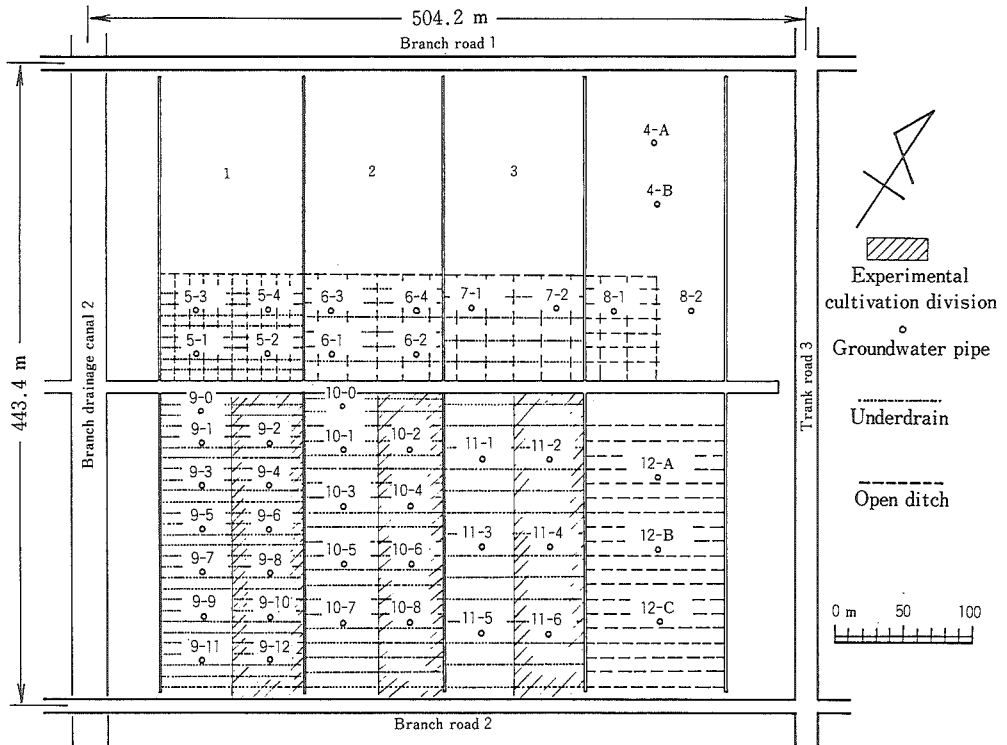


Fig. 2. Outline of experimental field.

きて、53年9月から11月にかけて、Fig. 2に示すように試験区 No. 5, 6, 7 及び No. 9, 10, 11 において、既設の水切溝の位置に暗渠を埋設し、試験を開始した。各試験区ごとの暗渠管種、管径、間隔及びフィルター材の種類等は Table 1 に示すとおりである。

その後、54年9月から試験区 No. 9, 10, 11 の東半部(各1 ha)において、牧草や麦、蔬菜類の栽培試験が続けられている。また56年5, 6月の整地を除き大きな試験条件の変化はなかったが、58年度からは利用方針の変更があったため、本報での取りまとめは57年度までの成果により行うものである。

## 試 験 方 法

### 1. 暗渠排水工の計画

#### 1) 暗渠管種の選定

使用する暗渠の管種については、現在市販されているいろいろな資材及び型式のパイプのうちから、そのいくつかを試験的に埋設し、それらの効果を比較検討することにより、経済性、施工性及び効果の面から干拓地ヘドロ層に最も適切な管種の選定に資することを目的として、7種類のパイプを使用した。これらの管種、規格及び施工延長等は、Table 1-1 に示すとおりである。

#### 2) 埋戻し及びフィルター材の選定

フィルター材選定の適否は暗渠排水の効果を左右する最も重要な因子である。フィルター材としては一般にモミガラ、石炭ガラ、砂あるいは土壌改良剤等が用いられているが、現地で簡単に安価で入手できるものでなければならない。これらの材料の入手の難易、現地の特殊性及び経済性等を考慮して選定しなければならないが、ここでは下記のフィルター材を試

験的に使用し、その効果を比較検討することとした。

(a) ポリオレフィン系合成樹脂繊維 (ダイヤベース)

(b) ポリエステル合成樹脂繊維 (コウケンシート)

(c) モミガラ

(d) 山土

(e) 現地土

(f) ポリエチレン系合成高分子土壌改良剤 (ソイルター)

暗渠のフィルター材としては、(c) モミガラが一般に最もよく使用されており、水田ではその効果もある程度実証されているが、笠岡湾干拓地全域に使用するには、入手可能量の面で問題がある。また (a), (b) の工業製品も相当高価であることから、ここでは現地で比較的安価に入手できるものとして干拓地区内の片島にある土取場から採取される (d) 山土の使用を考えた。これは、比重が 2.647, 2 mm 以上のレキ分が 54%, 2~0.047 mm の砂分が 37% とかなり粗粒でマサ質の山土である。さらに、現地圃場の表層土はすでに十分乾燥し、固結しているため、これがそのままフィルター材として使用できれば工事費は非常に安くなる。そこで現地土のフィルター材としての適否を検討するために、十分乾燥の進んでいる表層 10 cm

Table 1-1. Pipe type, standard and construction length of buried underdrain

Pipe type	Form	Inner diameter (mm)	Pipe length (m)	Opening ratio (%)	Unit price (¥/m)	Construction length (m)	Remarks
A. Polyethylene synthetic net pipe	PCE-50	50	4	60	170	285.0	Netoron (Tokyo polymer)
B. Polyethylene net pipe	L-50	50	4	20	180	332.5	Netoron (Dainippon plastic)
	L-65	65	4	20	280	190.0	〃
	PCS-50	50	4	11	290	190.0	Netoron (Tokyo polymer)
	E-50	50	4	13	285	190.0	Netoron (Dainippon plastic)
	N-50	50	4	10	170	1,282.5	Yukadrain (Mitsubishi yuka)
	N-65	65	4	20	260	380.0	〃
C. Polyethylene net long pipe	S-55	50	20		180	380.0	Sundrain (Taiyo kogyo)
	S-65	60	20			190.0	〃
	LP-55	50	100	7.6	185	380.0	Trikal long pipe (Takiron)
	LP-65	60	50	8.2	225	190.0	〃
D. Vinyl chloride colgate pipe	55	50	100	2.7	185	522.5	(Shinetsu polymer)
	65	60	50	2.6	225	617.5	〃
E. Polyethylene straight pipe	50	50	4	0.8	610	190.0	Bidrain (Mitsui toatsu kagaku)
	50	50	4	0.8		760.0	Dipolyn (Torii kasei)
F. Polyolefinic plastics fiber drain	VG	50×100	4		760	190.0	Daiyadrain (Mitsubishi yuka)
G. Nylon fiber frexible pipe	ST-50	50	200		210	380.0	Takatadrain (Takata kojo)
Total						6,650.0	

