

付 録

技 術 書

目 次 (技 術 書)

1 .	暗渠排水整備の変遷	(基準 第1章 1.2関連)	101
2 .	暗渠排水を利用した除塩方法	(基準 第1章 1.2関連)	105
3 .	土壌調査項目と方法	(基準 第2章 2.2関連)	106
4 .	現場透水係数測定調査	(基準 第2章 2.2関連)	110
5 .	水田における地下水位調査法	(基準 第2章 2.2関連)	117
6 .	地耐力調査	(基準 第2章 2.2関連)	122
7 .	暗渠排水整備に関連する環境配慮事例	(基準 第3章 3.1.1関連)	123
8 .	地表排水と暗渠排水の関係	(基準 第3章 3.1.2、3.2.1関連)	124
9 .	計画暗渠排水量の基準値	(基準 第3章 3.2.1関連)	126
10 .	類似地調査による計画暗渠排水量の求め方	(基準 第3章 3.2.1関連)	127
11 .	作物生育と地下水位	(基準 第3章 3.2.2関連)	131
12 .	地耐力と地下水位	(基準 第3章 3.2.2関連)	132
13 .	地耐力と車両走行性	(基準 第3章 3.2.2関連)	133
14 .	暗渠排水管の配置方式	(基準 第3章 3.3.1関連)	135
15 .	農区、耕区単位の暗渠排水組織	(基準 第3章 3.3.1関連)	138
16 .	大区画水田における暗渠排水組織	(基準 第3章 3.3.1関連)	143
17 .	暗渠の配置と関連事項	(基準 第3章 3.3.1関連)	145
18 .	暗渠を利用した地下かんがい	(基準 第3章 3.3.1、3.3.4関連)	147
19 .	暗渠溝の構造と機能	(基準 第3章 3.3.1関連)	157
20 .	暗渠資材の種類及び選定	(基準 第3章 3.3.1関連)	165
21 .	水閘、立上り管(管理孔)及びマンホール	(基準 第3章 3.3.1関連)	167
22 .	暗渠管の敷設勾配及び直径	(基準 第3章 3.1.1、3.3.1関連)	171
23 .	傾斜地における暗渠排水組織	(基準 第3章 3.3.3関連)	175
24 .	暗渠排水工事の施工管理	(基準 第4章 4.2関連)	183
25 .	暗渠機能低下の要因	(基準 第4章 4.2関連)	184
26 .	補助暗渠の種類と施工	(基準 第4章 4.3、4.4関連)	188
27 .	補助暗渠の選定	(基準 第4章 4.3、4.4関連)	192
28 .	排水路の維持管理	(基準 第5章 5.2関連)	195
29 .	暗渠(吸水渠、集水渠)の維持管理及び機能回復	(基準 第5章 5.2、5.4関連)	196
30 .	水稻生育と地下排水性の関係	(基準 第5章 5.3関連)	203
31 .	転換畑作物の地下水位管理基準	(基準 第5章 5.3関連)	205
32 .	現場透水係数の補正と吸水渠間隔の計算	(基準 第3章 3.3.1関連)	207
33 .	暗渠排水組織の計画・設計例(1)	(基準 第3章 3.3.1関連)	212
34 .	暗渠排水組織の計画・設計例(2)	(基準 第3章 3.3.1関連)	216
35 .	暗渠排水組織の計画・設計例(3)	(基準 第3章 3.3.1関連)	222
36 .	暗渠排水組織計画に関する調査事例	(基準 第3章 3.3.1関連)	225

1. 暗渠排水整備の変遷

(基準書 第1章 1.2 関連)

日本における暗渠排水技術は、主として水田を対象に発展しており、水田のほ場排水は、欧米などで行われている畑地農業のための地下水位の低下を目的とするだけでなく、大型作業機械の作業条件を確保する目的で地耐力を強化するため、田面に停滞あるいは表層のごく浅い層に滞水する過剰水の排除を主目的としている。

歴史的にみると、排水不良田では用水不足を補うため湛水を維持できるよう地下浸透を抑制する営農作業（代かき、畦塗り）と排水路を設けず用排水兼用水路とし、基本的に用水を溜め込むことを第一として、地表排水や地下（暗渠）排水を抑制していた。このような経験を積み重ねた結果、自然要因による排水不良というより、人為的に排水不良が形成され、用水不足の地域では排水不良田の水田群が広く分布していた。

このことから、日本の排水改良はかんがい事業によってかんがい用水の増強が先行して、その後、ほ場整備によって用水路と排水路が分離され、特に排水の強化のために排水路の掘り下げが行われ、最後にはほ場の地表排水、地下（暗渠）排水が行われるプロセスを経てきた¹⁾。

1.1 暗渠排水の目的と効果

暗渠排水は、作物の生育環境を良好にし、また農作業環境を改善することを目的に整備されている。例えば、作物の生育環境を整えるため、大豆などの畑作物の多くは耐湿性が弱く、土壤水が過剰となり、土壤空気が不足すると、根が呼吸困難となって生育不良に至る。このような湿害は、土壤の粗間隙が少なく、土壤水が停滞し、水分過剰になりやすい農地で発生しやすく、水田の畑利用時などに多く見られる。しかし暗渠排水が整備されると、過剰水が排水されるようになるため、土壤の通気性が増し、湿害が起こりにくくなる。また、地温が高まり、根の伸長を促進させるなどの効果もある（写真-1.1）。



写真-1.1 暗渠排水によるほ場の生育環境の良好化

農作業環境の改善とは、水田土壌の構造は、耕うんによる柔らかい透水性のよい薄い作土層と、耕うんされない固い排水性の悪い心土層の二層構造となっている。この二層の間には、長年の機械作業の踏圧等によって形成された固くて難透水性の耕盤が形成されて、湛水の維持と地耐力の発揮に効果をもたらすが、地下水位が高く地盤が軟弱なほ場においては、農業機械の走行や機械作業が困難とされており、そのため暗渠排水を整備することで、地下水位が低下し、土壤の乾燥が促進することで、地耐力が向上し、農業機械の作業性が容易になる。

近年の暗渠排水整備は、水田の汎用化の進展に大きな役割を果たしている。水田の汎用化が進むと、畑作物の導入と品質と収量が向上するとともに、作物選択の自由度が増し、例えば大豆やキャベツなどの導入にも効果的である（写真-1.2）。

また、暗渠排水に地下水水位制御システムなどを組合せた地下かんがい施設として利用する取組も進められている。これにより、きめ細かい土壌水分の適正な管理が可能となり、作物の発芽、苗立ちの促進・安定化が図られる。



写真-1.2 畑作物の導入例

畑作物においては品質と収量のさらなる向上、水稻においては乾田直播などの導入による生産コストの削減及び経営規模の拡大が期待できる。（技術書「18. 暗渠を利用した地下かんがい」を参照）

このほか、暗渠排水は地下排水を促進するため、除塩の効果もある。農地が津波や高潮などで海水を被ると、土壌中の塩類が過剰になり、作物の塩害が発生するため、除塩が必要となる。このような農地では、暗渠排水を利用して、水閘を閉じ、ほ場にかんがい水を入れて湛水した後、水閘を開放し、地下排水を促すことで土壌中の塩類を除去する方法がとられている。（技術書「2. 暗渠排水を利用した除塩方法」を参照）

1.2 暗渠排水整備の変遷²⁾

天保1～11年（1830～1840年）に熊本県、鳥取県、群馬県、岐阜県で石礫暗渠や丸太暗渠が施工された記録があり、富田甚平は明治11年（1878年）熊本県で暗渠排水を行った際、その間隔は深さ、土性及び排水量に基づいて決定している。

一方、その頃の日本の暗渠排水技術は欧米の技術の導入によって進められ、具体的な欧米技術の指導は、北海道において泥炭地に土管を埋設することを教えたのが始まりであり、札幌農学校において土管を試作し、明治14年（1881年）に同農場内で土管製造、埋設を行っている。

明治から大正に入ると、福岡県や広島県で、乾田化と二毛作田のため暗渠が盛んに施工され、かんがい期間中も水閘を開放し、浸透を与え、かんがい末期には暗渠を利用して排水する不断排水法（水閘水位の調整による）などが用いられている。

暗渠排水に本格的な国の補助が行われるようになったのは、昭和7年（1932年）7月19日付で、農林次官から地方長官あてに出された通達「暗渠排水奨励ニ関スル件」（暗渠排水工事補助要領）によってである。この通達において、暗渠排水は従来の実績から耕地の利用増進にその効果が著しく、農産物の増産を通じ農村の振興に資することが非常に大きいとして、全国で実施が計画され施工された。

そして、昭和20年（1945年）頃まで土地改良事業で集中的に実施された。しかし、終戦後外地からの復員者等の受け入れ及び緊急の食糧増産を目的とした緊急開拓へと土地改良事業の重点が急転換されることになり、昭和24年（1949年）に土地改良事業の基本的な法律である「土地改良法」が制定され、日本経済の自立と安定のために財政金融引き締め政策が組まれたことから、暗渠排水などの小規模な団体営土地改良事業は大幅に減少し、ほとんど財政支出はみられなくなった。

転換は、昭和36年（1961年）に「農業基本法」が公布され、昭和37年（1962年）には同法を

基に農業構造改善事業が新設され、さらに昭和 38 年（1963 年）には、区画整理、道路、用排水路、暗渠排水、客土を一事業として総合的に施行する「ほ場整備事業」が創設された。これ以降、暗渠排水も区画整理を伴う場合は、全てほ場整備事業の中で実施されることとなり、区画整理と一体的に暗渠排水が実施されることにより、暗渠排水の実施面積が全国的に急激に増大し始めた。

米の恒常的な過剰基調により、昭和 45 年（1970 年）から「米生産調整及び稲作転換対策」が実施され、ほ場整備事業は、水田単作のほ場から、畑作の導入が可能な汎用耕地への整備に変わり、暗渠排水の導入の割合がさらに高くなった。

昭和 52 年（1977 年）から始まった水田再編利用対策を契機に、昭和 25 年（1950 年）から「耕地整理」の予算科目で実施されていた団体営暗渠排水事業は、昭和 52 年（1977 年）に各種の事業を総合的、集中的に実施する「土地改良総合整備事業」の中に整理統合された。

昭和 54 年（1979 年）には、都道府県営土地改良総合整備事業が制度として追加され、暗渠排水が県営事業として実施できる道が開かれた。

平成に入り、平成元年（1989 年）に「低コスト化水田農業大区画ほ場整備事業」が創設され、1ha 以上の大区画ほ場の整備と併せて、事業地区における大規模経営体の面積占有率が規定された。

平成 15 年（2003 年）には、水田農業の構造改革の加速化を図る観点から、従来の農地整備率向上を主目的とした事業体系を改め、農地の利用集積、経営体の育成等を重視した事業制度に転換を図るため、「経営体育成基盤整備事業」が創設された。

平成 23 年（2011 年）には、農業者戸別所得補償制度の本格実施に併せ、「経営体育成基盤整備事業」が廃止され、国営事業によって形成された大規模農業地域であって、麦・大豆等の作物の生産拡大に取り組む地区を対象とした「戸別所得補償実施円滑化基盤整備事業」が創設された。

平成 24 年（2012 年）には、既に区画が整備されている地域等において、畦畔除去等による区画拡大や暗渠排水等の簡易な基盤整備を実施する「農業体質強化基盤整備促進事業」が創設された。また、同年、閣議決定された土地改良長期計画において、農業の体質強化のための生産コストの低減や農地集積の推進、水田の有効活用のための排水対策の重点的な推進が位置づけられた。

平成 25 年（2013 年）には、農業の競争力強化を図る観点から、「戸別所得補償実施円滑化基盤整備事業」が「農業競争力強化基盤整備事業」に再編されるとともに、「農業体質強化基盤整備促進事業」が「農業基盤整備促進事業」に再編され、攻めの農業の実現に向けた農地の大区画化・汎用化等の農地・農業水利施設の整備を推進していくこととなった。

平成 27 年（2015 年）には、農地中間管理機構と連携しつつ、担い手への農地集積の推進や高収益作物への転換を図るための計画策定や農地の大区画化・汎用化等の基盤整備、営農定着に必要な取組を一括支援する「農地耕作条件改善事業」が創設された。

これらの取組により、平成 28 年（2016 年）時点では、全国の水田面積 243 万 ha のうち約 3 分の 2 の 158 万 ha が区画整備済であり、このうち約 3 分の 2 の 109 万 ha が排水良好である。

一方、暗渠排水整備を必要とする排水不良の水田面積は、平成 28 年（2016 年）時点では、48 万 ha が残っており、農地の大区画化としては全国の水田面積に対し、約 10%で推移している。

1.3 計画基準の変遷

暗渠排水に係る計画基準は、昭和 30 年（1955 年）12 月 1 日に「土地改良事業計画設計基準 第 2 部 計画暗きょ排水」の制定から始まり、昭和 54 年（1979 年）7 月 7 日に作物の生育環境を良好にすること、及び農作業機械の作業性の向上等の実現を目的に「土地改良事業計画設計基準 計

画「暗きょ排水」として制定した。

その後、農業情勢の変化に伴い、暗渠排水計画の策定においても、水田の畑利用、維持管理の省力化といった事項を考慮する必要が生じた。また、食料・農業・農村基本法の理念を踏まえ、食料の安定供給の確保、農業の持続的な発展等を確保するため、需要に応じた米の計画的生産と水田における麦・大豆・飼料作物等の本格的生産に向けた総合的施策が講じられたことに鑑み、きめ細かい排水対策に対応する計画の策定が必要となってきたことから、以下の主な項目について平成 12 年（2000 年）11 月 15 日に改定を行った。

- ① 暗渠排水は、ほ場の排水手段として有効な方法であるが事業計画の策定においては、地区全体に暗渠排水を必要とするのか、あるいは一部又は全部の地区が他の手段で対応できるかを検討し判断する必要があることから、暗渠排水の必要性を判断するための項目と必要か否かの目安を整理し、総合的に判断を行えるよう規定。
- ② 土地利用形態及び排水条件等を考慮した、暗渠排水組織が策定できるよう記述を充実。
- ③ 暗渠排水を施工する際に、特に注意すべき特殊土壌における計画上の留意事項を整理し記述。
- ④ 暗渠排水の機能を十分に発揮させるため、施工における留意点を記述。
- ⑤ 基準改定に当たって、計画基準が有すべき規範性ととも、技術に求められる即時性、柔軟性などを確保し、農業農村整備事業の適正かつ円滑な執行に資するという、基準再編の基本方針に沿って、「基準書」と「技術書」に区分して整理。

平成 27 年（2015 年）3 月 31 日に閣議決定された食料・農業・農村基本計画において、力強い農業を支える農業生産基盤整備において、農地の大区画化や汎用化の推進、さらに老朽化に対応した農業水利施設の持続的な保全管理において、戦略的な保全管理が位置付けられた。

また、平成 28 年（2016 年）8 月 24 日に閣議決定された土地改良長期計画において、豊かで競争力ある農業の観点から産地収益力の向上や担い手の体質強化が掲げられ、水田における畑作物の導入と品質向上・収量増を可能とする排水改良、地下水位制御システムの導入等の推進や水田の大区画化等の推進が位置づけられている。

このような農政の動向を踏まえ、今回の改定では主に以下の項目について改定を行った。

- ① 農地の大区画化に対応した暗渠排水計画の策定について、計画・施工条件及び維持管理上の留意事項について記述の追加。
- ② 汎用化による高付加価値農業への転換を推進するための暗渠排水の導入について、地下水位制御システムや浅埋設暗渠排水の新技术の特性など、導入するための条件等に関する記述を追加。
- ③ 機能が低下した暗渠排水について、ストックマネジメントの考え方を参考にした機能回復に関する調査計画手法及び保全管理手法の記述を追加。
- ④ 本暗渠及び補助暗渠に係る新たな暗渠排水施工技術に関する記述を追加。

引用文献

- 1) 萩野芳彦：暗渠排水技術の進歩と改訂計画基準、平成 13 年度農業土木学会地方講習会、pp3（2001）
- 2) 社団法人畑地農業振興会：暗渠排水の設計と施工、pp4～5、181～186（1982）

2. 暗渠排水を利用した除塩方法

(基準書 第1章 1.2 関連)

農地の除塩方法には縦浸透法と溶出法がある。縦浸透法は、ほ場を湛水状態にし、土壌中の塩類を浸透水に溶出させながら下方に押し流す方法である。暗渠排水が整備されているほ場では、浸透水に溶出した塩類は暗渠を通じて排水路に排出される(図-2.1)。溶出法は、ほ場を湛水状態にし、攪拌(代かき)によって土壌中の塩類を田面水に溶出させた後、地表排水により排水路へ排出する方法であり、代かき除塩とも呼ばれる(図-2.2)。

縦浸透法の除塩効果は、ほ場の地下排水機能の良否に影響され、地下排水機能が高いほ場で効果が高く、地下排水機能が低いほ場で効果が低い。このため、暗渠排水が整備されているほ場は効果が高く、降雨による除塩も進みやすい。また、作土下層の除塩にも有効であり、弾丸暗渠の施工や耕起を併せて行い、地下排水機能をさらに向上させれば効果も高められる。

溶出法も高い効果はあるが、除塩が可能な範囲は、代かきの及ぶ作土(地表から10~15 cm程度)であり、作土下層の除塩は難しいとされている。

なお、東日本大震災の津波被災農地における縦浸透法は、弾丸暗渠の施工(深さ30cm、間隔5m)→耕起→暗渠の水閘閉鎖→水入れ(湛水深10cm程度)→2日間静水→暗渠の水閘開放(暗渠排水未整備ほ場は明渠で対応)→塩分濃度の確認の手順を標準に行われた。

農地の除塩は、縦浸透法と溶出法が主に行われており、それぞれに長所と短所がある。このため、除塩の実施にあたっては、排水条件の良否、暗渠排水整備の有無、地耐力の大小、排水路の形状などのほ場条件を検討し、経済性を含め適切な方法を採用することが望ましい。

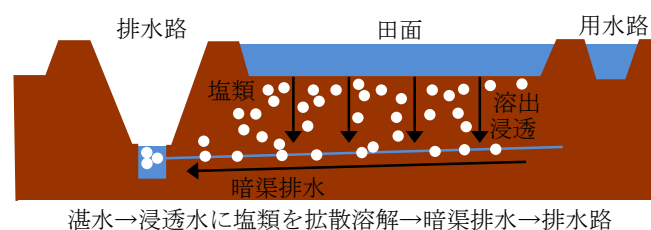


図-2.1 縦浸透法(暗渠排水利用)

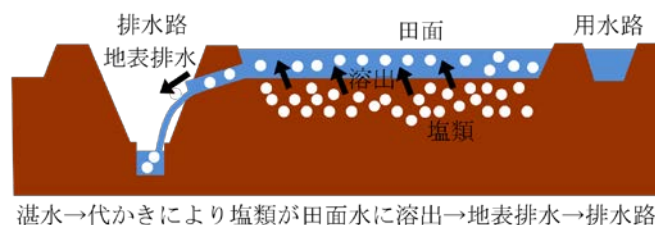


図-2.2 溶出法(代かき除塩)

参考文献

- 農林水産省：農地の除塩マニュアル (2011)
- 原口暢朗：灌漑水による除塩、最新農業技術土壌施肥 vol. 4、pp31 (2012)
- 千葉克己・加藤徹・富樫千之・冠秀昭：縦浸透除塩の有効性と宮城県津波被災農地の除塩対策、農業農村工学会誌 80(7)、pp527~530 (2012)

3. 土壌調査項目と方法

(基準書 第2章 2.2 関連)

3.1 土壌調査

土壌調査は、暗渠排水の必要性の有無の検討や、暗渠排水組織計画、材料の選定等の検討を行うために必要不可欠な調査である。

調査に当たっては、既存の土壌調査資料を参考にしながら、計画対象区域において、土壌タイプごとに 25ha に 1 点の割合で試坑を行い、土壌断面調査、現場透水係数の測定及び物理性調査（粒度組成と三相分布）を実施する。

(1) 土壌区分

土壌区分は、施肥改善事業、地力保全基本調査及び農耕地土壌分類（第 3 次改訂版）によって分類されている。このうち、最も新しい分類は農耕地土壌分類（第 3 次改訂版）であるが、本分類に基づく土壌区分別の改良対策が未だ明確にされていないことや、土地改良事業における既存の土壌調査結果（水田の場合は施肥改善事業による区分）と対応させるのが困難である等の課題が残されている。

そのため、本基準では、地力保全基本調査のとりまとめ成果である「農耕地土壌分類 第 2 次案改訂版」を基本として、暗渠排水の必要性の判断等を行うものとする。

それぞれの土壌分類の概要を以下に述べる。

ア. 施肥改善事業

都道府県農業試験場が昭和 28 年度から昭和 36 年度まで水田を対象として実施した土壌調査であり、その中で、断面形態を分類の基準として、11 類型、51 土壌種に区分している。この区分は、特徴土壌区分とも呼ばれ、土壌断面の持つ特徴によって一般に、泥炭、黒泥、グライ層、酸化沈積物、土色等の状況によって示される土壌の酸化還元的性質と、土性、密度、構造、透水性等の理学的性によって分類した。

イ. 地力保全基本調査

都道府県農業試験場が昭和 34 年度から昭和 51 年度まで農耕地を対象として、土壌の基本的性格、土壌生産の阻害要因などを明らかにするために実施した土壌調査であり、土壌群、土壌統群、土壌統の三つのカテゴリーに区分している。基本的な区分単位である土壌統（320 統）とは、「ほぼ同じ材料から同じような過程をとって生成された結果、ほぼ等しい断面形態をもっている一群の土壌の集まり」であり、土壌の断面形態、母材、堆積様式の調査及び採取土壌の室内分析の結果から定められる。次に、断面形態の主な特徴及び母材、分布する地形などについて共通点をもっている一連の土壌統をまとめて土壌群（18 群）といい、これらの土壌群のうち、所属する土壌統数の多い 11 の土壌群については、腐植層、グライ層、礫層などの厚さと位置及び土性その他の差異に基づいて、土壌群と土壌統の中間分類単位として土壌統群（60 統群）が定められている。

本調査の成果をとりまとめたものが「農耕地土壌分類 第 2 次案改訂版」（昭和 58 年）である。

参考までに、表-3.1 に粘性による土性区分と土壌分類上の土性区分の対比を示す。

表-3.1 土性区分対比表

粘性による土性区分 (地力保全基本調査)	土壌分類上の土性区分 (農耕地土壌分類第2次案改訂版)	土 性 (国際土壌学会法)
強粘質	細粒質	HC, LiC, SiC, SL
粘 質		CL, SiCL, SCL
壤 質	中粒質	L, SiL, SL
砂 質	粗粒質	S, LS

ウ. 農耕地土壌分類 (第3次改訂版)

「農耕地土壌分類 第2次案改訂版」について、理化学的データに基づき分類基準を整理する等の改訂作業を行い、平成7年3月にとりまとめられた。カテゴリーは土壌群(24群)、亜群(77亜群)、土壌統群(204統群)、土壌統(303統)の4段階に改められている。

農耕地土壌分類 第2次案改訂版の土壌群・土壌統群と、施肥改善事業の土壌類型群との対比を表-3.2に示す。

表-3.2 土壌群・土壌統群(地力保全基本調査)と土壌類型群(施肥改善事業)との対比

農耕地土壌分類 第2次案改訂版における土壌群及び土壌統群	施肥改善事業における水田土壌を対象とした土壌類型群	農耕地土壌分類 第2次案改訂版における土壌群及び土壌統群	施肥改善事業における水田土壌を対象とした土壌類型群	
01 岩層土	黒色土壌	礫質黄色土	黄褐色土壌	
02 砂丘未熟土		細粒黄色土、斑紋あり		
03 黒ボク土		中粗粒黄色土、斑紋あり	黄褐色土壌 (礫層(質)土壌)	
厚層多腐植質黒ボク土		礫質黄色土、斑紋あり		
厚層腐植質黒ボク土		11 暗赤色土	灰色土壌	
表層多腐植質黒ボク土		細粒暗赤色土		
表層腐植質黒ボク土		礫質暗赤色土	礫層(質)土壌	
淡色黒ボク土		12 褐色低地土		
04 多湿黒ボク土		黒色土壌	細粒褐色低地土、斑紋なし	黄褐色土壌 (礫層(質)土壌)
厚層多腐植質多湿黒ボク土			中粗粒褐色低地土、斑紋なし	
厚層腐植質多湿黒ボク土	礫質褐色低地土、斑紋なし		灰色土壌	
表層多腐植質多湿黒ボク土	細粒褐色低地土、斑紋あり			
表層腐植質多湿黒ボク土	中粗粒褐色低地土、斑紋あり		礫層(質)土壌	
淡色多湿黒ボク土	礫質褐色低地土、斑紋あり			
05 黒ボクグライ土	黒色土壌	13 灰色低地土	黒色土壌	
多腐植質黒ボクグライ土		細粒灰色低地土、灰色系		
腐植質黒ボクグライ土		中粗粒灰色低地土、灰色系	黒泥土壌	
淡色黒ボクグライ土	礫質灰色低地土、灰色系	黒泥土壌		
06 褐色森林土	灰色土壌		細粒灰色低地土、灰褐色系	黒泥土壌
細粒褐色森林土		中粗粒灰色低地土、灰褐色系		
中粗粒褐色森林土		礫質灰色低地土、灰褐色系	黒泥土壌	
礫質褐色森林土		灰色低地土、下層黒ボク		
07 灰色台地土		灰色土壌	灰色低地土、下層有機質	黒泥土壌
細粒灰色台地土	灰色低地土、斑紋なし			
中粗粒灰色台地土	14 グライ土		黒泥土壌	
礫質灰色台地土	細粒強グライ土			
灰色台地土、石灰質	中粗粒強グライ土	黒泥土壌		
08 グライ台地土	礫質強グライ土		黒泥土壌	
細粒グライ台地土	細粒グライ土	黒泥土壌		
中粒質グライ台地土	中粗粒グライ土		黒泥土壌	
礫質グライ台地土	グライ土、下層黒ボク	黒泥土壌		
09 赤色土	強グライ土壌 グライ土壌		グライ土、下層有機質	黒泥土壌
細粒赤色土		15 黒泥土		
中粗粒赤色土		16 泥炭土	黒泥土壌	
礫質赤色土	17 造成台地土	黒泥土壌		
10 黄色土	強グライ土壌		18 造成低地土	黒泥土壌
細粒黄色土				
中粗粒黄色土				

土壌群 18 種、土壌統群 60 種、土壌類型群 11 種

(2) 土壌断面調査

ア. 調査地点の選定

試坑調査……縮尺 1/5,000～1/10,000 程度の地形図を用いて、方眼法により 25ha に 1 点の割合で選定する。この場合、地形、用排水等の条件も考慮して密度を決定する。

試穿（せん）調査…1ha に 1 点以上の割合で行う。

イ. 調査項目、方法

土壌調査は、「土地改良事業計画地区及び開拓地パイロット事業計画地区土壌基本調査実施要領（38 農地C第 77 号（資）昭和 38 年 4 月 18 日付 農林省農地局長通知）」及び「地力保全基本調査実施要領（46 農政第 2915 号 昭和 46 年 7 月 9 日付 農林事務次官通知）」によるものとする。

試坑調査の深さは、1m までを限度とするが、傾斜地等で切盛高が大きい場合には、切盛後のほ場面下 50cm までとし、観察により表-3.3 の項目について調査する。

試穿調査は、試坑調査が一つの点における土壌の垂直的調査であるのに対し、土壌分布図等の作成に際し、土壌の境界線を定める場合に必要であり、検土杖（ソイルオーガー）を用い調査を行う。なお、試穿調査の深さについても、試坑調査に準じる。

表-3.3 土壌断面調査票

有効土層の厚さ	作土層の厚さ	土壌断面図	厚さ・層界	試料	色		腐植炭	黒泥	斑紋結核	グライ斑	グライ層	土性（国際法）	礫	構造	孔隙	風乾土の硬さ	緻密度	可塑性	耕盤層及びその硬さ	粘着性	透水性	湿り	湧水面	植物根の分布状況	摘要
					湿	乾																			

※調査とりまとめ結果については、「表-3.4 土壌調査分析結果表（事例）」を参照。

(3) 現場透水係数測定調査

土層の透水性などから測定方法を選定し、透水係数を求める。

（技術書「4. 現場透水係数測定調査」を参照）

(4) 物理性調査

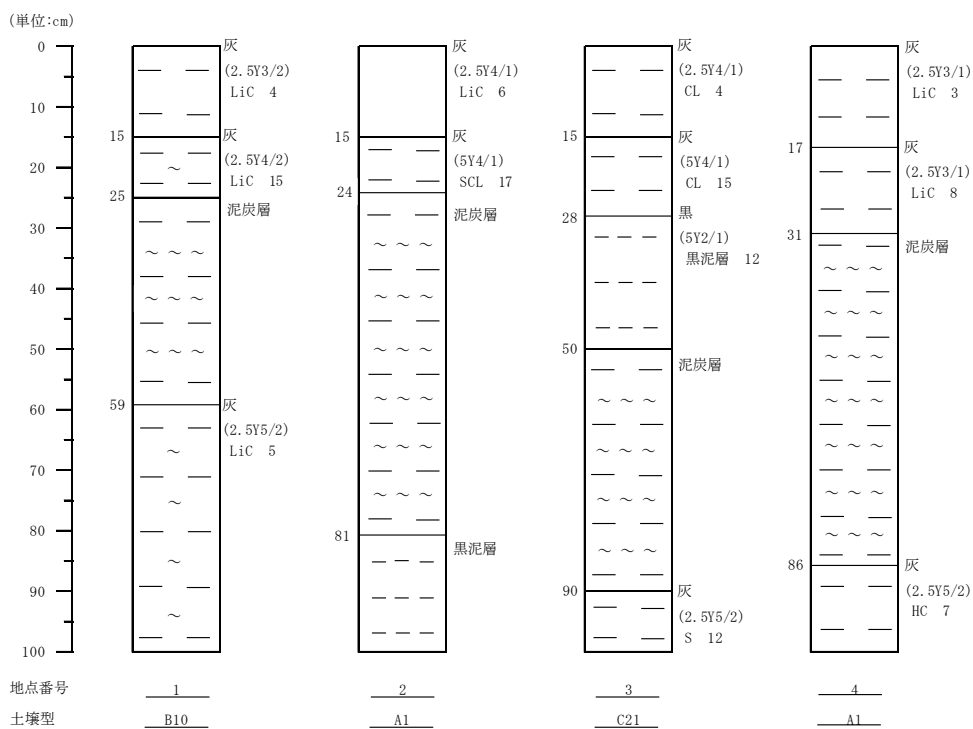
土壌断面調査点において、各層ごとに採土、分析し、粒度組成、三相分布を求める。

表-3.4 土壌調査分析結果表（事例）

1. 土壌分析成績表 ○○地区（○○市）

項目 土壌統	地点 番号	層位	深さ (cm)	細土・無機物中 (%)					土性	pH	
				粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土		H ₂ O	KCl
B10 泥炭質土壌 強粘土型	1	1	0~15	22.0	15.0	37.0	26.2	36.8	LiC	5.1	4.1
		2	15~25	23.4	13.9	37.3	25.9	36.8	LiC	5.3	4.4
		3	25~59	—	—	—	—	—	泥炭層	—	—
A1 泥炭土壌 全層泥炭型	2	1	0~15	26.3	21.3	47.6	25.4	27.0	LiC	5.8	4.7
		2	15~24	35.8	23.3	59.1	19.1	21.8	SCL	5.7	4.8
		3	24~81	—	—	—	—	—	泥炭層	—	—
C21 黒泥土壌 強粘土型	3	1	0~15	26.1	30.9	57.0	22.5	20.5	CL	5.2	4.1
		2	15~28	33.6	29.0	62.6	21.9	15.5	CL	5.2	4.2
		3	28~50	8.2	24.5	32.6	46.8	20.5	黒泥層	5.3	4.2
A1 泥炭土壌 全層泥炭型	4	1	0~17	21.7	14.5	36.3	30.0	33.8	LiC	5.4	4.5
		2	17~31	18.4	14.5	32.9	31.9	35.2	LiC	5.4	4.6
		3	31~86	—	—	—	—	—	泥炭層	—	—

