

暗渠排水の機能不良原因の解明とその改善対策 (その2)

Causes of Malfunctions of Tube Drainage and Measures of Their Improvement (part 2)

石渡 輝夫* 横堀 将** 横濱 充宏*** 高宮 信章***

Teruo ISHIWATA, Masashi YOKOBORI,

Mitsuhiro YOKOHAMA and Nobuaki TAKAMIYA

II 暗渠排水の改善対策

1. 暗渠排水埋戻し部の機能不良の発生機構とその改善対策

排水不良な台地土と低地土における上記の調査結果より、暗渠排水埋戻し部の水みちとしての機能が低下する機構は図-8のように要約される。

中粒質～細粒質で排水不良な火山性土での調査は実施しなかったが、このような土壌においても、埋戻し部での排水不良の発生機構は同様と考えられる。

したがって、排水不良な鉾質土圃場での、暗渠埋戻し部の水みちとしての機能を保持するために、埋戻し部は次の条件を具備する必要がある。

ア) 埋戻し上部：外力を受けても、圧縮され難く、粗孔隙量が保持されること。

イ) 埋戻し下部：多水分状態になっても、構

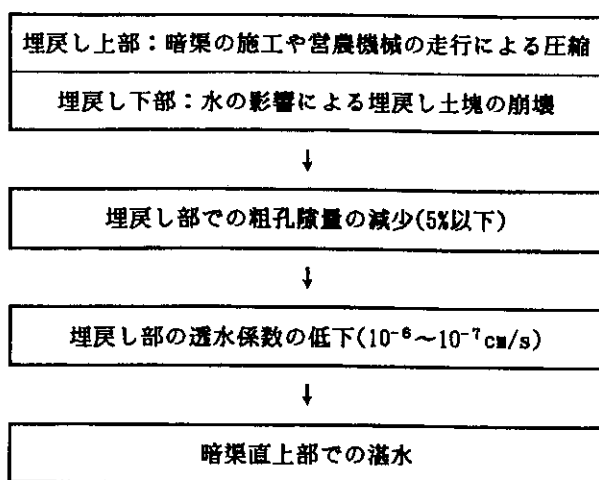


図-8 暗渠直上部での湛水の発生機構

造が安定していて、粗孔隙量が確保されること。このような条件を具備し、かつ比較的安価に入手し得るものとしては、砂、砂利、火山砂、軽石粒あるいは貝殻などが考えられ、これらを掘削部に埋戻すことにより、埋戻し部の透水性は確保される。なお、砂利や貝殻は根菜類の栽培や心土破碎の施工の支障となるので、これらを埋戻し上部に用いることはできない。

また、本検討対象から除外しているが、泥炭土壌の一般的な湿潤密度は約1g/cm³であるため、砂利や砂(湿潤密度:1.5~2.0g/cm³)を埋戻すと、埋戻し材が沈下する懸念がある。したがって、泥炭土での埋戻しには貝殻(湿潤密度:0.3~0.5g/cm³)など密度の小さいものを用いる必要がある。

2. 暗渠管内での堆泥機構とその改善対策

上記の調査結果より、暗渠管内の堆泥土は主に埋戻し土が還元されて、その鉄分が溶出し、再沈澱したものと考えられた。したがって、埋戻し部には鉄分が溶出しにくいものあるいは溶出し難いものを埋戻すことが望ましい。

3. 暗渠排水の改良試案

上記の1および2の改善対策により、暗渠埋戻し部での透水不良および暗渠管内の堆泥による通水不良は改善される。しかし、これだけでは、渠間部の排水不良は改善されない。渠間部からの排水を促進するには、渠間部に水みちとなる部分を設け、それを暗渠の埋戻し部に連結する必要がある。この具体的方法として、砂を

*土壌保全研究室長 **帯広開発建設部農業開発第二課計画係長 ***土壌保全研究室研究員

用いた有材心土破碎が一方策として考えられる。すなわち、暗渠排水の掘削下部には砂利を埋戻し、掘削上部に掘削土を埋戻す。その後、埋戻し上部の深さに砂を用いた有材心土破碎を、暗渠の施工方向と直角に施工する(図-9)。この改良暗渠により、埋戻し部の透水性の確保が図られ、さらに、砂層からなる水みちが有材心土破碎の間隔で、圃場全体に配置されるため、渠間部からの排水も促進される。