Table 1-2. Outline of underdrain works in every experimental plots

Experimental plot No.	Area (m <sup>2</sup> )	Open ditch (length × width) (m)	Pipe type	Inner diameter of pipe (mm)	Spacing (m)	Line number	Filter* material	Filling* material	Construction length (m)	Remarks
5-1	2,162.5	10×7.5	B	50	7.5	4	a	e	190	L-50
5-2	2,162.5	〃	D	〃	〃	〃	〃	d	〃	55
5-3	1,572.5	〃	B	〃	〃	3	f	e	142.5	L-50
5-4	1,572.5	〃	D	〃	〃	〃	〃	d	〃	55
6-1	2,000	20×10	A	50	10	3	a	d	142.5	PCE-50
6-2	2,000	〃	D	60	〃	〃	〃	e	〃	65
6-3	1,650	〃	A	50	〃	〃	f	d	〃	PCE-50
6-4	1,650	〃	D	60	〃	〃	〃	e	〃	65
7-1	3,550	20×15	B	65	15	4	f	e	190	L-65
7-2	3,550	〃	D	60	〃	〃	〃	〃	〃	65
9-0	1,125	—	C	50	7.5	3	—	e	142.5	S-55
9-1	1,687.5	7.5	C	〃	〃	4	—	〃	190	〃
9-2	1,687.5	〃	C	〃	〃	〃	—	〃	〃	LP-55
9-3	1,500	〃	B	〃	〃	〃	b	〃	〃	E-50
9-4	1,500	〃	B	〃	〃	〃	〃	〃	〃	N-50
9-5	1,500	〃	F	50×100	〃	〃	—	d	〃	VG
9-6	1,500	〃	E	50	〃	〃	f	e	〃	Bidrain 50
9-7	1,500	〃	E	〃	〃	〃	b	〃	〃	Dipolyn 50
9-8	1,500	〃	E	〃	〃	〃	〃	d	〃	〃
9-9	1,500	〃	B	〃	〃	〃	—	c	〃	N-50
9-10	1,500	〃	B	〃	〃	〃	—	d	〃	〃
9-11	1,762.5	〃	D	〃	〃	〃	—	c	〃	55
9-12	1,762.5	〃	G	〃	〃	〃	—	〃	〃	ST-50
10-0	1,125	—	C	50	10	3	—	e	142.5	ST-55
10-1	2,250	10	C	〃	〃	4	—	〃	190	〃
10-2	2,250	〃	C	〃	〃	〃	—	〃	〃	LP-55
10-3	2,000	〃	B	〃	〃	〃	a	〃	〃	PCS-50
10-4	2,000	〃	B	〃	〃	〃	〃	〃	〃	N-50
10-5	2,000	〃	E	〃	〃	〃	〃	〃	〃	Dipolyn 50
10-6	2,000	〃	E	〃	〃	〃	〃	d	〃	〃
10-7	2,000	〃	B	〃	〃	6	—	c	285	N-50
10-8	2,000	〃	B	〃	〃	5	—	d	237.5	〃
11-1	3,375	15	C	60	15	4	—	e	190	S-65
11-2	3,375	〃	C	〃	〃	〃	—	〃	〃	LP-65
11-3	3,000	〃	B	65	〃	〃	—	c	〃	N-50
11-4	3,000	〃	B	〃	〃	〃	—	d	〃	〃
11-5	3,075	〃	D	〃	〃	3	—	c	142.5	65
11-6	3,075	〃	G	50	〃	4	—	〃	190	ST-50

\* a. Polyolefinic plastics fiber (Diabase) b. Polyester plastics fiber (Koken sheet) c. Chaffs  
d. Mountain soil e. Spot soil f. Polyethylene synthetic-high polymer soil conditioner (Soilter)

程度までの固結土塊で埋戻したものが、(e)の現地土である。また、このようにして埋戻した現地土が吸水して再び崩壊し、暗渠の機能を損う恐れも考えられるため、(f)ポリエチレン系合成高分子土壌改良剤を散布し、その効果を確かめることとした。

### 3) 暗渠の配置と間隔

一般に暗渠の間隔は土壌の透水性に基づいて決められるが、干拓地の軟弱なヘドロ層では、亀裂の発達や乾燥の程度によって透水性は大きく変化するものである。したがって、現時点での土壌状態をもとにして暗渠間隔を決定するのは適当ではなく、現地試験を行って決定す

ることが望ましい。また、既に掘削されている水切溝の側壁が十分に乾燥し、亀裂もよく発達しているため、水切溝と暗渠の関連性を考慮して暗渠の配置を考えればより効果的な排水が期待されるものと考えられる。そこで、暗渠は水切溝の位置に埋設することとした(Fig. 2)。したがって暗渠の間隔は次のようになり、暗渠の間隔と排水効果の関係を比較検討することにより、適正な暗渠間隔の決定に資することとする。

試験区 No. 5, No. 9 → 暗渠間隔 7.5 m

試験区 No. 6, No. 10 →     〃     10 m

試験区 No. 7, No. 11 →     〃     15 m

#### 4) 暗渠の深さと勾配

暗渠の埋設深さについては必ずしも確たる規準はないが、畑作物の正常生育のためには地下水位を地表面下 60~100 cm の深さにまで低下させなければならないとされている。一方、暗渠をあまり深く埋設して亀裂との連続性が悪くなると、暗渠が有効に作用しなくなる。ここでは、ライシメーター試験<sup>1)</sup>及び児島湾干拓地の施工事例等を参考として、上流端で 70 cm、下流端で 80 cm とした。暗渠 1 本の長さは 50 m であるから、勾配は 1/500 となる。ただし、暗渠埋設後の上層の乾燥収縮によって、暗渠の深さが当初よりかなり減少することが考えられるので、施工に当ってはこれよりも若干深めに埋設することとした。