2. 土壌断面柱状図



3. 土壌型の特徴と改良対策

土壌型	地質	グライ層の位置	土性			礫の形 大きさ 量	礫層の 有無	泥炭層 の有無	腐植	有効 土層	対策の 有無
			表層 (0~25cm)	次層 (25~60cm)	下層 (60~100cm)						
A1 泥炭土壌 全層泥炭型	沖積	作土下 または 全層	LiC~泥炭層	LiC~泥炭層	泥炭層~HC	—	無	有	1層有り 2層有り	24~ 31	有
B10 泥炭質土壌 強粘土型	沖積	全層	LiC	泥炭層~LiC	LiC	—	無	有	1層有り	25	有
C21 黒泥土壌 強粘土型	沖積	全層	CL	CL~泥炭層	泥炭層~S	小円礫 有り	無	有	1層有り	28	有

4. 現場透水係数測定調査

(基準書 第2章 2.2 関連)

4.1 現場透水係数測定の必要性と方法

現場透水係数測定は、ほ場の暗渠の必要性の有無等、排水対策の検討を行うために必要である。透水係数は多くの場合、不攪乱土壌を対象に室内試験で求められるが、この値は以下の理由から実際の現地土壌の透水係数とはかなり異なった値を示す場合がある。

- ① 試料が実際と比べて小さいため、現地土壌の性質を代表させることが難しい。
- ② 試料採取に当たって圧縮されたり、あるいは、既に加わっている圧力が解放されたりすることがある。
- ③ 試料含水率の変化、及び気泡の混入のおそれがある。

このような理由により、計画の策定において用いる透水係数は、室内試験で求めた値よりも、現場透水試験において求めた値の方が信頼性は高く、有効な場合が多い。

暗渠間隔決定式（「32. 現場透水係数の補正と吸水渠間隔の計算」式(32.1)）を用いて、吸水渠の間隔を決定する場合は、現場透水係数を求める必要がある。

(1) 試験条件

次の2種類があり、地盤の透水性などによって使い分ける。

ア. 非定常法

測定用の孔内の水位を一時的に低下または上昇させ、平衡状態に戻る時の水位変化を経時的に測定して、透水係数を求める方法である。孔内から水を汲み上げた後の孔内水位の回復過程を測定する回復法（オーガーホール法など）と、孔内に水を投入した後の孔内水位の低下過程を測定する注水法（ドライ・オーガーホール法など）がある。

目安としては、透水係数が 10^{-4} cm/s 程度以下の地盤に適している。

イ. 定常法

揚水または注水して、孔内の水位が一定となったときの流量を測定して、地盤の透水係数を求める方法である。

目安としては、透水係数が 10^{-4} cm/s 程度以上の地盤に適している。

(2) 試験方法の留意点

現地における測定には、オーガーホール法、ドライ・オーガーホール法、ピエゾメータ法、チューブ法等がある。地盤の自立性や地下水の状況により、適した試験の方法は異なり、透水係数の算出方法も異なる。孔内外の水頭差により孔壁崩壊が生じる場合、二重管による孔壁保護や孔底部のボーリング破壊を防止するために底蓋付きあるいはフィルター構造とすることが望ましい。

ここでは、オーガーホール法、ドライ・オーガーホール法について紹介する。この他、ピエゾメータ法やチューブ法等については、土地改良計画設計基準 設計「ダム」技術書[共通編]6.4.4.3 透水性調査を参考にされたい。

4.2 オーガーホール法（回復法）

この測定法は、地下水位観測井「オーガーホール」内に地下水面が形成されている初期状態において、ホール内の地下水を汲み出して、その後の地下水位の回復の経時変化を測定し、土壌の透水係数を求める方法である。

測定の手順は以下に示すとおりである。なお、測定の初期状態は、地下水面が田面に近く、地下水位が高い状態とする。そうでない場合、少なくとも作土層内にあることが必要である。

- ① 地下水位観測井（以下観測井）をポスト・ホール型オーガーによって掘削する。その大きさは、直径 10cm、深さ 100cm 程度である。
- ② 測定前にホール内の水を汲み出して、ホールの内部、壁面を清掃する。
- ③ 作土層厚を測定する。
- ④ 地下水位が高く、地表面の開口部の周辺から地表水が直接流入するような場合は、土手を築いてその流入を防止する。
- ⑤ 水位測定の基準点を設ける。基準の高さは田面とし、田面から地下水面までの高低差（深さ）を測定する。これには田面のレベルを合わせたストレートエッジが便利である。
- ⑥ ホール内の水位が安定したことを確認した後、その水位 d 、ホールの直径 $2r$ とホールの深さ D を測る。
- ⑦ ホール内の地下水を一気に汲み出し、くみ出した後の水面の深さ h_1 を測定する。このとき時間 $t=0$ とする。
- ⑧ 地下水位の回復の経時変化（時間 Δt と深さ Δh ）を測定、記録する。
- ⑨ 式(4.1)により現場透水係数 k_s を計算する。

$$k_s = 0.617 \times \frac{r}{S \cdot d} \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、 S は h/d 、 r/d の値から図-4.1(b)より読みとる。 d 及び h （地下水位）は式(4.2)より求める。 h_1 と h_2 は Δt 前後の地下水面の深さである。

$$\left. \begin{aligned} d &= D - B \\ h &= D - \frac{h_1 + h_2}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2)$$

注) h_1 、 h_2 は作土層内にあること。

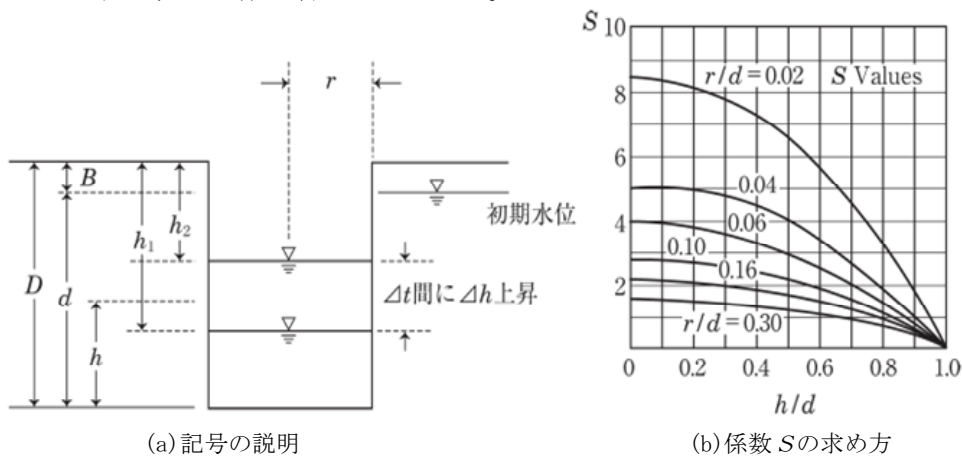


図-4.1 オーガーホール法の説明図

⑩ 温度 15°Cにおける透水係数は、式(4.3)によって算出する。

$$k_{15} = k_t \cdot \left[\frac{\eta_t}{\eta_{15}} \right] \dots\dots\dots (4.3)$$

ここに、 k_{15} : 温度 15°Cにおける透水係数 (cm/s)

k_t : 観測時 ($t^\circ\text{C}$) における透水係数 (cm/s)

η_t / η_{15} : 温度 15°Cにおける透水係数を求めるための補正係数で、表-4.1 から求める。

表-4.1 温度 15°Cに対する $t^\circ\text{C}$ の粘性係数の比 η_t / η_{15}

t (°C)	η_t / η_{15}	t (°C)	η_t / η_{15}	t (°C)	η_t / η_{15}	t (°C)	η_t / η_{15}
0	1.575						
1	1.521	11	1.116	21	0.859	31	0.685
2	1.470	12	1.085	22	0.839	32	0.671
3	1.424	13	1.055	23	0.819	33	0.657
4	1.378	14	1.027	24	0.800	34	0.645
5	1.336	15	1.000	25	0.782	35	0.632
6	1.295	16	0.975	26	0.764	36	0.620
7	1.255	17	0.950	27	0.748	37	0.607
8	1.217	18	0.925	28	0.731	38	0.596
9	1.182	19	0.902	29	0.715	39	0.584
10	1.149	20	0.880	30	0.700	40	0.574

「土質試験法 p. 5-3-5より」

以下に、作土層の透水係数を測定する際の注意事項を述べる。

(1) 現場透水係数の大きさの目安

作土層の現場透水係数 (k_s) は、通常、 $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$ オーダーであることが多い。測定時における地下水面上昇のおおよその速さは、オーガーホール径の大きさが $2r=10\text{cm}$ 、 $D=50\text{cm}$ で、初期地下水面の深さ $B=5\text{cm}$ で、測定開始時の地下水面の深さ $h_1=10\text{cm}$ とすると、地下水位 h が 1 cm 上昇 ($\Delta h=2\text{cm}$) するのに要する時間 Δt は、 $k_s: 10^{-3}\text{cm/s}$ オーダーで 2 分、 10^{-4}cm/s オーダーで 20 分、 10^{-5}cm/s オーダーで 4 時間である。

(2) 測定用具

専用の用具として準備(確保)しなければならないのはポスト・ホール型のオーガーである。これ以外は、いずれも簡単に入手可能であり、代用が可能である。あらかじめ準備しておく便利なものとして、オーガーホールの壁面清掃用に金ブラシ(煙突掃除用を代用)、水位測定用に長さ 1 m 程度のコンベックスで、その先端を目盛り 0cm に合わせてくさび型に整形したもの、及び測定開始前に一気に地下水面を低下させるための容器(水面を 10cm 程度下げるためには、手に持ってホール内に挿入可能で、できるだけ内径が大きな容器が必要である。内径 7.5cm の場合、容器の深さは 20cm 程度必要である)がある。

作土層を対象とする初期地下水位が高いときの現場透水試験は、その現場透水係数が心土層と比べ大きいため、測定中はもちろん測定直前の作業は手早く行う必要がある。したがって、事前の準備と測定は手順と段取りよく進めなければならない。

4.3 ドライ・オーガーホール法（注水法）

この測定方法は、観測井に水位が一定になるように注水して、その注水量の経時変化を測定し、土壌の透水係数を求める方法である。

(1) 測定条件

地下水位面が観測井底より下にある場合はドライ・オーガーホール法を用いる。この方法では、観測井の直径は10～20cm、深さは0.5～1.0m程度が適当である。なお、あらかじめ地下水位を確認することが必要である。

(2) 測定器の製作方法

使用器具は図-4.2に示すように市販の材料で容易に製作が可能な自動給水器を利用すると簡便である。材料は下記に示す資材を用意し、図-4.2に示すようにのぞき窓と目盛りの箇所をジグソーで切断する。

- ・直径20cmの塩化ビニルパイプのソケット（VU用）（イ）
- ・このソケットの内径に外径の寸法が合う10リットルのポリエチレンの円形のタンク（ロ）
- ・12号のゴム栓（アクリルパイプを挿入する孔を2個開けておく。）（ハ）
- ・直径10mmのアクリルパイプ2本（1本は注水用で上部を短く、下部を長くする（給水用パイプ）。他の1本は空気をタンク内に取り入れるパイプ（空気取り入れ用パイプ）で上部を長く下部を給水面のすれすれの位置になるように設置する。）（ニ）
- ・水平設定円盤（ベニヤ板製（厚さ12mm程度）で外径28cm切断し、内径15cmでくり抜く。）（ホ）
- ・目盛り（両面テープで張り付ける。）（ヘ）

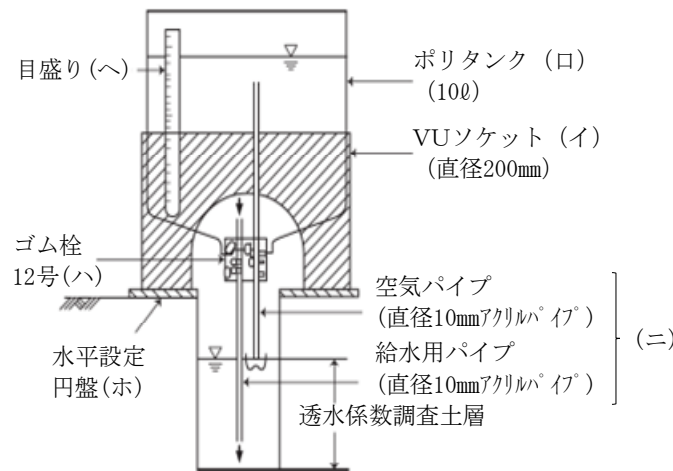


図-4.2 現場透水係数測定器の設置例

(3) 測定方法

測定方法は下記の順序で行う。

- ① オーガーで観測井を所定の直径、深さに掘削する。
- ② 観測井内に水を入れてかき混ぜて洗う。
- ③ 水準器を利用して水平設定円盤を水平に設置する。
- ④ 水を満たしたポリタンクにアクリルパイプを通したゴム栓を取り付ける。塩化ビニル管のソケットをポリタンクに設置する。

- ⑤ 図-4.2 に示すようにゴム栓を取り付けた方を下にして水平設定円盤にのせる。
- ⑥ タンクの水はパイプを通じて観測井に注水され、水面が空気取り入れパイプの位置まで上昇した時、タンク内の圧力と大気圧とがバランスをとり給水は止まる。
- ⑦ このときの時刻とタンクの側面の目盛りからタンク内の水位を読みとる。
- ⑧ 観測井内の水位が低下すると、これによりタンク内の水が観測井に流入し、水面と空気取り入れパイプの下端が一致し給水は止まる。
- ⑨ 給水するときの時刻及びタンクの水位を読みとり、単位時間当たりの給水量を算出する。単位時間当たりの給水量の変化が小さくなったときに測定を終了する。
- ⑩ 水温を測定する。
- ⑪ 次に示す条件に当てはまる計算式により、測定結果から心土層の透水係数を計算する。

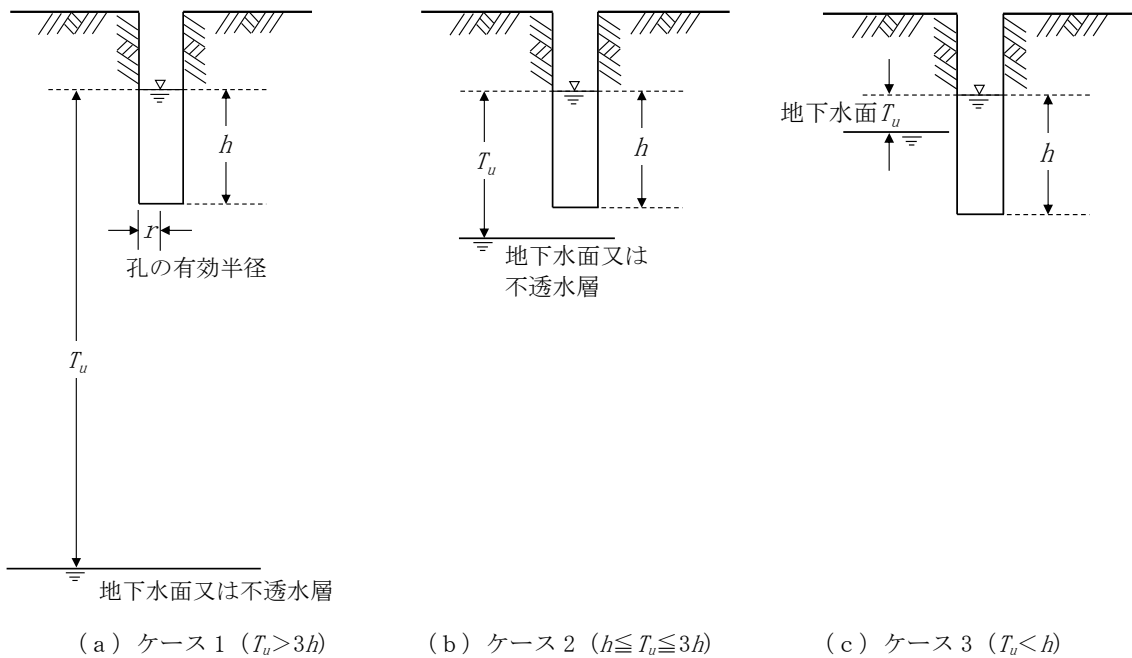


図-4.3 観測井内の水深と地下水位の関係

ケース 1 地下水面または不透水層から観測井内の水面までの距離 T_u が観測井内の水深 h の 3 倍以上 ($T_u > 3h$) のとき

$$k_{15} = \frac{Q}{2\pi h^2} \left[\ln \left[\frac{h}{r} + \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2} \right] - 1 \right] \left(\frac{\eta_t}{\eta_{15}} \right) \dots \dots \dots (4.4)$$

- k_{15} : 15°Cにおける透水係数(cm/s)
- h : 観測井内の水深(cm)
- r : 観測井の半径(cm)
- Q : 単位時間の透水量(給水量)(cm^3/s)
- η_t / η_{15} : 温度 15°Cにおける透水係数を求めるための補正係数(表-4.1)
- T_u : 地下水面または不透水層から観測井内の水面までの距離(cm)

ケース2 $h \leq Tu \leq 3h$ のとき

$$k_{15} = \frac{3Q \ln \frac{h}{r}}{\pi h (h+2T_u)} \left(\frac{\eta_t}{\eta_{15}} \right) \dots\dots\dots (4.5)$$

ケース3 $Tu < h$ のとき

$$k_{15} = \frac{Q \ln \frac{h}{r}}{\pi T_u (2h+T_u)} \left(\frac{\eta_t}{\eta_{15}} \right) \dots\dots\dots (4.6)$$

現場透水係数記録用紙例を表-4.2に参考として示す。

表-4.2 現場透水係数記録用紙例

NO 対2-1		調査 市 町大字				試験名 暗渠排水調査		
地点		郡 村字		番地		地区名 対照区2		
天気 晴れ		調査前の天気			測定場所			
D (調査穴の深さ) = 30 cm		h (調査穴の水深) = 19.7 cm		H (調査水深までの深さ) = 10.3 cm		T_u (調査水位-地下水位) = 140 cm		
r (調査穴の半径) = 5.5 cm		k_{15} (現場透水係数) = 7.41 E-05 cm/s		GWD (地下水位の深さ) = 150 cm				
Q (水供給量) = 0.243 cm ³ /s				$TEMP$ (水温) = 26.8 °C				
日	時分秒	区間秒	タンク水位	減水深	供給量1	供給量2	温度	備考
		s	cm	cm	cm ³	cm ³ /s	°C	
		A	B	$C = B1 - B2$	$D = C \times 350$	$E = D / A$		
26	14 : 06 : 31		2.25				26.80	
26	14 : 07 : 55	84	2.35	0.10	35.00	0.417		
26	14 : 09 : 42	107	2.50	0.15	52.50	0.491		
26	14 : 50 : 03	2,421	4.39	1.89	661.50	0.273		
26	14 : 52 : 50	167	4.49	0.10	35.00	0.210	給水量が一定状態とおぼしきデータの平均をとる。	
26	14 : 56 : 10	200	4.64	0.15	52.50	0.263		
26	14 : 58 : 52	162	4.74	0.10	35.00	0.216		
26	15 : 03 : 00	248	4.92	0.18	63.00	0.254		
					平均	0.243		

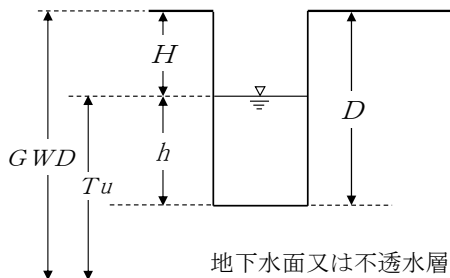


図-4.4 現場透水係数記録用紙例対応図

参考文献

- 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp377～381 (2013)

5. 水田における地下水位調査法

(基準書 第2章 2.2 関連)

5.1 水位計の種類

(1) 手測による計測

地下水位や排水路水位の一番簡易な測定方法である。図-5.1 に示すようには場内に測水管（直径 75 mm 程度の塩化ビニル管を加工）を埋設し、測水管の上端部の高さを測量し、この上端部から水面までの高さを物差しや測水管を利用して測定することで地下水位等の変化を測定することができる。

長所としては、安価で測定箇所を多く設定できることであるが、欠点として、短時間の時間変化や連続測定に適さない。しかし、この計測は測定箇所が多くとれることで、自記記録式水位計による計測と併せて測定することで地区全体の地下水位等の傾向が確認できる。測水管の設置をより簡素化した方法としては、田面に測水用の孔を開け、ドーナツ型の円盤を設置し、この面を基準として測定する方法もある（図-5.2）。この方法は測水管の設置が省け、さらに多くの箇所の測定が可能であるが、欠点として作物や雑草の繁茂で測定箇所が確認しにくくなることと、孔の保護をしないことから測水用の孔の形状を保つことが困難なことである。

(2) フロート式水位計（ペン書記録）による計測

現在まで広く利用されてきた地下水位等の計測方法である。図-5.3 に示すようにフロートと錘を糸で吊してバランスをとり、水位の変化に伴ってフロートが上下する際の糸の動きを大小のプーリーにより一定の割合で縮小し、回転する円筒に巻かれた記録紙にてその変位をペン書きし、時間の経過に伴った地下水位の変化を記録する方法である。記録紙には日巻きと週巻きがある

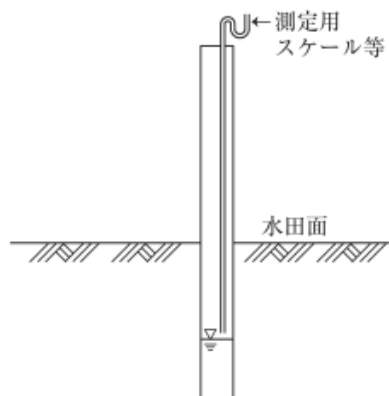


図-5.1 手測による測定

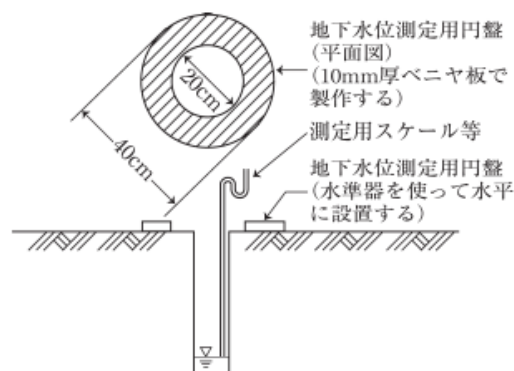


図-5.2 地下水位測定用に円盤を利用する場合

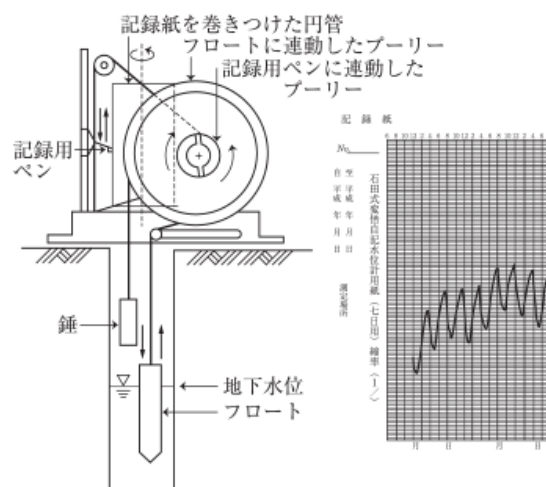


図-5.3 フロート式水位計（ペン書記録）による計測

が長期（30日、90日巻き）にわたって記録できる方法もある。

長所としては、水位の変化を直接確認できることである。欠点としては、何らかの障害で円筒の記録紙が回転しないことや、ペンの位置が他の部分との接触や、糸のもつれ及び回転軸の油切れなどで固定したままになることである。また、円筒の1回転するごとに記録紙の交換を行うことができなかつた場合には、1回転後の時刻が記録紙の値とずれることから時刻の修正が必要となる。

(3) フロート式水位計（データロガー記録）による計測

フロート式水位計（データロガー記録）は、図-5.4に示すようにフロート式水位計（ペン書記録）と同様に水位の変化をフロートによって感知し計測する水位計である。構造は、巻き取られたワイヤーに吊り下げられたフロートにより、水位が低下すればワイヤーが引き出され、水位が上昇すればワイヤーが自動的に巻き取られる。この際にワイヤーの引き出された量に比例した電氣的信号が発信され、これをデータロガーで記録する構造である。データロガーに記録されたデータはコンピュータによって読みとり、数値化及びグラフ化が容易にできる。

(4) 水位センサー式水位計（データロガー記録）による計測

この水位計は、図-5.5に示すように、水圧式水位センサーを利用することにより、水深による圧力と大気圧との圧力差を電氣的信号に変換し、これをデータロガーに記録するものである。この水位計はデータロガーと一体となった型式と、水位センサーにデータロガーを接続した型式の2種類がある。

一体化された型式は、水位センサーを水中に投げ込むだけで計測を始めることができ、センサー電源にリチウム電池が利用されていることから、半年間程度連続して利用できる。

しかしながら、電池が長期に利用できることは電池交換のタイミングを忘れやすく、電池の交換時期を本体に記録するなどの注意が必要である。

近年は、図-5.6のような格納式塩ビ管の中に、圧力センサー、温度センサー、データロガー、電池を内蔵した絶対圧式水位計によって、簡易的に観測する事例も増えている。

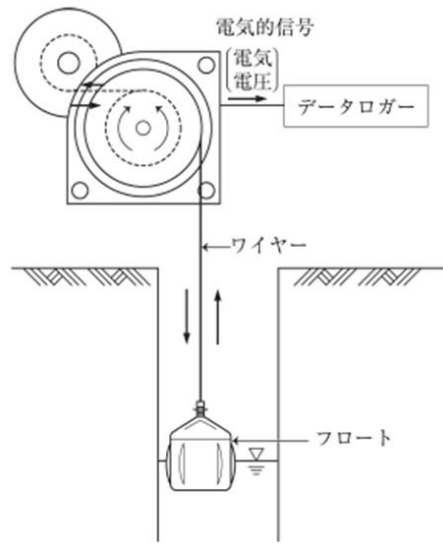


図-5.4 フロート式水位計（データロガー記録）による計測

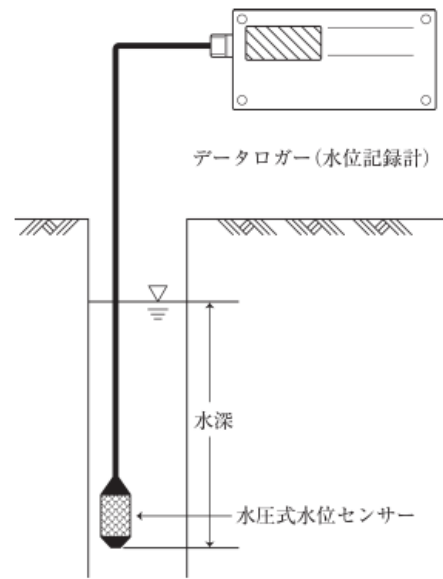


図-5.5 水位センサー式水位計による計測

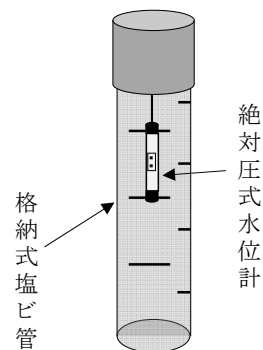


図-5.6 絶対圧式水位計による計測

5.2 観測井設置用孔の掘削

測水管の直径は、使用する水位計のフロート及び水圧式水位センサーの上下に十分な大きさが必要である。直径 75 mm の塩化ビニル管の利用の場合に、観測井設置用の孔の掘削は、孔の直径 100 mm ポスト・ホール型オーガーを利用することで容易に行うことができる。

5.3 測水管の加工（ストレーナのスリットの開け方）

水田の場合、地下水位の測定は地表面下 1.0 m 程度でよい。地上部の長さは、測水管に異物の混入を避けるために 1.0 m 程度必要である。測水管の全体の長さはおよそ 2.0 m に切断して利用する。直径 75 mm 塩化ビニル管利用の測水管の設置例を図-5.7 に示す。ストレーナのスリットは、直径 10 mm 程度の穴をドリルで開け、ジグソーでスリットに加工する。この際ジグソーの刃を 2 枚重ねて利用し、2 mm 幅程度で行う。この後、10 mm 程度の穴はビニルテープで塞ぐ。これは測水管に土砂等が流入するのを防ぐためである。

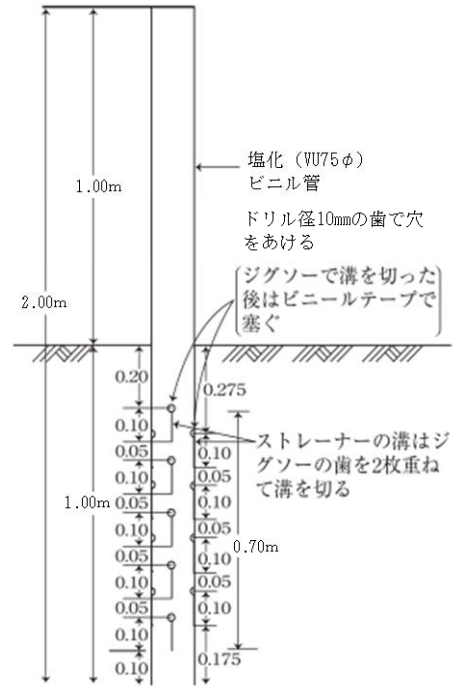


図-5.7 地下水位計測用測水管の加工図

5.4 測水管の設置方法

測水管を設置する孔を掘削した後、垂直に測水管を埋め込む。水準器で測水管に傾きがないかどうかの確認を行う必要がある。測水管に傾きがあるとフロートなどが接触し、測水管の内面に接触したまま固着されてしまうことを防ぐためである。次に、ストレーナのスリットを開けた高さまで直径 2 mm 以上の碎石等を投入する。

地表面から 20cm の深さまでは降雨等による地表水が測水管に流入するのを防ぐため、埋戻しの土を硬く締め固めることが必要である。

5.5 水位計台の製作

フロート式水位計による計測では、水位計本体を設置するための台が必要である。各タイプの水位計には、専用の台がオプションで用意されている機種もあるが、材料が入手しやすく、製作が容易で取扱いがよい水位計台の構造例を図-5.8 に示す。

材料は 4.5cm×4.5cm の木の角材と 11cm×1.5cm の板材である。柱になる角材は 133cm に 4 本切断し、先端を削る。水平に位置する角材は 45cm の長さに 8 本切断する。図-5.8 のように組み立て 9cm の木ねじ

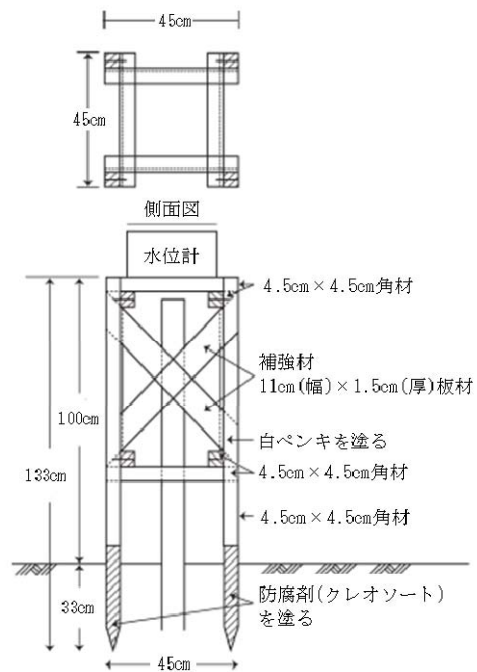


図-5.8 水位計台構造図

で固定する。最後の組み立ては、板材を柱材の斜めに補強のために取り付ける。

塗装は、上部に白のペンキを塗り、下部は土壤中に固定するため防腐剤のクレオソートを塗る。

現地での設置では、測水管を立て込んだ後、測水管に台をかぶせ、かけやで打ち込んで土壤中に固定する。この際に、水準器で台の水平状態を確認し、台が水平になるようにすることが必要である。台の固定後、木ねじが緩んだ箇所は再度ねじの締め付けを行う。

この後、水位計を固定する板を固定し、水位計を取り付ける。

水位計台の高さが1m程度あると、現地での記録紙の取り替え等の作業がしやすい高さでもあり、作物が繁茂しても水位計の場所が確認できる。

5.6 ほ場と水位計台の測量

地下水位等の計測で、その高さの基準点を定める必要がある。一般的に平均田面を基準にする。平均田面は、稲の収穫後が一番測定しやすい。水位計台の高さをペンキなどで記入しておくとう便利である。

