

(4) 計画内容・工法

ア 排水

(ア) 地下排水（暗渠排水）

暗渠による地下排水は、作物の生育環境を良好にし、また、農作業環境の改善により農業機械の作業性を向上させることを目的として、地中に暗渠管等を埋設して地下水位を低下させるものである。

水田の畑地化に向けた暗渠排水組織の計画・設計に当たっては、既に畑利用又は畑地化が行われている類似地の状況を参考とすることが望ましい。

【解 説】

1. 概要・目的

暗渠による地下排水は、地中に暗渠管等を埋設して地下水位を低下させるもので、ほ場の排水手段として、広い条件下でその効果が期待できる¹⁾。

暗渠排水の主たる目的は、

- ・ほ場の水管理を容易にして作物の生育環境を良好にすること
- ・農作業の環境を改善し、農業機械の作業性を向上させること

であり、これにより、畑作物の導入による生産拡大等、農業生産の多様化に貢献することが可能となる²⁾。

2. 暗渠排水の必要性の判断

計画基準「暗渠排水」において、暗渠排水の必要性を判断するための目安が、土壌タイプ、地下水位、降雨後の地表残留水、地耐力、土壌の透水性の5項目について以下のように示されている³⁾。

1) 土壌タイプ^{※1}

一般的に、以下の土壌タイプについては、暗渠排水が必要とされる。

- | | | | |
|-----------|----------|---------|-------|
| ① 多湿黒ボク土 | ③ 灰色台地土 | ⑤ 灰色低地土 | ⑦ 黒泥土 |
| ② 黒ボクグライ土 | ④ グライ台地土 | ⑥ グライ土 | ⑧ 泥炭土 |

ただし、土性が細粒質から中粒質で、緻密な耕盤が形成されている場合には、土壌タイプに関係なく暗渠排水が必要とされる。

※1 土壌分類に係る情報の取得については、当該地区における地力保全基本調査等の既存資料のほか、後述「参考資料(2)土性及び土壌の区分と重粘質土壌の特徴について」及び「同(3)インターネットを活用した土壌情報の取得について」等を参照。

2) 地下水位

地下水位（降雨後 7 日以降）が

{	地表面より 30cm 以内：必要
	地表面より 30～60cm：必要な場合がある
	地表面より 60cm 以上：必要でない

3) 降雨後の地表残留水

降雨後の地表残留水の停滞時間が

{	24時間以上：必要
	24時間以内：必要な場合がある
	滞水なし：必要でない

4) 地耐力

地表面下 15cm までの間を 5cm ごとに測定した
コーン指数（落水後又は降雨後 7 日以降の測定値
(N/mm^2 ; $1N/mm^2=1MPa$)) の 4 点平均値が

{	$0.25 >$: 必要
	$0.25 \sim 0.39$: 必要な場合がある
	$0.39 <$: 必要でない

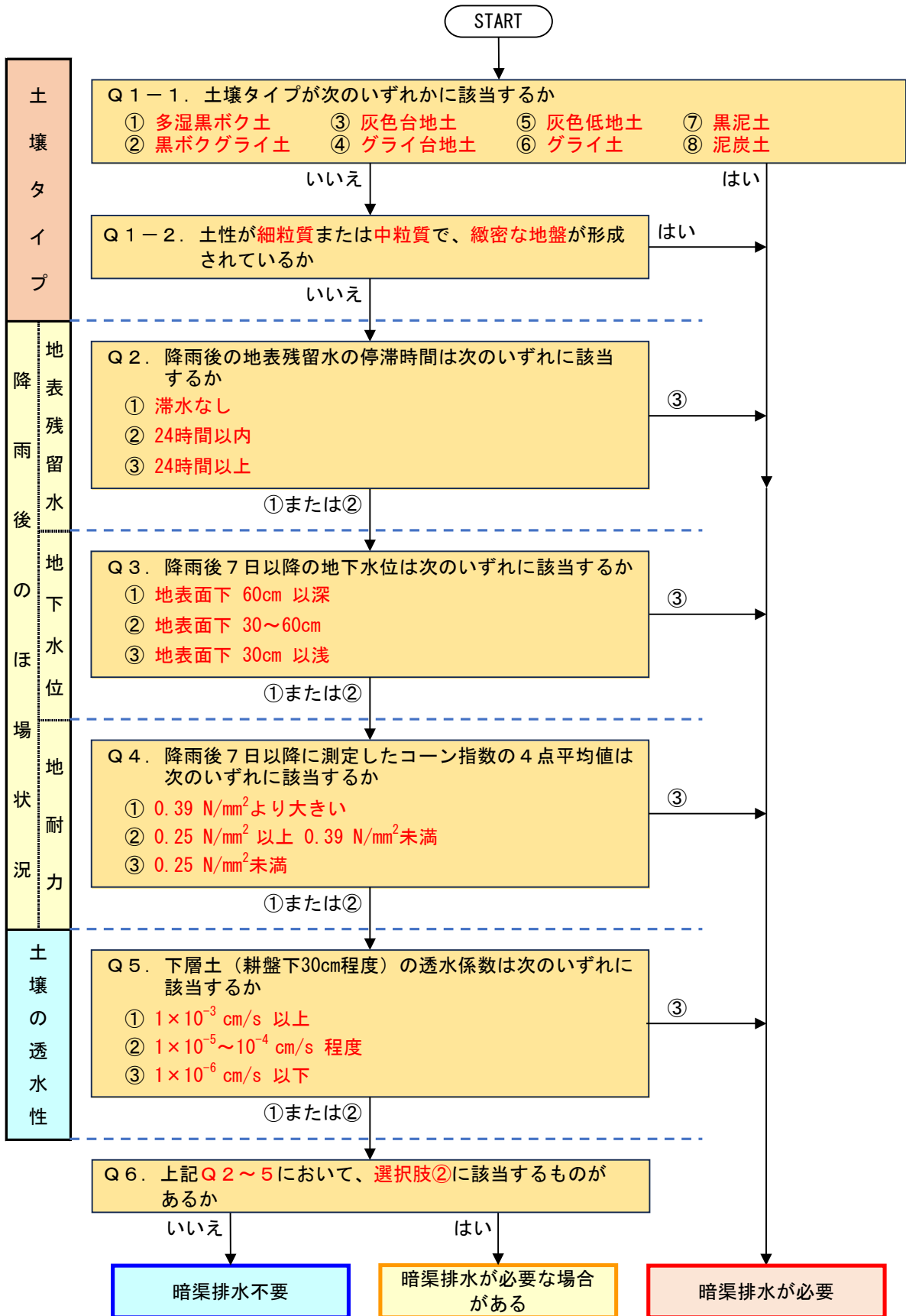
5) 土壌の透水性

下層土（耕盤下 30cm 程度）の透水係数 (cm/s) が

{	$10^{-6} \geq$: 必要
	$10^{-4} \sim 10^{-5}$: 必要な場合がある
	$10^{-3} \leq$: 必要でない

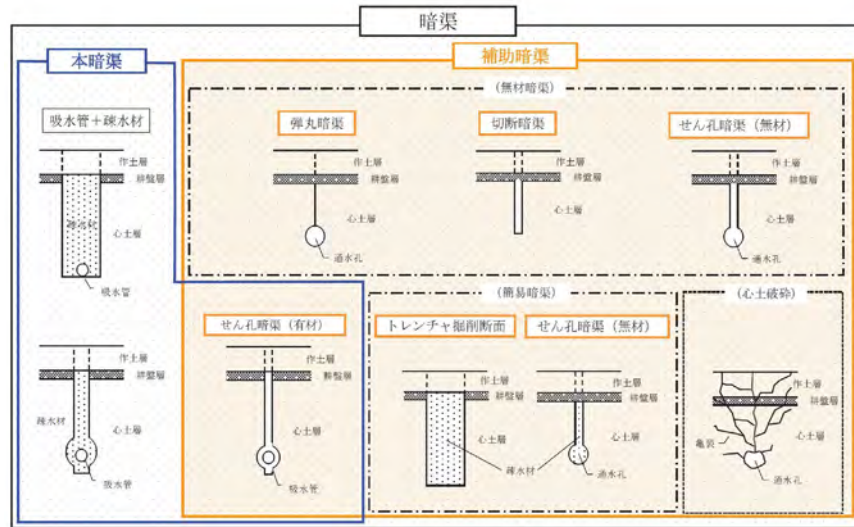
次ページに、上記を踏まえて整理した「暗渠排水の必要性の判断フロー」を示す。

暗渠排水の必要性の判断フロー



3. 暗渠排水の分類

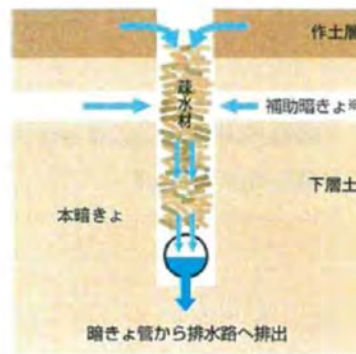
暗渠排水は、使用する材料や施工方法によって「本暗渠」及び「補助暗渠」に大別され、堅密土層の破砕を目的とする「心土破砕」も、補助暗渠と同様の効果を有する。