III 改良暗渠施工地での効果確認調査

1. 試験圃場の概要

- 1) 試験地の位置および土壌：中川郡豊頃町二宮の灰色低地土（下層にヨシ地下茎が混入）の畑圃場（面積0.86ha）に設けた。
- 2) 試験区：砂を用いる有材心土破碎を併用した改良暗渠（A区：0.38ha）を設置した。対照として、無材心土破碎併用暗渠（B区：0.29ha）および心土破碎を行わない暗渠（C区：0.19ha）を設けた(図-9)。具体的には掘削下部に砂利を埋戻し、掘削上部に掘削土を埋戻した後、

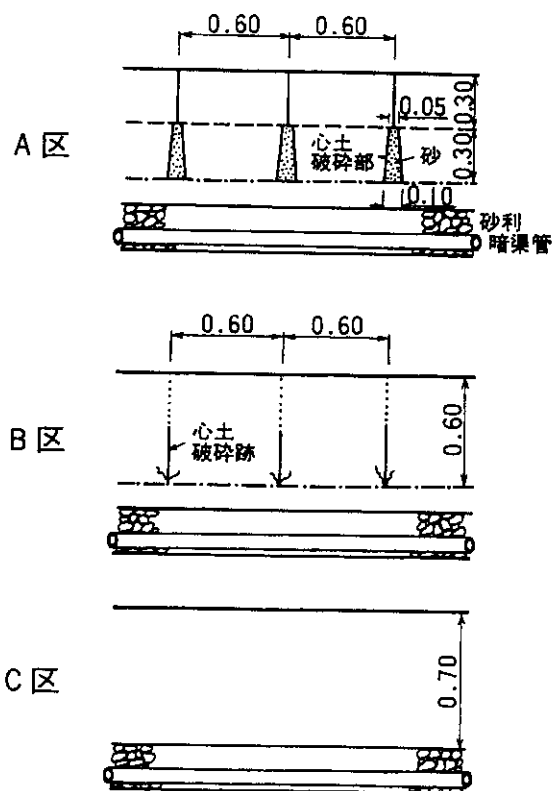


図-9 各試験区の施工模式図(m)

A区：埋戻し上部の深さに、暗渠の施工方向と直角に、砂を用いた有材心土破碎を施工。暗渠直上の心土破碎部では、砂利の上端と、有材の砂の下端との間に厚さ10cm弱の埋戻し土が存在し、これにより、砂の砂利部への落下が防止される。

B区：埋戻し上部の深さに、暗渠の施工方向と直角に、通常的心土破碎（無材心土破碎）を施工。

C区：心土破碎を無施工。

暗渠間隔はいずれも10m、有材および無材の心土破碎の間隔は0.6mである。有材心土破碎に用いた砂は近傍に賦存する山砂で、その土性はS~SL、粘土含量は1~9%、砂含量は82~97%であった。

暗渠の掘削・埋戻しは平成2年11月上旬、心土破碎の施工は翌年5月中旬であった。暗渠の施工が圃場の作物収穫後（10月下旬）で、降雪や土壤凍結前の短期間に限定されたため、埋戻しは掘削土塊がかなり湿潤な状態で行われた。

3) 調査方法および調査・分析項目

a) 土壌の理化学性：暗渠直上部で土壌調査を行い、埋戻し部と未攪乱部の土壌、および心土破碎部の土壌（砂）について以下の測定・分析を行った。

試料管で採取した未攪乱試料について、物理性（三相比と容積重（実容積法）、孔隙分布（砂柱法および遠心法）および飽和透水係数（定水位法あるいは変水位法）、風乾試料について粒径組成（比重計法および篩別法）および腐植含量（乾式分解法）。