5.7 水位計の設定及び計測

水位計の設置の際に、設置時の地下水位の確認は、水位計台から地下水面までの高さ H_w をコンベックスや計測用のスケールを利用して計測し、台の高さ H_d を差し引いて地下水位の高さ H_h を求める。

$$\text{地下水位の高さ } H_h = \text{水位計台から地下水面までの高さ } H_w - \text{水位計台の高さ } H_d$$

- ① フロート式水位計（ペン書記録）の場合は、記録チャートのペンを計測した地下水位の位置に合わせる。また、記録紙の取り替え時も地下水位の位置を測定してペンの位置が正確な位置を示しているかの確認を行う必要がある。
- ② フロート式水位計（データロガー記録）の場合は、出力されている電圧・電流をデジタルテスターで確認し、異なった水位の時の電圧・電流を計測して地下水位の位置と出力している信号の関係式を作りなおす必要がある。
- ③ 水位センサー式水位計（データロガー記録）の場合は、水位計台は必ずしも必要ではないが、確認された基準の高さからセンサー感知部までの高さを正確に計測しておく必要がある。出力される内容はセンサー先端から水面までの高さであるので、地下水位の高さではないことを十分理解しておく必要がある。なお、データ収集時に手測で測定し、その時の水位センサー式水位計の値とチェックするとよい。

5.8 データの収集及び整理

- ① 手測による測定は、一定期間ごとにコンベックスや測定スケールを用いて調査を行い、一定の基準高さから地下水位を測定し、基準高さを差し引いて地下水位を算出する。
- ② フロート式水位計（ペン書記録）は、記録紙のチャートを一定期間ごとに交換し、各時間の地下水位を読みとり、整理を行う。ただし、一定期間以上経過し記録紙に数回転にわたって記録がなされた時は、取り替え時の日付と時刻を正確に記録紙に記入する。そして、記録紙にペン書きされた回数分のコピーを取り、水位の変化を追いながらコピーされた記録紙を

つなぎ、この変化を蛍光ペンで順次マークし、最後の記録内容までこの作業を続ける。その後、一定期間（一週間ごと）の目盛りを記入し、読みとり時間ごとに水位の変化を読みとる。効率的な読みとり方法としては、コンピュータに接続して利用するデジタイザーを活用した読みとりソフトを利用することができる。各時間の水位をデータ化したら、コンピュータのグラフソフトを利用してグラフ化も可能である。

- ③ フロート式水位計（データロガー記録）のデータはデータロガーに記録されており、コンピュータを利用してデータを読みとり、現地で確認した水位とそのときの電氣的信号（電圧・電流）の関係式が一次式で表せるので、その関係式を各電氣的信号の値から水位の値に変換する。これらの一連の計算は、表計算ソフトを利用することで効率的に行うことができる。
- ④ 水位センサー式水位計の一体型は、処理ソフト関係が完備しており、出力したデータは直ちにグラフ化まで可能である。
- ⑤ 一体型でなく、センサーとデータロガーを接続した型式では、③の整理方法と同様な内容で処理を行うことができる。

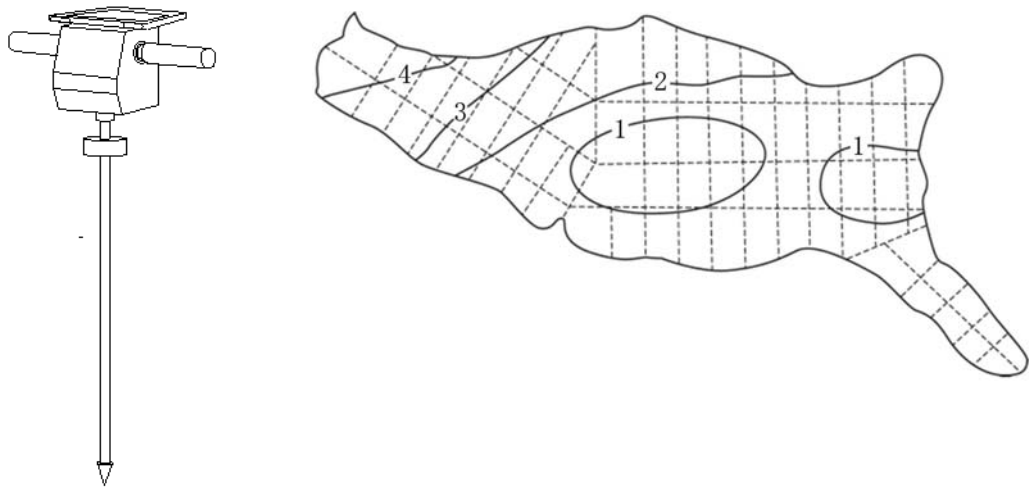
6. 地耐力調査

(基準書 第2章 2.2 関連)

地耐力の指標としてはコーン指数が用いられる。コーン指数の測定は、**図-6.1(a)**のようなコーンペネトロメーター（コーン面積 6.45cm^2 又は 3.24cm^2 、先端角 30° ）を使用して100m方眼を単位に測定する。

地耐力は、1測点に対し、深さとコーン指数の傾向がほぼ同様とみなされる3回以上の測定値の平均によって求める。測定深さは計画高以下50cmまでとし、5cm毎に貫入速度 1.0cm/s で測定する。

図-6.1(b)のような地耐力分布図を作成すると、工法の決定等に役立つ。



(a) コーンペネトロメーター
(自記式硬度計)

(b) 地耐力分布図(事例)
(コーン指数 (N/mm^2) の分布)

図-6.1 コーンペネトロメーター及び地耐力分布図

7. 暗渠排水整備に関連する環境配慮事例

(基準書 第3章 3.1.1 関連)

水田での暗渠排水の設置は乾田化を促し、湿田環境が消失されることから、状況に応じて保全対象生物の生息・生育環境との調和に配慮することが必要である。

環境配慮の一例として、排水口付近は湿った環境となることから、その環境を利用した保全対象生物への配慮等が考えられる。その配慮対策に当たっては、各々の地域特性を十分に踏まえた上で適切な方法を選定することが重要である。

暗渠排水における環境との調和への配慮事例について図-7.1 に示す。


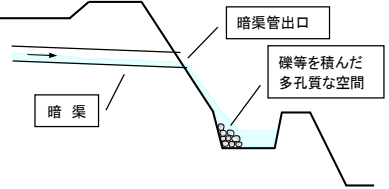
配慮対策	湿田の環境の代償	
配慮工法	<p>ビオトープの創出 (ビオトープ水田)</p> <p>(暗渠排水施設の運用によって失われる湿地の環境を代償するため、溪流から常時水を補給できるように水路を整備し、休耕田をビオトープ化)</p>	
地形条件	林地に接する地域	
対象生物	湿地の環境を好む両生類や水生生物	
留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流入水の管理が必要である。 ・ 水田としての環境を維持していくために、定期的に代かきを行うことが必要である。 	
配慮対策	多様な生息・生育空間の創出	
配慮工法	<p>排水口の工夫</p> <p>(排水口部分に石を積み、湿った多孔質な空間を創出)</p>	
地形条件	平坦地・傾斜地	
対象生物	湿った多孔質な空間を好む生物全般	
留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土砂による礫部分の目詰まりに留意する。 ・ 多孔質な空間が、排水路の通水を阻害しないように留意する。 ・ 多様な生息・生育空間を確保するため、地下水位が高い地区などでは、暗渠からの排水を利用した多様な動植物の生息・生育環境の創出を検討する。 	

図-7.1 暗渠排水における環境との調和への配慮事例¹⁾

引用文献

- 1) 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会：環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き 第3編 「ほ場整備（水田・畑）」（2004）

8. 地表排水と暗渠排水の関係

(基準書 第3章 3.1.2、3.2.1 関連)

地区の排水組織は、ほ場からの地表排水や地下排水の全量を地区外に排除することを目的として有機的に連結された一連の施設群から構成される。そのため、十分なほ場排水を行うためには、それらを排除するのに足りる組織容量を有する排水条件を整備することが必要となる。ここでは、効率的なほ場排水を目的とし、排水量と水位との関係 (図-8.1) を用いて地表排水とほ場排水との関係を明らかにする。

図-8.1 は、排水路水位と排水量 (a 曲線)、ほ場内地下水位と暗渠排水量 (b 曲線)、ほ場面湛水位と地表排水量 (c 曲線) の関係を同じ座標軸上で表したものである。横軸は単位排水量で、単位時間当たりの排水量を対象面積で除したものである。

a 曲線は地区の排水条件を反映するもので、各単位排水量に対して、幹線排水路、支線排水路内の水理的支配断面が生じる地点から背水計算 (不等流計算) を行って、排水路内の水面形を追跡し、対象ほ場と隣接する小排水路地点の水位を計算したものである。

b 曲線は暗渠排水条件を表し、ほ場内の最大地下水位と暗渠出口の標高差から求めた動水勾配と暗渠管の材質、直径から、マンニング式を適用して計算した地下水位と暗渠排水量の関係を表している。

c 曲線は地表の排水条件を表し、落水口や畝間の形状から得られるほ場面湛水位と地表排水量の関係を表している。

まず初めに、ほ場排水がすべて暗渠によって行われた場合について考える。単位排水量が $A\text{mm/h}$ 以下の時は、a 曲線から得られる排水路水位は暗渠出口より低いため、暗渠からの流出が排水路水位の影響を受けず、暗渠の排水機能を完全に発揮することができる。しかし、単位排水量が $A\text{mm/h}$ を越えると排水路水位は暗渠の出口より高くなり、その結果暗渠からの流出は排水路水位の影響を受けて潜りの状態となる。さらに、単位排水量が増大すると暗渠からの流出は排水路水位によって完全に阻害され、暗渠による排水が不可能となる。

次に、ほ場排水がすべて地表排水によって行われた場合について考える。単位排水量が $B\text{mm/h}$ 以下の時は、排水路水位はほ場面より低いため、地表排水が排水路水位によって影響を受けることがない。しかし、単位排水量が $B\text{mm/h}$ を越えると排水路水位が地表面より高くなって、地表排水は排水路水位の影響を受け、ほ場排水が阻害される。

このように、同じ地区の排水条件でありながら、暗渠排水は図中の $A\text{mm/h}$ で地区の排水条件の制約を受けるのに対して、地表排水は $B\text{mm/h}$ まで地区の排水条件の制約を受けないことがわかる。

以上のことは、降雨時では地下排水に比べて地表排水が有利であることを意味し、ほ場排水では地表排水を優先的に行うことが原則となる。すなわち、降雨のピーク時は排水路水位が上昇するので、排水路水位の影響が少ない地表排水によって排水を行い、降雨後地表排水が終了し、排水路水位が低下してからほ場面の残留水や過剰な重力水を暗渠によって排水することが有利である。

一方、畑地では降雨の地表排水量以外のほぼ全量の排水量を暗渠で排除することが原則となっているので (基準の運用 3.2.1 参照)、それを可能にするには地区の排水条件が十分に整備されなければならない。しかし、地形、土地利用、水利などの条件から地区排水が制約され、計画暗渠排水量が確保できない場合、小型ポンプによって耕区単位およびほ区単位で排水を強化する方式が採用

される。例えば、**図-8.1**のような地区排水の条件下で、計画暗渠排水量（例えば $C\text{mm/h}$ とする。ただし、 $C > A$ ）を確保するには、排水路水位によって暗渠からの排水が影響されないように小排水路末端をゲートで締め切って農区単位で排水系統を独立させ、排水容量 $C\text{mm/h}$ のポンプを小排水路水位の末端に設置して、ブロック排水を実施することが効果的である（基準及び運用の解説 **図-3.3.6** 参照）。この場合、暗渠からの排水量はポンプの排水容量 $C\text{mm/h}$ まで保証することができる。

一般に、降雨時のほ場排水は、地表排水と地下排水で達成され、両者の構成割合は土壌の透水性、ほ場区画の規模、ほ場面均平度などのほ場の条件によって大きく変化する。しかし、降雨時のほ場排水は地区の排水条件によって制約されることがあるので、**図-8.1** 排水量と水位との関係を用いて、地表排水と暗渠排水のいずれを優先すればよいのか、あるいはブロック排水方式の導入が必要となるのかどうかについて検討する必要がある。このことにより、効率的なほ場排水を実現することができる。

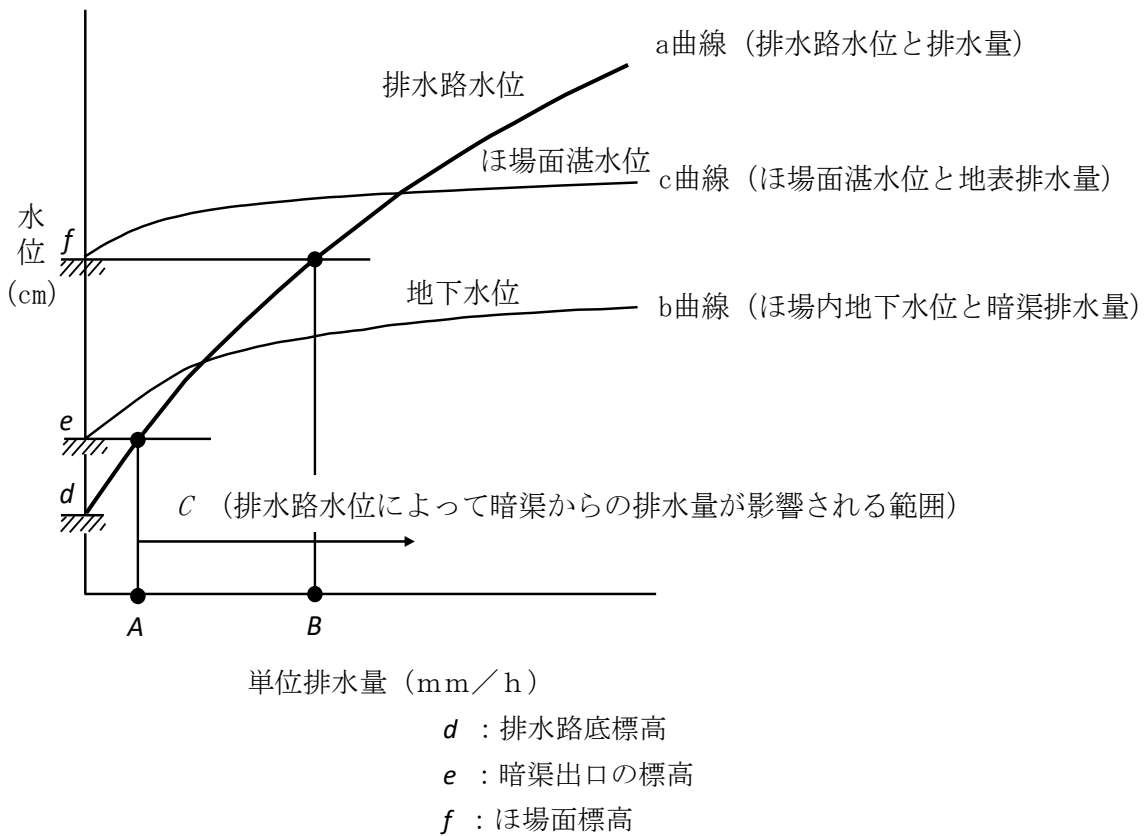


図-8.1 排水量と水位との関係

9. 計画暗渠排水量の基準値

(基準書 第3章 3.2.1 関連)

9.1 計画暗渠排水量を求めることの必要性

計画暗渠排水量を求めることの必要性は、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）の決定のためである。

また、計画された暗渠排水組織のもとで、計画暗渠排水量を排除するのに必要な土壌の透水性改良の要否の判定及び透水性改良の方法（蒸発散の促進による土壌の乾燥、亀裂の発生促進、心土破碎、弾丸暗渠等の補助暗渠）にも関係するものである。

9.2 計画暗渠排水量

暗渠排水に依存すべき過剰水（地表残留水及び土壌中の重力水）の排除に要する目標時間としては、水田の場合には機械の導入や適正な水管理のため、1～2日以内としなければならない。また、水田の畑利用及び畑の場合には1日以内の排除を原則とし、類似地調査による計画暗渠排水量の算定にあつては計画基準雨量を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4時間で排水することを目標とする。

計画暗渠排水量の算定については「10. 類似地調査による計画暗渠排水量の求め方」で述べているように類似地調査による算定のほか、既往の暗渠排水が完了した近傍地区等における値を参考とすることも計画を作成する上で有効な手段と考えられる。また、表-9.1のとおり計画暗渠排水量の範囲を参考とする場合もある。

なお、土壌の透水性が悪い場合等で下記の標準的な値が目標日数内で排水されない場合等は別途述べられている土壌乾燥のための各種栽培方法（基準及び運用の解説「5.3.3. 土壌の透水性の改良と栽培方法」）や補助暗渠を用いて土壌の透水性の改良を図ることが必要である。

暗渠排水量の最大値としては表-9.2のとおり、既に暗渠排水の施工されている全国各地で調査したピーク暗渠排水量の測定結果が50mm/d前後のものが多く、この点からも最大50mm/d程度の暗渠排水量を与えればよいと判断される。

しかしながら、計画暗渠排水量は、地区の地形、土壌等の自然条件、区画及び排水施設等のほ場条件、導入作物、降雨特性等によって異なるため、ここで示した計画暗渠排水量より大きな値を採用する場合もある。

表-9.1 計画暗渠排水量の範囲 (mm/d)

区 分	計画暗渠排水量
水 田	10～50 <標準値 20～30>
水田の畑利用	30～50
畑	10～50

表-9.2 暗渠排水のピーク排水量の一例 (mm/d)

地 区	測定年月日	排水量
滋賀県小中之湖	1968. 9. 26	56.7
埼玉県小見野	1965. 9. 3	42.3
岡山県児島湾干拓	1968. 12. 12	51.8
大阪府高槻農場	1968. 7. 16	44.4
山形県新堀地区	1965. 10. 21	64.8

10. 類似地調査による計画暗渠排水量の求め方

(基準書 第3章 3.2.1 関連)

暗渠排水が施工されているほ場で、地下水位がほ場面まで上昇し、かつ湛水がない条件で水閘を開き暗渠排水試験を行った場合、**図-10.1**に示すような暗渠排水量～実測時間曲線（以下、実測時間曲線という）が得られる。排水開始後は新たな流入はないから、**図-10.1**に示すように、初期暗渠排水量が最大の単調曲線となる。この曲線は、初期暗渠排水量を q_0 とし、排水時間 t で暗渠総排水量 V を排除したもとする。

暗渠排水試験で得られた暗渠総排水量 V を一定の計画排水時間 T で排除するような時間曲線を考えると、この実測時間曲線の初期暗渠排水量 q_0 が計画暗渠排水量 D となる。

実測時間曲線がある関数で近似して、その関数について初期暗渠排水量 q_0 、暗渠総排水量 V 、計画排水時間 T の関係を求めておけば、その関係を用いて計画暗渠排水量 D を決めることができる。

横軸に時間 t (h)、縦軸に暗渠排水量 q (mm/h) の対数値をとって片対数紙上に実測時間曲線をプロットすると、その形状は**図-10.2**に示すように2区間に分けることができる。

① 排水開始 ($t=0$, $q=q_0$) からしばらく ($t=t_1$, $q=q_1$) までは減水率が一定で、直線的に減少する区間。

② $t=t_1$ 以降は減水率が変化し、下に凸な区間。

$t=0$ から $t=t_1$ までの直線区間は、 q を時間 t における暗渠排水量とすると**式(10.1)**で表される。

$$q = q_0 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot t) \quad (t \leq t_1) \dots \dots \dots (10.1)$$

ここで、 α_1 は逓減係数である。次に、 t_1 以降の曲線部分は、

$$q = \frac{C}{et} \quad (t > t_1) \dots \dots \dots (10.2)$$

と表すことができる。ここで、

$$C = \int_0^{\infty} q_0 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot t) dt = \frac{q_0}{\alpha_1} \dots \dots \dots (10.3)$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{t_1} \dots \dots \dots (10.4)$$

である。暗渠総排水量 V は**式(10.1)**及び**式(10.2)**を積分して求められる。ただし、**式(10.2)**の適用範囲は $t=t_1$ から t_2 までとし、曲線の曲率が小さくなって直線で近似可能な $t=t_2$ 以降の時間曲線は、

$$q = \frac{C}{et_2} \cdot \exp\left[-\frac{t-t_2}{t_2}\right] \dots \dots \dots (10.5)$$

の指数関数で近似する。

実測時間曲線の $t=0$ から t_1 まで、 $t=t_1$ から t_2 まで、及び $t=t_2$ から ∞ までに暗渠が排水した量をそれ

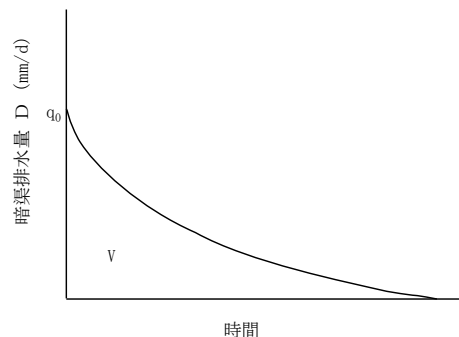


図-10.1 暗渠排水量～実測時間曲線

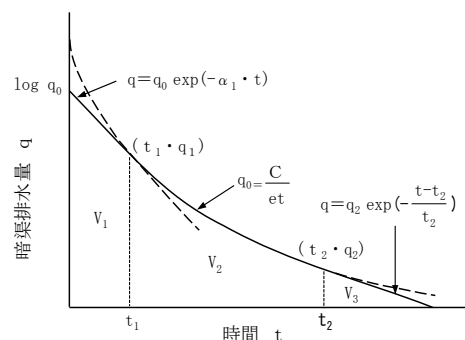


図-10.2 実測時間曲線の近似式

ぞれ V_1 、 V_2 、 V_3 とすると、 V_1 、 V_2 、 V_3 はそれぞれ式(10.1)(10.2)(10.5)を積分して次のように求めることができる。

$$V_1 = \int_0^{t_1} q_0 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot t) dt = C \left[1 - \frac{1}{e} \right] \dots\dots\dots (10.6)$$

$$V_2 = \int_{t_1}^{t_2} \frac{C}{et} dt = \frac{C}{e} \ln \frac{t_2}{t_1} \dots\dots\dots (10.7)$$

$$V_3 = \int_{t_2}^{\infty} \frac{C}{et_2} \cdot \exp\left[-\frac{t-t_2}{t_2}\right] dt = \frac{C}{e} \dots\dots\dots (10.8)$$

したがって、暗渠総排水量 V は

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = C \left[1 + \frac{1}{e} \ln \frac{t_2}{t_1} \right] \dots\dots\dots (10.9)$$

となる。

暗渠排水試験で得られた暗渠総排水量 V を、 T 時間（計画排水時間）で排除するように初期暗渠排水量を変換すると、その初期の暗渠排水量が計画暗渠排水量となる。ただし、暗渠排水量は排水量が小さくなるほどダラダラと尾を引くので計画排水時間 T （=1 日）で V の全量を排除するのは実際には不可能であり、実用上は V の全量を暗渠排水の対象とする必要はない。この場合には、 T 時間で暗渠総排水量 V の何割を排除するかあらかじめ決めておいて、これを計画の目標とするのが実用的である。ここでは $t_2 = T$ とする。したがって、 T 時間内で $V_1 + V_2$ が、 T 以降で V_3 がそれぞれ排水される。 V のうち T 時間内に排除する水量（ $V_1 + V_2$ ）の割合を T 時間排水率として f で表すと

$$f = \frac{V_1 + V_2}{V} = \frac{1 - \frac{1}{e} + \frac{1}{e} \ln \frac{T}{t_1}}{1 + \frac{1}{e} \ln \frac{T}{t_1}} \dots\dots\dots (10.10)$$

と表すことができる。したがって、式(10.3)、(10.4)、(10.9)、(10.10)から初期暗渠排水量 q_0 を V 、 T 、 f で書き表すと

$$q_0 = p \frac{V}{T}$$

$$p = e(1-f) \exp\left[\frac{1}{1-f} - e\right] \dots\dots (10.11)$$

と書くことができる。 p の値は f が大きくなると指数関数的に大きくなる。図-10.3 のとおり、とくに $p > 3$ では f の増加は少ない。したがって、計画暗渠排水量 D について f の値を大きく設定すると T 時間内の排水量は増大するが、それ以上に計画暗渠排水量 D が指数関数的に増大して過大な設計になるので、 $p = 3$ ($f = 0.76$) 程度が計画値として妥当な値と考えられる。これは暗渠総排水量 V の約 80% が計画排水時間内に排除されることを意味する。

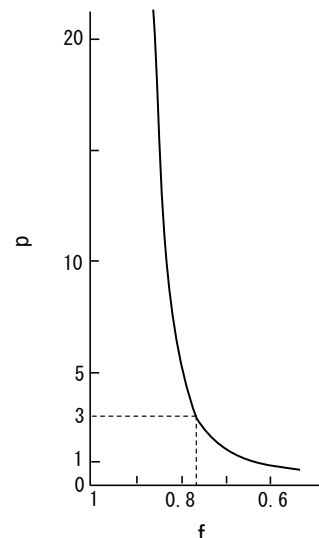


図-10.3 p と f の関係

したがって、式(10.11)は

$$D = 3 \frac{V}{T} \dots\dots\dots (10.12)$$

と書き改められ、暗渠総排水量 V を暗渠排水試験で求めると (計画排水時間: $T = 1$ 日として) 式(10.12)により計画暗渠排水量 D (mm/d) を決めることができる。

図-10.4 及び表-10.1 はこれまで行った全国各地の試験ほ場結果であり、暗渠総排水量 V と初期暗渠排水量 q_0 の関係を示したものである。図中の実線は、 $q_0 (=D) = 3V/T$ ($T = 1$ 日) の関係を示したものである。その他図中の点線 ($P=2$ と $P=5$) は初期暗渠排水量 q_0 が計画暗渠排水量の $2/3$ 倍、 $5/3$ 倍ということを示したものである。

これによると、一部を除き V と q_0 の関係は $P=3$ をはさんで $P=2 \sim 5$ 間にあつて、本方法によって求められた計画暗渠排水量 D が妥当と考えられる。

暗渠総排水量 V の大きさについてみると、児島湾、小中之湖、八郎湯のいずれも干拓地では $20 \sim 60$ mm と大きく、これは透水土層が深いためと思われる。野村Cは耕盤が未発達なほ場、林谷は転換畑のさらに荒起したほ場のため V が大きい値を示したものである。これら以外では、水田、転換畑共に V は大略 $15 \sim 20$ mm 以下である。

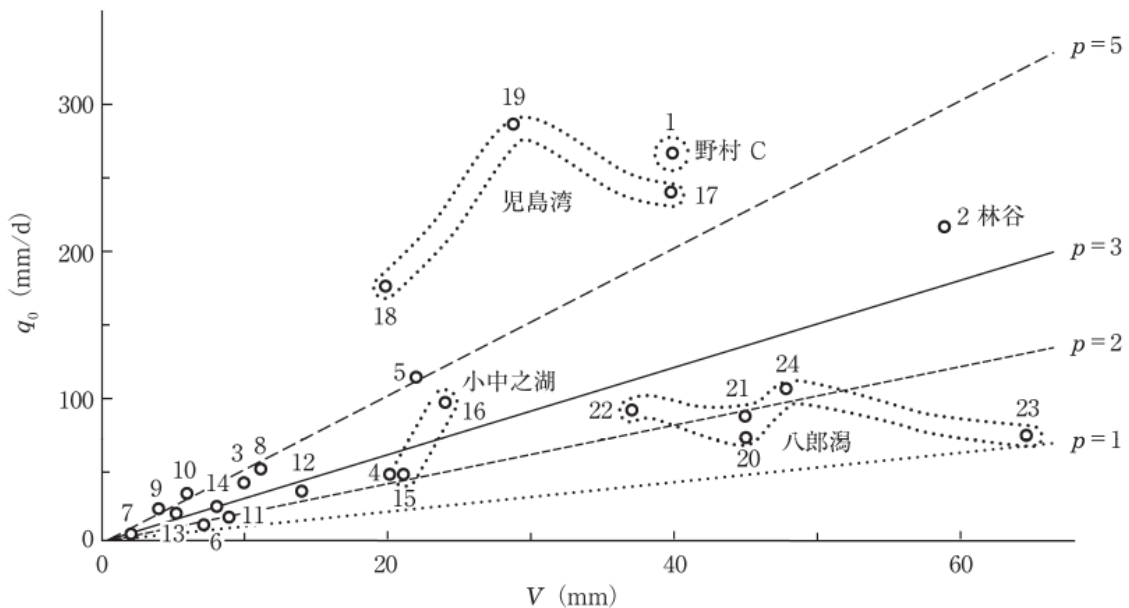


図-10.4 暗渠総排水量 (V) と初期暗渠排水量 (q_0) の関係
(図中の数字は表-10.1 の No. と対応)

表-10.1 試験ほ場の概要

No.	ほ場名	区画 (m×m)	暗渠間隔 本(m)、補(m) *1	水田・畑の別	排水の 対象
1	兵庫県 野村C	30×100	13.5、— *2	転換畑	降雨
2	〃 林谷	38×76	38、10、3 *3	裸地	試験 *5
3	〃 林谷	38×76	38、10、3	水田	中干し
4	〃 林谷	38×76	38、10、3	水田	落水
5	〃 吉田No. 1	30×70	12.5、3	転換畑	試験
6	〃 吉田No. 2	30×70	12.5、3	水田	落水
7	〃 貞守No. 2	27×60	8、—	水田	中干し
8	〃 荒原No. 1	40×75	10、—	水田	落水
9	〃 荒原No. 2	40×75	10、—	水田	落水
10	白根郷	32×109	9、2	転換畑	降雨
11	佐賀三日月 A-1	—	20、2	転換畑	降雨
12	鯖江東部No. 1	20×100	5、—	転換畑	降雨
13	鯖江東部No. 1	20×100	5、—	転換畑	降雨
14	鯖江東部No. 2	20×100	5、—	転換畑	降雨
15	小中之湖干拓地	25×60	8、—	水田	降雨
16	小中之湖干拓地	25×60	8、—	水田	試験
17	児島湾干拓地	40×56	10、1.8	水田	中干し
18	児島湾干拓地	40×56	10、1.8	水田	中干し
19	児島湾干拓地	40×56	10、1.8	水田	落水
20	八郎潟 A-I	90×130	90、10、— *4	—	試験
21	八郎潟 A-II	90×130	90、10、—	—	試験
22	八郎潟 カマボコ	90×130	90、10、—	—	試験
23	八郎潟 B	90×130	45、15、—	—	試験
24	八郎潟 D	90×130	90、10、—	—	試験

*1 本、補は本暗渠、補助暗渠の略

*2 補助暗渠なし

*3 本暗渠+モミガラトレンチ+弾丸暗渠の組合せ暗渠

*4 本暗渠(集水暗渠の機能)+本暗渠の組合せ暗渠

*5 かん水して満水非湛水状態にした後の(試験)落水

11. 作物生育と地下水位

(基準書 第3章 3.2.2 関連)