本暗渠と補助暗渠の分類⁴⁾

補助暗渠は、本暗渠との組合せにより著しい効果が発現され⁵⁾、本暗渠の埋戻し部分と交わるように施工し、本暗渠と直角に配置すると排水効果が高くなる⁶⁾。

■本暗きょから排水するための水の流れ



本暗渠と補助暗渠を組み合わせた地下排水のイメージ⁷⁾

なお、本暗渠及び補助暗渠は、基盤整備により両者を一体的に施工することや、本暗渠のみを基盤整備で施工して補助暗渠等は営農段階で施工することが考えられる。

そのため、整備内容については、施工コスト等を勘案して、地区の実情を踏まえて検討する必要がある。

1) 本暗渠⁸⁾

本暗渠は、「地表残留水」及び過度の「土壌中の重力水」をほ場外に排除することを目的として、ほ場面以下に掘削したトレンチ等に吸水性能を有する管（吸水管）及び吸水管への流入を促進する疎水材の両方を、あるいは吸水管のみを土壌中に埋設した排水施設をい

う。吸水管を引き込んで埋設する「せん孔暗渠（有材）」も本暗渠として施工される場合がある。

2) 補助暗渠⁸⁾

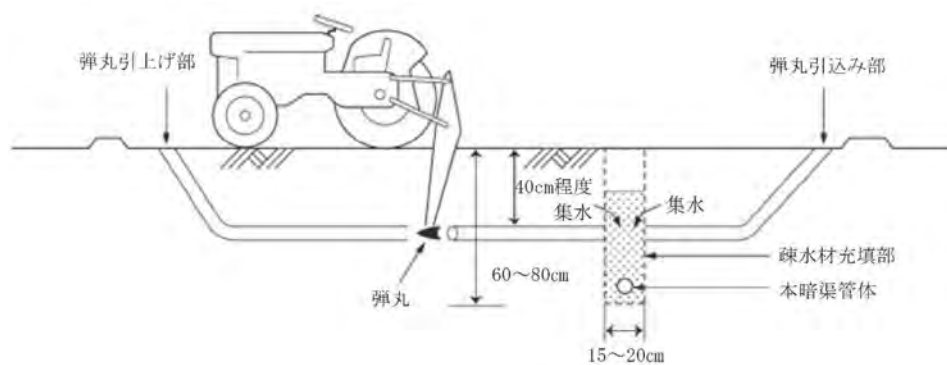
補助暗渠は、本暗渠のみでは排水効果、営農等に必要な地耐力などが十分に得られない場合に、本暗渠と組み合わせて補助的に施工される排水施設であり、弾丸暗渠、せん孔暗渠（無材）、簡易暗渠等が挙げられる。

補助暗渠の施工は比較的容易であり、トラクター後部にアタッチメントを装着することで、農業者による自主施工も可能である。

① 弾丸暗渠

弾丸暗渠は、代表的な無材暗渠で、機械力により土層中に弾丸を通して通水孔を設けるものであり、重粘土のように崩壊しにくい土質に適する⁴⁾。

弾丸暗渠の施工により、難透水層に水みち（亀裂と通水孔）が形成されて排水性が向上し、硬く締まった土質では施工形状が維持されるが、粘質で流動しやすい土質や砂質土では溝と空洞が崩壊しやすい⁶⁾。



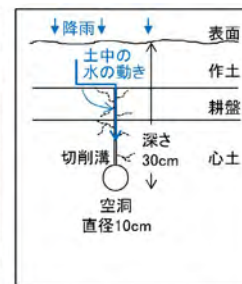
本暗渠と弾丸暗渠の接続法⁴⁾



振動式サブソイラと弾丸の組み合わせ



施工断面



断面形状と水の動き

弾丸暗渠の施工⁶⁾

② せん孔暗渠

せん孔暗渠（無材）の工法については、計画基準「暗渠排水」において以下のように示されている。

- ・掘削孔の土砂を外部に排出し中空構造とする工法であり、主として泥炭地に適用さ

[補足：せん孔暗渠機「カットドレーン」による補助暗渠の施工について] ^{9), 10)}

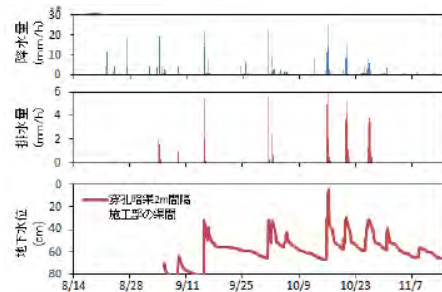
排水不良なほ場における畑作物の生産性向上には、ほ場の排水改良が不可欠である。

このため、本暗渠と補助暗渠の両方に適用可能な技術として、せん孔暗渠機「カットドレーン」が農研機構、(株) 北海コーキ及び(公財) 北海道農業公社により共同開発・実用化されており、成果の内容や機械の特徴は以下のとおり。

- ① 農業者所有のトラクターに装着することで、土中 40～70cm の任意の深さで資材を使わずに連続した通水空洞を成形可能である。
- ② 施工深を 70cm まで設定できることから、畦を超えて施工機を排水路内に下ろして法面に空洞を貫き、簡易な暗渠として利用可能である。また、施工機をほ場面から挿入し既設暗渠に対する補助暗渠としても利用できる。
- ③ 60PS 超のフルクローラートラクターや 70PS 超のホイールトラクターに対応しており、施工速度は心土破碎と同程度で、既存のトレンチャせん孔暗渠機及びモミガラ心土破碎機より速い（推奨施工速度：2～4km/h）。
- ④ 重粘土や泥炭土などでの適用性が高く、使用上の留意点は以下のとおり。
 - ・ 砂 50%以上又は土性（農学会法）S・S L では使用できず、L の土壌では施工後の耐用年数が短い。
 - ・ 砂礫層又は 5cm を超える石礫に富む場合や直径 5cm を超える埋木がある場合は施工できない。
 - ・ せん孔の間隔は 2～5m を標準とする。
 - ・ 主に転換畑、畑、草地で使用し、水田では既設暗渠の補助暗渠として使用する。



施工の概要



カットドレーンによる排水機能

カットドレーンの畑作物に対する効果

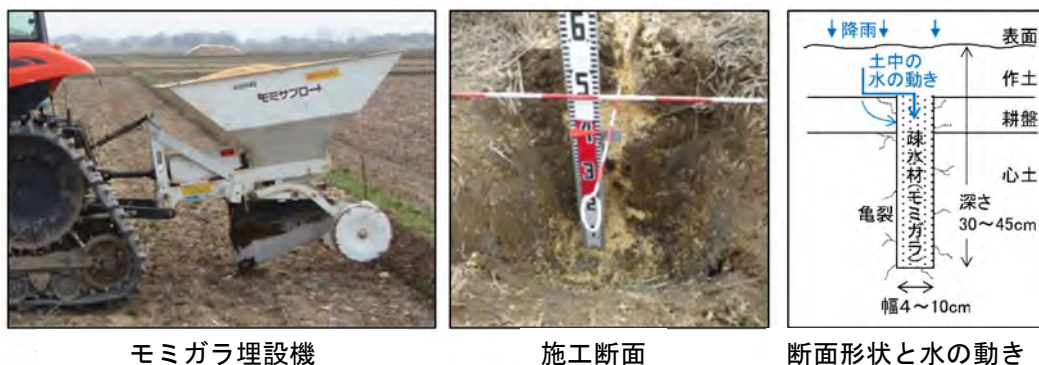
作目 (2013年)	処理区*1	草丈 (cm)	主茎長 (cm)	収量	
				結束重 (kg/a)	莢重 (kg/a)
エダマメ (早生：天ヶ峰)	穿孔暗渠区	55.2 ^{*2}	36.9	175	96 ^{*2}
	対照区	50.3 ^{*2}	34.0	164	67 ^{*2}
エダマメ (中生：味源)	穿孔暗渠区	61.1 ^{*2}	41.1	190 ^{*2}	98 ^{*2}
	対照区	52.9 ^{*2}	38.8	140 ^{*2}	78 ^{*2}