b) 地下水位の変化：各試験区の中央の渠間部に地下水位計を設置し、地下水位の変化を観測した。

c) 作物収量調査：平成3年度は各試験区の全収量を試験区の面積で除し、単収を算出した。平成4および5年度には十勝東部農業改良普及所による坪刈調査結果を引用した。

2. 調査結果

1) 施工3年後の暗渠直上部の土壌の性状

暗渠施工3年後に効果確認調査を実施した圃場の土壌断面柱状図を埋戻し部も含めて附図-

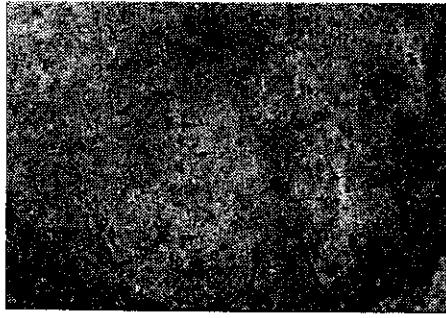


写真-1 深さ60cmでの水平土壌断面
(管状斑紋の径約1mmの孔隙が多数ある)

表-7 埋戻し上部および心土破碎部の性状

項 目		粗孔隙量 (vol %)	透水係数 (cm/s)	p F 値
A区	埋戻し上部	1	8×10^{-8}	2.9
	心土破碎部(砂)	19	6×10^{-3}	1.3
B区	埋戻し上部	1	1×10^{-7}	2.1
	心土破碎部	4	未測定	1.3
C区	埋戻し上部	1	9×10^{-7}	2.7

埋戻し上部 : 埋戻し上部の土層

心土破碎部(砂) : 有材心土破碎跡の砂の部分

心土破碎部 : 無材心土破碎のチゼル通過跡

1に、その物理性を附表-1, 2に示した。土壌は下層にヨシ地下茎が混入する灰色低地土であり、未攪乱部の粗孔隙量は3%以下の排水不良な土壌である。なお、未攪乱部の下層土では、さほど低い飽和透水係数(10^{-5} cm/sのオーダー)も測定された。これは、径約1mmの細根跡が管状斑紋の円柱状孔隙として、この土層に多数存在する(写真-1)からである。100cm²の試料管で飽和透水係数を測定する限り、このように土層自体の透水性を代表しないと考えられる値が測定される。したがって、管状斑紋や亀裂のある土層など、不均質土層で測定する飽和透水係数の妥当性については従来より言われていることであるが、留意を要する。

心土破碎跡以外の埋戻し上部(土層)の粗孔隙量は3区ともに1%, 透水係数も 10^{-7} ~ 10^{-8} cm/sのオーダーで、この部分は水みちとしての機能を果していなかった(表-7)。

A区の心土破碎跡(深さ30~60cm)には砂が幅5~10cmで充填されており(写真-2), その



写真-2 有材心土破碎により挿入された砂

粗孔隙量は約20%, 透水係数も 10^{-3} cm/sと高く、砂の部分は水みちとして十分に機能していた。

B区の心土破碎のチゼルの通過跡では、水がにじみ出ていたが、心土破碎による土層の亀裂は認められなかった。埋戻し土は掘削・埋戻しで攪乱を受けており、また、埋戻し時の土壤水分が高かったため、心土破碎の効果が十分に発現されなかった。このため、心土破碎跡の粗孔隙量は4%で、埋戻し部の土層と大差がない。この部分の透水係数は測定できなかった(含水率が高く、膨軟なため、透水試験を行うと、試料管内の土壌が変形してしまう)が、粗孔隙量が少ないので、水みちとしての機能はあまり期待できない。

有材心土破碎部の砂の部分および無材心土破碎のチゼル通過跡の現地水分のpF値は、ともに1.3であり、埋戻し土よりも低かった(多水分状態)。心土破碎部の下には埋戻し下部の砂利が存在するが、心土破碎の影響を受けていない埋戻し土層(厚さ10cm弱)がその間に介在する。この土層は心土破碎部よりも透水性が悪いため、心土破碎部から砂利部への排水が十分に行われず、心土破碎部が多水分になった。