#### 5) 暗渠管径の決定

計画暗渠排水量は一般に 10~50 mm/day<sup>2)</sup> とされており、笠岡湾干拓地では特に畑作物の栽培が計画されているために、地下排水の強化が十分に考慮されなければならないが、一方地表排水が比較的容易にコントロールできることを考慮して、ここでは計画暗渠排水量を 30 mm/day とした。そして、次の MANNING 式  $v = (1/n) R^{2/3} I^{1/2}$  (ここで  $v$ : 平均流速,  $n$ : 粗度係数,  $R$ : 径深,  $I$ : 勾配) により水理計算を行った結果、暗渠間隔差に対応する各管種の管径を、Table 2 に示すように 50 mm と 60 mm の二種に決定した。

Table 2. Diameter of underdrain pipes against pipe type and spacing

Pipe type	Spacing (m)		
	7.5	10	15
Polyethylene net pipe	50 mm	50 mm	60 mm
Vinyl chloride colgate pipe	50	60	60
Straight pipe	50	50	60

## 2. 暗渠施工の概要

Table 1-2 に示された、各試験区における暗渠排水工の施工順序ならびに施工法の概要を簡単にまとめると、次のとおりである。

### 1) 作業機械の通行路作成

作業機械の進入路に当る水切溝部分を山土により埋戻し、通行路を作成した。

### 2) 整地

圃場面には水切溝の掘削土が置土されているが、トレンチャーによって暗渠埋設溝を掘削する場合、このような圃場面のわずかな凹凸が溝底の勾配の設定に支障をきたすことになる。そこで、暗渠埋設溝の掘削に先立って湿地ブルドーザー (D 21 P) により、水切溝の両肩の整地を行った。

### 3) 暗渠埋設溝の掘削

暗渠埋設溝の掘削はトレンチャー (MS 32 L) により行った。

#### 4) 暗渠パイプの敷設

暗渠埋設溝の掘削後、溝底に人力によりパイプを敷設した。この場合、土が軟弱で掘削後2~3時間で溝壁が崩壊しはじめるため、パイプの敷設は掘削後できるだけ早急に行うことが必要であった。長尺管使用の場合で合成樹脂繊維フィルター材を用いない場合には、パイプをトレンチャーに搭載して掘削しながら、敷設することができるので非常に能率的であった。

#### 5) フィルター材埋戻し

合成樹脂繊維フィルター材の場合には暗渠パイプの敷設前と敷設後に、パイプの上下に人力により敷設した。

モミガラ及び山土を使用する場合には、小型8輪ダンプ(キャリア)によって資材を運搬し、パイプの敷設後、人力により地表面下30cmの深さまで埋戻した。

現地乾燥土の埋戻しの場合、表層10cm程度を湿地ブルドーザー(D21P)により掘削押しして30cmの深さまで埋戻し、最後は人力で埋戻し面を均平化した。

土壌改良剤散布の場合は、埋戻し後0.75l/mの原液を15倍の水で希釈し、ポンプにて散布した。

#### 6) 表土埋戻し

フィルター材埋戻し後、現地乾燥土を湿地ブルドーザー(D21P)によって地表面まで埋戻した。

### 3. 調査の方法

暗渠管種、フィルター材及び間隔の多種多様の組合せの試験区を設定したため、下記の地下水位、暗渠排水量、暗渠掘起こしの項目にしばって調査を行い、各因子の相互関係を比較検討することとした。

#### 1) 地下水位

比較試験のための無暗渠区も含めて、Fig. 2に示されている45ヶ所の地点に深さ1mの地下水位パイプを埋設して、ほぼ一週間ごとに定期的に地下水位の変動状況を観測した。

#### 2) 暗渠排水量

かなり大量の降雨の後、各暗渠排水口からの流量を経時的に杓子とストップウォッチにより測定した。同時にそのときの地下水位も測定した。

#### 3) 掘起こし調査

暗渠埋設4年後の昭和57年に、埋戻し部の状態やフィルターが目詰まりの程度を確かめ、暗渠排水の機能阻害の原因を明らかにするために、代表的ないくつかの暗渠について埋戻し部を掘起こしてその断面やフィルター材、暗渠管の状態を観察し、また適宜サンプリングを行って埋戻し部の乾燥密度を求めた。

### 4. 暗渠排水の目標値

常時地下水位が高い状態であれば、そこに生育する畑作物の正常生育に支障をきたすと共に地耐力の強化にも大きな障害となる。土地改良事業計画設計基準(暗渠排水)<sup>3)</sup>によると、計画地下水位及びその低下速度は土地利用の状態により異なるが、牧草及び一般畑作物の場合には降雨後2~3日の地下水位が地表面下40~50cm、常時地下水位(降雨後7日以降)が50~60cm以下でなければならないとされている。また、このように暗渠排水の効果を発現させるための土壌条件としては、透水性が $10^{-4}$ cm/sec程度以上でなければならないとされている。したがって、ここで取扱う暗渠排水試験についても、これらの値を一応の目標値として、検討を加えた。

## 結果と考察

暗渠の機能に関する試験結果を比較・検討する場合、管種、フィルター材、間隔による組合せの数が多いので、基本的にはある要因を除き全く同じ条件で比較しうる場合は、ごく少数とならざるを得ない。そこで、各要因ごとに影響度を分別しつつ、その結果をさらに他の考察に援用し検討を進めた。

### 1. 暗渠排水量と地下水位の関係

昭和 53 年秋の暗渠埋設から 4 年間にわたる調査結果を解析するに際し、この間にどのような暗渠排水傾向の変動が示されたかについて、暗渠排水量と地下水位の関係をもとに検討を加えた。ただし、調査地点数が多いため、ここでは最も顕著な変動を示した No. 7-2 区と No. 9-4 区の結果を用い、それを Fig. 3 に示した。これより、埋戻しは両者共現地土であるが、暗渠間隔、管種、フィルター材は、7-2 が順に 15 m、塩ビコルゲート管 (D)、ソイフィルター (f) であるのに対し、9-4 は 7.5 m、ポリエチレン製網状管 (B)、コウケンシート (b) と異なったが、ほぼ同じ傾向を示した。