*1 試験地はつくば市農工研内の粘性土ほ場、穿孔暗渠区は2m間隔・70cm深で施工、対照区は既設暗渠（10m間隔・80cm深）の渠間に設定。

*2 穿孔暗渠区と対照区で統計的に有意差あり（Tukey's test）。

③ 簡易暗渠（モミガラ補助暗渠）

簡易暗渠は、掘削したトレンチ等にその地域で安価かつ容易に得られる疎水材（モミガラ等）を埋設する工法であり、難透水性で乾燥亀裂の保持性の悪い土壤に主に適用され、長期的な効果の継続が期待できる⁴⁾。

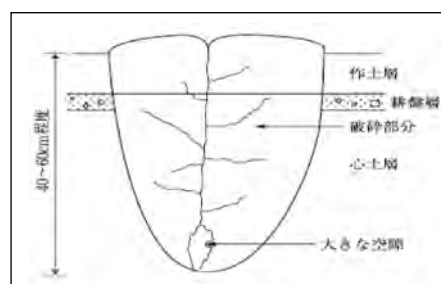


簡易暗渠（モミガラ補助暗渠）の施工⁶⁾

3) 心土破碎

心土破碎は、地表より 40cm 程度の深さの層を心土破碎機で破碎する工法であり、堅密な難透水性土壤の透水性を増加させる効果等が期待できる¹¹⁾。

地下排水の改善や地耐力の確保には、不透水層である心土の破碎が有効であり、心土破碎の深さ、工法、施工機械等の検討については、計画基準「土層改良」『3.5.3 種類別土層改良計画』、同「暗渠排水」技術書『26. 補助暗渠の種類と施工』等を参照する。



心土破碎（無材）⁴⁾

心土破碎（無材）の施工に用いられる主な機械の特徴と写真を以下に示す。

- ・サブソイラ⁴⁾：犁柱（ナイフ）とチゼル（破碎爪：作業幅 90cm 程度）で構成され、破碎効果を大きくするためにチゼルにウイング（ 3° ~ 5° ）を持たせている。
- ・パラソイラ¹²⁾：土を反転させずに耕盤の破碎が可能。
- ・カットブレーカー¹³⁾：V字刃により深さ 70cm まで破碎溝を施工でき、多少の石礫（5% 以上の場合は除礫が必要）が含まれるほ場においても使用可能。
- ・リップドーザ^{14), 15), 16)}：ブルドーザ後部に油圧リッパ装置が装着されたものでリッパ付ブルドーザとも呼ばれ、硬い土質の掘削や軟岩地盤の破碎に適しており、ほ場整備工における耕起・深耕に用いられる。
- ・超湿地ブルドーザ¹⁷⁾：標準ブルドーザ及び湿地ブルドーザでは作業困難な湿地、泥濘地及び軟弱地における掘削運土作業のほか、ほ場整備工事の運土、仕上げ作業によく用いられる。



二連直装サブソイラ⁴⁾



サブソイラによる心土破碎¹⁸⁾



パラソイラによる心土破碎¹²⁾



カットブレーカーによる心土破碎¹³⁾



リップドーザによる耕起¹⁹⁾



超湿地ブルドーザによる表土戻し²⁰⁾

また、心土破碎及び排水の関係については、計画基準「土層改良」において以下のように示されている。

畑地における地表排水不良地（作土直下から難透水層が存在し、降雨の地下浸透が不良であるため、地表部に長期間湛水がみられるところ）では、明渠に深さ 40cm 以上の心土破碎（「深層心破」という）を直結するだけでもかなりの効果があるが、一般には暗渠排水との併用によって高い排水機能を発揮する。

いわゆる重粘土で、かつ、地形等の影響で地下水の排除速度が遅く、常時地下水が停滞、又は、時期的に地下水が上下する地域においては、湿性を呈する重粘土はグライ層、又は酸化沈殿物の有無によって判定できるため、これが 50cm 以内にある場合は心土破碎に暗渠排水を併用することが望ましい。また、このような場合、必要に応じて承水路を設ける方が、施工地区内の排水を良好にすることができる。

心土破碎と排水の関係²¹⁾

土づくりに係る工種（心土破碎、堆肥散布等）は、通常、営農段階で実施されるが、国庫補助事業の対象として基盤整備と一体的に実施することが考えられる。このとき、積算基準等で標準歩掛が示されているリップドーザや超湿地ブルドーザ等を適用すると、施工規模に対して能力・コストが過大となるおそれがある。そのため、施工規模に応じて適切

な機械を選択することに留意し、施工規模に見合った機械の歩掛が確認できない場合は、歩掛調査又は見積徴取によって対応する。

なお、上記のリップドーザ、超湿地ブルドーザのほか、堆肥散布用の機械であるマニアスプレッダについても、農林水産省「土地改良工事積算基準（土木工事）」^{16]}において、標準機種の歩掛が示されている。

[補助暗渠の整備及び維持管理に当たっての留意事項]

■表土戻しについて

心土破碎は、工事施工の影響から必要となる場合がある。ほ場整備において、作物根の伸長及び養分の吸収に必要な有効土層厚を保持する方法である「表土扱い」^{22]}では、一般に、ブルドーザ等の大型重機が用いられるが、これらの重機による圧縮及びこね返しに伴って、土壌がち密化しやすい^{23]}。

水田と畑では栽培に適した土壌の構造や目標値が異なり、畑は水田に比べて作土の厚さが深く、耕盤層のち密度も小さい。そのため、表土を戻す際には、締め固め過ぎないことが重要である。



水田と畑における土壌の構造と目標値の違い^{7]}

このため、大型重機を用いた整備工事の後処理として、土を軟らかくするために深耕ロータリーによる耕起を行う事例もみられる。



深耕ロータリーによる耕起

■基盤整備後の維持管理について

本暗渠、補助暗渠等を施工した農地の排水性は、経年的に悪くなるリスクがあることから、基盤整備後も営農管理の一環として、状況に応じて、疎水材の補充、心土破碎、暗渠管の洗浄等を行う必要がある。

また、維持管理の重要性について農業者にあらかじめ周知しておく必要があり、土地改

良関係部門と普及関係機関が計画段階から営農段階まで連携を取って農業者を指導・支援することが重要である。

■国庫補助事業の活用について※2

補助暗渠については、補助暗渠のみを単独施工する場合は国庫補助事業の対象とならないが、本暗渠と一体的に施工する場合は補助対象となっている。また、営農段階で疎水材の補充や補助暗渠の施工等を行うための共同利用機械の導入についても補助対象となっている。

4. 暗渠排水整備済みのほ場の畑地化について

暗渠排水整備済みほ場の畑地化に当たっては、過去の暗渠排水の整備状況（整備後の経過年数等）や維持管理の実施状況を踏まえつつ、土壌調査等を基に、現況ほ場の排水性について把握する必要がある。

土壌調査等の結果から、導入作物の生育上、現況ほ場の排水性が不十分と判断された場合には、排水不良要因を明らかにし、要因に応じた対策を講じるものとする。

1) 排水不良要因の把握

① 暗渠排水の機能診断

a) 全体機能診断^{24]}

関係受益農家からの故障、欠陥等の報告や定期的な巡回による目視確認を踏まえ、暗渠排水の機能が低下している可能性のあるほ場について、現地調査を行い暗渠排水の現状を確認する。

b) 詳細機能診断^{24], 25]}

全体機能診断により、暗渠排水の機能低下が著しいと判断された場合に、以下の施設を中心に詳細機能診断を行う。

なお、水^こ閘については、畑地の暗渠では通常設置しないことから^{26]}、本手引きでは、取り扱わないこととする。

- ・吸水渠：試掘調査により吸水管、疎水材、耕盤の状況を確認
- ・疎水材：吸水渠の試掘調査の際に、疎水材の腐食や断面不足の状況を確認
- ・排水口：目視により目詰まり等の状況を確認

② ほ場の診断^{27]}

ほ場に関する診断内容として、ほ場周囲の地形や排水路の状態を確認し、暗渠により集水した余剰水をほ場外へ排出できる状態か判断する。

また、ほ場内における排水不良要因として、表層部の泥濘化、下層まで粘質で強還元である難透水層及び堅密層の有無を確認する。

※2 基盤整備後の暗渠の機能維持等における補助事業の活用については、後述「参考資料（5）水田の畑地化に活用可能な補助事業（令和6年度時点）」を参照。

2) 排水不良要因への対策

① 暗渠排水の機能回復について

a) 吸水渠・疎水材・排水口の機能回復²⁵⁾

施設ごとの機能回復に係る検討・留意事項は以下のとおり。

- ・吸水渠：吸水渠の機能回復に当たっては、必要に応じて耕盤層の透水性を確保する点からも心土破碎や補助暗渠の施工を検討する。
- ・疎水材：疎水材を再充填する際に断面確保に留意し、使用量不足とならないようにする。
- ・排水口：排水口の破損等の状況を踏まえて補修・更新を検討する。又、排水路に溜まった泥土を除去することにより、排水口が塞がれることを防止し、暗渠管内部の目詰まりを防止することに留意する。

b) 暗渠排水の機能回復に係る近年の研究開発について

塚本ら²⁷⁾は、暗渠排水整備済みほ場における排水不良要因と暗渠排水の簡易機能診断及び機能回復手法を「ほ場に関する内容」と「暗渠・疎水材自体に関する内容」に分けて紹介している。