2) 渠間部中央での地下水位の変化

施工1年後の地下水位はA区で最も低く、C区で最も高かった(図-10)。有材心土破碎の効果が最も高く、無材心土破碎でも排水促進の効果が認められた。

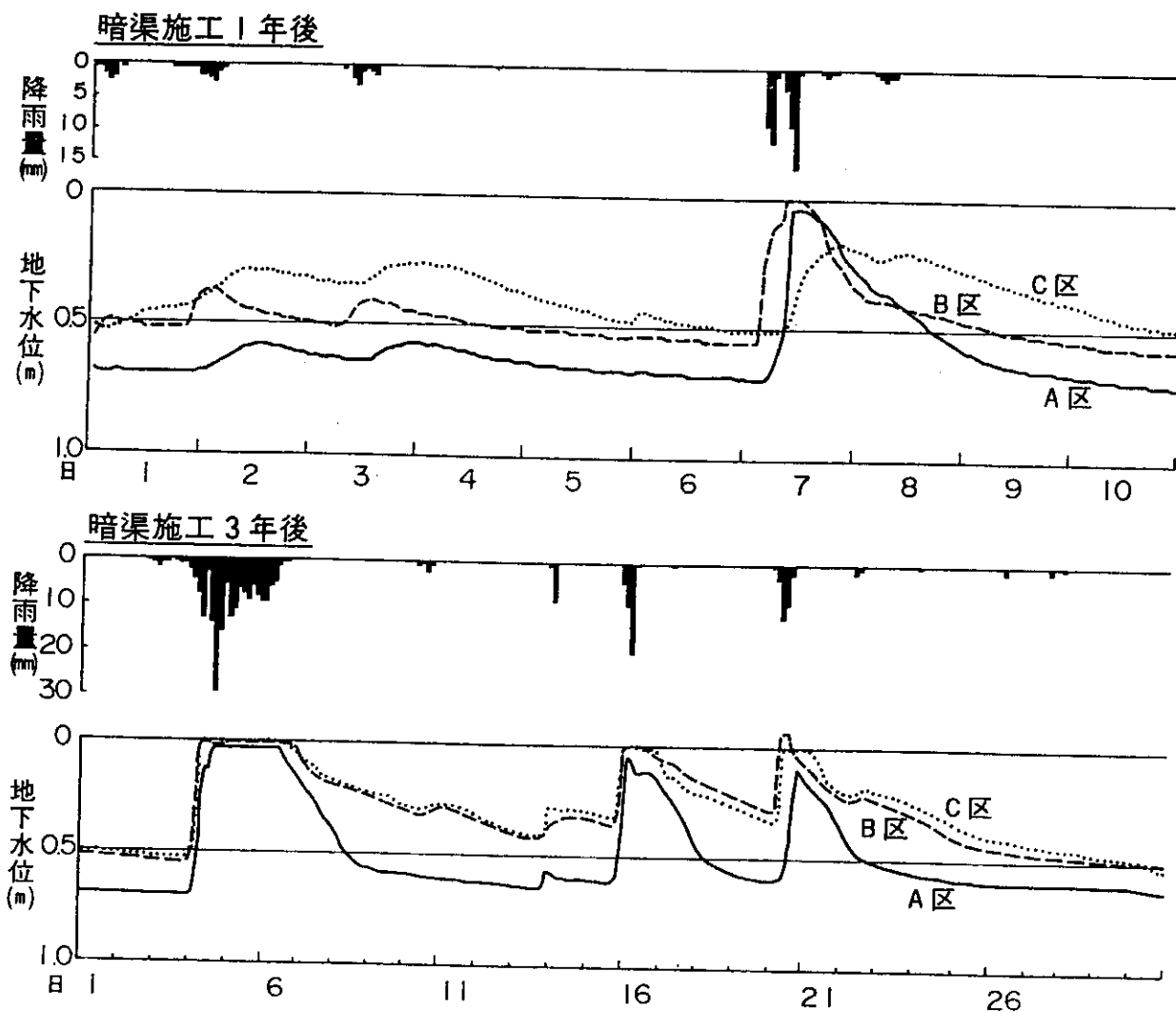


図-10 降水量と地下水位の変化

表-8 作物収量(kg/10a)とC区に対する収量比率(%)