図-11.1 によると、大豆、小豆、ばれいしょ及び牧草のいずれの場合も、地下水位が地表面下40～50cmより高くなると急激に収量が低下することがわかる。

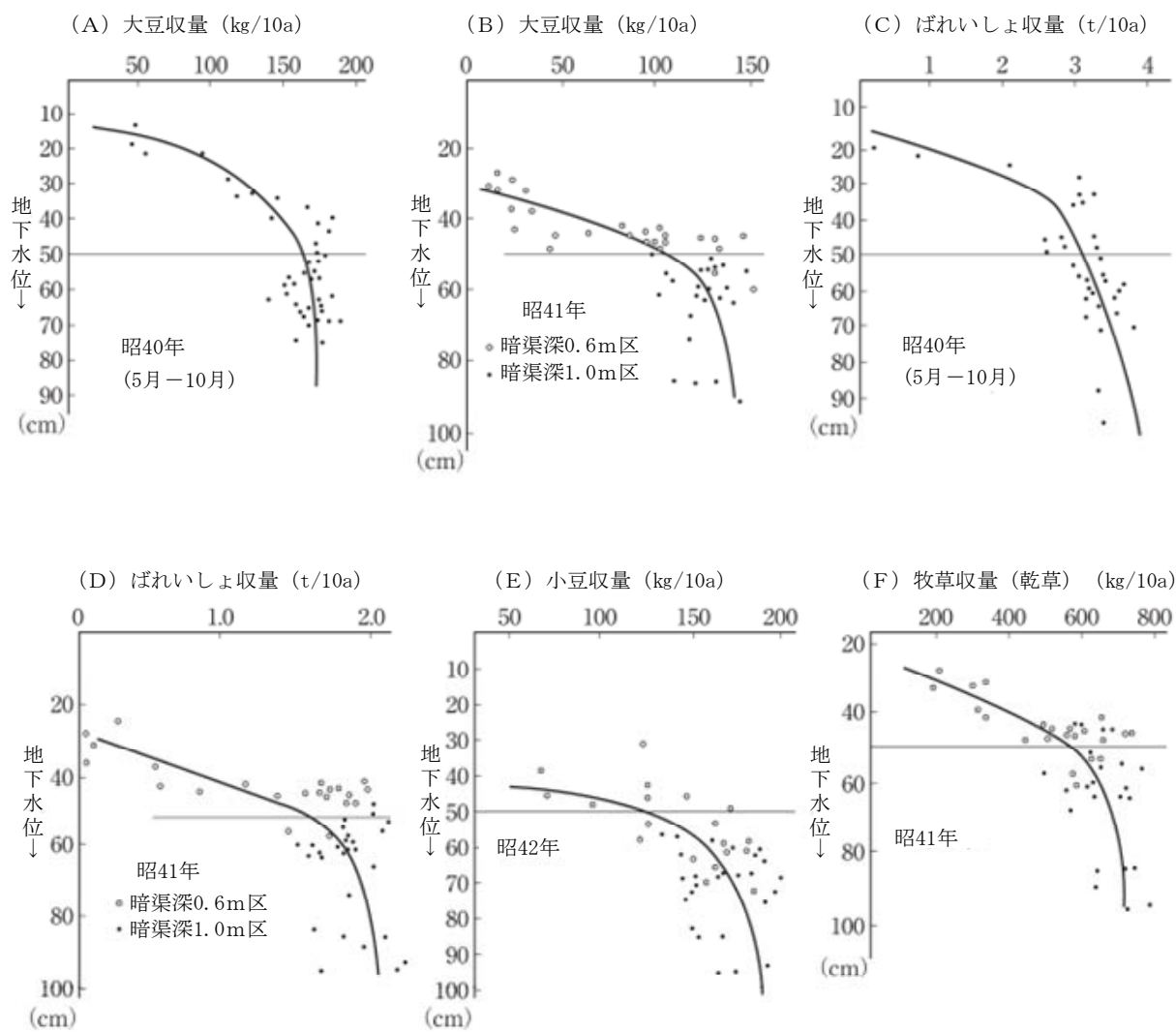


図-11.1 作物収量と地下水位

(北海道開発局、駒場排水試験地、火山灰)

12. 地耐力と地下水位

(基準書 第3章 3.2.2 関連)

図-12.1 は一例として滋賀県小中之湖の試験田で測定した地下水位と地耐力の関係を示したものである。この図によると、 0.39 N/mm^2 ($1\text{ N/mm}^2 = 1\text{ MPa}$) のコーン支持力を得るためには、この支持力を得ようとする位置より最低 15cm 以上地下水位を低下させなければならないことになる。よって、田面下 15cm にある耕盤で 0.39 N/mm^2 の支持力を得るためには、田面下 30cm まで地下水位を低下させなければならない。

ここに示したのは一例にすぎないが、各種の水田で調査された結果を総合すると、耕盤形成の条件として、地下水位は耕盤下 20~30cm に低下させる必要がある。したがって、所要の地耐力を得るための地下水位は田面下 40~50cm 程度でなくてはならない。

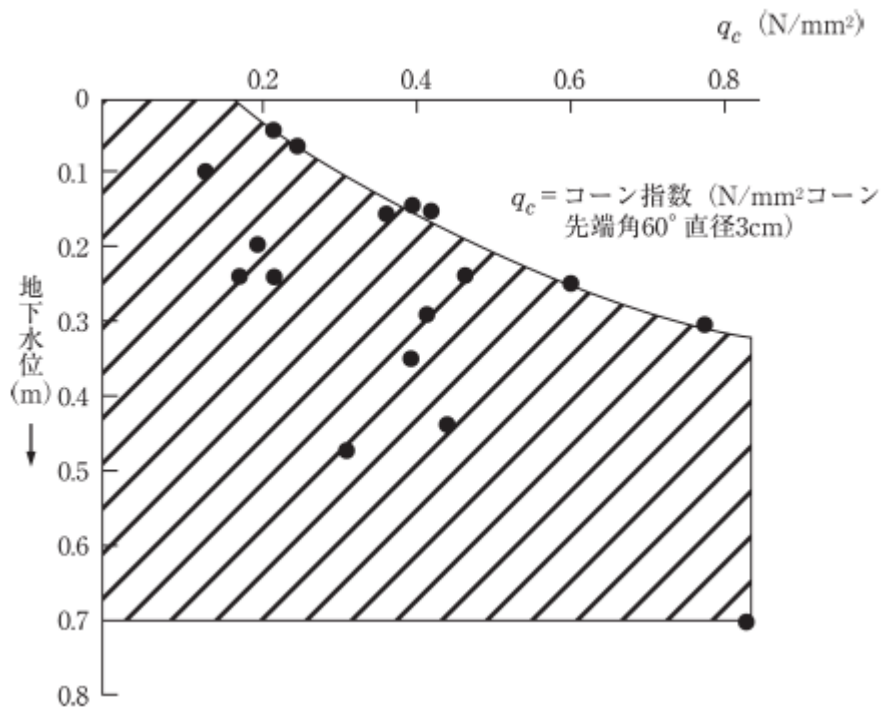


図-12.1 地下水位と地耐力の関係 (降雨後1日目までのデータは除外)
(近畿農政局、小中之湖試験地)

13. 地耐力と車両走行性

(基準書 第3章 3.2.2 関連)

地耐力と車両走行性の関係を、表-13.1、図-13.1、図-13.2 に示す。

表-13.1 各種トラクタの車両指数と走行可能限界の地耐力

トラクタ走行部	重量 (自重)	履帯幅	車両指数 V C I	走行可能限界 の貫入抵抗値	平均	地耐力
空気用タイヤ	500~1,000 kgf		50~55	11 ~ 12.5kgf	12 kgf	0.37 N/mm ²
	1,000~2,000		45~50	10 ~ 11	10.5	0.32
	2,000~3,000		45	10	10	0.30
水田用車輪	500~1,000		40~45	9 ~ 10	9.5	0.29
	1,000~2,000		35~40	8 ~ 9	8.5	0.26
半装軌	1,000~2,000		25~30	6 ~ 7	6.5	0.20
装軌	2,000~2,500	300 mm	25~30	6 ~ 7	6.5	0.20
		400	20~25	4.5 ~ 6	5.5	0.17
		500	18~20	3.5 ~ 4.5	4.0	0.13

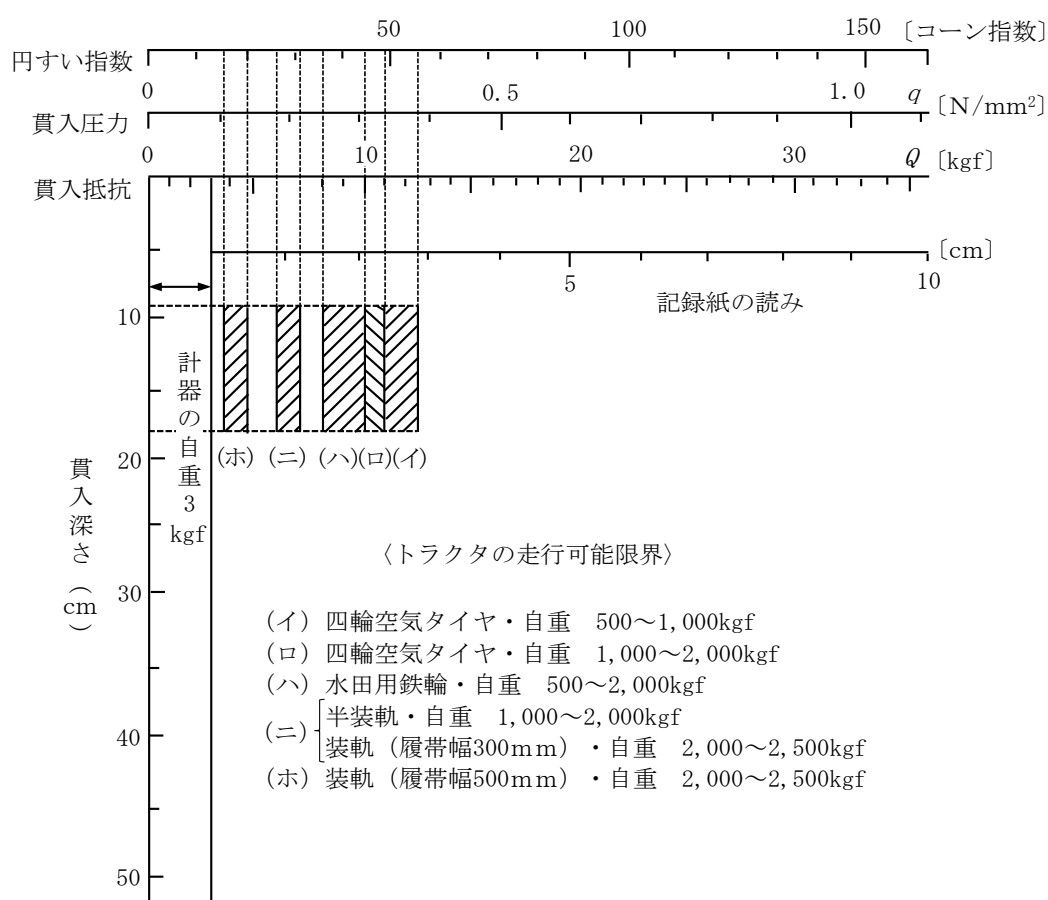


図-13.1 各種トラクタの走行可能限界

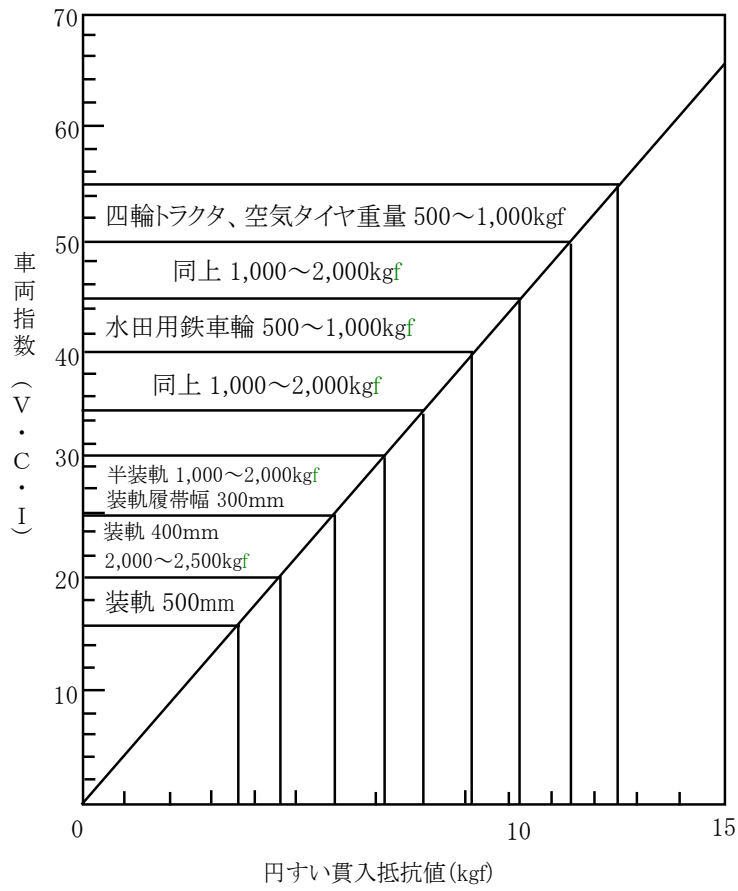


図-13.2 車両指数と円すい貫入抵抗 (近畿農政局, 小中之湖試験地)

14. 暗渠排水管の配置方式

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

暗渠排水管の配置方式は、等高線に対してどのように渠線を配置するかにより、横走式、縦走式と、それらの中間的な斜走式とに分けられる(図-14.1)。

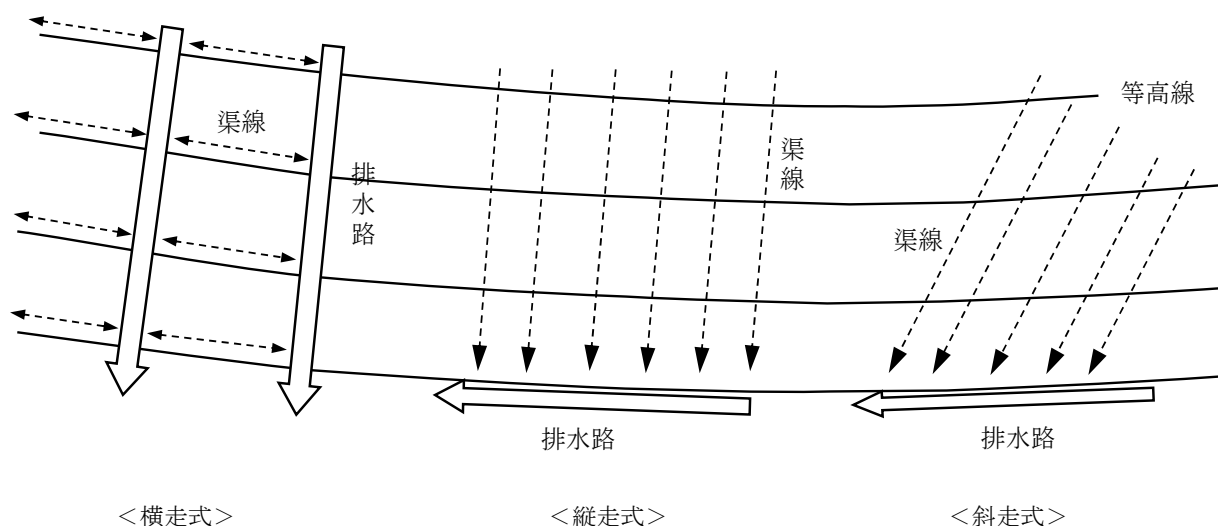


図-14.1 配置方式の分類

14.1 横走式

ほぼ等高線沿いに渠線を配置して、傾斜方向に流れている排水路に導く方式である。

ほ場整備後の水田は、形状や排水路の位置が、この方式に合致する 경우가多く、また一耕区ごとの水閘の管理(開閉)を考慮して、ほとんどがこの配置となっている。

この方式では、各々の水脈と直交しながら捕水するので、水の流れとしては、水脈から集水渠、排水路へと方向が 90° 変わるため、吸水渠に勾配がない(1/600程度未満)場合は集水しにくい。

渠線(集水渠)の勾配がとれない場合や、施工後もあまり効果があがらない場合は、補助として縦走式、斜走式の補助暗渠を、本暗渠から樹枝状又は楯状に設け捕水効果を高める必要がある。

14.2 縦走式

渠線を等高線に対して直角に、すなわち地下水、浸透水の流れの方向に配置する方式である。

この方式では「地下水→集水→排水」という過程で、自然流下の助けを得やすいので、効果がありやすい。一方短所として、水脈が渠線と並行して走るため、吸水渠が浸透水を十分に捕らえるには相当な距離が必要であること、また、傾斜地で難透水性ではない土壌の場合など、かえって水みちが発達しすぎて土砂の流亡や侵食のおそれがある。

水田では、排水路自体が縦走方向に配置されていることが多く、ある程度の距離の縦走式渠線は、耕区ごとに平坦な水田であれば数耕区にまたがってしまう。このため一耕区ごとに管理ができないので、実用例は少なく、集団水閘管理を行うことが可能な地域や、畑や樹園地のように水閘を必要としない場合に用いられる。

14.3 斜走式

渠線が等高線を斜めに降りていく方式で、地下水の流れに交差していることから、地下水吸水の効果が期待できる。しかし、縦走式と同様、ほ場整備後の水田の場合等では一耕区ごとの管理が行えないため、特に地形的に適切な場合以外は用いられず、畑や樹園地などで適用されることが多い。

14.4 配置タイプの分類

吸水渠により一耕区で集めた水を、その耕区の排水口（水閘）で排水する形式を単独型、吸水渠が二耕区以上にまたがっている形式を共用型と呼ぶ。

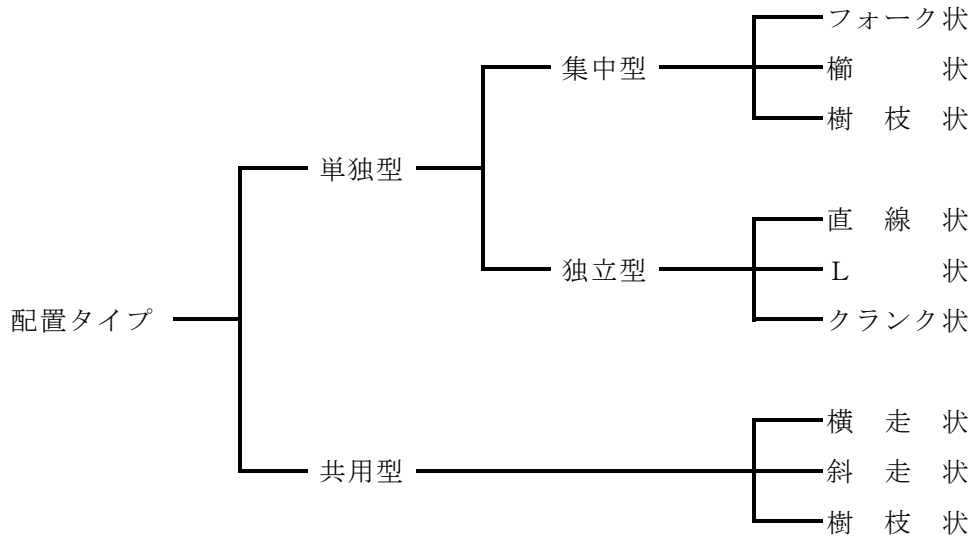


図-14.2 配置タイプの分類

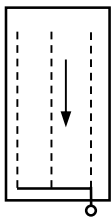
単独型は、図-14.2 に示したように集中型と独立型の二つに大別される。単独型は一耕区ごとの管理ができ、維持管理の点からも有利であるが、施工上多少複雑になることや、経済性の面から割高になる場合がある。

単独型のうち集中型は、吸水渠の延長にもよるが独立型に比べ施工単価が安く、水閘が一箇所のため集中管理ができる等の利点がある（図-14.3）。

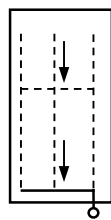
A. 単独型

1. 集中型

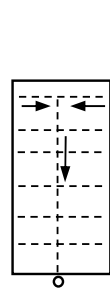
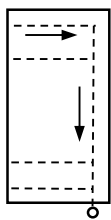
(1) フォーク型



(2) 櫛状



(3) 樹枝状



(3) 樹枝状

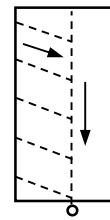
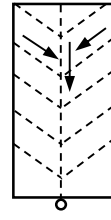
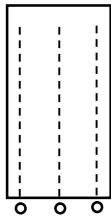


図-14.3 配置タイプの模式図（集中型）

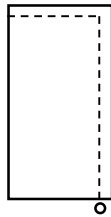
一方、独立型は施工が比較的単純であり、維持管理上、目詰まり箇所が発見しやすい等の利点がある（図-14.4）。また、水田の場合、独立しているため部分転作が可能である。

2. 独立型

(1) 直線状



(2) L状



(3) クランク状

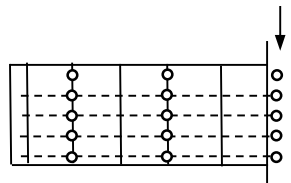


図-14.4 配置タイプの模式図（独立型）

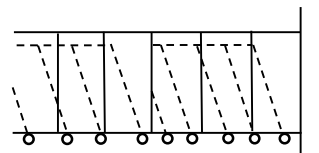
共用型は、数耕区が連続する湿潤地対策や、地下水のミオ筋を変更させたりする場合に採用される（図-14.5）。ただし、各耕区のは場面の高さがほぼ一定である必要があり、各所有者間での管理方法における調整が必要である。

B. 共用型

(1) 横走状



(2) 斜走状



(3) 樹枝状

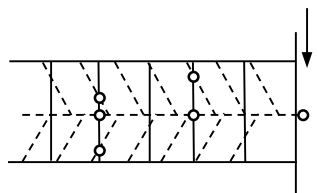


図-14.5 配置タイプの模式図（共用型）

これら配置タイプは、排水路の位置、構造、湿潤地の状態等を考慮して決定する。

15. 農区、耕区単位の暗渠排水組織

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

暗渠排水組織は、排水がより迅速に行えとともに、将来の維持管理が容易となるよう、ほ場外への排水調節を行う単位をまとめて計画し、吸水渠、集水渠、水閘、排水工等の配置を検討する。

また排水調節として、水閘を設置し、作物に適した水分制御を行う場合があり、必要に応じて強制排水を行う集水槽・ポンプ、小排水路末端にゲートやポンプ並びに管排水路にマンホールなどを設ける場合がある。

なお、水田の場合、その単位は耕区を基本とするが、地形条件からほ区又は農区を単位とする場合もある。

水田における暗渠排水組織において、暗渠排水からの排水の調節方式は、大きく表-15.1、図-15.1~8 に示す方式に分類できる。さらにこれらは、暗渠排水の地下水位の制御方式によって、水閘による方式A、B、E方式、排水路水位の末端にゲートを設置してせき上げる方式C、D、F方式及び排水を強化するためポンプを利用する方式D、F、G、H方式に分けられる。

表-15.1 水田における暗渠排水の調節方式

方式	調節単位	調節方法	支線排水路の条件	小排水路の条件	適応地帯	集水渠の有無	備考
A	耕区	水閘	水位が常に低い	水位が低い	一般	有	
B	耕区	水閘	水位が常に低い	用排兼用	傾斜地	有	
C	農区	小排水路末端の転倒ゲート	水位が常に低い	転倒ゲートによる調節が可能	一般	無	
D	農区	転倒ゲートとポンプ	水位の上下が激しい	支線排水路の影響を受ける	低平地	無	
E	耕区	水閘	水位が常に低い	管排水路	一般	有	
F	農区	転倒ゲートとポンプ	水位の上下が激しい	管排水路	低平地	無	
G	耕区	水槽設置によるポンプ排水	水位が常に高い	水位の上下が激しい	低平地	有	集水渠の配置がほ場内
H	耕区	水槽設置によるポンプ排水	水位が常に高い	水位の上下が激しい	低平地	有	集水渠の配置が排水路内

また、排水調節の単位としては、耕区単位と農区単位があり、前者はA、B、E、G、Hの方式であり、後者にはC、D、Fの方式がある。一般には水閘による方式が用いられるが、平坦地で広範囲（数農区程度）の水位調節は、排水路水位のせき上げが労力の面で有利である。これにはせきやゲート（水門）が用いられる。このゲートについては引き上げ式の構造が古くから利用されてきたが、降雨等により一定水位以上になると自動的に転倒し、水位を低下させる転倒ゲートを利用することにより省力化が図られることとなる。

排水調節の単位を耕区又は数耕区ごとに行うか、あるいはほ区又は数農区までまとめるかについては、主として土地利用形態、栽培管理のあり方、小排水路や支線排水路の水位が常時どのよ

うな変化をするかなどの排水条件等によって支配される。例えば、田畑輪換が耕区ごとに交錯して行われる場合は耕区ごとに地下水位を調節する施設の設置が必要であり、また、耕区の中でも段差の大きい傾斜地水田でも耕区ごとの調節が必要となる。（耕区、ほ区、農区の定義については土地改良事業計画設計基準 計画 ほ場整備（水田）を参照）

排水路も、開水路方式と管水路方式に分けられ、前者がA、B、C、D、G、Hの方式であり、後者がE、Fの方式である。

次に、各方式の特徴を述べる。

- ① A方式は、標準的な方式（図-15.1）であり、小排水路の水位が常に低い場合には、水閘による制御を常に効果的に行うことができる。ただし、調節能力として地下水位を高い状態に保つか、低い状態に保つかどちらか一方の制御しか行えず、地下水位を一定に保つためには一定の水位以上について排水を行うことができる特殊な水閘の設置が必要となる。

また、各耕区に水稻作や畑作など栽培作物が異なる場合でも各栽培様式に合わせた水管理を行うことができる。

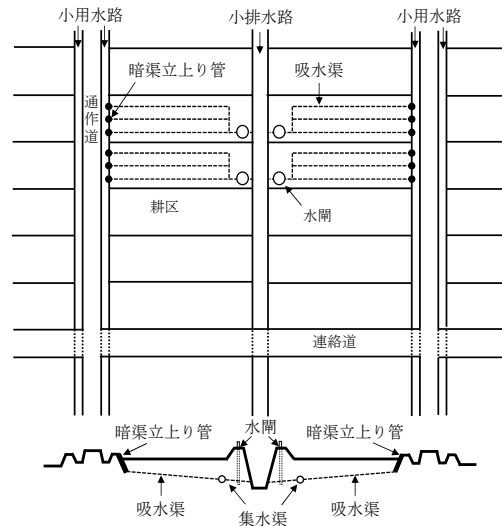


図-15.1 小排水路の水位が低い場合
A方式 (耕区単位調節)

- ② B方式は、傾斜地の水田で用排水兼用水路の場合に利用される（図-15.2）。水閘から用排水兼用水路へつながる排水管は落差工へ接続し、排水の効果を高める構造であり、耕区単位で地下水位の制御が可能である。

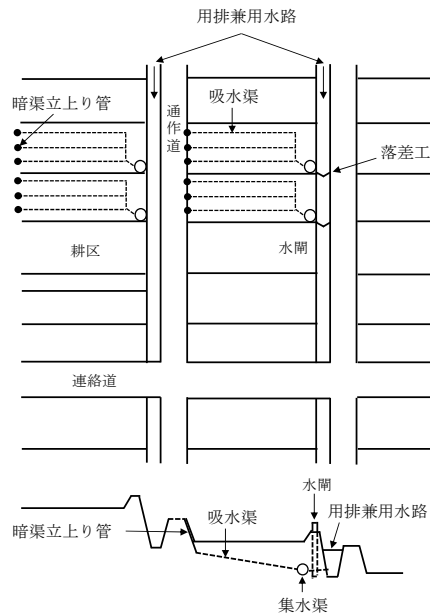


図-15.2 傾斜地で用排水兼用水路の場合
B方式 (耕区単位調節)

- ③ C方式は、水位の調節を小排水路末端の転倒ゲートで行う方式（図-15.3）であり、この方式では、農区全体が同じ栽培条件でない場合には支障をきたすこととなる。水稻栽培時は水位を高めて暗渠排水からの排水を制御し、過度な用水の損失を防ぎ、畑作時には排水路の水位を低下させて排水を強化することが可能な方式である。よって、水稻栽培時においては排水路水位を変化させることによりほ場の地下水位を変化させ、その水位を下げることでより水稻の根に対する酸素供給を促すことができる。また、作付されている品種の生育ステージが同一であれば同じ水管理で支障はないが、異なる場合には、排水路水位を調節するこの方式は各農区の作物の生育に支障をきたすことになる。一般的にこの方式では、暗渠末端にキャップ式の栓を取り付けて、栽培期間のかんがい期間中は栓を閉じ、収穫直前の落水時になるとキャップを外し、排水を行うという方法が行われており、水稻栽培時の適正な縦浸透を促す暗渠の利用効果は小さい。また、小排水路末端のゲートは、支線排水路からの逆流を防止するために利用することも可能である。栽培方式が農区単位で同一である場合に効率的に排水が行われることに特徴がある。

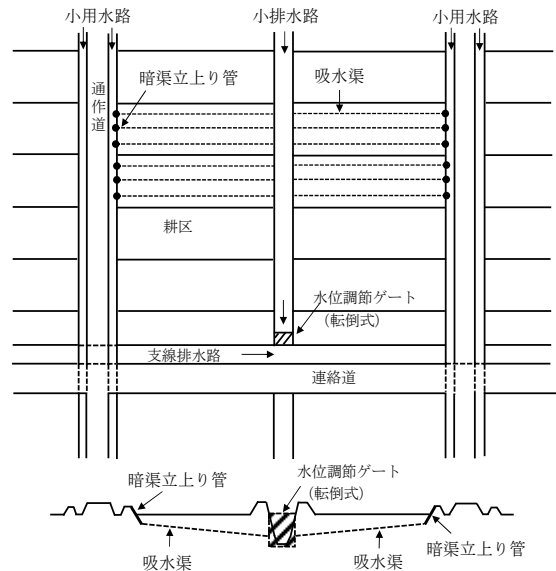


図-15.3 小排水路末端に水位調節ゲート
C方式 を設置する場合（農区単位調節）

- ④ D方式は、小排水路に水位調節の転倒ゲートを設置し、支線排水路水位の高い状態が続いた場合、自然排水が困難となることから、ポンプを利用して強制排水を行う方式である（図-15.4）。別名ブロック排水ともいう。この方式は、特に輪中地帯等の低平地に適応する方式で、ここで利用されるポンプは低揚程で高出力のバッチカルポンプで十分である。支線排水路の用水を小排水路に組み入れられる構造にすれば地下かんがいが可能な施設となる。この方式は、C方式と同じく栽培方式が農区単位で同一である場合に効率的に排水が行われることに特徴がある。

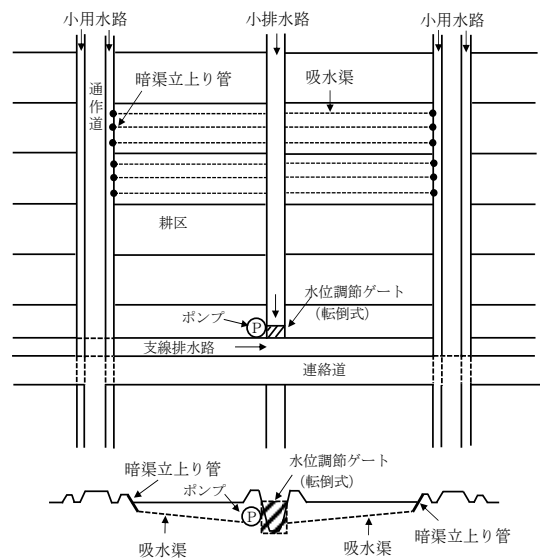


図-15.4 小排水路末端に水位調節ゲート
D方式 とポンプを設置する場合
（農区単位調節）

⑤ E方式は、A方式の排水路を管排水路にした構造である（図-15.5）。管排水路の上部は、耕作道路として利用でき、農作業の効率化が期待できる。問題としては、計画基準雨量以上の降雨があった場合、排水能力が足りなくなり、排水不能となった表面水が畦畔を越流し支線排水路まで流れる間に耕区の畦畔や作土を流亡させ、災害を起こす可能性などがあることである。

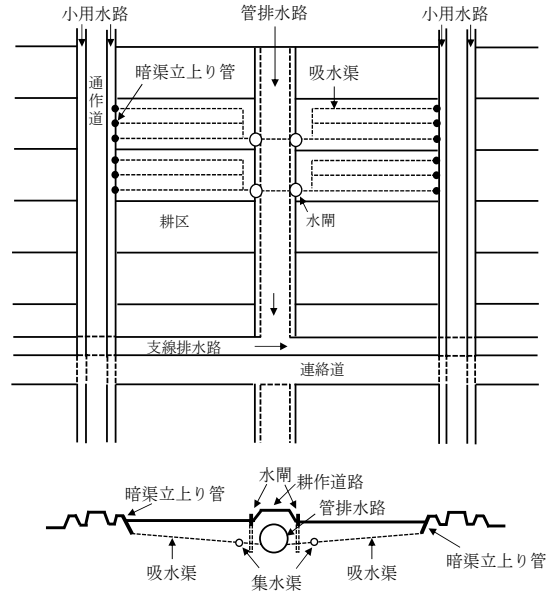


図-15.5 暗渠末端を管排水路に接続し
E方式 支線排水路の水位が低い場合
(耕区単位調節)