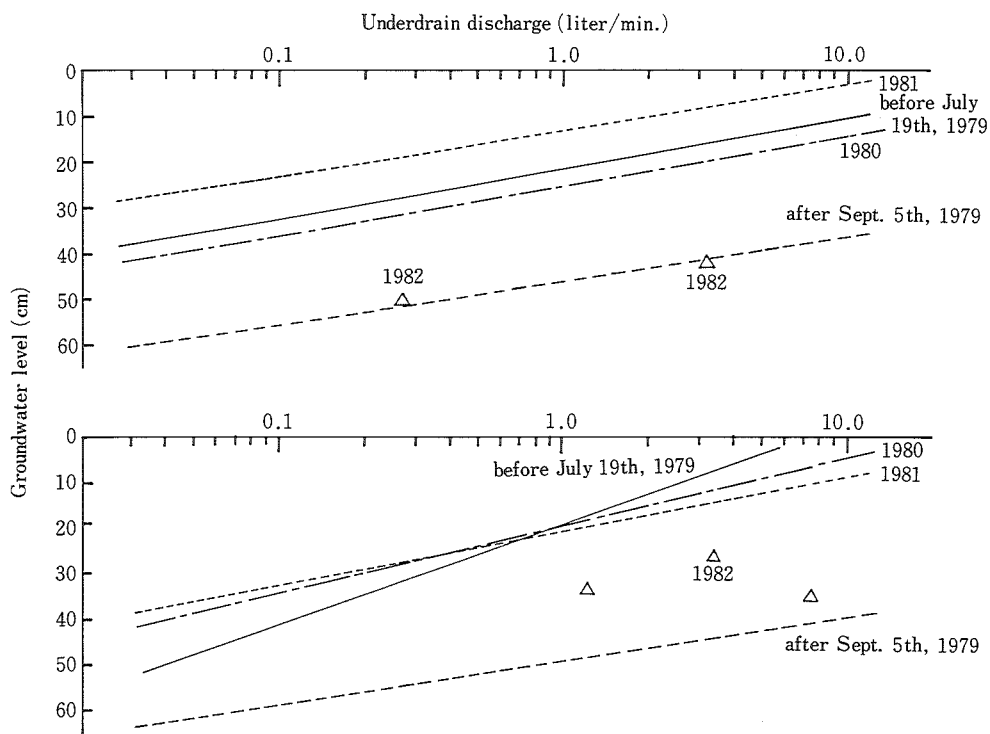


Fig. 3. Relation between groundwater level and underdrain discharge.

すなわち、昭和 54 年度は 7 月 19 日以前のもものと 9 月 5 日以降のものとは明らかに傾向が大きく異なると共に、いずれも地下水位と暗渠排水量の間には片対数紙上で直線関係があることがわかった。この両期で差がみられたのは、夏期の乾燥により亀裂の発達が促進されたことにより、土壌の透水性が増加したと、亀裂と暗渠の連続性が良くなったことが原因と考えられる。つまり、同じ水量を排水するのに 9 月 5 日以後ではより低い地下水位で排水できることになり、地下水位の低下が容易になったことを意味する。このように大きな



地下水位の低下がみられたのは、試験区 No. 5, 6, 7 のすべてと No. 9-4, 9-6, 9-8, 9-11, 10-2 で、10~20 cm の低下が生じた。一方、No. 9-1, 9-5, 9-9, 9-10, 10-1, 10-3, 10-5, 10-6, 10-8 及び No. 11 のすべてでは、ほとんど地下水位の低下はみられなかった。こうした傾向を断定的に述べるのは困難であるが、概ね直交水切溝施工区 (No. 5, 6, 7) やフィルター材施用区で低下が大きく、フィルター材無施用区や No. 11 のような暗渠間隔の大きい場合には低下が小さいといえた。

しかし、55 年には直線関係は示すものの、54 年の 9 月以後の線から大きく上昇し、7 月以前の線へ接近するという、排水機能の劣化現象を示した。これは、7, 8 月に多量の降雨が続いたために夏期の乾燥がほとんど進まず、地下水位の低下が悪かったためである。降雨量の少ない秋にはやや低下したものの、続く 56 年の結果は前年と同様かそれ以上に地下水位の低下が悪い状態のままであった。この年は、夏期の雨量も少なく土壌の乾燥には好条件とみられたことから、このような暗渠機能の劣化現象が生じた原因を考えると、55 年の冷夏長雨による土層の過湿状態の結果として土壌構造が変化し、亀裂の消長に伴う透水性の変動が地下水位低下速度の遅延に作用したと推察される。ちなみに、この間の含水比と乾燥密度の変化を Fig. 4 からみると、干陸当初は急激に進行した乾燥は、55, 56 年にはほとんど停滞してしまっただけから、これが暗渠排水機能に与えた影響が予想できる。

さらに、57 年には夏の乾燥が再び深層に及んだ結果、秋の観測結果からは低地下水位でも多量の排水がもたらされるようになり、地下水位と排水量との有意な直線関係もみられなくなった。この変化は、Fig. 4 における乾燥の進行結果から明らかにうかがえた。

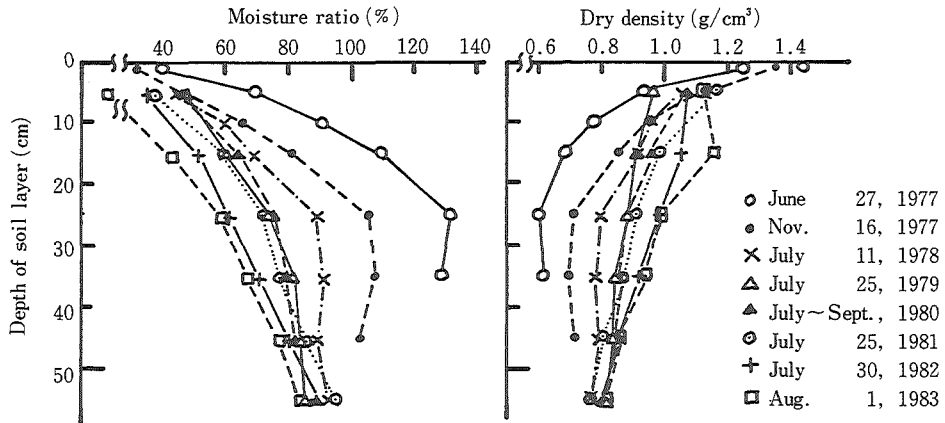


Fig. 4. Changes of moisture ratio and dry density after land draining in experimental field.