また、若杉・小野寺²⁸⁾は、機能低下した暗渠排水を低コストで再生可能な「ドレーン・リフレッシュ工法」を開発している。

暗渠排水整備済みほ場における排水不良要因と 暗渠排水の簡易機能診断及び機能回復手法²⁷⁾

診断内容	状態確認する項目	調査順	排水不良要因	簡易診断の視点、方法 (二重枠部分は検土杖による簡易法 ¹⁾)	対策
圃場の診断	圃場周囲の地形・排水路	①	集水地形周辺高地下水位	・圃場が周囲より低い ・圃場と排水路との高低差なく、暗渠出口が水没 ・地表滞水や排水路に水が滞滞	・営農での地表排水の促進(圃場内明渠、傾斜均平) ・排水路整備による周辺地下水位の低下 ・傾斜下部では事業による有材補助暗渠設置
		②	管理不良	・排水路や暗渠出口の埋没、水没 ・水閘や暗渠蓋の常時閉鎖	・営農での排水設備の適切な維持管理
	圃場内の暗渠管理設備周辺土壌	③	表層部泥濘化	・表層や次層が粘質、泥濘状で、強還元 ²⁾ ・水分過多かつ非常に柔らかい	・営農による地表排水促進(圃場内明渠等) ・営農による土層改良 ³⁾ ・多水分での土層管理作業の回避 ・畑地では事業による粗粒質土壌の客土
			難透水層(土壌構造未発達)	・下層まで粘質、強還元 ²⁾	・不良部が40cm以下→営農による土層改良 ³⁾ ・不良部が40cm以上→事業による補助暗渠(いずれも有材が望ましい)
			浅い堅密層(耕盤層)	・深さ40cm以下で貫入抵抗値1.5MPa以上	・営農による土層改良 ³⁾ ・貫入抵抗値2.5MPa以上の非常に堅密な場合は事業による心土破碎
深い堅密層(硬盤層)	・深さ40cm以上で貫入抵抗値1.5MPa以上		・事業による補助暗渠(強粘質の場合は有材が望ましい)		
暗渠・疎水材の診断	暗渠管	④	暗渠管不良	・暗渠管の詰りや明らかな破損の確認(管の出口から管内を視認)	・暗渠管の清掃 ・上記が困難な場合は本暗渠再整備
	疎水材	⑤	疎水材不足	・埋戻し土厚さ ³⁾ が60cm以上 ・暗渠埋設位置不明・疎水材未使用	・本暗渠再整備
				・埋戻し土厚さ ³⁾ が「指針値 ⁴⁾ +10cm」以上かつ60cm未満 ・埋戻し土厚さ ³⁾ が「指針値 ⁴⁾ +10cm」未満	・疎水材の補充、もしくは有材補助暗渠(本暗渠整備との比較検討が必要) ・疎水材への対応は不要

¹⁾ 検土杖を用いて土壌を深さ20cm毎に掘り上げ、土層の厚さや土性、還元状態を確認する。

²⁾ 上層強還元の判定は、どぶ臭または土色が青灰色、もしくはジビリジル液(2,2'-ビビリジル試薬1gを10%酢酸500mLに溶かす)を上層に滴下し、即時鮮明赤発色の場合とする。

³⁾ 埋戻し土厚さとは、地表面から疎水材上端までの距離を言う。

⁴⁾ 指針値とは、土地改良事業における埋戻し土厚さの指針値で、水田15cm、汎用田25cm、畑40cm。

⁵⁾ 営農による土層改良としては、サブソイラによる心土破碎や弾丸暗渠、カットドレーン、カットソイラーなどがある。

[補足：「ドレーン・リフレッシュー工法」による暗渠排水の機能回復について] ²⁸⁾

暗渠排水の疎水材は、一般的に安価なモミガラが使用されることが多いが、転作の繰り返しに伴いモミガラの分解が進むと、暗渠排水の機能も低下する。一方、暗渠管は耐久性のあるポリ塩化ビニル製のコルゲート管が用いられることが多いため、管内の土砂堆積を防ぐことで半永久的に利用可能となる。

このため、疎水材を暗渠管の直上に再充填することで機能低下した暗渠排水を低コストで再生可能な「ドレーン・リフレッシュー工法」が開発された。

○本工法の特徴

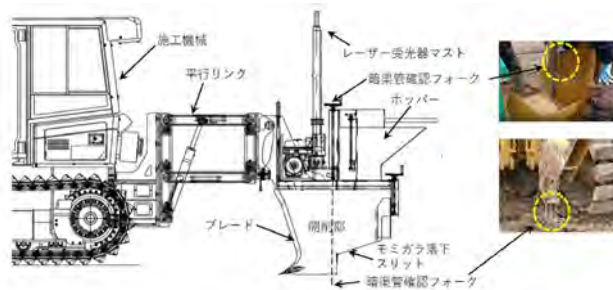
暗渠施工の際に、設計どおり直線に埋設することは実際には困難であり、また、疎水材の再充填時も既設暗渠の埋設位置が分からないため、既設暗渠の設置時と同じ位置を走行することは困難である。一般的な暗渠の施工では、疎水材を投入した部分は分解した疎水材又は空洞となっており、周囲の



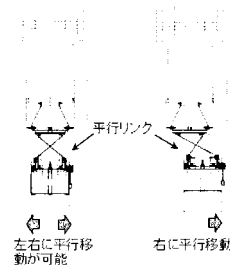
ドレーン・リフレッシュー工法による施工状況

土壌と異なり柔らかい物性を有している。そのため、本工法では、施工機械と作業機の間を左右方向にスライド可能な平行リンクを連結することで、施工時と同じ走行ラインを辿らなくても選択的に柔らかい部分に開削部が入るため、既設暗渠の直上をトレースしながら施工可能である。

また、深さの確認は、ブレード後方の暗渠管確認フォークを開削した溝内に作業員が押し込み、暗渠管の位置を確認しながら施工することで、確実に既設暗渠直上に疎水材を再充填できる。



ドレーン・リフレッシュー工法作業機の概要



平行リンクの概要

○施工手順

- ① 既設暗渠の水閘の位置や設計図を基に暗渠の上下流端、中間点を試掘して埋設している暗渠管の位置出しを行う。
- ② 位置出しした地点に向かって施工機械を走行させ、モミガラを再充填する。
- ③ 走行中、最低 2m ごとに暗渠管確認フォークにより既設暗渠管の位置をチェックして施工する。
- ④ 地上部にある暗渠の水閘は劣化しているため、別途交換する。

○試験施工

暗渠排水の施工から約 25 年が経過した宮城県M地区において、本工法による試験施

工を行った。

【既設暗渠の概要】

- ・疎水材 : モミガラ
(分解が進み、わずかに形状を保った状態)
- ・設置深さ : 70~90cm (傾斜 : 1/500)
- ・設計幅 : 15cm
- ・管種 : コルゲート管
(管内に土砂堆積はほとんどなく、通水性を維持)

上記手順による試験施工の結果、既設暗渠の直上にモミガラが再充填されており、問題なく施工されていることが確認された。

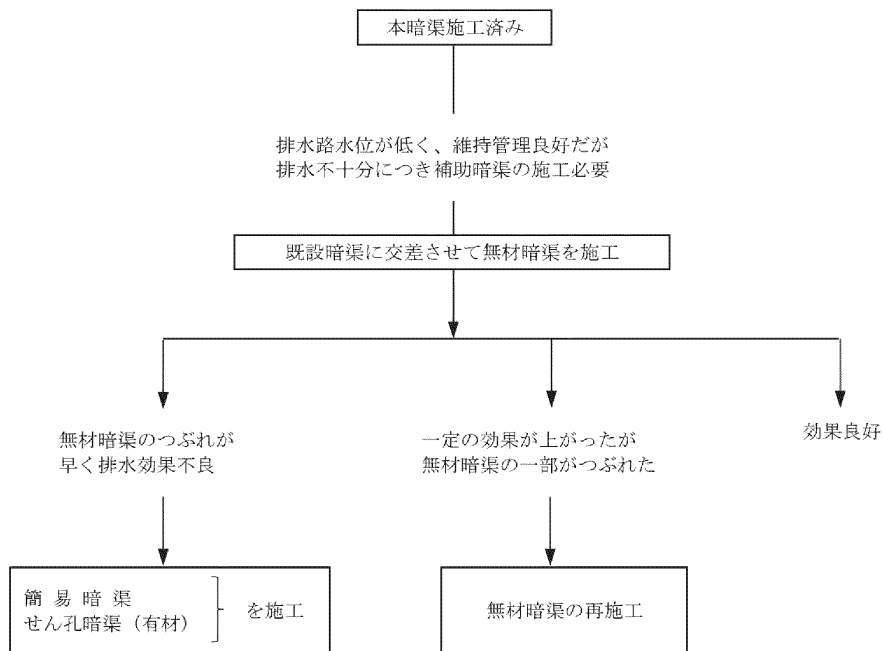


既設暗渠の経年劣化状況



本工法による暗渠再生状況

- ② 既設暗渠の機能自体は良好であるにもかかわらず、排水性が不十分な場合
現況において本暗渠のみが整備済みの場合、本暗渠だけでは排水効果が十分に発揮されないことがあるため、下記を参考に、補助暗渠との組合せ暗渠を検討する。