⑥ F方式は、D方式の排水路を管排水路にした構造である（図-15.6）。特徴は、D方式及びE方式と同じ機能を持つことである。

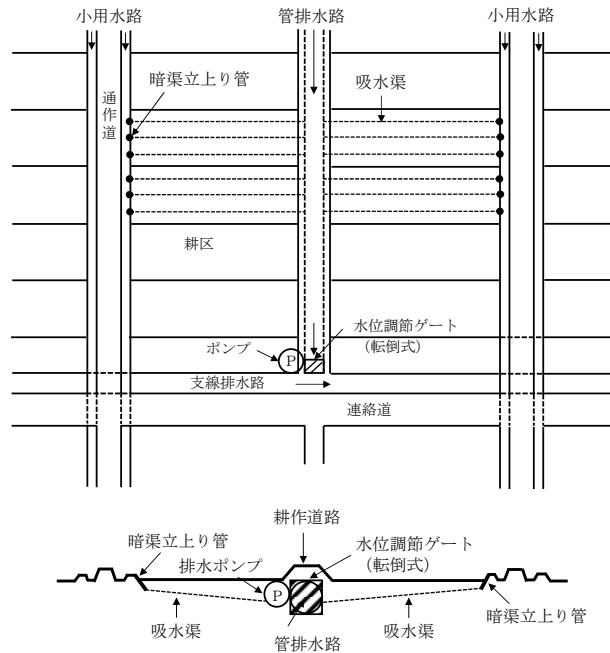


図-15.6 管排水路末端に水位調節ゲートと
F方式 ポンプを設置する場合
(農区単位調節)

⑦ G方式は、A方式の水閘の設置箇所に集水槽を、そこへ小型の水中ポンプを設置し、強制排水を可能とした構造である（図-15.7）。この方式は、耕区単位に地下水水位を制御できるということに特徴があり、年間を通じて耕区ごとに湛水作物と非湛水作物を同時に栽培しようとする地域に適用できる方式である。特に施設作物の栽培が多い地域での利用が効果的である。また、ポンプを用水の供給にも利用できるため、用水不足と排水不良の両方が時期的に存在する地域において、ポンプと吸水渠を利用して地下かんがい及び循環かんがい施設としての利用が可能である。

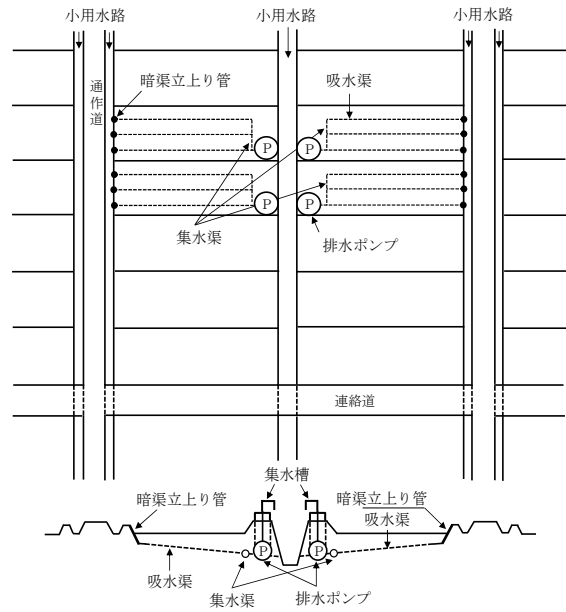


図-15.7 小排水路の水位が常に高い場合
G方式（水閘設置場所に集水槽とポンプを設置し
耕区単位に調節し集水渠を内部に設置）

⑧ H方式は、G方式の集水渠の配置を排水路内に設置した方式である（図-15.8）。特徴として、集水渠の配置が排水路内にあるため、集水渠の配置換えを工事後に容易に行えることから、強制排水を行う範囲の変更を行うことも可能である。また、吸水渠を増設した場合にも集水渠への連結を容易に行うことができる。

しかしながら、排水路内に集水渠を設置するため、排水の通水能力が阻害される等の短所を有し、コンクリート柵渠などで排水路がライニングされている場合に適用ができる。

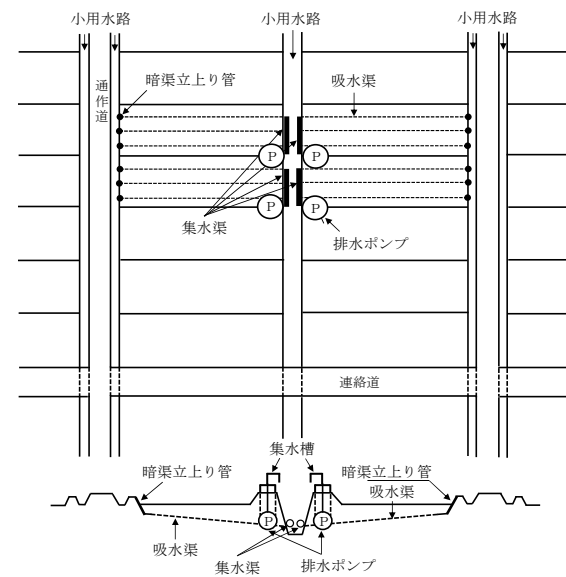


図-15.8 小排水路の水位が常に高い場合
H方式（水閘設置場所に集水槽とポンプを設置し
耕区単位に調節し集水渠を外部に設置）

16. 大区画水田における暗渠排水組織

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

担い手等の農作業の負担軽減・安全確保や、営農形態の変化に対応した水利用の高度化を図るため、大区画化等に伴う施設の合理化に加え、地下かんがいの導入等が進んでいる。

水田の大区画化に伴い、環境条件によって暗渠排水組織を検討することになるが、主に図-16.1のような暗渠排水組織で計画をされている。

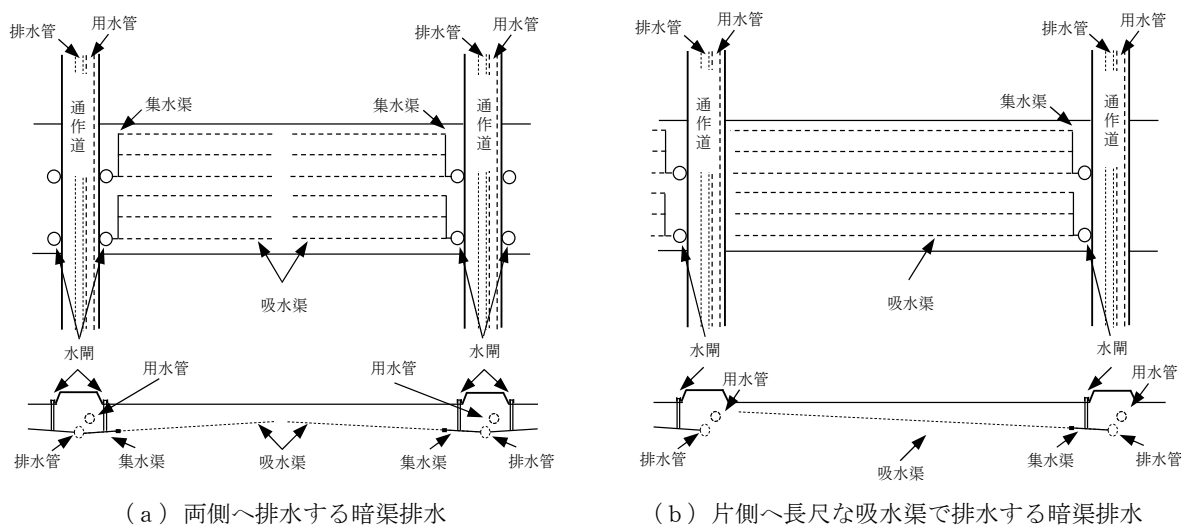


図-16.1 主な大区画水田の暗渠排水組織

図-16.2の事例のように、ほ場間にある小排水路を通作道下に管路化を行い、両側排水することで吸水渠の延長が短くなり、トラクタ等の機械作業時に障害となる水閘、地表排水口等を整理統合することが可能である。また、管路化により地上部が水田あるいは道路に利用でき、ほ場整備により敷地の有効活用が図られる。さらに、暗渠排水組織と組み合わせる地下かんがい給水路として利用することも可能である。

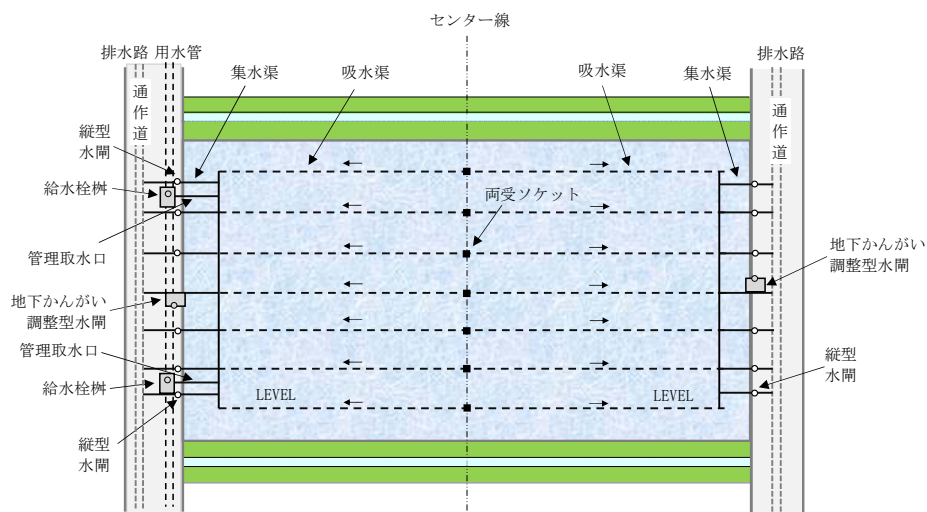


図-16.2 両側へ排水する暗渠排水組織（事例）

図-16.3 の事例の場合は、大区画化に伴い管の延長が長くなることで、不陸や管の閉塞等が起こりやすくなることも考慮して、より大きな管径を必要とする場合もあることから、経済性も含め検討する必要がある。

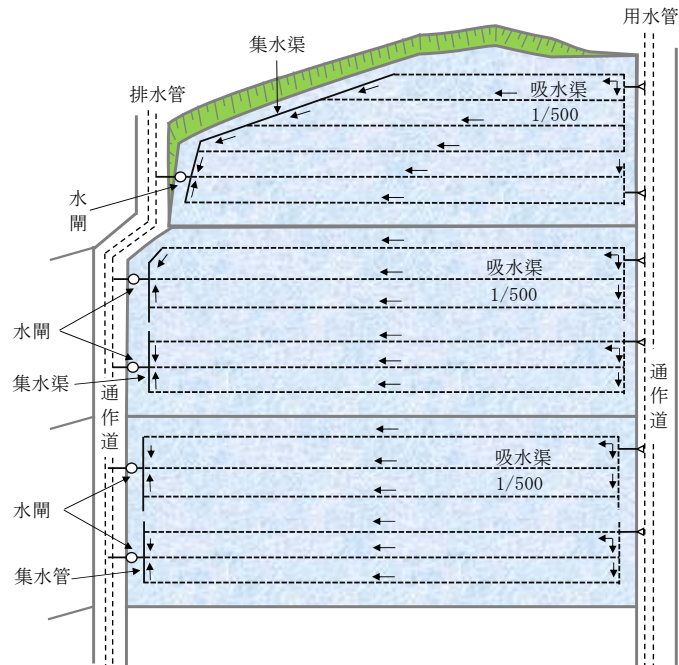


図-16.3 片側へ長尺な吸水渠で排水する暗渠排水組織（事例）

17. 暗渠の配置と関連事項

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

17.1 畑地での考え方

畑地の暗渠排水は、地形勾配によって、その方向や配置を決める必要がある。波状地形の場合はあらかじめ集水渠の渠線と勾配を確保できるように集水渠を決定し、これに適合するように吸水渠を配置する。接続に不都合の生じる場合は、集水渠の配置を一部変更するか、又は支線集水渠を設けて接続の円滑化を図る。

17.2 地表排水との関連

地表水の排除においては、地表排水と地下排水と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。

17.3 捕水渠

地区外からの浸入水を遮断するため、必要に応じて図-17.1のように捕水渠を設ける。

浸入水は地表水が量的にも多いので、捕水渠は明渠とすることが多い。捕水渠は捕水のための目的で設ける場合もあるが、ほ場整備事業の中で実施する場合には、用水路、排水路又は道路側溝等に捕水渠の機能を兼ねさせることが有効である。透水性の地層が地区外から連続しており、この層から地下水が流入していると考えられる場合も、開削が可能であれば捕水渠は明渠とする。

捕水渠を暗渠とする場合は、管の通水断面、被覆断面とも余裕をもって定める必要がある。この場合下流側（地区側）にビニルフィルムなどによる遮断壁を設けると効果がある。

なお、捕水暗渠は直接明渠排水路に接続することを原則とする。

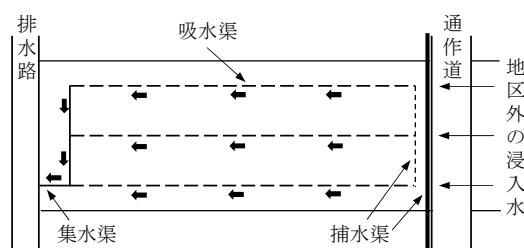


図-17.1 捕水渠、吸水渠、集水渠の配置例

17.4 吸水渠

吸水渠は、道路又は用水路と交差することは、なるべく避ける。集水渠もできるだけ交差を避ける配置とする。暗渠が道路又は用水路を横断する部分は無孔管を鞘管で覆うなどして強固な構造とし、横断の前後、少なくとも一方（原則として下流側）にマンホールを設ける。

吸水渠は用水路や浅い排水路から不必要な透水を受けないよう配置には注意を払う必要がある。また、排水路の排水効果の及ぶ範囲と重複しない配置とする。

17.5 補充工事

ほ場内には地形や土層の状態により、特殊な排水不良箇所を生じていることがある。踏査に

より発見され、又は予測される特異部分については、これを考慮して暗渠（吸水渠）の配置を行うが、工事後に発見された排水不良箇所については補充工事を行って処理する。このため、暗渠は補充工事として吸水渠への接合が可能な構造としておくとともに、埋設標識などにより設置位置を見つけやすいようにしておくことが必要である。

18. 暗渠を利用した地下かんがい

(基準書 第3章 3.3.1、3.3.4 関連)

暗渠排水施設は、地表の残留水及び土壌中の重力水を排除するために施工されるものであるが、かんがい期には水を暗渠管から給水し、かんがいのために利用することもできる。このように、既設の暗渠排水施設を利用して、地下水位を上昇させることにより作土層に給水したり、地下水面上の土層に毛管上昇作用により、水分を供給することを地下かんがいと呼ぶ。

(1) 地下かんがいの特徴と目的

ア. 地表かんがいと併用することで、均一なかん水が可能となるが、特に大区画水田の場合では、より速やかに均一なかん水が可能となる。

イ. 地下水位制御機能がある場合の特徴は次のとおりである。

(ア) 水稲の乾田直播栽培（畑状態の田に種子をまき、苗立ちした後にかん水する栽培方式）や大豆、野菜等の栽培において、播種後に地下かんがいをを用いて土壌水分を調整し、ほ場全体の乾湿状態を一様とすることで、発芽、苗立ちが安定化・均一化する。

また、乾田直播栽培や無代かき移植栽培では、均平作業にレーザーレベラーが利用され、一般的には代かきが行われないことから、代かきに伴う濁水の発生がなく、作土や肥料の流出も抑制されるため、水田地帯の水質環境への負荷が軽減される。また、水田の畑利用時は下層土における土壌の団粒構造や亀裂等が維持できるため、生育、収量の向上が期待できる。

(イ) 中干し期に地下水位を一定に保つことにより水田全面の乾燥のむらがなく、一様に乾燥させることが可能となる。

(ウ) 生育ステージに応じた、一定の地下水位を容易に調整・維持できるため、水管理の省力化が可能となる。

(エ) 水田の畑利用において、暗渠排水による湿害の防止に加えて、地下かんがい機能による干ばつの回避により生産性が高位安定化する。

ウ. 播種後あるいは定植後には、水口部で起こりやすい種子や苗の流亡及び冷水被害による減収を回避できる。また、地表かんがい時に水を介して起こりやすい疫病や苗立枯病、炭疽病等の病害発生リスクを回避できる。

エ. 暗渠排水組織をかんがいにも利用することで施設の有効利用が図られる。また、地下かんがい機能は暗渠管内の洗浄（29. 暗渠（吸水渠、集水渠）の維持管理及び機能回復を参照）にも活用でき、暗渠の長寿命化を図ることができる。

(2) 地下かんがいの分類

用水路と暗渠排水組織を統合し、用水を地下からかんがいする用水利用型又は用水利用型（地下水位制御型）の方式と、排水路を利用する排水利用型の方式がある。

ア. 用水利用型

水閘を閉め給水量で調整する方式で、自然圧方式と圧送方式に区分される。（図-18.1）

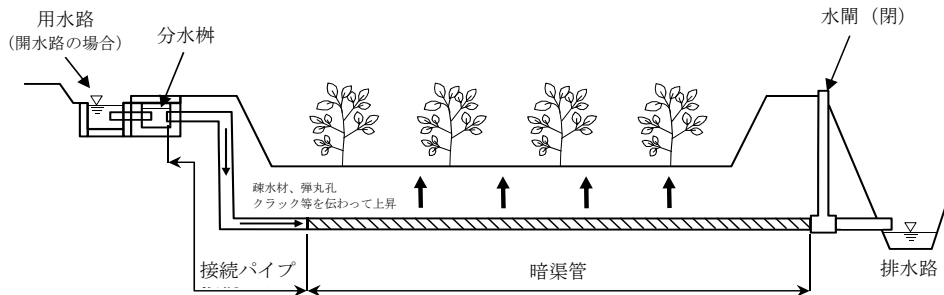


図-18.1 用水利用型

イ. 用水利用型（地下水位制御型）

水閘等に地下水位の調整機能を設けることで、ほ場内の地下水位を制御する。（図-18.2）

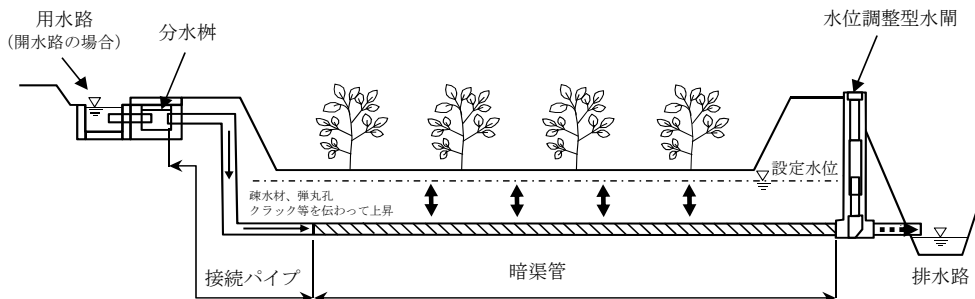


図-18.2 用水利用型（地下水位制御型）

ウ. 排水利用型

排水路の水位を堰き上げて、水位上昇による自然水圧で排水路から暗渠排水に下流から逆流させて、かんがいする。（図-18.3）

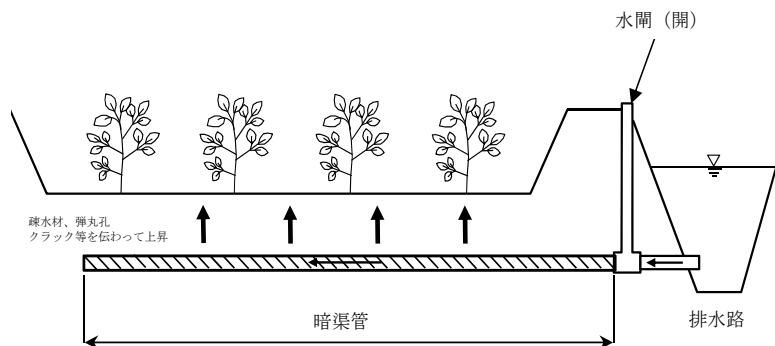


図-18.3 排水利用型

(3) 適地とその条件

地下かんがいの実施に当たっては、地下かんがいに効果的な地形や土壌、水理条件が求められるため、十分な調査を行い、適地を選定する必要がある。

また、地下かんがいでは、暗渠管から作土層に向かって水が上向きに円滑に移動することが重要である。一方、暗渠管下方向や畦畔を横切る横方向の過度な浸透は、円滑な地下かんがいを妨げることや、用水量増加の要因となることから注意が必要である。

ア. 地形条件

一般に、平坦な水田地帯では暗渠管下の浸透が、また、傾斜地の水田地帯では畦畔を横切って下部の水田へ至る浸透が、地下かんがいの効果や効率性に影響する主要な要因と考えられる。

特に、隣接ほ場との間に段差があると水の流出移動が生じることから、ほ場間の段差を少なくするとともに、ほ区単位で栽培する作物を団地化することが望ましい。ほ場間の段差や畦畔からの浸透が大きい場合は、遮水シートの活用や畦塗りなどの対策が効果的である。

イ. 土壌条件

地下かんがいは、敷設した暗渠管から作土層に水を供給するものであるから、暗渠管から土中に浸入した水が暗渠管より上方にある土層中に効率よく移動することが求められる。したがって、管より下方の土層は、上方の土層に比べ、透水性が低くなければならない。また、作土層の構造（特に間隙や亀裂）がよく発達しており、水の移動が容易であることが望ましい。

ウ. 水理条件

地下かんがいは、土壌条件で述べたように、暗渠管から効率的に作土層へかんがい水を移動させることが必要である。地下水位が極端に低い場合、地下かんがいの水は暗渠管より下方へ流出し、損失が多くなると考えられるので、ほ場の地下水位が高い方（地下水位が暗渠管の埋設位置付近、又はこれより高い等）が暗渠管下方への漏水の懸念は小さい。しかし、深根性の作物等は地下水位が高すぎると湿害を起こす場合があるので、作物ごとの適正な地下水位を考慮する必要がある。

また、地下水位が低くても暗渠管の下に難透水性の層がある等により、給水されたかんがい用水によって地下水位を容易に上昇させることが出来るならば、地下かんがいに有利な水理条件を有するといえる。

(4) 組織と配置

地下かんがいの実施に当たっては、必要とされる具体的な工事、施設の内容、その費用と経済性を検討しなければならない。

かん水効果から見れば、管は浅く埋設し配置を密にする方が良いが、排水効果と耐久性を考えると、暗渠管の深さは60cm程度、その間隔は7.5~10m程度とすることが望ましい。

また、地下かんがいのかん水効果を上げ、かんがいむらを少なくするためには、弾丸暗渠等の補助暗渠を配置した組合せ暗渠とし、これと管との連結を良好にすることが重要である。

組合せ暗渠を施工した場合の、地下かんがいにおける水の流れの概念図を図-18.4に示す。

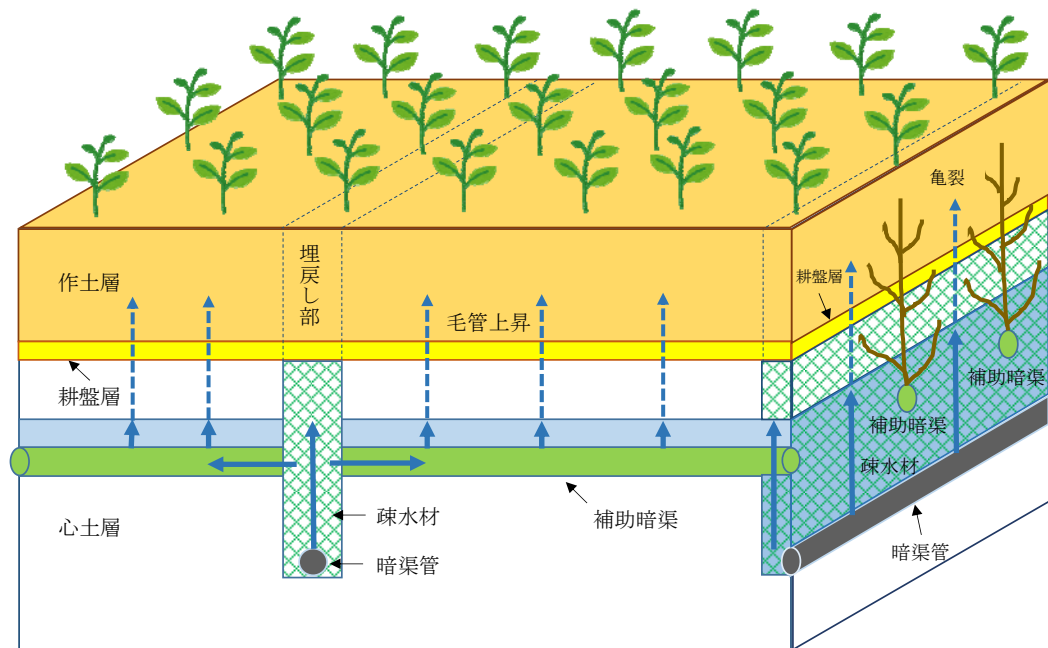


図-18.4 地下かんがいの水の流れの概念図

図-18.4に示すように、暗渠管から供給される水は、透水性の小さい心土層内を一様に広がって上方へ毛管上昇移動することは容易ではなく、大孔隙が多く透水性の大きい疎水材部を主に上昇移動する。この移動は、暗渠管の外水圧による正圧下の移動であり、自由水面（暗渠内を上下する水位面）の疎水材部内で上昇移動が見られる。この移動経路中において、疎水材部の側壁から亀裂が側方に伸長し、部分的に透水性の大きい土層が側壁に露出している場合は、その部分を通して、かんがい水は側方に浸入し心土層へ移動していく。

疎水材部内の自由水面が疎水材部と直交する補助暗渠に達した時、かんがい水はこの補助暗渠内に浸入する。補助暗渠から亀裂が作土層に伸長していれば、この亀裂内をかんがい水は上昇移動する。

この補助暗渠への移動と同時に、疎水材部を上昇したかんがい水は、疎水材部側壁（特に亀裂）から一様に周辺の土層内に浸入し、負圧下で移動する。こうした移動が作土層中で生じた時に、作土層への水の供給が達成される。この作土層中の水移動は毛管力による移動である。

(5) 地下かんがいシステムの事例

以下に、用水利用型（地下水位制御型）の事例を示す。

ア. 暗渠を利用した地下かんがい

(ア) 概要（図-18.5、18.6）

用水路と暗渠排水上流部を「管理孔柵」で接続することにより、用水を直接暗渠に注入し地下かんがいや暗渠内を清掃することに利用できる方式である。なお、地表かんがい用の柵は別に設けられる。また、暗渠管下流部には水位調整型水閘があり、水位調整及び暗渠管内の泥土等の排除も可能となる。

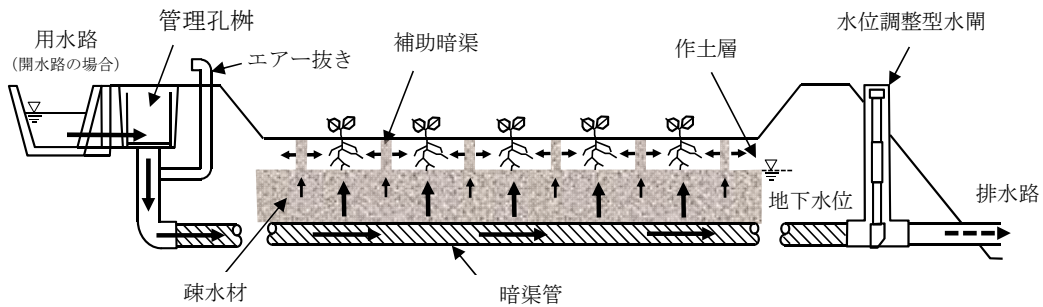


図-18.5 暗渠に管理孔柵を接続した地下かんがい事例（断面図）

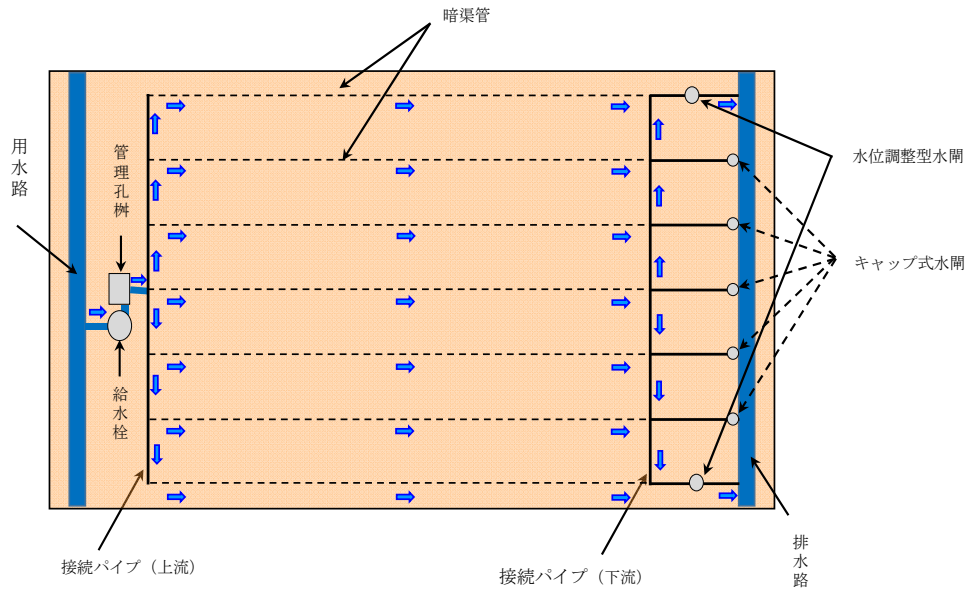


図-18.6 暗渠に管理孔柵を接続した地下かんがい事例（平面図）

(イ) 特徴

暗渠管下流部に水位調整型水閘を設置することにより、地下かんがいとして利用することができ暗渠内の泥土等の清掃・除去を容易に行うことができる。

この方式の導入効果を表-18.1 に示す。

表-18.1 暗渠に管理孔柵を接続した地下かんがいの導入効果

水稲作時	①代かき時や登熟時に、表面取水と併用して使用することで、適正な水分管理（均一化）と取水時間の短縮が可能。
	②適度な土壌水分を維持できることで、乾田直播が容易となる。
畑作時	①湿害と干ばつを回避でき、作物の高位安定生産が図られる。
	②茎葉が濡れないこと、土の飛散がないことによる病害発生リスクの回避。
	③排水性向上により農作業機械による管理作業の制約が少ない。
	④新たな散水かんがい施設が不要（低コスト）。
	⑤水が移動するための亀裂（水みち）の形成による排水性の向上。

イ. 主に地下水位の制御を目的とした地下かんがい

(ア) 概要 (図-18.7、18.8)

暗渠排水と地下かんがいを両立し、地下かんがい時の地下水位制御を可能とすることを特徴とするシステムである。地下水位を作物の生育状況に適した水位に制御し、田畑輪換が自在に行えることを主な目的とする。

用水路と暗渠管上流部を給水柵で接続することにより、用水を直接暗渠管に給水する方式である。

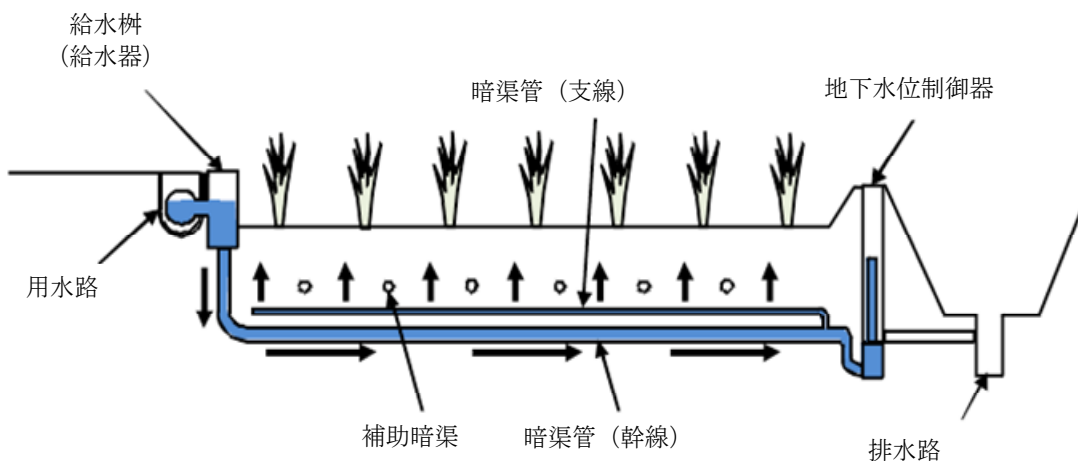


図-18.7 主に地下水位の制御を目的とした地下かんがい事例 (断面図)