したがって、54 年から 57 年までの 4 年間に於いても、暗渠機能は緩やかな変化を示しつつ経過したことが明らかとなった。

## 2. 暗渠管種による機能比較

管種による機能差の比較を行った試験区の組合せと各々の埋設条件を、Table 3 に示した。

Table 3. Comparative standard of underdrain function about pipe types

Pipe type	Experimental plot No.	Underdrain Spacing (m)	Filter material	Filling material	Open ditch
C	9-1	7.5	—	e	Parallel
B	9-3		b		
E	9-7		b		
C	9-2	7.5	—	e	Parallel
B	9-4		b		
B	9-9	7.5	—	c	Parallel
D	9-11				
G	9-12				
F	9-5	7.5	—	d	Parallel
B	9-10				
C	10-1	10	—	e	Parallel
B	10-3		a		
E	10-5		a		
C	10-2	10	—	e	Parallel
B	10-4		a		
B	11-3	15	—	c	Parallel
D	11-5				
G	11-6				
B	7-1	15	f	e	Cross
D	7-2				

調査結果の判定は、地下水位の度数分布ならびに暗渠排水量と地下水位との関係により行った。ここで、地下水位の度数分布とは、各測定値が地表面下 20 cm ごとに分けたどの深さの段階に入るか、つまり各地下水位の範囲内に分布する割合をパーセントで表わしたものである。これより、管種間の機能比較を経年的に行うと、昭和 54 年は地下水位の度数分布 (F<sub>dh</sub> と略称) ならびに暗渠排水量と地下水位の関係 (Q—H と略称) 共に、ポリオレフィン系合成樹脂繊維 (F) の悪さが目立った。55 年度は、F<sub>dh</sub> 比較からは塩ビコルゲート管 (D) は良好、ポリエチレン製網状長尺管 (C) とポリエチレン製網状管 (B) 及びポリエチレン製直管 (E) とには差はなく、F タイプが悪かった。また、Q—H 比較から同じく C, B, E タイプに差はないが、G, F タイプは明らかに悪く (No. 9—5, 9—12, 11—6), D タイプは排水が良くなっている例もあった (No. 7—2)。

さらに、56 年に入っても F<sub>dh</sub> 比較からみて G タイプは悪く、その例として他の条件は皆同じで管種のみが異なる比較を行った No. 11—3, 11—5, 11—6 の結果を Fig. 5 に示した。F タイプの悪さもこれに順ずるが、その他の間に有意な差はみられなかった。このことは、Q—H 比較からも明らかとなった。

57 年は地下水位の低下が顕著な年であった。よって、F<sub>dh</sub> 比較からみるとほとんどの試験区が前述の暗渠排水の目標値を越えていたが、やはり G タイプは極度に悪かった。F タイプもこれに次いで悪く、前年と同様に Q—H 比較からも示された。その原因については、後述する掘起こし調査結果の検討で明らかにする。

以上、管種別の機能比較を経年的に行った結果、F タイプと G タイプを除き A タイプから E タイプまでの 5 種類の管種については、性能面で有意な差はみられなかった。よって、これ以後の考察では F, G タイプを除く管種の差を考慮する必要のないことが明らかとなった。

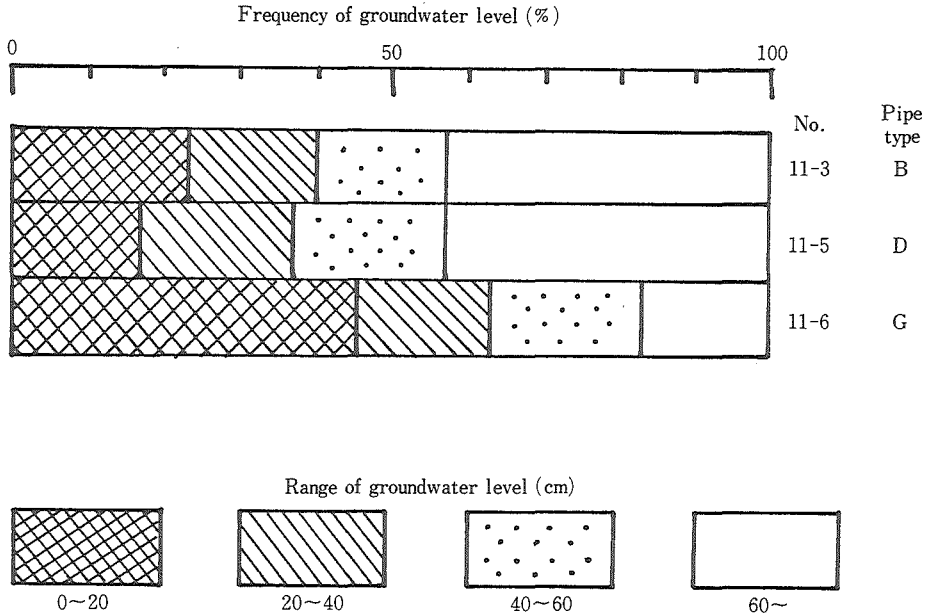


Fig. 5. Relation between pipe type and groundwater level.  
(15 m spacing and chaffs, 1979)

3. フィルター材による機能比較

試験区の比較区分における各規準を Table 4 に示した。この場合、前述の結果より管種の異同は無視した。

Table 4. Comparative standard of underdrain function about filter materials

Filter material	Experimental plot No.	Underdrain spacing (m)	Filling material	Open ditch	Pipe type
—	9-1	7.5	e	Parallel	C
b	9-3				B
b	9-7				E
—	9-2	7.5	e	Parallel	C
b	9-4				B
f	9-6				E
—	9-5	7.5	d	Parallel	F
b	9-8				E
—	10-1	10	e	Parallel	C
—	10-2				C
a	10-3				B
a	10-4				B
a	5-1	7.5	e	Cross	B
a	5-2		d		D
f	5-3		e		B
f	5-4		d		D
a	6-1	10	d	Cross	A
a	6-2		e		D
f	6-3		d		A
f	6-4		e		D