年次	平成3年度	平成4年度	平成5年度
作物	菜豆*1	小麦*2	小麦*2
A区	171 (276)	539 (105)	563 (104)
B区	145 (234)	545 (106)	580 (107)
C区	62 (100)	513 (100)	543 (100)

*1: 耕作者の各試験区の収穫量より算出

*2: 十勝東部地区農業改良普及所による作況調査

施工3年後では、B区とC区の水位差が縮小し、無材心土破碎の効果が逓減したことを示していた。

3) 改良暗渠施工地での作物収量

暗渠施工1年後の菜豆収量はA区およびB区でC区の2倍以上であったが、施工2および3年後の小麦収量は数%の増収であった(表-8)。このように収量比率が大きく異なったの

表-9 暗渠排水施工費と農家負担額

区名	工事施工費*2 (千円/ha)	農家負担金額(千円/ha)*3	
		合計金額	年毎の金額
A区	1707	480.6	40.0
B区	1284	361.5	30.1
C区	1153	324.6	27.1
笹区*1	701	197.5	16.5

*1: 被覆材として笹を使用する暗渠(従来施工法)

*2: 経費率0.45として算出

*3: 農地再編*107事業の区画整理での試算例
事業期間:7年、据置期間:3年、償還期間:12年、
農家負担率:12%、年間物価上昇率:1.20、
工事諸費:1.30

は、作物や調査法の相違が関係しているものと思われる。

4) 改良暗渠の施工費用の比較

A区の工事施工費はC区の約1.5倍、慣行的な暗渠(笹を被覆材とし、掘削土を埋戻す)の2.4

倍である（表－9）。土地改良事業で行う場合、A区の10ha当りの年償還額は4000円で、慣行法より2400円高い。

IV 総合考察

暗渠の埋設直上部でも、降雨後、しばらく湛水し、圃場が排水不良になることがある。そこで、その不良要因と対策、施工上の留意点や課題について考察する。

1. 水みちとしての機能を担うべき埋戻し部の透水性の確保

暗渠排水の埋戻し部は作土から暗渠管までの水みちとしての機能を担っている^{12,13,14)}が、掘削土を埋戻した暗渠で直上部でも湛水する場合は、埋戻し部の粗孔隙量が少なく、この部分が水みちとして機能していない。そして、埋戻し部の透水性が低下する機構は上記のように、その上部と下部で異なる。

埋戻し上部での粗孔隙量を確保する目的で、膨軟な埋戻しを行うと、農作業機械の走行により、埋戻し上部が圧縮され、暗渠直上部だけが沈下することになる。このような沈下は農作業機械の走行時に、搭乗者や機械あるいは作業自体に悪影響を与えるため、農家から忌避される。したがって、掘削上部を掘削土で膨軟に埋戻すことに意味はない。

掘削土の埋戻しは土塊が十分乾燥してから埋戻すこととされている。しかし、暗渠排水の施工のために、休耕することはほとんどないので、天候や工期の関係で、土塊が十分に乾燥しない状態で埋戻すこともある。また、乾燥させた掘削土塊を埋戻しても、多水分時には土塊が崩壊し、また、圧縮され易くなり、いずれ、粗孔隙量が減少することにもなる。

このように、暗渠排水の施工に十分な注意を払っても、掘削土を埋戻した場合、埋戻し部の透水性が低下することは避けられない場合が多い。このため、掘削下部は、多水分状態になっても粗孔隙量が確保されるもので、掘削上部は外力を受けても圧縮されず、粗孔隙量の確保されるもので、埋戻すことが重要である。

上記のようなかなりの粗孔隙量を保持するも

のは、施工地の近傍に多量に賦存し、かつ安価に入手し得るものでなければ、暗渠排水の施工に用いることはできない。

北海道では、海砂や川砂の採取が規制されているが、山砂や火山砂あるいは軽石粒が産出される。また、カキやホタテの貝殻が廃棄物とされ、その処分に多量の資金と労力がかけられている。これらを有効利用し、埋戻し部の透水性を高めることは、暗渠排水の効果を高め、持続させることになる。