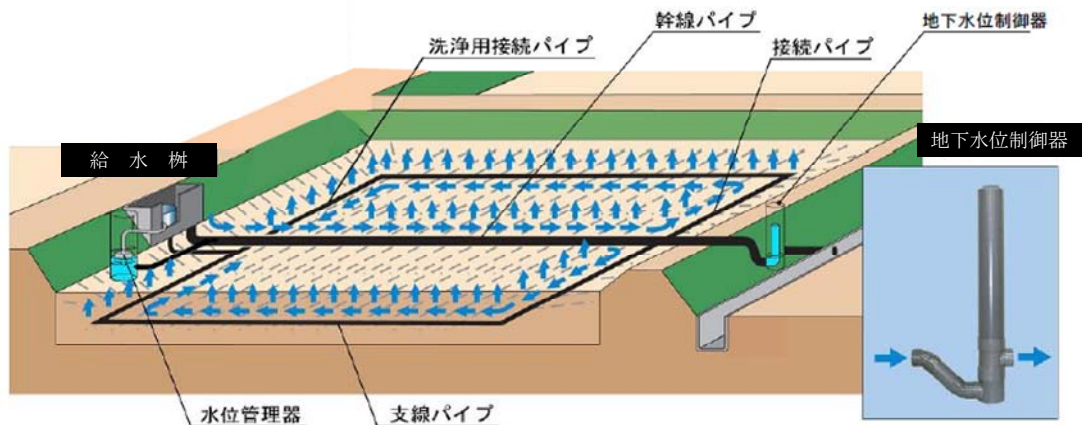


図-18.8 主に地下水位の制御を目的とした地下かんがい事例（模式図）

(イ) 特徴

本システムは、地下に埋設する管路網、給水柵及び地下水位制御器で構成される。

暗渠管は、中央に幹線パイプ、周囲に支線パイプが配置され、これらは上流部及び下流部で接続されている。幹線パイプの底部は深さ 60 cm で水平に配置され、支線パイプは幹線パイプより約 5 cm 高く水平に配置される。これにより、地下かんがい時の用水は幹線-支線の順に送られ、用水に含まれる泥土等は、主として直径の大きい幹線に沈澱することから、管路内清掃が容易にできる仕組みとなっている。補助暗渠は、地下かんがいの均一性向上のため配置するもので、深さ 40 cm（底部）の位置に 1m 間隔の配置が標準である。

地下水位の制御には、暗渠上流部にフロート式の水管理者を有する給水柵、下流部に上下に可動する内筒を有する地下水位制御器が使用される。上流部の給水器の管理水位と下流部の地下水位制御器内の筒の高さを調節して田面の高さより +20 cm（水稻作時）から -30 cm の間で任意の水位を設定することができ、この設定水位を下回れば自動的に給水し、上回れば水閘の設定水位を越えて自然に排水することができ、地下水位の自動制御が可能となっている。このとき、開水路や自然圧パイプライン地区における、給水バルブの位置は、対象田面標高に対し、25 cm 以上の有効動水頭を確保する必要がある。なお、上記の給水柵から直接田面に給水する地表かんがいにも対応可能である。

また、代かきや降雨後等に耕起や均平作業を行うと不透水層が形成され、機能が低下する懸念があるため注意が必要である。

この方式の導入効果を表-18.2 に示す。

表-18.2 主に地下水位の制御を目的とした地下かんがいの導入効果

水 稲 作 時	①地下水位を一定に維持することで、適度な土壌水分を保ち、無代かき移植や乾田直播が容易となる。
	②中干し期の落水時、田面下20cm程度に水位を維持することで水田全体が均一に乾く。
	③中干し後に田面下10cm程度で水位を維持することで、田面に水がなくとも根に酸素を供給しながら、生育に必要な水を供給することが可能。
	④一定の湛水深を維持できるため、水管理の省力化が可能。
畑 作 時	①生育状況に応じた適切な水分管理により、湿害と干ばつを回避でき、作物の高位安定生産が図られる。
	②密な補助暗渠施工による高い排水性により、適期の農作業が容易となる。
	③モミガラ等の有機質の暗渠疎水材は常時浸水することで腐植が進みにくくなり、耐用年数が長くなる。
	④地表かんがいによって生じる病害（疫病や苗立枯病、炭疽病等）発生リスクを回避。

ウ. 現況暗渠に自然圧による給・排水管理システムを接続した地下かんがい

ほ場整備における小用排水路を管路化し、用水路を制水弁に接続するとともに、排水路を用水側に設置する。排水路は、制水弁からの分岐管と水位調節器を介して接続する。制水弁と水位調節器を一体化したユニットに収納することにより、用水と排水の操作を同じ場所で管理することができ水管理を合理化するシステムである。加えて、ユニットから暗渠管に接続することで、地下かんがいが可能となる（図-18.9）。

また、作物に応じて水位調節器の水位を設定することにより、かんがい時の余水がこの設定水位を超えれば自然に排水される。

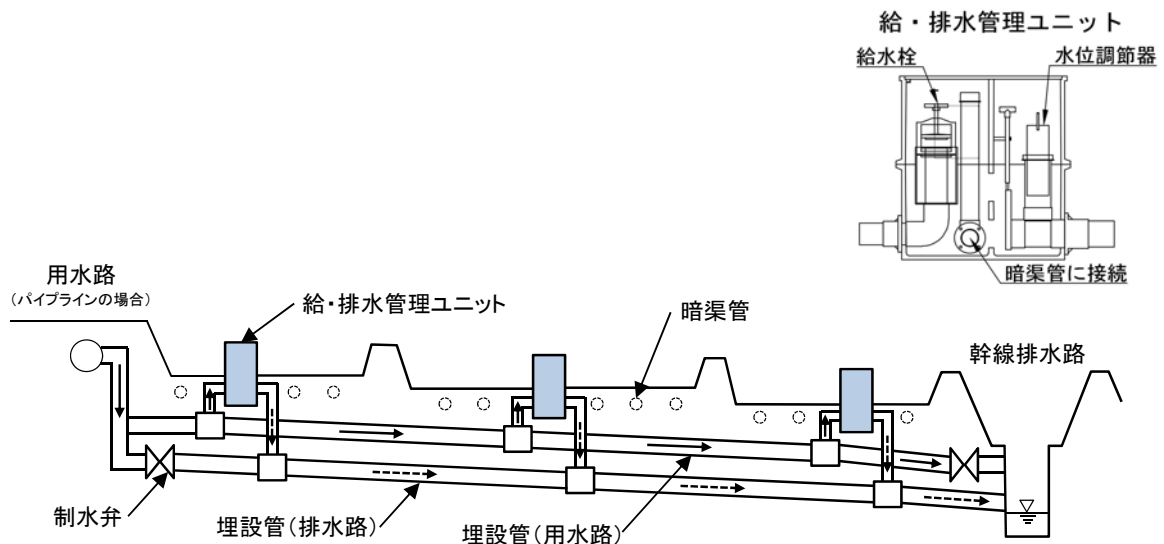


図-18.9 現況暗渠に自然圧による給・排水管理システムを接続した地下かんがい事例（断面図）

なお、用水の管路化については、円滑な給水を行うために、各筆の給・排水管理ユニットへの分岐位置において対象田面標高に対し、20 cm以上の有効動水頭を確保することが必要となる。（図-18.10）

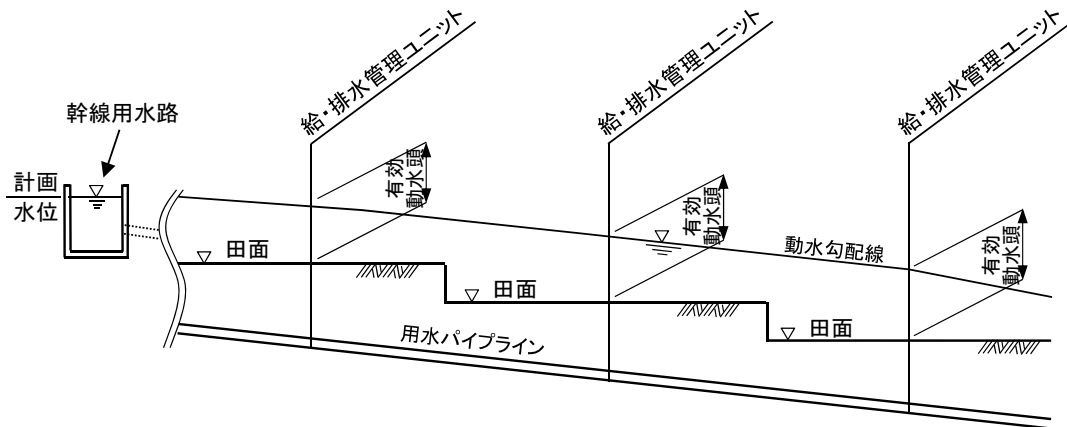


図-18.10 用水管路の水利縦断面図

(6) 留意事項

ア. 地下かんがいをより効果的に行うためには、排水路の水位管理や水閘操作の徹底等が重要となる。さらに、暗渠管の通水機能を十分に発揮するためには、農家や水管理組織の維持管理に対する関心を高める必要がある。

また、用水管を既設の暗渠管に接続する場合、既設の水閘の止水機能が維持されていないと適切な水位上昇を得られないことから、あらかじめ水閘の機能が発揮できる状態か確認しておく必要がある。

なお、暗渠管に直接用水を導入すると、暗渠管内に土粒子等が堆積し通水機能が低下する場合がありますことに留意する必要があります。そのため、利用する用水（又は排水）の水質状況から、土粒子の堆積が懸念される場合は、暗渠管を定期的に清掃することが望ましく、水閘の操作で容易に掃流ができる等、暗渠管を洗浄できる方式の導入も検討する必要があります。

イ. 地下かんがいは土中の水分移動に頼るものでありその速度は非常に遅い。よって暗渠管や補助暗渠に沿った水平方向の水移動が一樣でなければ、地表からのかんがいに比べて移動速度は著しく遅く、作土層の水分量が不均一な分布となる懸念がある。このため、ほ場の各部分にかんがい用水が速やかに到達するためには、給水のための本暗渠又は補助暗渠がほ場内に合理的に配置され機能することが重要である。

なお、地下水位を制御し、疎水材よりも高く一定に保つ場合は、モミガラ等の有機質疎水材の腐植が進みにくくなるが、補助暗渠については本暗渠に比べ耐用年数が短く、代かき等でその機能が急激に低下することがあるため、畑作物への切り替え時に通水機能の状況を確認し、機能低下が認められる場合は、弾丸暗渠や心土破碎等の補助暗渠を再施工することが望ましい。

ウ. 地下かんがいを採用して乾田直播栽培を行う場合、初期用水の利用期間においては、播種の終わったすべてのほ場が、乾湿状態を調整するため用水を利用することもある。そのため、用水利用の集中が懸念されることから、初期用水の利用時の用水計画において、供給可能量を確認し、移植栽培と乾田直播栽培の導入割合等について留意する必要がある。

エ. 窒素分を多く含む土壌において、出穂期から登熟期にかけて、地下かんがいにより地下水位を上下させることで、水稻の窒素吸収が抑制され食味が向上する効果が一部で確認されている。

この水管理手法の場合、計画用水量を超える用水が必要になる場合があるので、事前に用水計画への影響を検討する必要がある。

オ．地下かんがいは同時に暗渠排水でもあるので、排水機能の確保に努めなければならない。

必要以上の降雨量があった場合は、地表排水と併用して、暗渠管より局部的地表滞水や土壌中の余剰水を排除できるように、水閘等を開き地下水位を下げる必要がある。このため、低平地水田地帯では排水路の水位管理にも注意する必要がある。

カ．地下水位制御機能を備えた地下かんがいが機能を十分に発揮するためには、受益農家が地下水位制御のシステムについて理解していることが重要であり、有効に活用されるとともに適切に管理されるよう営農指導等による普及啓発が重要である。

参考文献

-
- 農林水産省農村振興局監修：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備（水田）」（2013）
 - 北海道農政部：集中管理孔を利用した地下かんがいの手引き（2008）
 - 藤森新作・原口暢朗・北川巖・若杉晃介・瑞慶村知佳：地下水位制御システム(FOEAS)調査・設計・施工マニュアル改訂版（2011）

19. 暗渠溝の構造と機能

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

19.1 暗渠溝

地表残留水及び過剰な土壌中の重力水を排除するには、吸水管を埋設している暗渠溝（鉛直方向）の通水機能が最も重要で、**図-19.1** に示すように、透水性の良好な疎水材で充填することが必要である。なお、疎水材は、入手の容易さ等の地域の実情等を踏まえ選定する。暗渠溝は一般的に一層構造で施工されているが、地域によっては、二層構造とすることで、埋戻し部の圧縮沈下と表土層厚さの増加を防止して表土層内底部の経年的な耕盤化をできるだけ回避し、暗渠溝における鉛直下向きの排水の流れが維持されるよう暗渠溝幅や深さを工夫して施工している事例もある¹⁾。

疎水材の圧縮・沈下と代かきによる耕盤層の形成が暗渠溝の（特に上部で）通水機能を阻害するため、この問題をどのように解決するかが重要な課題であり、暗渠溝の断面確保と投入量には十分留意する。

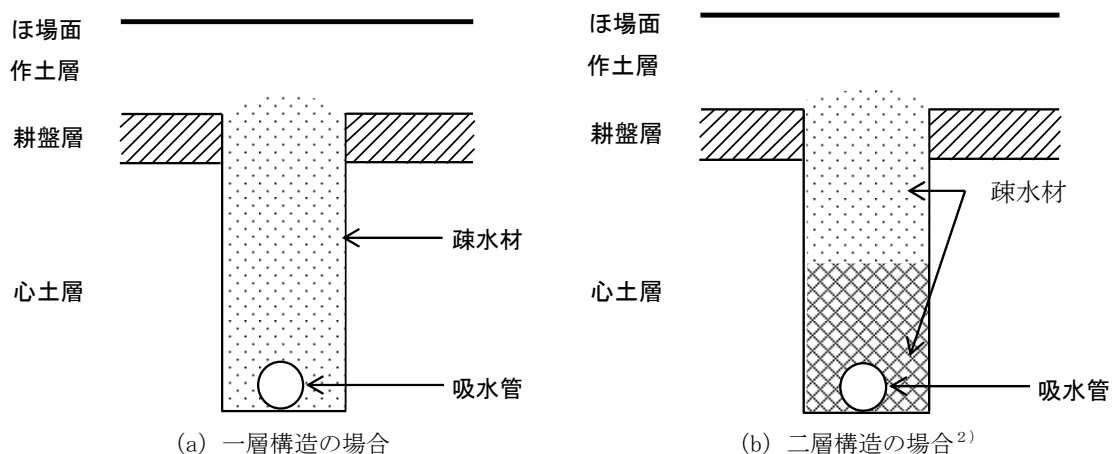


図-19.1 暗渠溝の構造

19.2 暗渠溝の幅

暗渠溝は表層や作土層から暗渠溝へ流下する排水量を速やかに吸水管へ通水するために十分な断面（幅）を持っていなければならない。排水量は、吸水管の単位長さ当たり「計画暗渠排水量×暗渠間隔」で与えられることから、暗渠溝の幅は、

$$\text{暗渠溝の幅} > \frac{\text{計画暗渠排水量} \times \text{暗渠間隔}}{\text{疎水材の透水係数}} \dots\dots\dots (19.1)$$

の条件を満たしていなければならない。例えば計画暗渠排水量を 50 mm/day、暗渠間隔を 10m とし、疎水材の透水係数を 1×10^{-2} cm/s とすると、**式(19.1)** から暗渠溝の幅は 5 cm 以上必要となる。

暗渠溝の幅はトレンチ掘削の場合は 15~20 cm、バックホウ掘削の場合は 30~40 cm 程度であるから上の条件は満たされる。ただし、疎水材の投入不足や疎水材部の断面収縮、耕盤層の形成によって暗渠溝の透水性が低下すると排水機能は低下することとなる。

19.3 暗渠溝の深さ

暗渠の深さは、平均 70 cm（暗渠の長さ 100m の場合、上流端 60 cm、下流端 80 cm、勾配 1/500）が最も普及しているが、暗渠溝を通じて、地表残留水及び土壌の重力水の大部分が排除されるという考え方から暗渠の深さを浅くする事例もある。

19.4 従来型開削式暗渠技術

従来から一般的に使用されている暗渠排水用の施工機械としては、トレンチャとバックホウがある（写真-19.1、19.2）。これらは開削式で施工手順は、掘削、管敷設、疎水材投入、埋め戻し、残土処理、石礫除去である。



写真-19.1 トレンチャ工法の施工状況



写真-19.2 バックホウ工法の施工状況

(1) トレンチャ工法

歩行式も存在するが、近年は乗用式が一般的である。掘削から疎水材投入までを一工程で行えるものや掘削深さをレーザー管理するものが普及している。

掘削幅は 15~20cm で断面は長方形、掘削深は浅埋設といわれる 50cm 程度から 140cm まで可能である（図-19.2）。ある程度堅い土質でも使用可能であるが、石礫や埋木が混在するような場合には適さない。

一方、軟弱な地盤には履帯幅が広く接地圧の小さいタイプがあり対応可能である。疎水材はモミガラ、木材チップ、貝殻、碎石等が選択可能である。

(2) バックホウ工法

掘削幅は専用ショベルを使用した場合で底幅が 20cm、断面は逆台形となる。渠溝底の仕上げに人力作業を要するなど能率は良くないが、石礫や埋木が混在するような場合や複雑な地形、側圧を受け法面が崩壊するような軟弱地盤等に適している。疎水材はモミガラ、木材チップ、貝殻、碎石等が選択可能である。

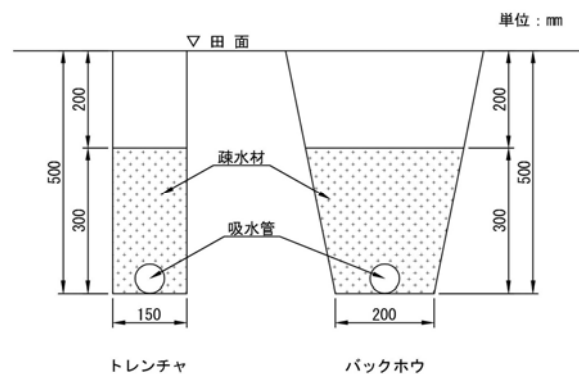


図-19.2 トレンチャ工法とバックホウ工法の断面例

19.5 浅埋設暗渠技術の事例

暗渠の深さを浅くする場合として、排水路が浅い等の現地条件により、深さ（水田：50～60 cm、畑利用：60～80 cm）、勾配（1/100～1/1,000）を満足する暗渠を敷設できない水田も存在する。このような現地条件に対応するため、深さ 50 cm程度（無勾配含む）の暗渠、いわゆる浅埋設暗渠技術が近年各種開発されている。なお、本工法は従来型暗渠の施工も可能である。

浅埋設暗渠の施工に対応した技術として、以下のような工法がある。

(1) 開削式暗渠工法

暗渠管を敷設する深さまでの土層を最小限掘削し、掘削断面内にポリエチレン製等の吸水管を連続的に敷設するとともに、疎水材を投入するまでの作業を一工程で行い、その後、掘削土の処理（埋め戻し等）を行うものである。トレンチャ掘削と疎水材投入を一体化した工法である。管の埋設深（管底まで）は 50cm 程度で水平施工である。他の浅埋設暗渠工法と異なり掘削土を生じるが、硬い土でも施工可能であるなど、土質の制約を受けにくい利点がある。作業機を牽引するトラクタの履帯は湿地タイプであり軟弱地盤にも対応できる（図-19.3）。

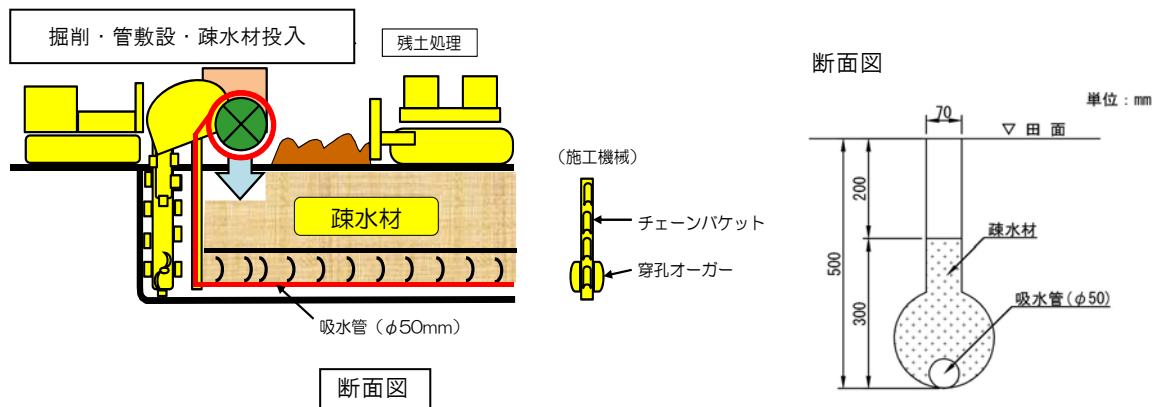


図-19.3 開削式暗渠工法の概要

(2) 非開削式暗渠工法（タイプ I ・トラクタ仕様）

削孔用切り刃とポリエチレン製管（巻物）自動敷設機、疎水材投入機を取り付けたトラクタで牽引し、削孔・管敷設・疎水材投入までを一度に行う工法である。硬い土壌の場合はサブソイラによる先行掘り起こしが必要である。

削孔幅は 10cm で断面は長方形、削孔後は弾性回復で 6cm、疎水材はモミガラ、木材チップ、貝殻、砕石等が選択可能である。

削孔深はレーザー機器によって自動的に制御される。牽引トラクタ（牽引ブルドーザ）は履帯の選択により、軟弱地盤にも対応可能である（図-19.4）。

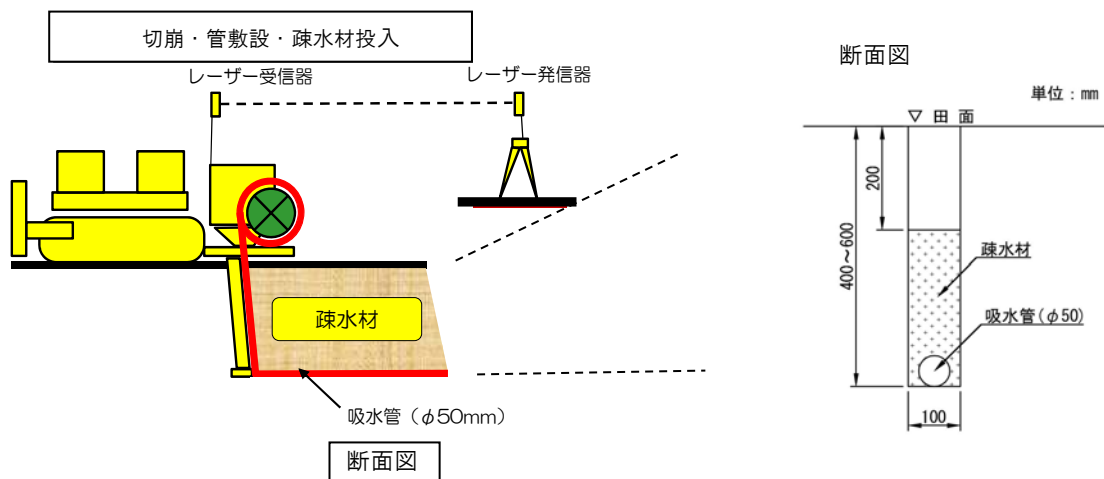


図-19.4 非開削式暗渠工法（タイプ I ・トラクタ仕様）の概要

(3) 非開削式暗渠工法 (タイプII・ブルドーザ仕様)

削孔用切り刃とポリエチレン製管 (巻物) 自動敷設機、疎水材投入機の機能を一体化した装置をブルドーザで牽引し、削孔・管敷設・疎水材投入までを一度に行う工法である。硬い土壌の場合は、アーム式ガイド掘削機で、あらかじめ田面を所定の深さに切り裂き、施工ラインとする。これにより、下層土に石が混じっている場合や硬い土壌の場合でも施工可能である。削孔幅は9cmで断面は長方形、削孔後は弾性回復で6cm、埋め戻しの必要はない。疎水材はモミガラ、木材チップ、貝殻、砕石等が選択可能で、二層構造 (モミガラ+採石等) も一工程でできる。

削孔深はレーザー機器によって自動的に制御される。ブルドーザの履帯は湿地仕様で軟弱地盤にも対応する (図-19.5)。

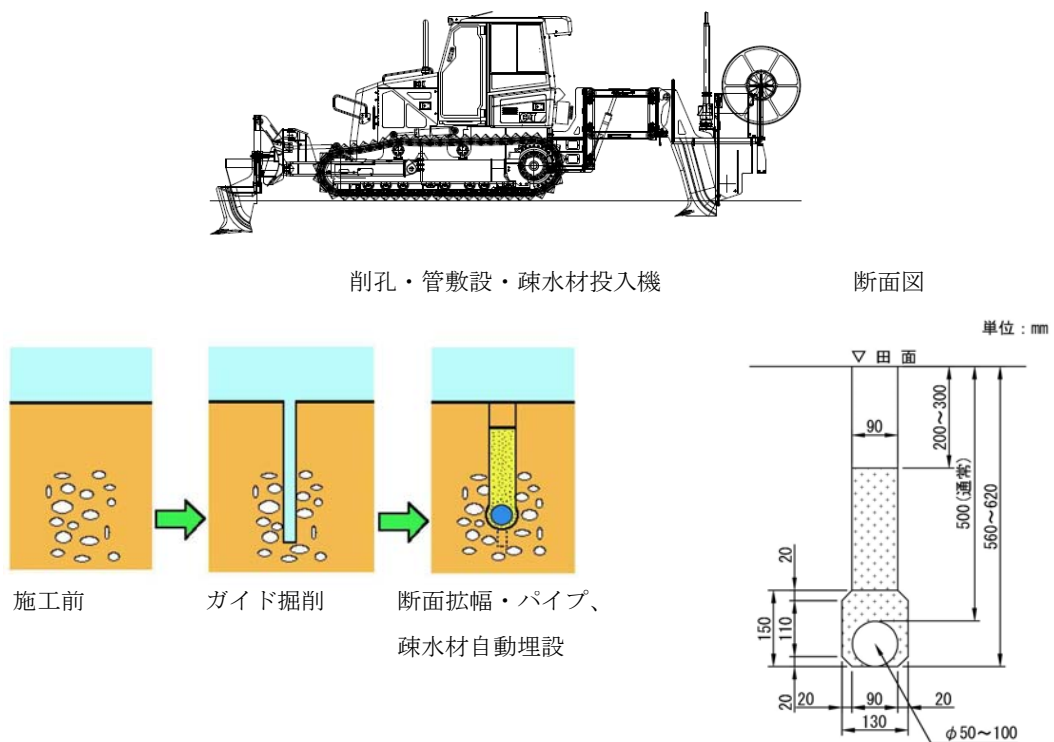


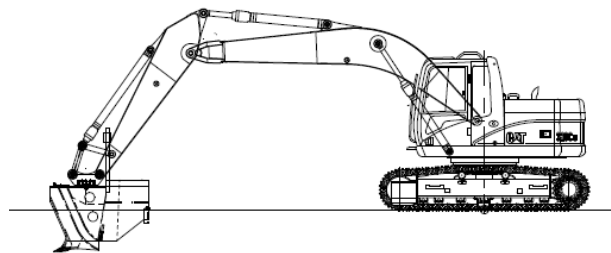
図-19.5 非開削式暗渠工法 (タイプII・ブルドーザ仕様) の概要

(4) 非開削式暗渠工法（タイプⅢ・バックホウ仕様）

削孔用切り刃とポリエチレン製管（巻物）自動敷設機、疎水材投入機の機能を一体化した装置を12t級のバックホウのアームに取り付け、予めガイド掘削を行った後、削孔・管敷設・疎水材投入までを一度に行う工法である。

削孔幅は9cmで断面は長方形、削孔後は弾性回復で6cm、埋め戻しの必要はない。疎水材はモミガラ、木材チップ、貝殻、砕石等が選択可能で、二層構造（モミガラ+砕石等）も一工程でできる。

削孔深はレーザー機器によって自動的に制御される。下層土に石が混じっている場合や硬い土壌の場合でも施工が可能である。（図-19.6）。



暗渠管敷設及び疎水材投入機

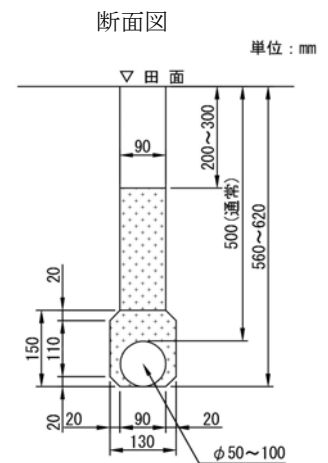
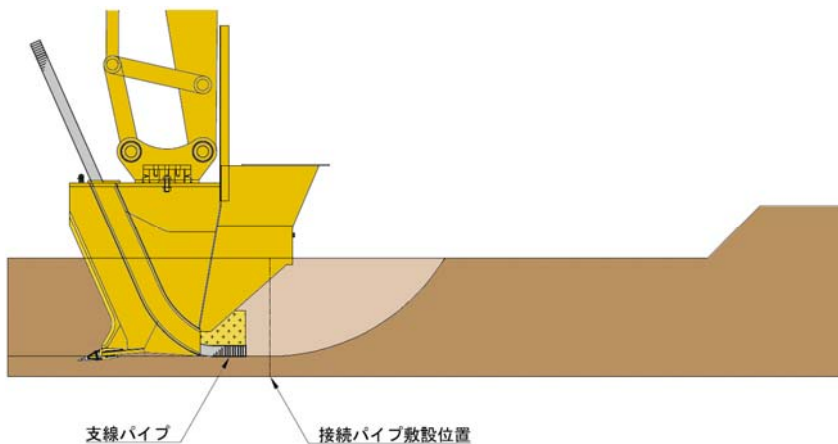


図-19.6 非開削式暗渠工法（タイプⅢ・バックホウ仕様）の概要

(5) 非開削式暗渠工法（タイプⅣ・クローラー型専用機）

削孔用切り刃とポリエチレン製管（巻物）自動敷設機、疎水材投入機を取り付けたクローラー型専用機で、削孔・管敷設・疎水材投入までを一度に行う工法である。硬い土壌の場合はリッパドーザによる先行掘り起こしが必要である。