結果を経年的に検討すると、まず54年ではQ-H比較より合成樹脂繊維(a, b)や土壤改良剤(ソイルター, f)を用いた場合、優劣はつけ難いがどちらも排水が良くなっている場合が多いといえる。F<sub>ah</sub>比較でも、フィルター材の効果が認められた。55年に入ると、F<sub>ah</sub>比較ではダイヤベース(a)の場合に地下水位の低下が悪くなっている例があった(No. 10-3, 10-4, 10-5)。これに対して、f材を用いた場合は良好となった(No. 9-6)。しかし、Q-H比較によるとフィルター材の効果は明白でなくなった。

さらに56年には、F<sub>ah</sub>比較でもフィルター材の有無の差は明確でなく、コウケンシート(b)と山土埋戻しとの組合せにおける地下水位の異常な上昇例(No. 9-8)や、f散布区における地下水位低下の悪化例(No. 5-4, 6-4)もみられた。57年では、フィルター材として暗渠管をb材で覆った場合は、F<sub>ah</sub>比較よりNo. 9-3, 9-4, 9-8区のように地下水位の低下が悪くなる例がみられたが、これは泥土によってフィルター材が目詰まりを生じたためと推測された。一方、f材は比較的良好な例(No. 9-6)もあるが、その効果はそれ程明確ではない。Q-H比較からも、フィルター材(a, b)の効果はほとんど認められなかった。

以上、施工当初に認められたフィルター材の効果は、時間の経過と共に消滅してしまったことがわかった。その原因については、後の掘起こし調査結果から検討する。

#### 4. 埋戻しによる機能比較

試験区の比較区分における各規準をTable 5に示した。管種差を無視したのは同様であり、モミガラ(c)、山土(d)、現地土(e)という3種類の資材による埋戻しが暗渠機能に与える影響について、経年的に比較検討した。

Table 5. Comparative standard of underdrain function about filling materials

Filling material	Experimental plot No.	Underdrain Spacing (m)	Filter material	Open ditch	Pipe type
e	9-1				C
e	9-2	7.5	—	Parallel	C
c	9-9				B
d	9-10				B
e	9-4				B
e	9-7	7.5	b	Parallel	E
d	9-8				E
e	10-1				C
e	10-2	10	—	Parallel	C
c	10-7				B
d	10-8				B
e	10-4				B
e	10-5	10	a	Parallel	E
d	10-6				E
e	11-1				C
e	11-2	15	—	Parallel	C
c	11-3				B
d	11-4				B

まず54年には、Table 5におけるフィルター材なしの場合について試験したが、Q-H比較からは有りに比べて埋戻しのみでは一般に排水が悪い場合が多かった。同様に、F<sub>ah</sub>比較でも埋戻しのみにおける地下水位低下は全体に悪く、前述したようにフィルター材の施用は

有効な結果を示した。55年に入ると、 $F_{dh}$  比較からはフィルター材なしの埋戻し土のみでは、モミガラが現地土や山土の場合に比べて安定しているようであり、この例を Fig. 6 に示した。この理由は、現地土や山土の場合には埋戻し土の間隙の状態にバラツキが多いためであろう。Q-H 比較でも、同様にモミガラが安定して排水が良好であり、それは Fig. 7 に示すとおりである。一方、フィルター材を用いた場合でも、現地土ではバラツキが大きく不安定で、必ずしも望ましい埋戻し方法とはいえない。

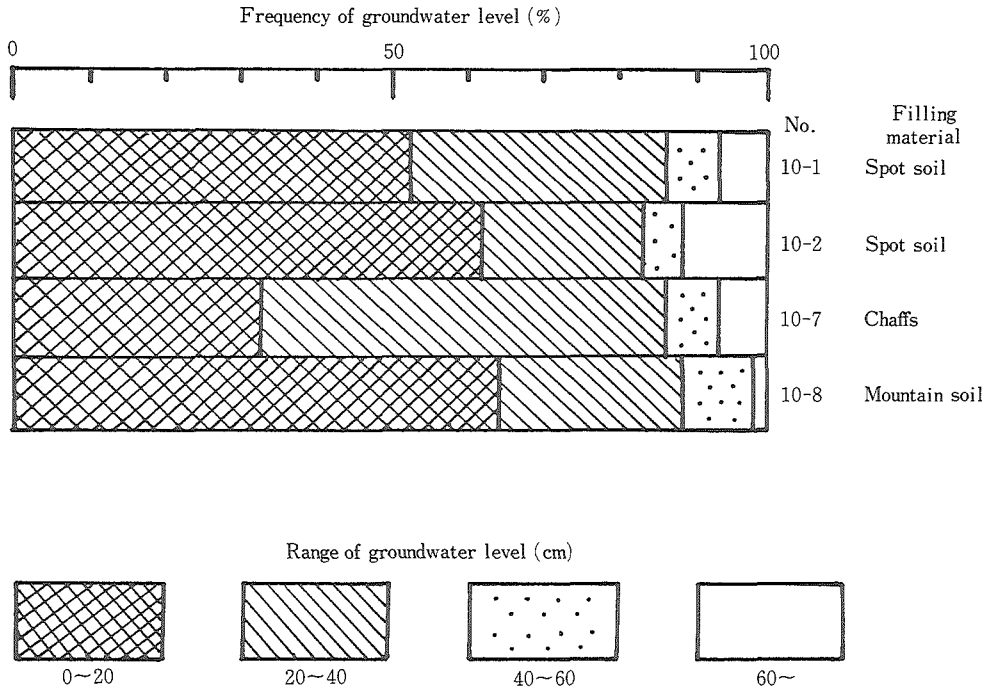


Fig. 6. Relation between filling material and groundwater level. (10 m spacing, 1980)