組合せ暗渠方式^{29]}

(本暗渠のみでは排水効果が十分に発揮されない場合)

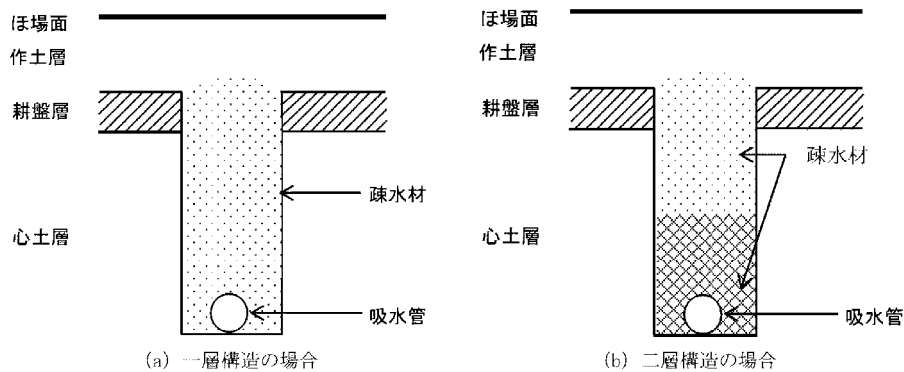
5. 暗渠排水組織の計画・設計について

水田の畑地化に向けた暗渠排水組織の計画・設計に当たっては、以下に示す数値のほか、計画基準「暗渠排水」等を踏まえて、既に畑利用又は畑地化が行われている類似地の状況を参考とすることが望ましい^{30]}。

1) 吸水渠の構造

暗渠管は、地表残留水及び土壌中の過剰な重力水を直接吸収する吸水渠と、吸水した水を集水して排水路に導く集水渠からなる。

地表残留水等を排除するには、吸水渠（鉛直方向）の通水機能が最も重要であり、透水性の良好な疎水材で充填する必要がある^{31]}。



吸水渠の構造例^{31]}

2) 暗渠管の設計

以下では標準的な値を示すが、あくまで目安であり、導入作物や現地条件を勘案して具体的な検討を行う必要がある。

① 計画暗渠排水量^{32]}

地表残留水又は土壌中の重力水を目標時間内に排除するのに必要な暗渠排水組織（暗渠の間隔及び深さ、吸水管の断面等）の決定のため、計画暗渠排水量を求める。

水田の畑利用及び畑の場合、計画基準雨量を1/10年確率の4時間雨量とし、これに暗渠排水依存率を乗じた量をおおむね4時間で排除することを目標とする。

暗渠排水依存率は、類似地における値を参考に、地区の特徴を考慮して決定する。

計画暗渠排水量は、水田の畑利用の場合は30～50mm/d、畑の場合は10～50mm/dが、標準的な値である。

② 吸水渠の深さ^{30], 33]}

吸水渠の深さは、計画地下水位（常時）に余裕深を加えた深さとする。

水田の畑利用、畑等の場合で地表面下60～80cm程度を目安とするが、土層改良を施工する場合や深根性作物を導入する場合には、さらに十分な余裕を見込んでおく必要がある。

作物別の地下水位管理基準を参考として示す。

[事例：畑作物の地下水位管理基準（茨城県農業試験場竜ヶ崎試験場、S52～55）] 33]

作物名	望ましい地下水位	より適した地下水位 (cm)	その時の 収量 (kg/a)	注 意 事 項
	10 50 100cm ----- ----- -----			
さ と い も	●	28～33	350～380	30cm以上では貯蔵により腐敗が多くなる
し ょ う が	●	25～31	220	20cm以上では収穫後の生体重減少が多い
にんじん（春まき）	●	40以下	150	40cm以上では岐根が多い
〃（夏まき）	●	60以下	180	60cm以上では根色が悪い
に ん に く	●	32以下	130	40cm以上では収穫後の生体重減少が多い
た ま ね ぎ	●	49以下	600	50cm以上では乾燥が早く終了する
や ま と い も	●	41以下	400	40cm以上では形状がやや不良になる
ほ う れ ん そ う	●	66以下	280	23cm以上では発芽不良
し ゅ ん ぎ く	●	47以下	320	43cm以上では分けつ不良
キャベツ（夏まき冬どり）	●	35以下	420	外葉の生育には48cm以下がよい
〃（極早生晩まき）	●	32～55	540	30cm以上ではしまりが悪い
は く さ い	●	36以下	1,080	特になし
レ タ ス	●	36～46	550	地下水位が低いと個体変動が大きくなる
は な や さ い	●	70以下	80	70cm以上では花らい重がやや軽くなる
ブ ロ ッ コ リ ー	●	40以下	70	70cm以下では個体変動が大きくなる
ス イ ー ト コ ー ン	●	30以下	130	裸雌穂重は地下水位が低いほど重くなる
い ん げ ん	●	75	70	50cm以上では後期収量が低下する
す い か	●	71	380	30cm以上では着果不良、70cm以上では果重減少
き ゅ う り	●	33	630	収穫本数は33cmが最も多い
か ぼ ち や	●	32以下	110	40cm以上では果実の接地点にイボを生じる
な す	●	25以下	800	特になし
ピ ー マ ン	●	30以下	250	地下水位が高いほど疫病が多くなる
ト マ ト	●	36	620	平均果重は47cmで最高になる
小 豆	●	100以下	—	1mまで下げても14kg/aの収量
ら っ か せ い	●	45以下	220	上子実量は50cmで最高になる
大 豆	●	31以下	30	特になし
そ ば	●	34以下	18	30cm以上では発芽不良になる
さ つ ま い も	●	90	860	収穫に伴う皮むけが多く、腐敗しやすい
秋 ま き 小 麦	●	23以下	59	62cm以上では穂長が短く、穂数はやや少ない
〃 六条大麦	●	66以下	69	50cm以上では稈長が短い
〃 二条大麦	●	53以下	71	25cm以上では短穂化し低収になる
ク レ イ ン ソ ル ガ ム	●	57以下	51	50cm以上では精粒重が軽くなる

※「望ましい地下水位」あるいは「より適した地下水位」は、栽培しているほ場の土壌条件や気象条件（降雨、蒸発散）により、上下する。また、出芽時や定植時にほ場が乾燥する条件では、一時的に地下水位を上昇させることにより、出芽や苗の活着を促進することができる。

③ 吸水渠の間隔^{30]}

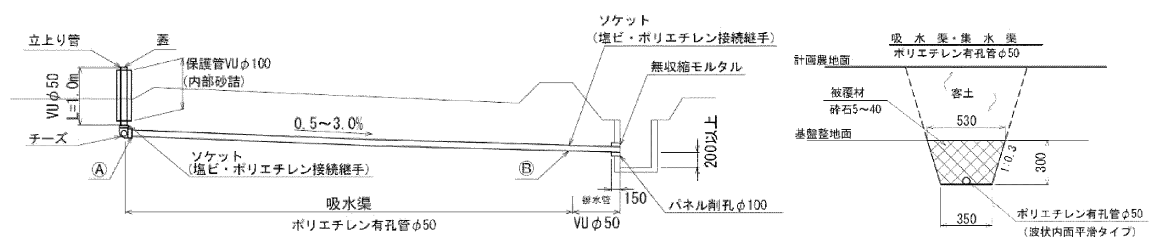
吸水渠の間隔は、土壌の透水性、地形、土地利用形態等を勘案して決定する。

なお、吸水渠間隔の下限値は7.5m程度とし、この値より間隔を小さくせざるを得ない場合は、本暗渠及び補助暗渠の組合せ暗渠を検討する。

④ 敷設勾配^{34]}

暗渠管の敷設勾配は、一般には1/100～1/1,000が標準（浅埋設暗渠では無勾配含む）とされる。

[事例：畑地化実施地区における暗渠排水の整備（和地太田地区（愛知県））]