削孔幅は最大径 13cm で断面は長方形と弾丸を組み合わせたフラスコ型、削孔後は弾性回復で 5cm、疎水材はモミガラ、木材チップ、貝殻、砕石が選択可能である。

削孔深はレーザー機器によって自動的に制御される。専用機の履帯はゴムであり、アスファルト舗装を走行可能である（図-19.7）。

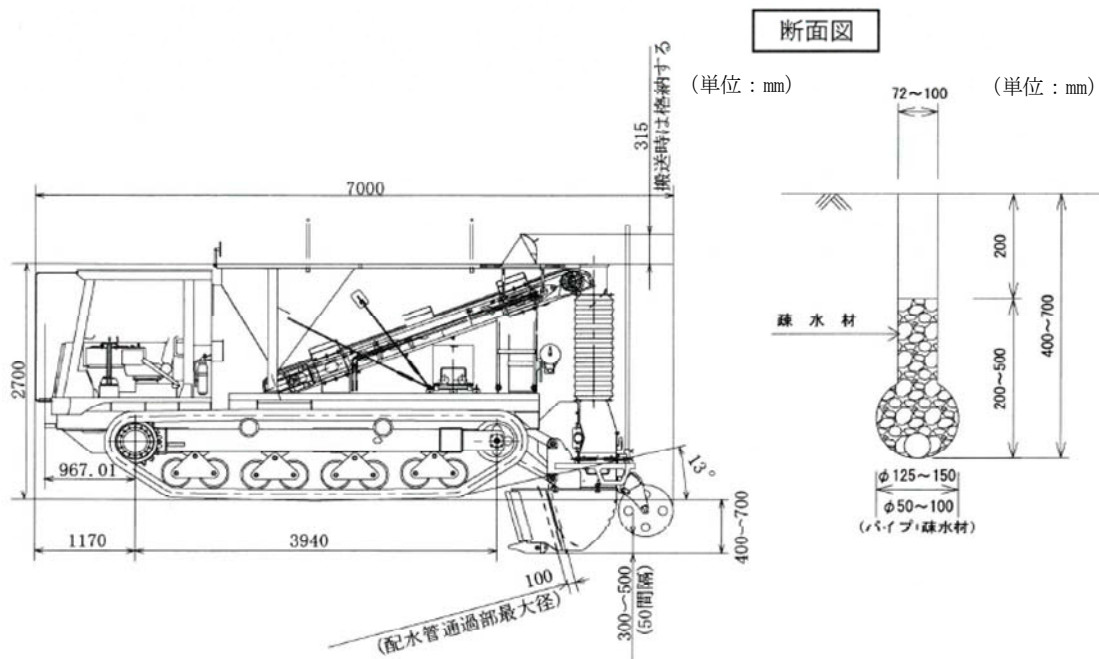


図-19.7 非開削式暗渠工法（タイプⅣ・クローラー型専用機）の概要

(6) 浅層引込式暗渠工法

弾丸暗渠施工に用いられる弾丸の後方にポリエチレン製のシートを接続し、これをブルドーザ等で牽引する際、シートを土中に引き込み中空の筒状に成形する工法である。管の埋設深さ（管底まで）は 50 cm 程度で水平施工である。また、他の工法に対し掘削が極めて少なく、疎水材を用いない（図-19.8）。

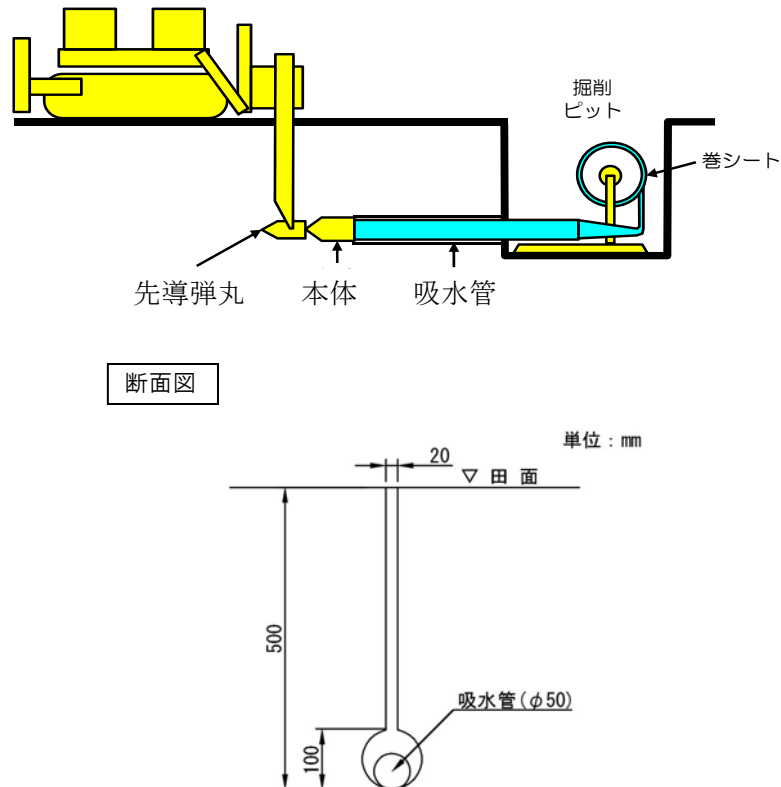


図-19.8 浅層引込式暗渠工法の概要

引用文献

- 1) 村島和男・山下悟志・家元雅夫・前川久義・山岸清二：石川県における暗渠排水工標準断面の改定について、農業土木学会誌 71-9、pp37～41（2003）
- 2) 村島和男・荻野芳彦：汎用化水田の暗渠排水の機能とその維持管理、農業土木学会誌 60(1)、pp13～18（1992）

参考文献

- 農林水産省農村振興局監修：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備（水田）」（2013）
- 藤森新作・原口暢朗・北川巖・若杉晃介・瑞慶村知佳：地下水位制御システム(FOEAS)調査・設計・施工マニュアル改訂版（2011）
- 社団法人畑地農業振興会：暗渠排水の設計と施工、pp148～161（1982）

20. 暗渠資材の種類及び選定

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

20.1 暗渠排水吸水管

暗渠排水吸水管の種類は表-20.1 に示すとおりであり、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。

- | | |
|--------------------|-------------|
| ① 耐圧力及び曲げ強度（物理的強度） | ⑥ 施工方法 |
| ② 耐蝕性（化学的強度） | ⑦ 気象条件 |
| ③ 土壌の種類 | ⑧ 資材入手の市場調査 |
| ④ 不等沈下の有無 | ⑨ 経済性 |
| ⑤ 暗渠排水組織計画 | ⑩ 工期 |

表-20.1 代表的な暗渠排水吸水管の種類

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。
ポリエチレン ストレート管 (合成樹脂管) 	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。
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素焼土管に比べ軽量。 ②低温に弱い。
素焼土管 	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

20.2 疎水材

吸水管の周りに敷設する疎水材は、吸水渠の断面を大きくすることにより吸水渠外周部の通水性を良好にし、暗渠排水の排水機能を高めるのに重要な役割を果たしている。また、吸水管のフィルタ的役割を兼ね、管内への土砂の流入を防止するとともに、施工時の管の安定を良くし、配列を容易にすることも効果として考えられる。

疎水材としての適合条件としては、

- ① 透水性が良いこと
- ② 安価であること
- ③ 透水性が持続するよう耐久性があること
- ④ 運搬など取り扱いが容易であること

などがある。

一般には現場で短期間に大量に使用することになるため、現場付近で比較的容易に必要な量を入手できることが材料を選定する際の大きな要件となる。

表-20.2 に、各種疎水材の特徴を掲げる。

表-20.2 各種疎水材の特徴

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。地域によってはスギ間伐材を利用して例もある。
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。		

※ 疎水材の更新については、「29. 暗渠（吸水渠、集水渠）の維持管理及び機能回復」参照

参考文献

- 社団法人畑地農業振興会：暗渠排水の設計と施工、pp127～148（1982）
- 北川巖・横井義雄：カラマツ木材チップの暗渠疎水材としての適用性、農業土木学会論文集 243、pp41～46（2006）

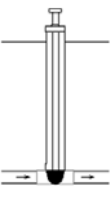
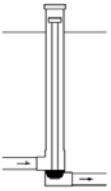
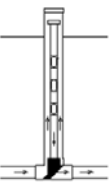
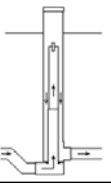
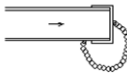
21. 水閘、立上り管（管理孔）及びマンホール

（基準書 第3章 3.3.1 関連）

21.1 水閘

水閘は、その形式、構造等により次のように分類され、各水閘の特徴は表-21.1のとおりである。

表-21.1 各水閘の特徴

区分	標準構造図	設置場所	材質	操作方法	特徴
堅管式		主に水平整合箇所 に使用	塩化ビニル製	① 止水栓は、差し込み、又はねじ込みにより行う。 ② 水位調整孔の調節は孔の開閉により行う。 ③ 水位調整機の調節は中筒の上下により行う。	① 複数の水田に繋がる暗渠においても、途中で止水ができる。 ② 水位調整機能付水閘は、水稻栽培時の深水や畑地利用時等の地下水位調整ができる。 ③ 収納機能付水閘は、畦畔の草刈り作業や農業機械等の旋回等の障害にならない。 ④ 収納式水閘以外は、立上り部が地上に出ているため、畦畔の草刈り作業や農業機械等の旋回等による破損に注意しなければならない。 ⑤ 水栓式と比べてコストが高い。
		主に傾斜地の中間 に使用	塩化ビニル製		
		水位の定位制御を 要する箇所に使用	塩化ビニル製		
		水位調整が無段階 で可能。田面から +20～-30cm	塩化ビニル製		
	 (収納格納付)	水位調整が無段階 で可能。田面から +20～-30cm	塩化ビニル製		
水栓式		暗渠末端の排水口 に使用	①塩化ビニル製 ②ポリエチレン製	ねじ込み式で、キャップの開閉により操作する。	① 排水路まで降りて操作する必要がある、操作が困難な場合がある。 ② キャップ部が排水路から飛び出ている場合は、ゴミが絡まり、通水阻害を起こす恐れがある。 ③ 鎖、パッキンがとれやすい。 ④ 補修が容易である。 ⑤ 堅管式と比べコストが安い。

21.2 水閘の保護

水閘は暗渠排水施設の中で、その構造と機能上最も故障の多い部分である。水閘が故障することにより、水管理ができなくなる等の営農上に支障が生じ、また、破損部分の修理には、手間がかかる。水閘は破損しにくい構造にするとともに、保護施設を設ける必要がある。保護施設には、陶管や合成樹脂管又はコンクリート管等を保護管として使用することが多い。保護管を施工する際は、農作業機械と接触しにくいように、溝畔や畦畔と同じ高さに据付けることが必要である。また、合成樹脂管の水閘の場合は日光等による劣化の恐れや、冬期間水閘を開放する場合、積雪による止水棒の破損の恐れがあるので保護管に蓋を設けることも必要である。なお、水閘の天端を畦畔の天端と同一高さとする収納機能付の水閘も存在する（図-21.1、図-21.2、写真-21.1）。

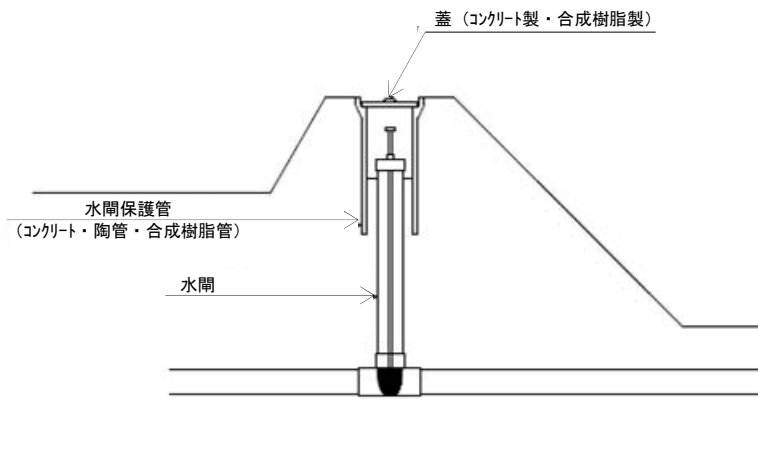


図-21.1 水閘保護管

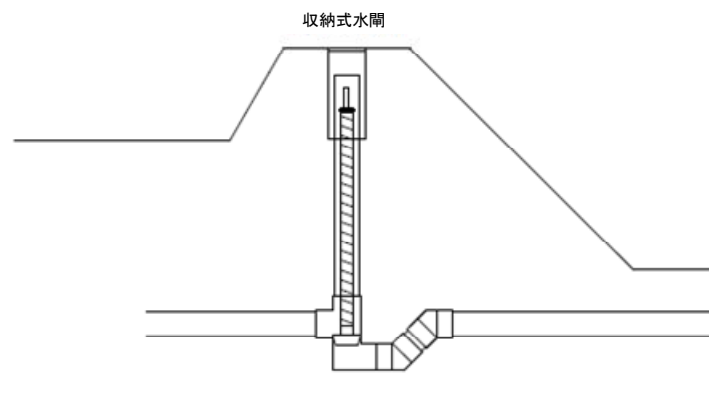


図-21.2 収納式水閘



写真-21.1 水閘の保護管事例

21.3 立上り管（管理孔）の施工事例

立上り管の施工事例を図-21.3に、給水栓の事例を図-21.4に示す。用水路がパイプラインの地区は、給水栓に水道用散水栓を分岐させて設置し、この散水栓と立上り管（管理孔）を用いて暗渠管を掃除することも可能である。普通、水田用パイプラインは、低圧で給水栓出口での圧力が $0.3 \sim 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ 程度であり、水道用散水栓を分岐した場合その吐出量は、 $10 \sim 40 \text{ l/min}$ 程度である。これにゴムホースを取り付け、暗渠管上流側に設けてある立上り管から注水することにより、暗渠管に堆積した土粒子を掃流することができる。事例では、接続ホースの満水時の持ち運びやすさから、散水栓の直径は $20 \sim 25 \text{ mm}$ としている。

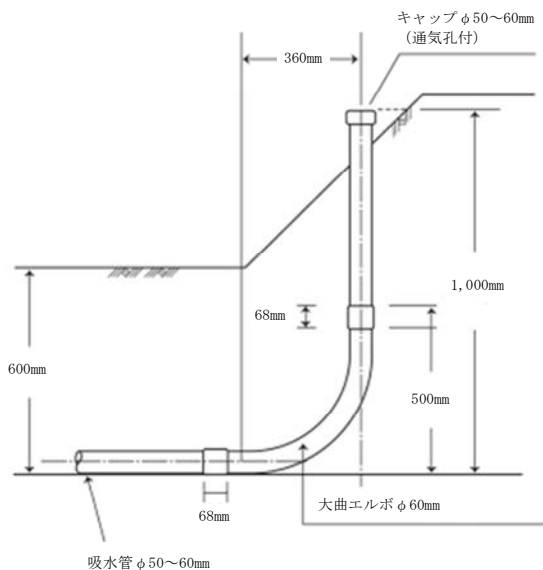


図-21.3 吸水渠立上り管の施工例

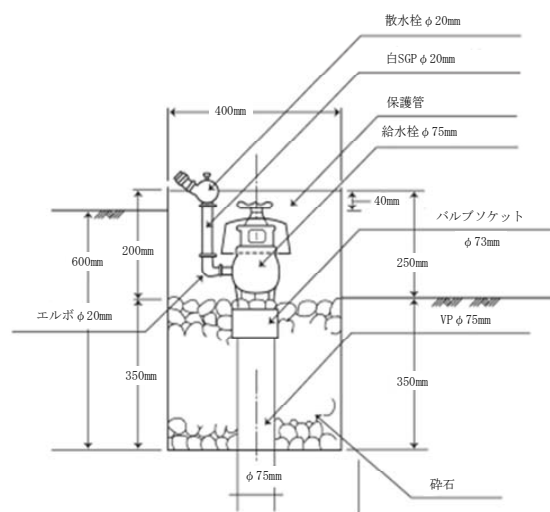


図-21.4 給水栓の施工例

立上り管も水閘と同様に、農作業機械による破損等が考えられるため、保護施設を設置することが望ましい。図-21.5、図-21.6 は、立上り管に保護施設が設けられた事例である。ちなみに、この事例地区では、吸水渠上流端だけでなく、集水渠にも立上り管が設けられている。また、集水渠の距離がかなり長くなっているため、途中のチェックが必要となり、図-21.7 に示すようなマンホールも設置されている。

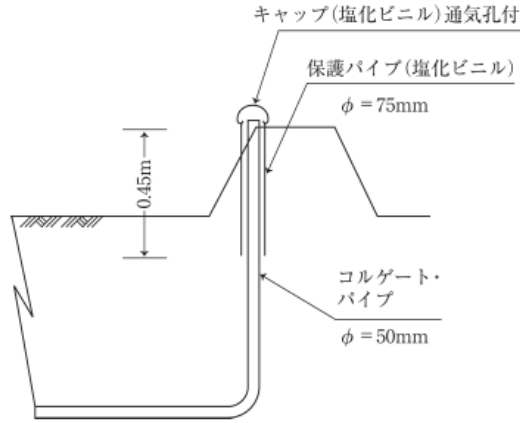
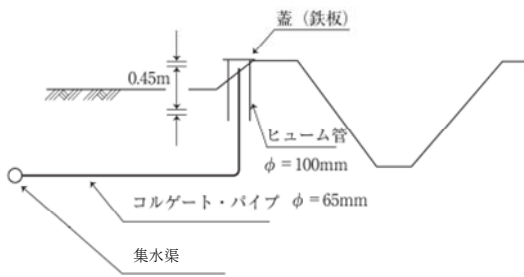


図-21.5 吸水渠における立上り管の施工例

(a) 側面図



(b) 平面図

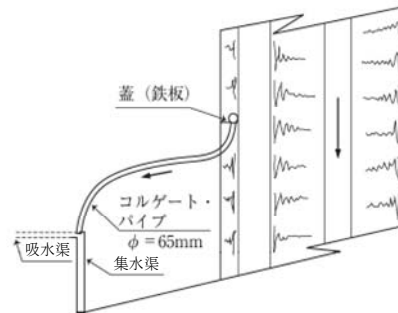
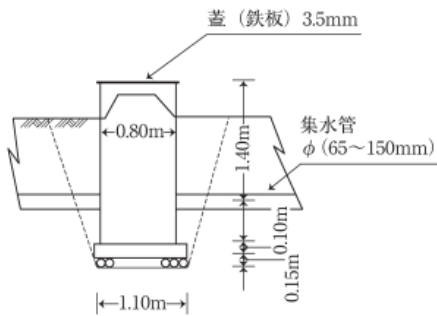


図-21.6 集水渠における立上り管の施工例

(a) 側面図



(b) 平面図

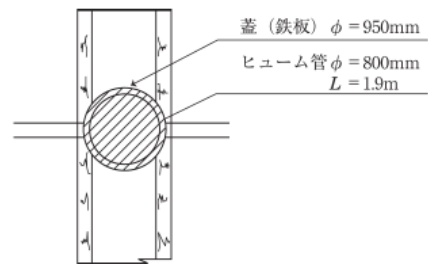


図-21.7 マンホールの施工例

22. 暗渠管の敷設勾配及び直径

(基準書 第3章 3.1.1、3.3.1 関連)

暗渠管の敷設勾配及び直径は以下の手順 (図-22.2 及び図-22.3 参照) で決定する。

22.1 管の敷設勾配

暗渠管 (吸水管と集水管) の敷設勾配は、一般には 1/100~1/1,000 を標準とするが、浅埋設や暗渠排水を利用し地下かんがいを実施する場合において、無勾配で施工する事例もある。また、地形条件、排水路水位や埋設深等を考慮し、やむを得ず緩勾配 (1/1,000 未満) となる場合は、泥土の堆積等による管の通水不良へ対応できるような対策を行う。例えば、暗渠管の上流端に立上り管 (管理孔) を配置し、水閘を開栓した場合の掃流力による洗浄や、管の上流端からの送水による洗浄が行えるような施設配置や附帯施設の設置を検討することが望ましい。

22.2 管内流速

暗渠管内の平均流速 (V : m/s) は Manning 式に従って流下するものと仮定する。

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots (22.1)$$

ここに、 n : 暗渠管の粗度係数 (表-22.1 参照)、 $R (= A/S)$: 径深 (m)、 I : 敷設勾配、 S : 潤辺 (m)、 A : 断面積 (m²) である。

表-22.1 暗渠管の粗度係数

管 種	粗度係数 n
本焼土管 (陶管)	0.012
素焼土管	0.013
合成樹脂管 (内面平滑)	0.012
合成樹脂管 (内面波状)	0.016

注¹) 吸入孔の酸化物付着状況により n が増大する。

注²) 表に示す粗度係数は目安としている。

管内の平均流速は、管周辺土砂の吸出し及び泥土の堆積が生じない流速を確保することを考慮し、一般には 0.2~0.5m/s の範囲を確保することが望ましく、標準としては 0.3m/s とする。その流速における流量と勾配の関係は、図-22.1 に示すとおりである。

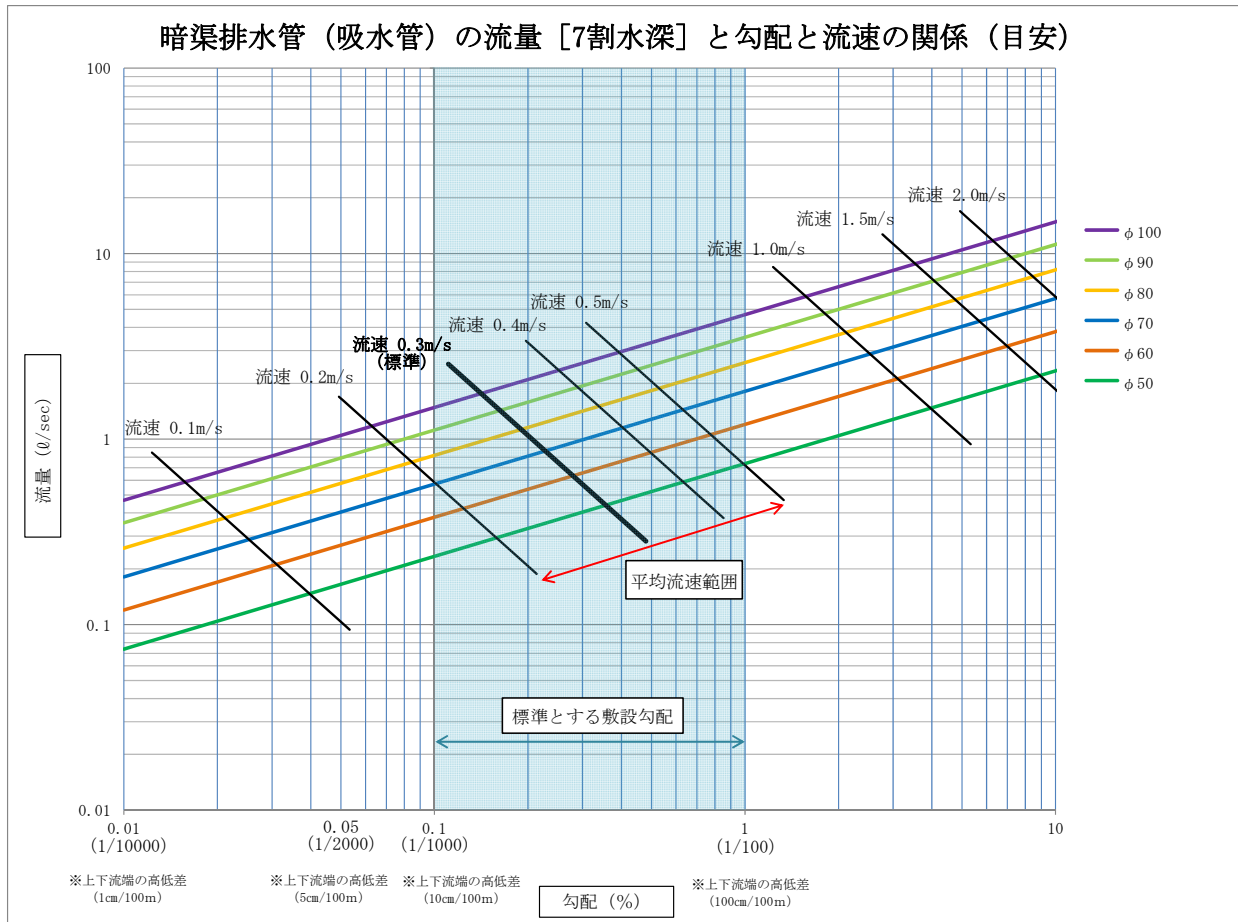


図-22.1 吸水管の流量、勾配、流速の関係

22.3 管の直径の算出

管径は、管内流速、管の敷設勾配、計画暗渠排水量を満足するように選定する。管内の流量と流速の計算において、マンニング式を使って簡便に計算する場合に使用する係数 α 及び β は、表-22.2 に示すとおりである。

$$Q = D \cdot A = m \cdot D \cdot S \cdot L / (8.64 \times 10^7) \dots\dots\dots (22.2)$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{d}{2} \right]^{8/3} \cdot I^{1/2} \cdot \alpha \dots\dots\dots (22.3)$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{d}{2} \right]^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot \beta \dots\dots\dots (22.4)$$

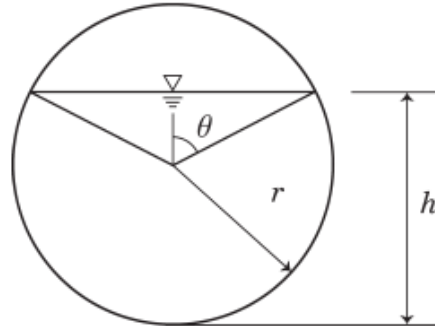
ここに、 Q ：排水量 (m³/s)、 D ：計画暗渠排水量 (mm/d)、 A ：集水管の支配面積 (m²)、 S ：暗渠間隔 (m)、 L ：吸水管の長さ (m)、 m ：集水管が支配する吸水管の数、 V ：管内流速 (m/s)、 n ：粗度係数、 d ：管の直径 (m)、 I ：敷設勾配である。

表-22.2 暗渠管の流量、流速計算表

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{8/3} \times I^{1/2} \times \alpha$$

$$V = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times I^{1/2} \times \beta$$

$h/2r$	α	β	備 考
0.50	0.98954	0.62996	Q = 流量 (m ³ /s) r = 管の半径 (m) n = 粗度係数 I = 勾配 V = 流速 (m/s)
0.55	1.15917	0.65473	
0.60	1.32962	0.67558	
0.65	1.49699	0.69251	
0.70	1.65696	0.70541	
0.75	1.80468	0.71404	
0.80	1.93488	0.71799	
0.85	2.03932	0.71653	
0.90	2.10929	0.70827	
0.95	2.12655	0.68980	
1.00	1.97907	0.62996	



(注) $\alpha = \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)^{5/3}}{[2(\pi - \theta)]^{2/3}}$, $\beta = \left[\frac{\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta}{2(\pi - \theta)} \right]^{2/3}$

一般には、最小直径は、50 mm (断面が円形でない暗渠の場合には、管径 50 mm の管が有する断面積 (19.6 cm²) と同等の断面積) を標準とするが、排水・環境条件や地域の実情等を十分に考慮して決定する。

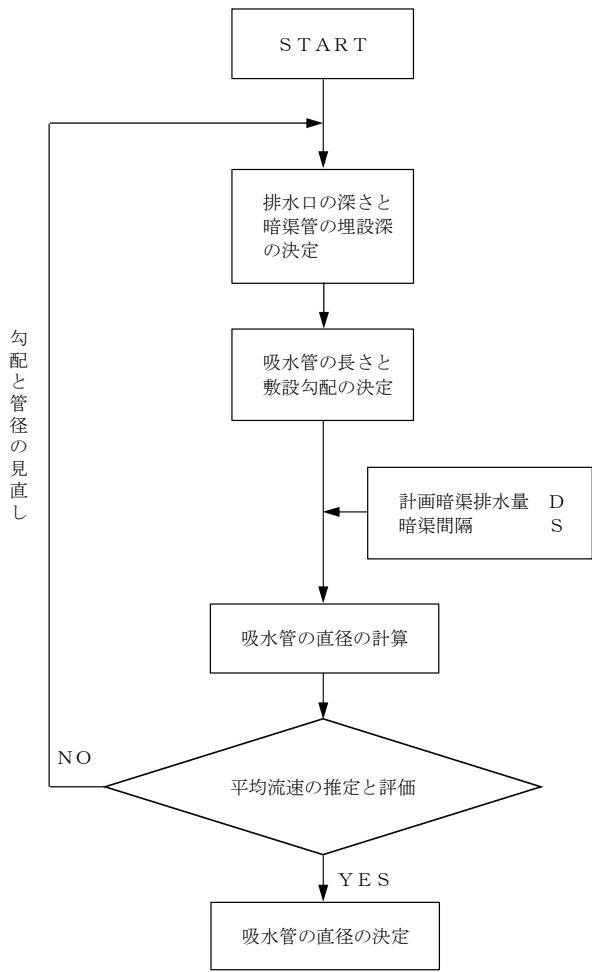


図-22.2 直接排水方式の吸水管の直径の検討方法

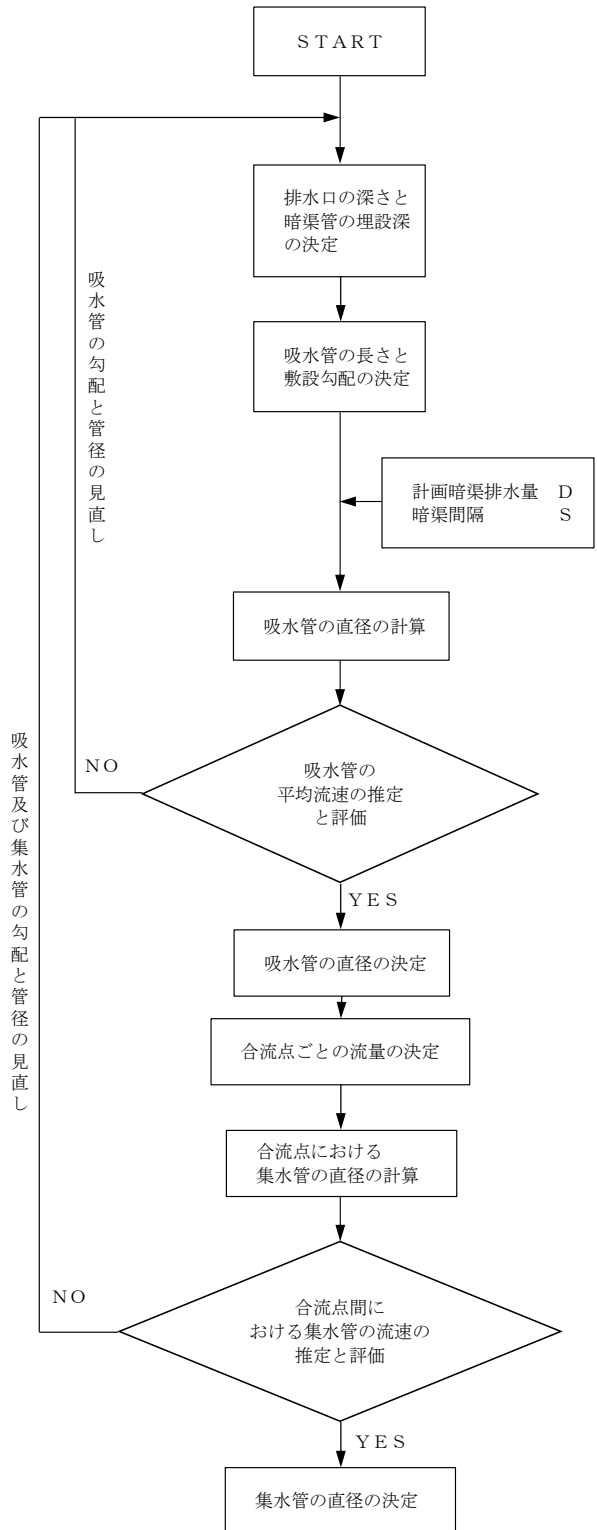


図-22.3 集水渠排水方式の吸水管と集水管の直径の検討方法

23. 傾斜地における暗渠排水組織

(基準書 第3章 3.3.3 関連)

23.1 傾斜地水田の暗渠排水の役割

傾斜地水田地帯の暗渠排水の役割は以下のとおりである。

- ① ほ場全体の地下水位を低下させる。
- ② 降水時の地表残留水及び過剰の土壌中の重力水を迅速に排除する。
- ③ 周囲の水田、特に上位水田からの浸透水を排除する。
- ④ ほ場内の部分的な排水不良部あるいは湧水地点の過剰水を適切に排除する。

上記の①、②は一般的な暗渠排水本来のもつ役割であり、③、④は傾斜地水田の暗渠排水に付随する特有の役割である。

23.2 集水渠の配置

田面差によって、耕区ごとに暗渠組織を独立させるか否かを決定する。

田面差が 1.0m 以上ある水田では、集水渠をその耕区内で排水路に開口することができるため、**図-23.1 (a)** の方式が望ましい。しかし、田面差が 1.0m 未満の場合はこれが難しいため、**図-23.1 (b)** のように所要の落差がとれるところまで集水渠を延長する。

集水渠を長くし、数耕区からの排水を集める方式も考えられるが、畦畔下で集水渠に段差をつける場合、接合部で故障を生じやすく、また、水閘が完全でない場合は、上流水田の排水が下流水田の田面に噴出するなどの原因となる。また、集水渠の延長が長くなる場合、**図-23.1 (b)** に示したように、集水渠を吸水渠間隔だけ離して平行させ吸水渠の役割も兼ねさせる方がより経済的である。