網走支庁管内では、国営および道営¹⁵⁾の土地改良事業で、埋戻しに軽石粒を用いた暗渠排水が試験施工されている。また、宮城県の水田転換畑では、カキ貝殻を暗渠の埋戻しに試験的に用いたことが報告されている¹⁶⁾。しかし、これらの効果について十分な検討がなされていないのが現状である。

暗渠の掘削部に掘削土以外のものを埋戻す事例として、水田地帯での籾殻暗渠があり、北海道営土地改良事業でも実施されている。しかし、畑作や酪農地帯では、籾殻は入手し難い。また、田畑輪換地での籾殻暗渠では、籾殻の腐朽や土砂の混入も報告されている。このため、地元で入手し易く、かつ腐朽や変形し難いものを埋戻しに用いることが埋戻し部の透水性を確保するため重要である。

2. 暗渠管内の堆泥の防止

暗渠管の通水不良の原因として、暗渠管内の堆泥がある。赤褐色を呈する堆泥は主に埋戻し土が還元されて、鉄分が溶解し、暗渠管内で再沈澱したものである。したがって、掘削部には掘削土ではなく、鉄分の溶解し難いものを埋戻すことが望ましい。なお、暗渠管内の赤褐色の堆泥は主に埋戻し部に由来するものと考えられるが、未攪乱部からも鉄分が溶出し、暗渠管内で再沈澱していることも否定できない。したがって、排水不良地からの鉄分の溶出を防止する対策の検討も今後必要である。

埋戻し土の土粒子が暗渠管内に流れ込んで、暗渠管内で堆泥することもある。これは施工上の課題であり、暗渠管の接続や被覆材の敷設に留意することにより回避できる。

附表-1 暗渠直上部の土壌の物理性

試験区	深さ (cm)	層名	容積重 (g/cm ³)	三相比 (vol%)			孔隙分布 (pF)・(vol%)				透水係数 (cm/sec)	土壌硬度 (mm)
				固相	液相	気相	1.8≧	1.8-3.	3.-4.2	4.2≦		
A	0~23	作 土	1.181	47.6	49.8	2.6	0.5	6.5	12.3	36.5	7.9×10 ⁻⁸	19
	23~40	作 土	1.195	46.7	50.5	2.8	1.1	7.3	14.1	33.9	1.0×10 ⁻⁷	19
	40~56	未攪乱部	0.890	35.4	62.4	2.2	1.8	7.1	17.6	44.5	1.9×10 ⁻⁷	16
	23~45	埋戻し部	1.144	44.4	53.5	2.1	1.4	5.6	14.2	39.8	8.5×10 ⁻⁸	20
	56~75	未攪乱部*	0.960	36.9	60.0	3.1	3.0	8.8	17.0	37.0	1.0×10 ⁻⁶	11
	45~65	埋戻し部	0.951	36.4	61.5	2.1	1.0	7.5	16.2	42.5	8.0×10 ⁻⁸	15
B	0~20	作 土	1.117	44.2	52.7	3.1	1.9	7.3	12.4	37.2	1.6×10 ⁻⁷	21
	20~35	作 土	1.162	45.9	51.7	2.4	0.9	5.7	12.7	36.1	1.2×10 ⁻⁷	23
	35~45	未攪乱部	1.064	41.4	55.3	3.3	3.3	12.6	15.2	27.5	1.9×10 ⁻⁷	16
	25~45	埋戻し部	1.112	43.7	54.4	1.9	0.8	5.3	14.3	35.9	1.8×10 ⁻⁷	21
	45~60	未攪乱部	0.890	34.8	63.6	1.6	1.3	11.7	23.3	39.3	3.9×10 ⁻⁷	14
	60~	未攪乱部*	0.882	34.5	62.4	3.1	1.0	10.1	19.9	34.5	5.2×10 ⁻⁶	17
	45~60	埋戻し部	1.019	40.1	57.8	2.1	1.5	6.6	14.7	37.1	1.2×10 ⁻⁷	19
C	0~20	作 土	1.101	43.8	53.5	2.7	1.4	7.9	13.6	37.6	6.8×10 ⁻⁸	18
	20~33	作 土	1.028	40.1	54.0	5.9	1.0	6.7	13.8	38.4	6.5×10 ⁻⁷	17
	33~45	未攪乱部*	1.004	39.4	58.1	2.5	3.5	20.2	8.4	28.5	7.1×10 ⁻⁶	14
	33~45	埋戻し部	0.919	35.7	62.1	2.2	0.5	7.6	18.2	38.0	1.8×10 ⁻⁶	18
	45~58	未攪乱部*	0.968	37.4	57.4	5.2	3.1	14.5	13.9	31.1	6.3×10 ⁻⁶	13
	58~87	未攪乱部*	0.831	33.8	64.3	1.9	2.3	12.1	22.7	36.8	1.5×10 ⁻⁶	14
	45~68	埋戻し部	1.075	42.0	56.3	1.7	0.7	8.0	16.7	38.5	4.6×10 ⁻⁷	16