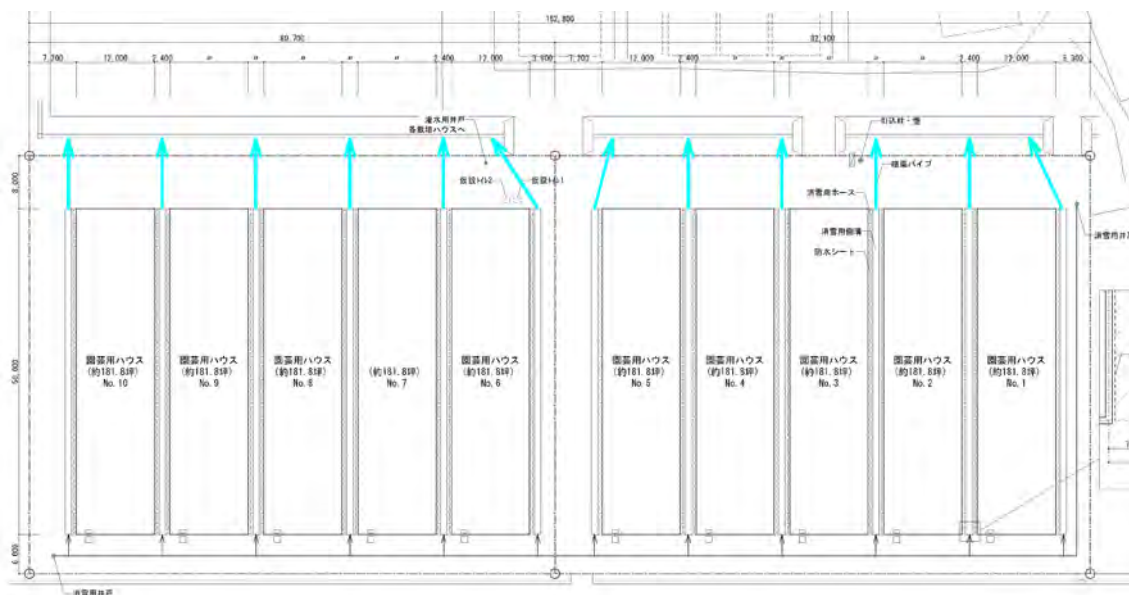


[事例：園芸施設（ハウス）の設置を勘案した排水対策について]

基盤整備の実施に伴い、園芸施設（ハウス）が設置される場合は、排水対策の内容、暗渠及び排水路の配置について、実施主体間での調整が必要である。

(事例1) 畑屋中央地区（秋田県）では、事業採択後、地区内できゅうり等の栽培を行うハウス団地計画が決定したことから、暗渠及び排水路の配置について以下の調整を図った。

- ・暗渠排水の渠線間隔（通常は一律 10m 間隔で設置）を、鉄骨ハウスの位置に合わせて調整。
- ・ハウス間に屋根からの落雪が堆積することから、消雪用の側溝を追加設置。



鉄骨ハウスの位置を踏まえた暗渠の渠線間隔と排水路位置の設定
(地区事例：畑屋中央地区（秋田県）)

(事例2) 大分県では、基盤整備と併せてハウスを設置する農地の排水対策について、関係機関へ以下の通達を行っている。

○対策工

- ・ハウス内：地下水位等の状況に伴う暗渠排水工
- ・ハウス外：農地の法尻等からの湧水処理工、園芸施設周辺部の雨水処理工

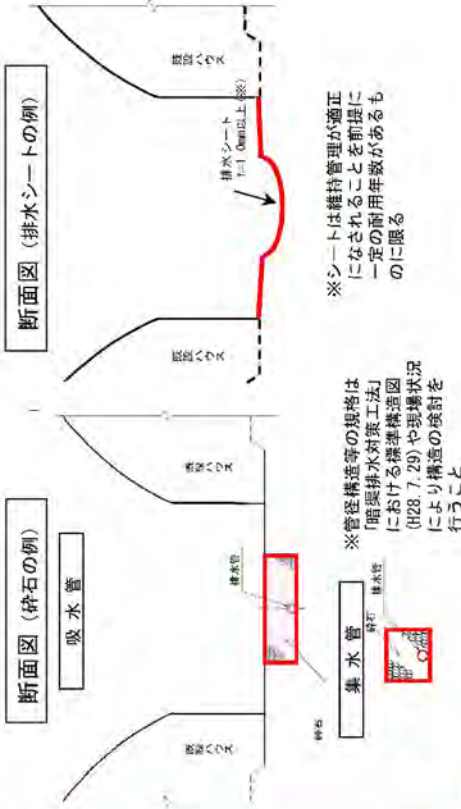
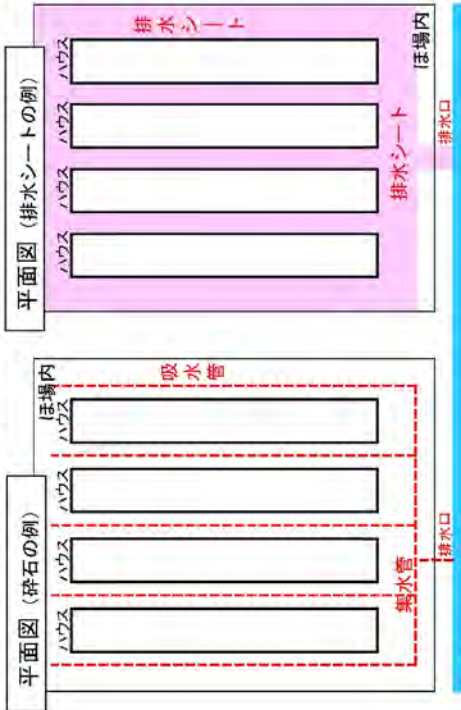
○留意事項

- ・ハウス内：暗渠排水管の位置選定は、各工法の標準間隔を基本とするが、ハウス間口を考慮し農業者と調整を図り、効果が発揮できる位置とすること
- ・ハウス外：周辺部からの流れ込みなど事前調査等を行う検討すること、排水出口（排水路高さ）の確認を図ること

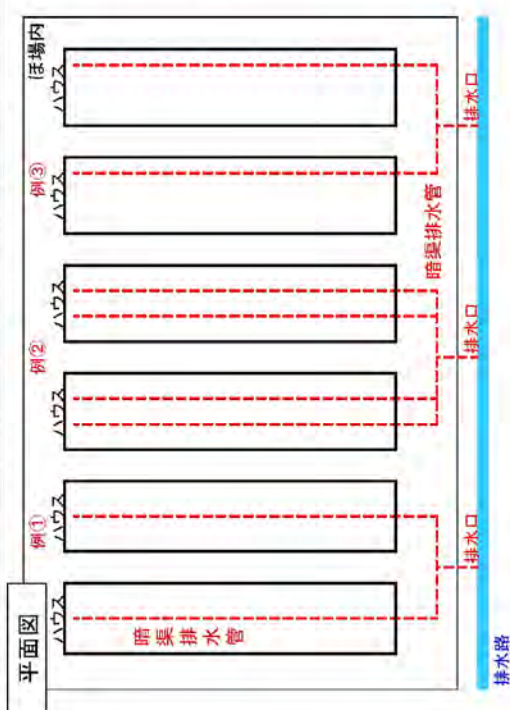
施設園芸(ハウス)農地 排水対策のイメージ図

大分県事例

園芸施設周辺部の雨水処理工【ハウス外】



地下水位等の状況に伴う暗渠排水工【ハウス内】



3) 暗渠の資材

① 暗渠管の管種

暗渠管の代表的な管種は下表のとおりであり、選定に当たっては、下記の基本的事項を考慮する必要がある³⁵⁾。

- ・耐圧力及び曲げ強度（物理的強度）
- ・耐蝕性（化学的強度）
- ・土壌の種類
- ・不等沈下の有無
- ・暗渠排水組織計画
- ・施工方法
- ・気象条件
- ・資材入手の市場調査
- ・経済性
- ・工期