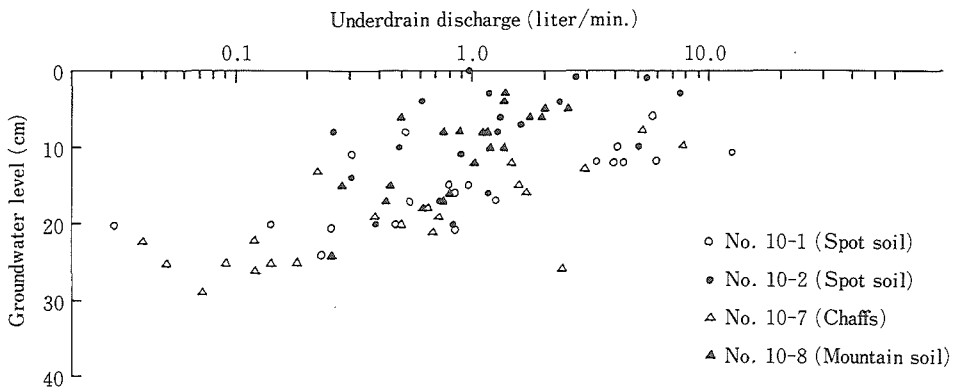


Fig. 7. Relation between filling material and underdrain discharge. (10 m spacing, 1980)

さらに 56 年には、 $F_{ah}$  比較では埋戻し資材の地下水位に与える効果の順序は、モミガラ、現地土、山土となったが、その差は未だにそれほど大きなものではなかった。Q-H 比較からは、現地土のみの埋戻しよりも、モミガラの方が安定して排水が良好であった。また、現地土と山土の比較では、山土の方が排水の悪い場合が多いようである (No. 9-8, 10-8, 11-4)。

57 年では、 $F_{ah}$  比較からみて山土埋戻し区 (No. 9-5, 9-8, 9-10, 10-6, 10-8, 11-4) では地下水位が高かった。これは、同じ栽培区でも現地土埋戻しの No. 11-2 と比較すれば明らかである。一方、モミガラ区 (No. 9-9, 9-11, 10-7, 11-3, 11-5) では全般的に地下水位の低下が良好であった。次に、Q-H 比較からは、暗渠管径の決定時に定めた計画暗渠排水の 30 mm/day を排除していない試験区は、No. 9-5, 9-8, 9-12, 10-6, 10-8, 11-2, 11-4 の 7 区で、これらの大半は山土によって埋戻された所である。山土の場合は、排水能力が不足するばかりでなく、同一試験区でも暗渠によってバラツキが大きく、埋戻し部の集水性が阻害されていることがわかる。No. 9-10 に関してみてもほぼ同様に考察され、同一暗渠排水量を排除する場合の地下水位が高くなっており、埋戻し材料としては山土は適当でないといえる。これについては、次項でさらに検討する。一方、モミガラ区では一般に排水が良好で安定しており、やはり好ましい資材といえる。また、現地土埋戻し後にソイルターを散布した区内、No. 9-6 では 60~80 mm/day 以上となり非常に良好な排水能力を有することが測定された。なお、現地土のみ埋戻しの場合は、作物栽培のため灌水を多くしたための過湿と、それに続く土壌構造の悪化によって極度に排水が悪くなっており、やはり好ましくないといえる。

## 5. 掘起こし調査による暗渠の機能劣化の判定

暗渠埋設後 4 年を経過した昭和 57 年時点での暗渠管やフィルター材の状態を観察し、排水不良の原因を明らかにすることを目的として、いくつかの暗渠について埋戻し部の掘起こし調査を行った。それらの試験区と管種、フィルター材の使用状況は Table 6 のとおりである。また、No. 5-3, 9-1, 9-5, 9-12 におけるサンプリング結果を Table 7 に示した。

No. 9-12 ではナイロン繊維製フレキシブル管 (G タイプ) が用いられているが、これは軟弱なヘドロ層では施工上に難があり、あまり効果が期待できないといえる。また、No. 9-5 の合成樹脂繊維ドレーン (F) ではある程度断面が圧縮され、また埋戻しに用いられた山土の混入もみられた。これらの事実は地下水位や暗渠排水量の測定結果から得られた結論を裏付けているものと考えられる。

次にフィルター材の状態について No. 9-3 のコウケンシート (b) をみると、微細粒子が一面に張り付いており、暗渠内への浸透水の流入を阻害していることが推測された。また土層断面をみると埋戻し部が明確に識別でき、暗渠掘削溝以外では深さ 40 cm 程度以深ではヘドロ層で、暗渠管のごく近傍といえども乾燥が遅れていることがわかる。No. 9-7 でもほぼ同様な状況であり、このことからコウケンシートを暗渠のフィルター材として使用することは必ずしも適切でないといえる。No. 5-1 のダイヤベース (a) でも程度の差こそあれやはり同様な状態で、泥土の混入こそ少ないが全体的に圧縮されており、暗渠管の周囲はかなりの水分を含んでいた。

山土 (d) で埋戻しを行った試験区 (No. 9-5) では山土が非常に密に締め固められており、乾燥密度も  $1.6 \text{ g/cm}^3$  以上 (Table 7) と大きく、サンプラーの挿入も困難なほどであった。また山土以外の部分はヘドロ層のまま乾燥の影響はほとんどみられず、暗渠管 (合成樹脂繊維ドレーン) の問題ならずとも浸透水の流動は困難であると考えられる。現地土埋戻し後ソ

Table 6. Outline of underdrain plot carried out dig-up investigation

Experimental plot No.	Pipe type	Filter material	Filling material	Sampling
5-1	B. Polyethylene net pipe	a. Diabase	e. Spot soil	
5-3	〃	f. Soilter	〃	○
9-1	〃	—	〃	○
9-3	〃	b. Koken sheet	〃	
9-5	F. Plastics fiber drain	—	d. Mountain soil	○
9-7	E. Polyethylene straight pipe	b. Koken sheet	e. Spot soil	
9-9	B. Polyethylene net pipe	—	c. Chaffs	
9-12	G. Nylon fiber frexible pipe	—	〃	○