*:細根跡(径1mm程度)が多数あり

附表-2 心土破碎跡の物理性

試験区	深さ (cm)	部位	容積重 (g/cm ³)	三相比 (vol%)			孔隙分布 (pF)・(vol%)				透水係数 (cm/sec)	土壌硬度 (mm)
				固相	液相	気相	1.8≧	1.8-3.	3.-4.2	4.2≦		
A	30~45	心破部砂	1.291	49.5	37.0	13.5	22.1	12.0	6.6	9.8	5.2×10 ⁻³	15
	45~60	心破部砂	1.292	48.8	42.1	9.1	15.9	12.9	8.9	13.5	8.0×10 ⁻³	10
B	30~45	心破跡	1.106	42.0	56.3	1.7	3.6	10.3	15.2	28.9	測定できず	9
	45~60	心破跡	0.843	32.6	64.7	2.7	4.5	9.1	17.5	36.3	測定できず	14

3. 暗渠排水の掘削断面の形状

暗渠排水の掘削はバックホーで行われることが多く、その掘削断面は逆台形でかなり広い。トレンチャーによる幅約20cmの長方形の掘削断面では、その断面積は小さいが、むしろ、埋戻し土の圧縮が生じ難いようである。上記のように、掘削部を掘削土ではなく、砂などで埋戻す場合、トレンチャー掘削ではその使用量がバックホー掘削に比較し、大幅に節減される。したがって、掘削形状については今後さらに検討を要する。

4. 改良暗渠の施工上の留意事項

掘削土を埋戻さないで、砂や砂利などを埋戻す場合、これらは練返されることがないので、土壌がやや湿潤な時にも埋戻すことができ、施工期間の拡大を図れる。ただし、工事により圃場が練返されてはならない。

埋戻しされない掘削土は圃場表面に散布されるため、掘削土に礫が多量に含まれる場合や、掘削土の化学性が劣悪な場合は、掘削土の処理について検討を要する。

本改良暗渠では、掘削下部に砂利を埋戻し、掘削上部に掘削土を埋戻し、その後、砂を用いた有材心土破碎を施工した。この場合に砂が埋戻し下部の砂利の間隙に落下しないようにする必要がある。また、掘削下部だけでなく、掘削上部まで、粗孔隙量の多いものを埋戻すことにより、埋戻し部の透水性をさらに高めることができる。したがって、土壌（排水不良の度合）や作物の種類、あるいは圃場の耕種管理により、使用する埋戻し材の種類および施工法を、施工費用も含め検討することが重要である。

5. 作土の改良の必要性

排水不良な湿性土壌では、下層土だけでなく、作土の物理性（通気・通水性や碎土性）も不良な場合が多い。改良暗渠の試験施工地でも、碎土が困難で、耕起碎土直後の土塊は大きかった。この作土では、収穫期近くには、土塊が崩壊し、地表面に土膜ができることもある。また、作土の粗孔隙量は3%以下、透水係数は 10^{-7} cm/sに低下していた。こうした作土の物理的な不良性