代表的な暗渠管の種類³⁵⁾

管 種	概 要	特 徴
ポリエチレン コルゲート管 (合成樹脂管) 	①長さ4m。 ②吸水孔はコルゲート凹部の 円周上。 ③吸水孔の面積がポリエチレン管 (ストレート管)に比べ大きい。	①ポリエチレン管(ストレート管)に比べ 耐圧強度が高い。 ②ポリエチレン管(ストレート管)に比べ 吸水面積が大きい。 ③硬質塩化ビニル管に比べ低温に強い。 ④硬質塩化ビニル管に比べ軽量。
	①長さ30m～100m程度 までの巻物。 ②吸水孔はコルゲート凹部の 円周上。 ③吸水孔の面積がポリエチレン管 (ストレート管)に比べ大きい。	①ポリエチレン管(ストレート管)に比べ 耐圧強度が高い。 ②ポリエチレン管(ストレート管)に比べ 吸水面積が大きい。 ③硬質塩化ビニル管に比べ低温に強い。 ④硬質塩化ビニル管に比べ軽量。 ⑤掘削同時埋設や引込み式埋設も可能。
ポリエチレン ストレート管 (合成樹脂管) 	①長さ4m。 ②肉厚2mm以上。 ③吸水孔の面積15cm ² /m以上で 均等分布。	①硬質塩化ビニル管に比べ低温に強い。 ②硬質塩化ビニル管に比べ軽量。
硬質ポリ塩化ビニル管 (合成樹脂管) 	①長さ2.5m、4m。 ②肉厚1mm～2mm。	①素焼き土管に比べ軽量。 ②低温に弱い。
素焼き土管 	①長さ30cm、45cm。 ②JIS規格による陶管又はこれに 準ずる素焼き土管。	①主に管の継目から吸水。 ②やや重く、衝撃に注意。

注 上記以外に、高密度ポリエチレン製シートを活用し、暗渠管として活用されている事例もある

② 疎水材の選定

暗渠管の周囲に敷設する疎水材の条件としては、

- ・透水性が良いこと
- ・安価であること
- ・透水性が持続するよう耐久性があること
- ・運搬など取り扱いが容易であること

などが挙げられる^{35]}。

各種疎水材の特徴は以下のとおり。

各種疎水材の特徴^{35]}

疎水材の種類	概要	特徴	備考
モミガラ	入手の容易さ等もあり、全国的に最も多く使用されている材料である。	① カントリーエレベーター、ライスセンター等から所定量を入手しやすい。 ② 透水性が大きい。 ③ 地下水位変動が大きい場合（飽和状態と乾燥状態とが頻りに相互する場合）は、腐植（疎水材としての機能が低下）しやすい。	地域によっては、必要量の確保が困難な場合があることから、事前に土地改良区、JA等の供給者との調整が必要である。
木材チップ	地域によって入手が困難な場合もあり、他の材料との経済性を比較して使用を検討する。	① 疎水材投入と疎水材の厚さ管理が行いやすい。 ② モミガラに比べ、腐植が進みづらく、耐久性は優れている。 ③ 地下水位の状況等により、腐植が進みやすい場合がある。	北海道ではカラマツ等の木材チップの確保が容易で多く使用されている。地域によってはスキ間伐材を利用している例もある。
碎石	耐久性に優れ、入手が容易であり、他の材料との経済性を比較して使用を検討する。	① 耐久性に優れている。 ② 目詰まりも少ない。 ③ 入手が容易である。 ④ 施工管理、品質管理が容易である。 ⑤ 単価が比較的高い。	5～40mm程度の材料（単粒碎石等）を使用する。 碎石が作土に混入する可能性があるため、受益者の意向を確認する必要がある。
その他の材料	貝殻、火山礫（ボラ等）、竹炭、そだ、泥炭マット、瓦等である。		

各種疎水材の特徴については、農林水産省ホームページ「暗渠疎水材選定のための参考資料」^{36]}において公表されている。

	モミガラ	チップ	粗朶	碎石・砂利・火山礫
特徴	農産物の副産物であり、身近な材料として全国的にも最も多く使用される。	モミガラに比べ、粗大間隙が多く、圧縮に強く、透水性、耐朽性の良い資材。	疎水材として、古くから用いられている材料であり、山林等に隣接する施工地域では、現在でも多く使用されている。	モミガラが入手困難な地域や乾湿の繰り返しが激しい地域等で使用されている。
調達	カントリーエレベーターやライスセンター等から所定量の入手が確実に行いやすい。	北海道ではカラマツ等の木材チップが利用可能であり、地域によってはスギ間伐材を利用した木材チップの入手が容易である場合もあるが、木材チップが疎水材に使われるようになったのは最近のことであり、資材の供給から施工に至る工程がまだ完全には確立されていない	地域によっては、入手が容易で安価である。	比較的どこでも随時入手できる。
耐久性	<p>一定の条件でのほ場における実証調査結果から、長期的な炭素残存率は以下の様に推計できた。</p> <p>・10年後では、水田で7～8割程度、畑では、北海道・東北・北陸地方（以下「寒冷な地方」と称す）で6～7割程度、関東・中部・近畿・中国・九州（以下「温暖な地方」と称す）で4割程度。</p> <p>・20年後では、水田で5割程度、畑では、寒冷な地方で4～5割程度、温暖な地方で3割程度。</p> <p>疎水材としてのモミガラの耐用年数は10年程度と考えられる。</p>	<p>一定の条件でのほ場における実証調査結果から、長期的な炭素残存率は以下の様に推計できた。</p> <p>・10年後では、水田で7～8割程度、畑でも7～8割程度。</p> <p>・20年後では、水田で4～5割程度、畑で5割程度。</p> <p>針葉樹チップおよび樹皮つきチップで15年、抜根チップで10年は少なくとも使用できると考えられる。</p>	腐植しにくく、耐久性に優れている。	腐植せず、耐久性に優れている。
課題	耐用年数が粗朶、碎石と比べ短い。畑地帯または、輪換田で乾湿が繰り返される場合は、腐植による沈下、断面縮小による効果低減が考えられる。	木材チップの安定化や暗渠の施工が一時期に集中することへ対応したチップの供給体制の確立、チップの運搬、投入など施工の合理化・簡素化が課題。	地域によっては入手が困難であり、割高となる傾向がある。生木を投入する必要があることから保管が難しい。かさばるので施工運搬がしにくい。	単価がモミガラと比べて割高である。泥炭土等軟弱地盤では、重量によるめり込みや沈下がある。
留意点	モミガラ出荷可能面積のきき取りを行い、その年の暗渠施工面積を決定する。それには、各農家、カントリーエレベーター・ライスセンターを管理している農協と事前に調整を図り、不足が生じた場合は、隣接地等より確保する必要がある。	抜根チップを製造するとき、原料に付着している土は排除し、土砂付着率を4%（重量比）以下にする。水田及び乾換畑での利用は、モミガラを抜根チップの上部にフィルター層として施工する方が望ましい。	粗朶の長さを0.2～0.3mに結束し、枝先部が0.5mほど重なるように吸水管を巻き込み投入する。合わせてモミガラ等を併用し、排水効果を高めている地域もある。	粒径の大きい材料を選定すると、目詰まりが生じるので、粒度選定に注意する必要がある。20～40mm程度のクラッシュラン等を使用する。

実証調査データから得られた知見 黒字：暗渠排水Q&A・施工事例より抜粋（出典①）
緑字：土地改良事業計画設計基準（出典②） 赤字：木材チップにおける暗渠排水疎水材の検討について（出典④）
青字：林産試だより2001年12月号（出典③） 茶字：ウッドチップ新用途（出典⑤）

出典

- ① 暗渠排水 Q & A ・ 施工事例、全国土地改良総合整備事業制度研究会編集（昭和64年1月）
- ② 土地改良事業計画設計基準（平成12年11月）
- ③ 林産試だより「木材に関する質問と回答（その2）」2001年12月号（平成13年12月）
- ④ 木材チップ（スギ）における暗渠排水疎水材の検討について、農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp.524-525,（平成22年）
- ⑤ ウッドチップ新用途、財団法人 林業科学技術振興所（平成11年7月）
- ⑥ ほ場の総合的な排水改良技術の確立に関する研究、北海道立中央農業試験場（平成19年3月）
- ⑦ 木炭の暗渠疎水材としての利用、千葉県農林総合研究センター（平成19年3月）
- ⑧ モミガラ疎水材の耐久性について、「北農」第52巻9号（昭和60年10月）

暗渠疎水材の耐久性、課題、留意点等^{36]}

なお、モミガラについては、水田畑利用時に腐食が急激に進むケースが確認されており、モミガラの腐食に伴う田面の陥没などにより、湛水及び暗渠排水機能に支障をきたすおそれがあることに注意する^{37]}。

また、未利用資源のリサイクルも兼ねて、県営ほ場整備事業において疎水材として貝殻の使用を標準化し^{38]}、モミガラに比べて耐久性に優れるホタテの貝殻を活用している事例もある（青森県）^{39]}。

(イ) 地表排水（明渠）

地表排水の促進は、地下排水（暗渠排水）の負担を軽減し、迅速なほ場排水に有効であることから、水田の畑地化に当たっては、現地の実情等を勘案し、暗渠排水と地表排水対策を併用することが望ましい。