Table 7. Sampling results of dig-up investigation at just above underdrain

Position	Depth (cm)	Water content (%)	Dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Solid ratio (%)	Water ratio (%)	Air ratio (%)	Porosity (%)
No. 9-1 (Sept. 7)	5	23.5	1.053	39.1	24.8	36.1	60.9
	15	25.6	1.306	48.5	33.5	18.0	51.5
	25	30.9	1.224	45.5	37.8	16.7	54.5
	35	31.5	1.205	44.8	38.0	17.2	55.2
	45	32.5	1.270	47.2	41.3	11.5	52.8
	55	38.1	1.225	45.5	46.6	7.9	54.5
	65	49.2	1.081	40.2	53.2	6.6	59.8
No. 9-5 (Sept. 13)	5	24.0	1.018	37.8	24.5	37.7	62.2
	15	28.7	1.235	45.9	35.5	18.6	54.1
	25	32.5	1.339	49.8	43.5	6.7	50.2
	35	6.5	1.671	62.1	10.9	27.0	37.9
	45	8.3	1.686	62.7	13.9	23.4	37.3
	55	6.3	1.578	58.6	9.9	31.5	41.4
No. 5-3 (Oct. 14)	5	27.9	0.965	35.9	27.0	37.1	64.1
	15	32.3	1.072	39.9	34.7	25.4	60.1
	25	34.1	1.051	39.1	35.8	25.1	60.9
	35	34.5	1.191	44.3	41.1	14.6	55.7
	45	35.5	1.163	43.2	41.4	15.4	56.8
	55	36.1	1.239	46.1	44.7	9.2	53.9
No. 9-12 (April 23)	5	27.7	1.394	52.0	38.3	9.7	48.0
	15	31.9	1.358	51.2	43.2	5.6	48.8
	25	41.6	1.147	43.4	47.7	8.9	56.6
	35	109.6	0.438	16.7	27.0	56.3	83.3
	45	153.7	0.119	4.6	18.0	77.4	95.4
	55	187.2	0.115	4.1	21.6	74.3	95.9
No. 9-12 (April 23) Center between underdrain	5	26.9	1.356	51.0	36.4	12.6	49.0
	15	27.7	1.438	54.0	39.9	6.1	46.0
	25	32.1	1.422	52.9	45.3	1.8	47.1
	35	82.9	0.832	31.0	69.0	0.0	69.0
	45	95.7	0.758	27.4	72.6	0.0	72.6
	55	96.3	0.753	27.5	72.5	0.0	72.5
No. 9-12 (April 23) 50 cm lateral from underdrain	5	27.9	1.396	54.7	38.9	6.4	45.3
	15	33.2	1.348	52.2	44.3	3.0	47.8
	25	74.4	0.886	33.8	65.9	0.3	66.2
	35	87.3	0.792	30.0	69.1	0.9	70.0
	45	97.4	0.732	27.7	71.2	1.1	72.3
	55	98.4	0.735	27.6	72.2	0.2	72.4

フィルター(f)を散布した試験区(No. 5-3)では、現地土のみ(e)の場合(No. 9-1)に比べて土が膨軟で間隙が多く、気相率も大きな値を示していてソイルターで暗渠排水効果が期待できるものと判定される。また埋戻し部以外にも暗渠管の周辺部にまで広範に酸化が進んでおり、排水が良好であったことがわかる。このことは暗渠排水量の測定結果ともよく一致するものである。

また、モミガラ(c)埋戻しの場合 No. 9-9, 9-12 にみられるようにほとんど腐食も進んでおらず泥土の混入もわずかであった。モミガラ部の間隙率は95%程度、気相率も70%以上を示しており、暗渠管の被覆材として有効に機能しているものと考えられた。

## 摘 要

笠岡湾干拓地において、干陸直後の軟弱なヘドロ地盤に暗渠を埋設して、効果的な地下排水を行うための適切な管種やフィルター材ならびに暗渠の深さ、管径、勾配等の諸要因を明らかにすることを目的として、昭和57年までの4年間にわたって暗渠排水機能試験を行ってきた。その結果を要約すると、以下のとおりである。

1. 笠岡湾干拓地海底ヘドロを充てんしたライシメーター試験の成果により、合理的な暗渠の埋設深さを管長50mに対し上流側70cm、下流側80cm(勾配1/500)に決定した。管径は、MANNING式による水理計算により50mmと60mmに定めた。

2. 暗渠排水量や地下水位の低下状況から暗渠管種による差異を比較検討した結果、ポリエチレン製網状管3種と塩ビコルゲート管及びポリエチレン製直管の計5管種は、いずれも暗渠排水量30mm/day以上となり計画基準を満足して優劣つけ難い好成績を示した。しかし、ナイロン繊維製フレキシブル管や合成樹脂繊維ドレーンでは排水能力が劣っていた。

3. フィルター材の適否については、当初の効果は時間の経過と共に消滅し、ポリエステル合成樹脂繊維(コウケンシート)を用いた場合には泥土による目詰まりを生じて排水能力を阻害するようである。ポリオレフィン系合成樹脂繊維(ダイヤベース)でもある程度はその傾向は認められるが、用いない場合に比べてそれほど大きな差はみられなかった。

4. モミガラによって埋戻しを行った場合には、安定して排水が良好で、暗渠埋設4年後でも被覆材として有効に機能していることが確かめられた。これに対して、山土埋戻しの場合には埋戻し部が非常に密に締め固められて通水能力が低下し、暗渠排水機能が阻害されることがわかった。現地土埋戻しの場合には、施工の状況によって場所的なバラツキの大きな結果となった。

5. ポリエチレン系合成高分子土壌改良剤(ソイルター)を埋戻し現地土に散布した場合、57年度はある程度良好な結果が得られた。よって、施工が高精度で行いならば、十分フィルター材として有効と考えられた。

最後に、本調査研究は文部省科学研究費の補助を受けて行ったものの一部であり、現地調査に当っては中国四国農政局笠岡湾干拓建設事業所の関係各位ならびに岡山大学農学部農地整備学研究室専攻生諸氏に多大のご協力をいただいた。上記して感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 長堀金造, 高橋 強, 天谷孝夫: 農土論集 57, 1-7 (1975)
- 2) 農林水産省構造改善局: 土地改良事業計画設計基準(暗きょ排水), 11-13 (1979)
- 3) 同 上: 13-18 (1979)