は改良暗渠の効果を減殺するものである。したがって、このような圃場では、暗渠排水の改良だけでなく、作土層の改良（土壌粒団化の促進、耕盤層の破壊、あるいは粒径組成の改良等）も必要である。

6. 改良暗渠の課題

本試験のように、掘削土を埋戻さないで、外部から搬入した砂や砂利などを埋戻すことは施工費用の増嵩を招くことになる。しかし、この場合には、掘削土を埋戻した場合にほぼ不可避な暗渠排水の機能低下を回避できるため、暗渠排水の効果とその持続性が高まり、長期的には経済的であろう。

なお、排水改良に伴い、肥料分（特に、NとK）が多量に流出するようであれば、環境や資源の保全の観点から、問題を生ずることになる。したがって、暗渠排水からの流出水については、その水質を調査し、これらの点を明かにする必要がある。

引用文献

- 1) 北海道開発局長官房開発調査課：北海道農業に関する資料，p.1～190（1993）
- 2) 北海道立中央農業試験場：地力保全調査成績土壌別面積（1990）
- 3) 土壌標準分析・測定法委員会編：土壌標準分析・測定法，p.1～228，博友社，東京（1986）
- 4) 土の理工学性実験ガイド編集委員会：土の理工学性実験ガイド，p.35～40，農業土木学会，東京（1983）
- 5) 土壌養分分析法委員会編：土壌養分分析法，p.319～320 養賢堂，東京（1975）
- 6) 木下彰：土壌を耕起する意味について考える，北農，37，1～4（1970）
- 7) 横濱充宏・大矢朋子：暗渠埋戻し部の性状が暗渠排水に及ぼす影響，開発土木研究所月報，491，2～12（1994）
- 8) Boekel, P. and Peerlkamp P.K. : Soil consistency as a factor determining the soil structure of clay soil. Neth. J. Agric. Sci., 4, 122～125（1956）
- 9) 久保田徹：重粘土田土壌の地耐力診断のための

- 土壌構造指標, 土肥誌, 55, 173~179 (1984)
- 10) 中野啓三: 重粘土転換における易耕性の評価-
塑性限界とpF1.8-含水比の関係-, 土壌の物理
性, 48, 38~43 (1983)
 - 11) A.A. ロ-ジェ: 土壌と水, p.73, 東京大学出版
会(1963)
 - 12) 田淵俊雄: 粘質水田の排水改良, 土壌の物理性,
50, 3~6 (1984)
 - 13) Taylor, G.S., Hundal, S.S. and Fausey, N.
R.: Permeable backfill effects on water
removal by subsurface drains in clay soil.
TRANSACTIONS of ASAE., 23, 104~108
(1980)
 - 14) 神部広之・光永演允・杉山英雄: 現場における
暗キョ埋戻し部の機能保持, 暗キョ排水機能促
進剤について(III), 農土誌, 46, 415~419 (1978)
 - 15) 廣沢清美: 重粘土地帯における火山灰疎水材の
暗渠効果について, 農業土木北海道, 15, 63-71
(1993)

- 16) 古木敏也・長利洋: 暗渠疎水材としてのカキ殻
の利用について, 農土誌, 58, 799~805 (1990)

謝辞: 暗渠排水の機能不良原因調査は昭和62お
よび63年度の圃場排水対策促進調査の結果から
得られた部分が多く, 同調査を担当した農業水
産部農業計画課, 札幌開発建設部土地改良情報
対策官室, 旭川開発建設部農業開発1課のご協
力を得た。また, この調査では北海道大学農学
部梅田安治教授から, 貴重なご指導とご助言を
頂いた。改良暗渠の効果確認調査では, 試験圃
場の設置運営管理に当り, 帯広開発建設部農業
開発2課および豊頃町役場農水産課のご協力を
得た。さらに地下水位の観測に関して, 北海道
気象協会帯広支部および帯広畜産大学松田豊教
授および辻修助手のご協力とご助言を得た。各
位に感謝します。

*

*

*