基盤整備による主な地表排水対策としては、明渠の施工が挙げられる。

【解 説】

1. 地表排水の概要

地表排水は、農地の地表面における過剰水の排除を目的としており、主に強雨時の排水を対象として、地下排水に優先して行われる^{26]}。

2. 地表排水の重要性について

地表排水は、地下排水（暗渠排水）と補完的な関係にあり、計画基準「暗渠排水」において以下のように示されている。

「暗渠排水のみを施工してもその効果が十分に発揮されないことがある。（中略）十分な効果が期待できない場合には、暗渠排水と補完的な関係にある地表排水、土層改良（心土破碎等）、あるいは土地利用のあり方などの多面的な対策を講ずることが必要である」^{1]}

「地表排水と地下排水は密接に関係しあっているが、地下排水は地表排水に比べ排水速度が極めて遅いという特徴をもっている。したがって、地表排水の強化を図ることは、暗渠排水の負担を減じ、迅速な排水効果をあげる上で有効である」^{40]}

以上より、地表排水の促進・強化は、暗渠排水の負担を軽減し、迅速なほ場排水に有効であることから、水田の畑地化に当たっては、現地の実情等を勘案し、暗渠排水及び地表排水対策を併用することが望ましい。

3. 明渠の施工

基盤整備による地表排水対策としては、主に明渠の施工が挙げられ、施工の目的・概要は以下のとおり。

ほ場内の停滞水の排除を目的としてほ場面の溝切りを行い、ほ場の外周に沿って額縁明渠を設置する。区画が大きい場合はほ場内明渠を施工し、溝を接続して余剰水を落水口から排水路へ流下させる。隣接ほ場からの浸入水が発生する場合は、額縁明渠の施工により浸入を防ぐ^{6],18]}。



溝掘機による明渠の施工状況¹⁸⁾



明渠の施工イメージ¹⁸⁾



スクリーオーガー型
溝掘機による額縁明渠
の施工⁶⁾

額縁明渠と落水口の接続⁶⁾

なお、畑作導入に当たって、地表排水が困難な場合には、額縁明渠の施工の際に、必要に応じて、明渠を接続させる落水口を新たに設置することが有効である。

[事例：畦畔を一部壊した上での落水口の新設について]⁴⁾



額縁明渠の整備については、国庫補助事業の中で実施可能となっており、営農段階において額縁明渠を整備するための共同利用機器の導入についても補助対象となっている^{※3}。

※3 後述「参考資料（5）水田の畑地化に活用可能な補助事業（令和6年度時点）」を参照。なお、本記載は畑作等促進整備事業に基づく。

[事例：各作目の排水対策技術（秋田県）]

下表はあくまで一例であり、排水対策については、導入作物や土壌条件等、当該地区の実情を踏まえて検討する必要がある。

各作目における排水対策技術⁶⁾

◎必須、○積極的に導入、△選択的に導入、×不要

区分	作目	表面排水		地下排水					作土層拡大	
		明渠	畝立て	本暗渠	補助暗渠					チゼル耕
					弾丸暗渠	せん孔暗渠	簡易暗渠	心土破碎	全層破碎	
畑地化	大豆	○	△	◎	◎					◎
	小麦	◎	△	◎	◎					◎
	ソバ	◎	○	◎	◎					◎
	エダマメ	○	△	◎	◎					◎
	ネギ	◎	×	◎	◎					◎
	スイカ	◎	◎	◎	◎					◎
	ニンニク	○	◎	◎	◎					◎
	タマネギ	○	◎	◎	◎					◎
	アスパラガス	○	◎	◎	◎					◎
	キュウリ	○	◎	◎	◎					◎
	キク類	○	◎	◎	◎					◎
	ダリア	◎	◎	◎	◎					◎
	リンドウ	△	◎	◎	△					◎
飼料作物	○	×	○	◎					◎	

引用文献

- 1] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準 3.1.1 計画の基本的な考え方と手順』
- 2] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準 1.2 暗渠排水の目的と整備目標』
- 3] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準 2.3 暗渠排水の必要性の判断』
- 4] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『26. 補助暗渠の種類と施工』
- 5] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準 4.3 補助暗渠の施工』
- 6] 「田畑輪換・畑地化マニュアル」秋田県農林水産部 (R4.11)
- 7] 「農地の排水対策検討手順書」宮崎県農業経営支援課・農産園芸課・農村計画課 (R3.3)
- 8] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準 1.1 基準の運用の目的』
- 9] 「農家が使える無資材・迅速な穿孔暗渠機『カットドレーン』」農研機構 農村工学研究所研究成果情報 (2013)
- 10] 「『無資材・迅速・簡単』な穿孔暗渠施工機を開発」農研機構 農村工学研究所プレスリリース (2013.11.6 公開)
- 11] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準 4.5 心土破碎』
- 12] 「ニプロ パラソイラーNPS10 シリーズ カタログ」松山 (株)
- 13] 「『カットシリーズ』を用いた営農排水施工技術標準作業手順書」農研機構 (2023.2.21 更新)
- 14] (一社) 日本機械学会ホームページ「機械工学事典」
(<https://www.jsme.or.jp/jsme-medwiki/doku.php?id=04:1013375>)
- 15] JICA 報告書 PDF 版「機材ガイドブック (かんがい農業土木用建設機械・資機材) 建設機械・ポンプ・水門扉・バルブ・パイプ」国際協力事業団農業開発協力部 (S62.3)
(https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/10090157_02.pdf)
- 16] 農林水産省ホームページ「令和6年度 土地改良工事積算基準 (土木工事)」
(https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/sekisan_kijun/index.html)
- 17] (一社) 日本建設機械施工協会ホームページ「建築生産機械便覧」

- (<https://jcmnet.or.jp/kikaibukai/kenchiku/pdf2/020103.pdf>)
- 18] 「排水改良の手引き」青森県農林水産部農村整備課 (R2. 2)
 - 19] 小野賢二ら「海外防災林復旧・再生事業における生育基盤盛土の現状－事業着手初期の未耕起盛土の物理性および盛土への各種耕起工が土壌硬度鉛直分布に及ぼす効果の評価－」森林総合研究所研究報告 15(3)、P. 65～78 (2016)
 - 20] (株) アシュワ ホームページ「令和3年度経営体育成基盤整備事業(ほ場)飯盛地区第2号工事」(<https://ashuwa.jp/works-doboku/page480.html>)
 - 21] 土地改良事業計画設計基準 計画「土層改良」『3.5.3 種類別土層改良計画』
 - 22] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備(畑)」『基準3.9.1 有効土層の保持』
 - 23] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備(畑)」技術書『23. 畑地における土層改良』
 - 24] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準5.4 施設の機能回復』
 - 25] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『29. 暗渠(吸水渠、集水渠)の維持管理及び機能回復』
 - 26] 「改訂6版 農業農村工学標準用語辞典」(公社)農業農村工学会
 - 27] 塚本康貴ら「疎水材暗渠の排水機能簡易診断と機能回復手法」日本土壌肥料学会誌 87(5)、P. 368～372 (2016)
 - 28] 若杉晃介・小野寺恒雄「暗渠の機能回復を図る「ドレーン・リフレッシュ工法」の開発」2020年度(第69回)農業農村工学会大会講演会講演要旨集
 - 29] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『27. 補助暗渠の選定』
 - 30] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準3.3.1 基本暗渠排水組織計画』
 - 31] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『19. 暗渠溝の構造と機能』
 - 32] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」『基準3.2.1 計画暗渠排水量』
 - 33] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『31. 転換畑作物の地下水位管理基準』
 - 34] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『35. 暗渠排水組織の計画・設計例(3)－吸水渠の支配面積に応じた設計事例－』
 - 35] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『20. 暗渠資材の種類及び選定』
 - 36] 農林水産省ホームページ「暗渠疎水材選定のための参考資料」(https://www.maff.go.jp/j/nousin/kantai/kanwa/pdf/tyousa_houkoku_sankou.pdf)
 - 37] 西 大基ら「暗渠管直上におけるモミガラ疎水材の腐食状況」東北農業研究 76、P. 19～20 (2023)
 - 38] 農林水産省ホームページ「土地改良事業を契機とした農村地域の振興事例集 vol.10」(R6.3) (<https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/kousyueki-zirei.html>)
 - 39] 青森県庁ホームページ「環境公共通信 第40号」(H30.12) (<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/nourin/noson/kankyokoukyotsushin.html>)
 - 40] 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」技術書『17. 暗渠の配置と関連事項』
 - 41] 「水田転作野菜栽培のための排水対策診断フローチャート」鳥取県農業試験場 (R3.3)