また、田面差が 1.0m 未満の場合には、畦畔部での集水渠の連結方式が問題となる。この方式には畦畔直下で段差を与える方式と、**図-23.2** のように集水渠の勾配を部分的に変える方式とが考えられるが、故障の少ない点から後者の方が望ましい。この場合最も浅いところでも集水渠深さは田面下 50~60cm 程度とする。

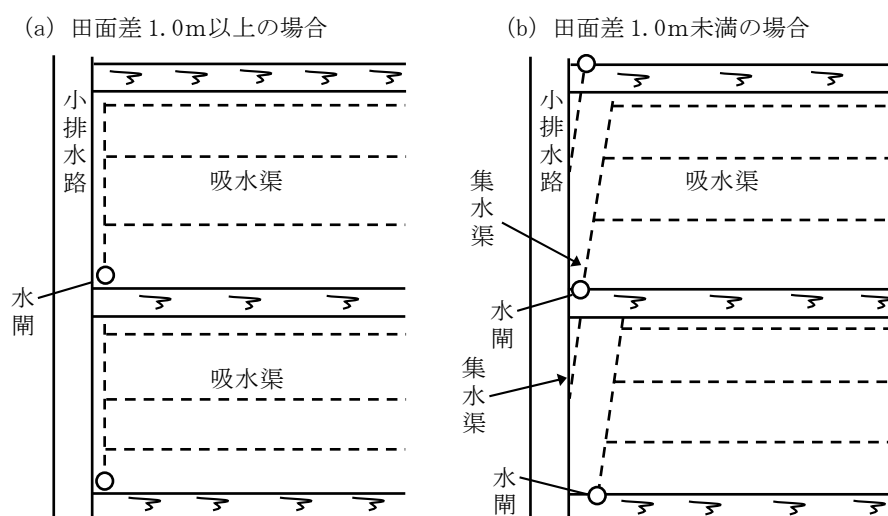


図-23.1 暗渠組織の一例

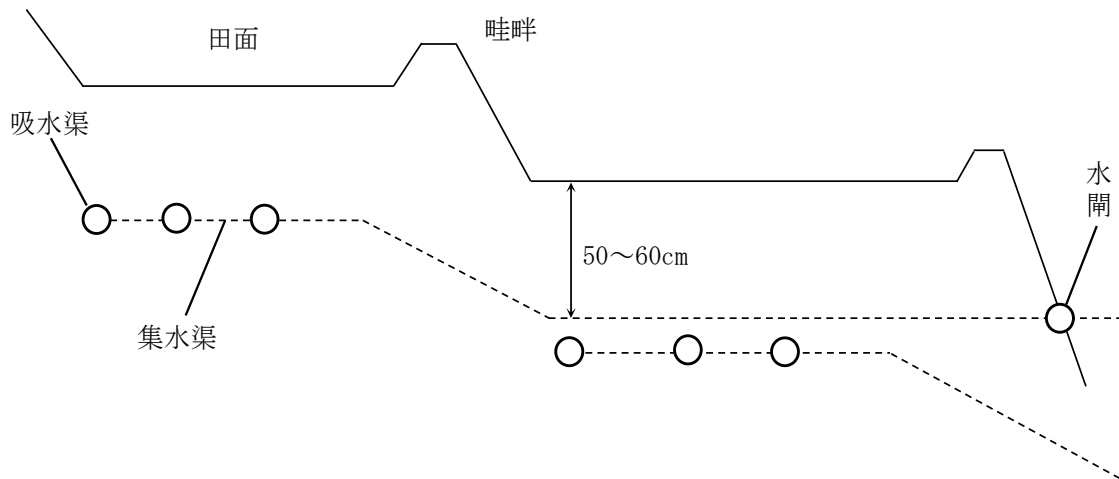


図-23.2 傾斜地水田における結合方法の例

23.3 吸水渠の間隔および埋設深さ

平坦地における吸水渠間隔を基準に、これに重みをつけた形で傾斜地の吸水渠の間隔を決定する方法を示す。

いま、平坦地における吸水渠間隔を l (m)とし、一耕区の水田短辺長を L (m)とすると、この水田に設けるべき吸水渠数 N は $N=L/l$ となる。この場合、 N が整数になるように l を修正する。このようにして、吸水渠の平均間隔 l が定めれば、次にこの配置を定める。傾斜地水田では、山側畦畔法面先の漏水が多いことからこの部分にまず吸水渠を設ける。一般に、山側では吸水渠の間隔を狭くする必要があり、谷側では反対に広くしてもよい。

ここで、図-23.3 に示すように吸水渠間隔を山側から $l_1, l_2 \dots l_i \dots l_N$ とすると、これらはそれぞれ l に重み $W_1, W_2 \dots W_i \dots W_N$ を乗じた形で定めることができる。

なお、山側畦畔沿いに最初の吸水渠を設けることを原則とするが、田面差が小さく、かつ、一耕区の吸水渠数が少ない場合は、畦畔より若干 (3~5m) 離れた方がよい。

$$l_i = W_i \times l \dots \dots \dots (23.1)$$

ここに、 $W_i = W_y + \frac{i-1}{N-1} (W_t - W_y)$

- W_t 、 W_y は表-23.1 より決める
- N : 吸水渠の本数
- i : 山側から数えた吸水渠間隔の番号

以上の方法によって、一耕区に4本又は5本の吸水渠を設ける場合の間隔を示すと表-23.2のとおりである。

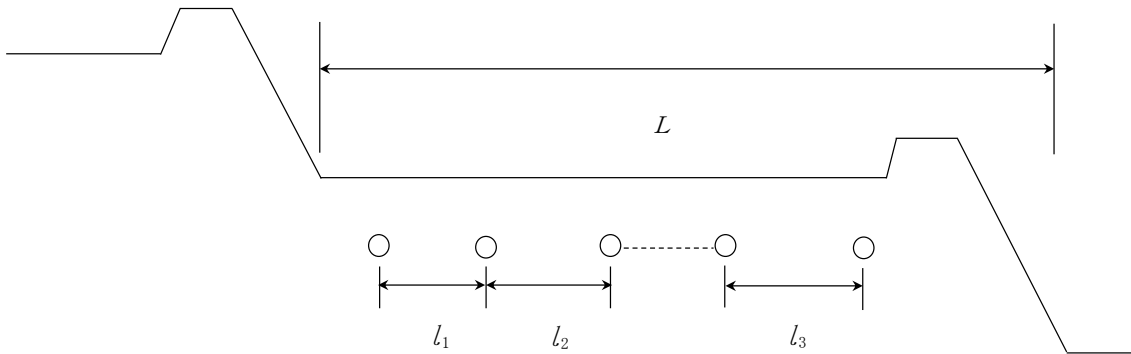


図-23.3 記号説明図

表-23.1 W_y , W_t の値

田面差 (m)	W_y	W_t
0.5	0.7~0.9	1.1~1.3
1.0	0.5~0.7	1.3~1.5
1.5	0.3~0.5	1.5~1.7

表-23.2 暗渠間隔の試算例 (平坦地の標準間隔を10mとした場合)

田面差	$N=4$			$N=5$				備考
	l_1	l_2	l_3	l_1	l_2	l_3	l_4	
m	m	m	m	m	m	m	m	$W_y=0.8$
0.5	8	9	11	8	9	10	11	$W_t=1.2$
1.0	6	9	11	6	8	10	12	$W_y=0.6$ $W_t=1.4$
1.5	4	8	12	4	7	10	13	$W_y=0.4$ $W_t=1.6$

W_y , W_t は表-23.1の平均値を採用

23.4 湧水処理

湧水のメカニズム、湧水源の深さと分布、被圧力、湧水量などの状況によって排水処理工法が異なる。現在、湧水処理の際に用いられている代表的な排水処理工法について紹介する。

(1) 湧水の形態と湧水処理工法

ア. 谷地田湧水

谷地田湧水は谷地田や旧河川跡に造成された耕地に多く見られる。これらの地域は昔、海又は湖沼などであり、下層土は砂又は砂質土で形成され、その上に浮遊土及び植物遺体が堆積して形成されているものが多い。このため、これらの水田の漏水は台地の地下水が下層に存在する砂層中を主に流れ、上層の軟弱なヘドロ化した土壌を突き破り、湧水として不規則に発生して、その範囲も非常に広いものや、通水層が帯のようになり集中的に発生して湧出（俗に‘ツボ’といわれている）するのが特徴である。

(ア) 湧水経路が明確で、湧水量が多い場合

このような湧水に対しては、通水帯（透水層）から被圧水を直接排除するのが得策である。その施工方法は、集水井型暗渠と縦型暗渠の二つの工法に分けられる。

湧水部が深く、かつ、狭い場合には、集水井型暗渠が用いられる。この工法は、集中的に被圧を受けている湧水や、通水帯沿いの帯状集中湧水に対して、湧水源となっている透水層の深さに有孔ヒューム管を横方向（図-23.4(a)）又は縦方向（図-23.4(b)）に敷設し、管内に流水した湧水を暗渠又は明渠で排水路に排除する方式である。

湧水部が深くしかも広範囲に点在している場合は、縦型暗渠（図-23.6）が有効である。これは、湧水箇所を選定し、塩化ビニル管を地下水帯（砂層）に打ち込み、導水管によって排水路へ排除する方法である。

湧水部が浅くかつ広い場合には、本暗渠を密に行い、疎水材を十分に使用した工法がとられたり、湧水箇所に集水用の木箱を埋設し、導水管によって排水する箱型暗渠（図-23.7）による方式がとられる。

(イ) 湧水している土層が明確でない場合

湧水経路が不明確であるから、まず本暗渠を設け、その排水状況を把握した上で湧水処理を行うのが实际的である。

地表から観察すると、明らかに湧水があり、排水が必要と判定される場合でも、土層内のどの部分から湧出しているのか明確でない場合がある。特に、問題となるのはたとえ被圧状態が高くても、その土層内には透水性の良好な部分が見つからず、土層の透水係数が $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 以下であれば(ア)で述べた方法で特殊排水を試みても、十分な効果が期待できないと考えられる。このような場合、通常の暗渠組織の断面の大きい吸水渠を高い密度で湧水部に集中させるのが効果的である。

イ. 棚田湧水

棚田湧水は、中山間地帯の棚田に多く見られる。この原因は、台地及び上位水田の用水や降雨等が地下水となり下位水田の法尻付近に湧出したり、整地工事における切盛によって現況地盤と盛土の間に水みちが生じてその部分から湧出している場合に分けられるが、両者とも被圧力や湧水量も少なく、法尻付近が過湿になっている場合が多い。

施工方法としては、上流からの浸透水をできるだけ捕水するため法尻直下 1 m 以内に最初の吸水渠（図-23.8 参照、法尻捕水渠と呼ぶ）を設け、その後の間隔は山側を密に、谷側は粗に

して、平均間隔は同一土性の平坦地におけるものと同様とする。

(2) 代表的な湧水処理工法

ア. 集水井型暗渠

この工法は、集中的に被圧を受けている湧水や通水帯沿いに発生する湧水の排除に適している。この工法はいずれも、被圧力を分散させるために広く開削したり、ウェルポイント等によって地下水を低下させ掘削部を最小限に留める等の処置をして、**図-23.4**（トレンチャ掘削断面例）のように有孔ヒューム管（管径 300～1,000mm、孔径 20～30mm、例えば、1,000mm の管でφ20mm の孔を長さ 1.0m 当たり 75 箇所開けた場合、1.0ℓ /s の集水が可能）を横型（**図-23.4(a)**）又は縦型（**図-23.4(b)**）に敷設し、採水層の細砂の流出を防ぐため有孔ヒューム管の外側には径 30mm～100mm の砂利（5mm～40mm の碎石等）を 300mm～500mm の厚さで充填する。集水した湧水は、速やかにある一定の勾配をもって暗渠及び明渠で排水路に排除する。この場合、高低差の関係で自然排除が不可能な場合には、マンホール等を設置し、ポンプにより排除を検討する。（**図-23.5** はバックホウ掘削断面例を示す）

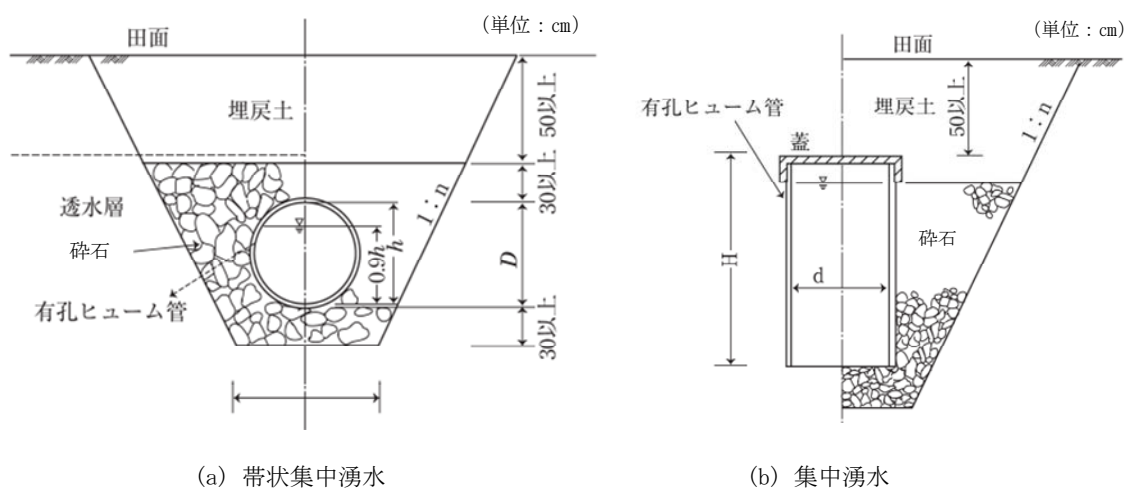


図-23.4 集水井型暗渠の施工例（トレンチャ掘削断面例）

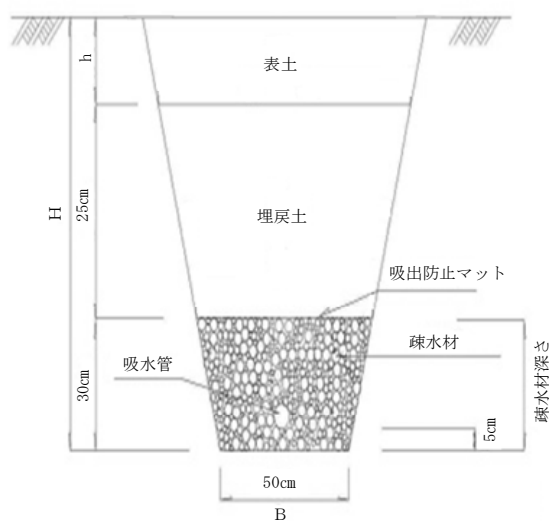


図-23.5 集水井型暗渠の施工例（バックホウ掘削断面例）

イ. 縦型暗渠

この工法は、広範囲に湧水部が点在している場合に有効で、**図-23.6**のように湧水部に縦型暗渠吸水管を設置し、湧水を集水管によって排水路に処理する方法で、掘削方法は、オーガトレンチャやエンジンオーガを用いて暗渠溝を掘る方法である。

湧水状況の調査方法は、まず調査井戸を掘り湧水量が安定するまでの期間（約1週間）自噴させ、湧水量・被圧力を田面下0.50～0.60mの位置で2回/1日測定し、最大値および最小値を棄却して残りの値の平均値をもって排水量及び被圧力を仮定する。

この調査井戸の設置箇所は、少なくとも2箇所/ha以上（調査井戸設置に先立ち行う縦横断測量の方線上に設置する）とし、併せて地質調査等を行い、地下水位の解析に必要な資料を整える必要がある。

前述の調査結果及び仮定した排水量・被圧力を基に、対象区域及び設計排水量・設計被圧力（余裕を10%程度加え決定する）を解析し、吸水管の間隔・管径及び集水管の管径を定める。

この工法は、谷地田における被圧地下水排除に有効な方法といえる。しかし、被圧力が小さい場合には施工費が嵩む（吸水渠の間隔が狭くなるとともに集水管の管径が太くなる）ことや地下水が予想ほど低下しないことなどが懸念されるため、このような場合はポンプによる排水も検討する必要がある。

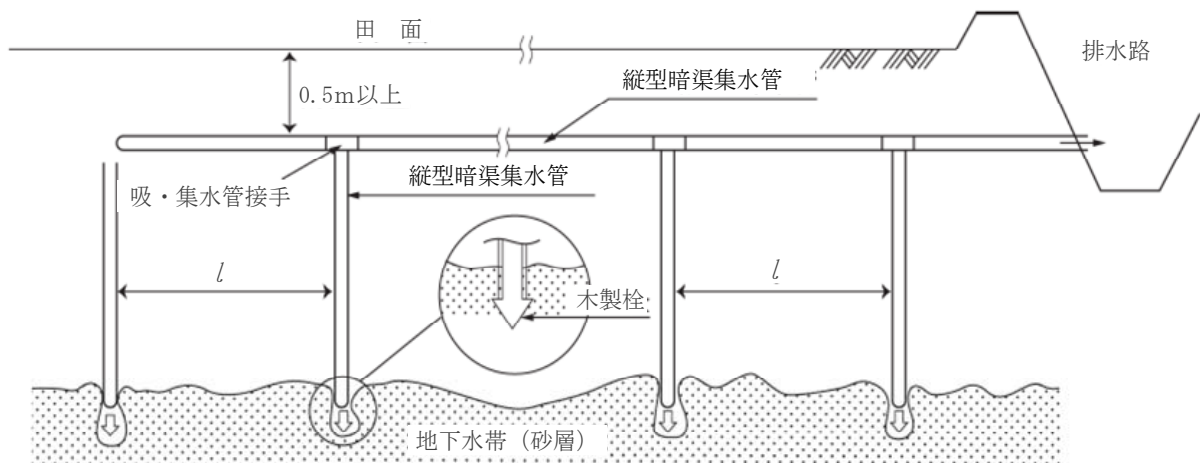


図-23.6 縦型暗渠の施工例

ウ. 箱型暗渠

湧水箇所が浅く比較的その部分が軟弱なときに、箱型暗渠を敷設する（図-23.7）。また、縦型暗渠の上に箱型暗渠を載せ、両者の長所を組み合わせる場合もある。

まず、集水管を埋設し、自噴箇所に沿って掘削し、箱及び連結管、碎石、モミガラ等を設置する。箱設置後、1～2 ヶ月放置して水みちができてから、再度箱の高さを修正し、箱の中の泥を除去し、埋戻しをする。

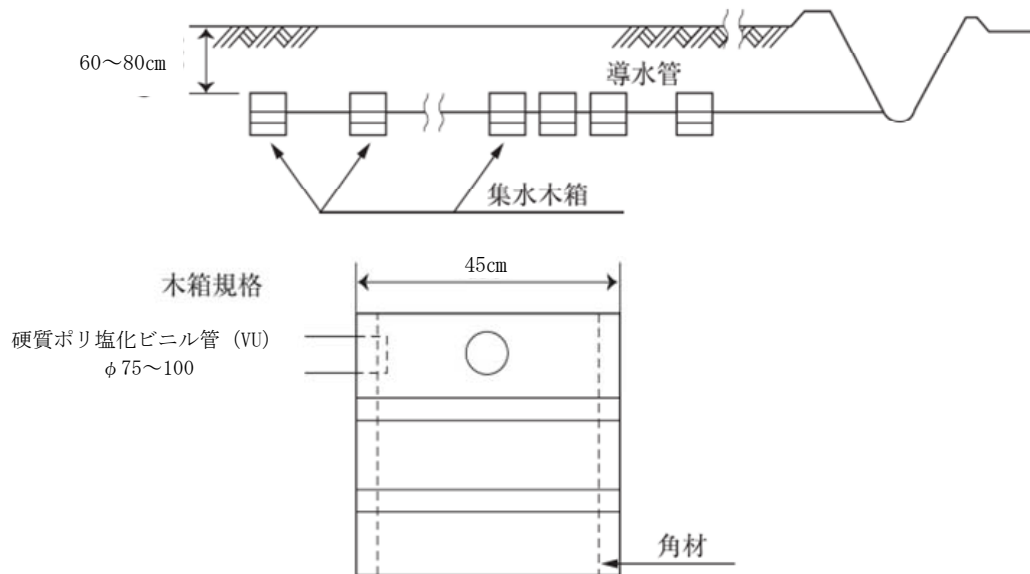


図-23.7 箱型暗渠の施工例

エ. 法尻捕水渠

傾斜地の水田では、上位水田の法尻部分が湿潤で排水不良の原因となったり、法面に浸透水が浸出し法面崩壊の原因ともなる。このような場合には、上位水田からの浸透水を遮断し、停滞する地表残留水からの浸透水を迅速に排除できるような特別な捕水渠（法尻捕水渠）を設置する必要がある。

法尻捕水渠には、明渠と暗渠の形態があり、湧水の形態によってその工法が図-23.8 のような3種類のタイプに分けられる。

- ① aタイプは、上流からの浸透水をできるだけ多く捕水するため、法尻直下（1m以内）に設置する暗渠タイプのもので、設置深さは約1m程度と平坦地と比較してやや深く埋設する必要がある。
- ② bタイプは、湧水が多く、法尻に土壤侵食が生じている場合にとられる工法で、地表面流出と浸透水を捕水するために、主に山側の切土法尻部に明渠を設けるものである。
- ③ cタイプは、法長が長く、法尻付近から湧水により土壤侵食を起こしている場合に対処するためとられる工法で、耕区間の畦畔法尻への浸透水を捕水するために吸水渠を設けるものである。

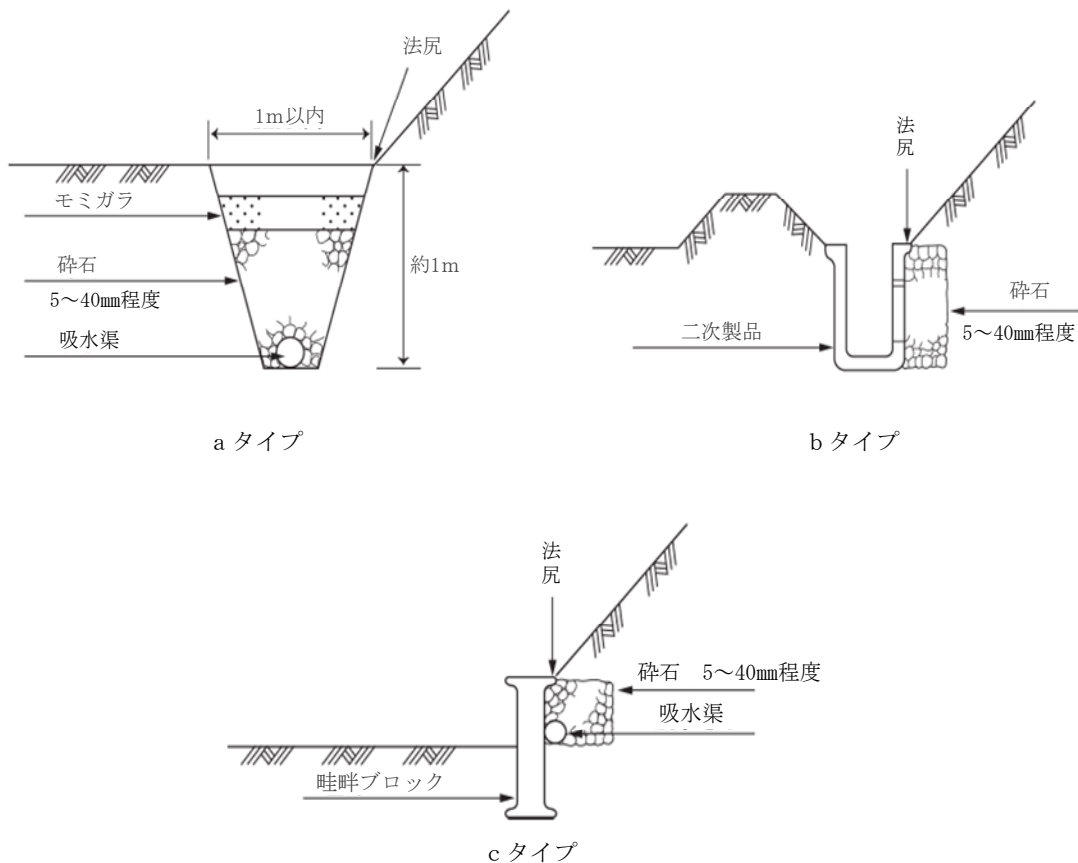


図-23.8 法尻捕水渠の施工例

参考文献

- 永石義隆・井上久義：傾斜地水田の圃場整備における湧水処理の一事例、農業土木学会誌 53(2)、pp5～10 (1985)

24. 暗渠排水工事の施工管理

(基準書 第4章 4.2 関連)

24.1 施工管理の基本

一般土木工事の施工管理は、①工程管理、②出来形管理、③品質管理により構成されている。

本項では、暗渠工事の施工に当たっての出来形管理と品質管理の基本的な事項を記述するものである。

24.2 出来形管理

出来形管理は、直接測定によるものと撮影記録によるものに分類される。

直接測定による出来形管理とは、工事の出来形を把握するため工作物の寸法、基準高等の測定項目を施工順序に従い直接測定（以下「出来形測定」という。）し、その都度、結果を管理方法に定められた方式により記録を行い、常に適正な管理を行うことをいう。

撮影記録による出来形管理とは、出来形測定、品質管理を実施した場合、又は施工段階（区切り）及び施工の進行過程が確認できるよう、撮影基準に基づいて撮影記録を行い、常に適正な管理を行うことをいう。

24.3 品質管理

品質管理とは、資材等の品質を把握するため、物理的、化学的試験を実施し、その都度、結果を管理方法に定められた方式により記録を行い、常に適正な管理を行うことをいう。

24.4 暗渠工事における施工管理項目

施工管理項目は「土木工事施工管理基準」に基づく。

24.5 留意事項

(1) 土工掘削深及び吸水管敷設の埋設深

管の変形、不陸は、暗渠排水の機能低下の要因となるので適切な施工管理を行う必要がある。

(2) 疎水材投入状況

疎水材の投入量の不足は暗渠排水の機能低下の要因となるので、疎水材の投入に当たっては、表土の埋戻し時の疎水材の圧縮・沈下を十分に考慮するなど、適切な施工管理を行う必要がある。

参考文献

■ 農林水産省農村振興局：土木工事施工管理基準（平成29年3月）

25. 暗渠機能低下の要因

(基準書 第4章 4.2 関連)

暗渠の機能低下は、年月の経過に伴う暗渠管の孔の目詰まりや管内への泥土の堆積、疎水材の劣化、作土や耕盤層の透水性の低下が主な要因となっている。

本章では、それらの事例について紹介する。

25.1 耕盤の形成（吸水渠上部）

代かきによって形成される耕盤は、ほ場整備事業完了後、2、3 作目で田面より深さ 15～25 cm において固い難透水層になり、排水機能低下の原因となることが多い。加えて疎水材の圧縮・沈下等が原因となって耕盤の形成が一層助長される場合もある¹⁾。

25.2 疎水材（モミガラ）の圧縮・沈下等

疎水材は、碎石+モミガラ、モミガラ単独のケースが多い（表-25.1）。その中で多く利用されているのがモミガラである。

モミガラの生産量は、10 a 当たり約 1 m³ である。暗渠の排水能力を十分発揮させるためには、作土層に達するところまでモミガラを十分に投入することが必要である。

また、暗渠溝の機能を認識して、モミガラを田面から深さ 10～15 cm まで充填する設計仕様であっても、実際に表土がモミガラの上に埋戻される際にモミガラが圧縮・沈下し、埋戻し表土が厚さ 20 cm 以上に達することが多くみられる。モミガラの圧縮・沈下により、多くの場合設計通りの埋戻し断面になっていないことに注意する必要がある（図-25.1）。

極端な例では暗渠管の周囲にだけ充填する場合や、暗渠管の上部 10～20 cm 程度までしか充填せず、掘削土がその上に厚く埋戻されている場合がある。このような場合には、この層が難透水層となって暗渠の排水能力は小さくなる場合もある¹⁾。

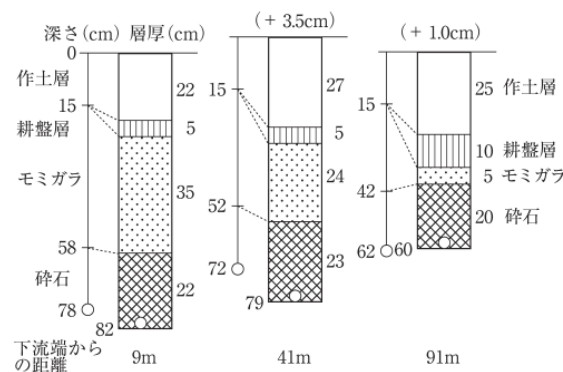


図-25.1 暗渠溝の調査事例

(1本の暗渠の右から上、中、下流断面)

表-25.1 吸水渠の断面例¹⁾

地区名	A地区	B地区	C地区	D地区
暗渠施工面積	30ha	123ha	320.7ha	110ha
標準設計区画	30×150	30×100	50×225m	40×125m
暗渠間隔、本数	12m、3本	8m、2本	10m、5本	10m、4本
疎水材の種類	碎石+モミガラ	碎石+モミガラ	モミガラ	モミガラ
吸水渠の種類	ポリエチレン有孔管	網状管	陶管	ポリエチレン有孔管
内径	75mm	65mm	75mm	50、60mm
トレンチ標準断面 (単位cm)				
【掘削目安】 幅20cm：トレンチャ 幅30～40cm：バックホウ 幅10～15cm：非開削				
吸水渠の勾配	1/500	1/500	1/500～1/1000	1/500

地区名	E地区	F地区	G地区	H地区
暗渠施工面積	140ha	460ha	1700ha	270ha
標準設計区画	47×108m	30×100m	65×170m	45×110m
暗渠間隔、本数	9.3m、5本	7.5m、4本	10m、7本	9.5m、5本
疎水材の種類	モミガラ	モミガラ	木材チップ	モミガラ
吸水渠の種類	ポリエチレン有孔管	ポリエチレン有孔管	ポリエチレン有孔管	ポリエチレン有孔管
内径	50、100mm	50mm	80mm	50、75、100mm
トレンチ標準断面 (単位cm)				
【掘削目安】 幅20cm：トレンチャ 幅30～40cm：バックホウ 幅10～15cm：非開削				
吸水渠の勾配	水平	1/1000	水平	水平

: 掘削土
 : モミガラ
 : 砂
 : チップ
 : 碎石
 ○ : 吸水管

25.3 目詰まり

泥土による暗渠管の穴の目詰まりについても多くの事例が報告されている。これらは前述したように疎水材の投入不足が一つの原因と考えられる¹⁾。

25.4 暗渠管内の泥土の堆積

泥土の堆積量は1本の暗渠管について上流側で多く、下流側で少ない現象が一般に観察される。このことは、1本の暗渠管の流量を考えると説明できる。すなわち、暗渠管のある点の流量(Q)は、計画暗渠排水量(D:mm/d)×暗渠間隔(S:m)×暗渠管の上流端からその点までの距離(y:m)であるから、例えば、D=50 mm/d、S=10mとすると、yが10、50、100mの各点の排水流量はそれぞれ60、290、580ml/sで、管径50mmの暗渠パイプの平均流速は、それぞれ3、15、30 cm/sとなって、泥土の堆積が上流側で多く、下流側で少ないことがわかる¹⁾。

25.5 疎水材(モミガラ)の劣化

暗渠排水施工後、年月の経過によりモミガラに土が混入することや、モミガラの腐植が進行することで、分解されて量が減ってモミガラの中に空洞ができたり、モミガラに両側の土から圧力が加わり、モミガラの幅が狭くなったりすることがある(図-25.2)。

モミガラの腐植が進行し量が減ることにより写真-25.1のように地表面の下に空洞が発生する場合がある。その空洞が農作業機械の走行等で作土に押し潰されると、地表面に穴が開き、暗渠の溝が土で塞がれて暗渠排水が機能しなくなる。また、空洞が発生すると、水田として利用する際に地表面が陥没し、湛水に支障を来したり、農作業機械の車輪の踏み抜きが生じたりする場合がある²⁾。

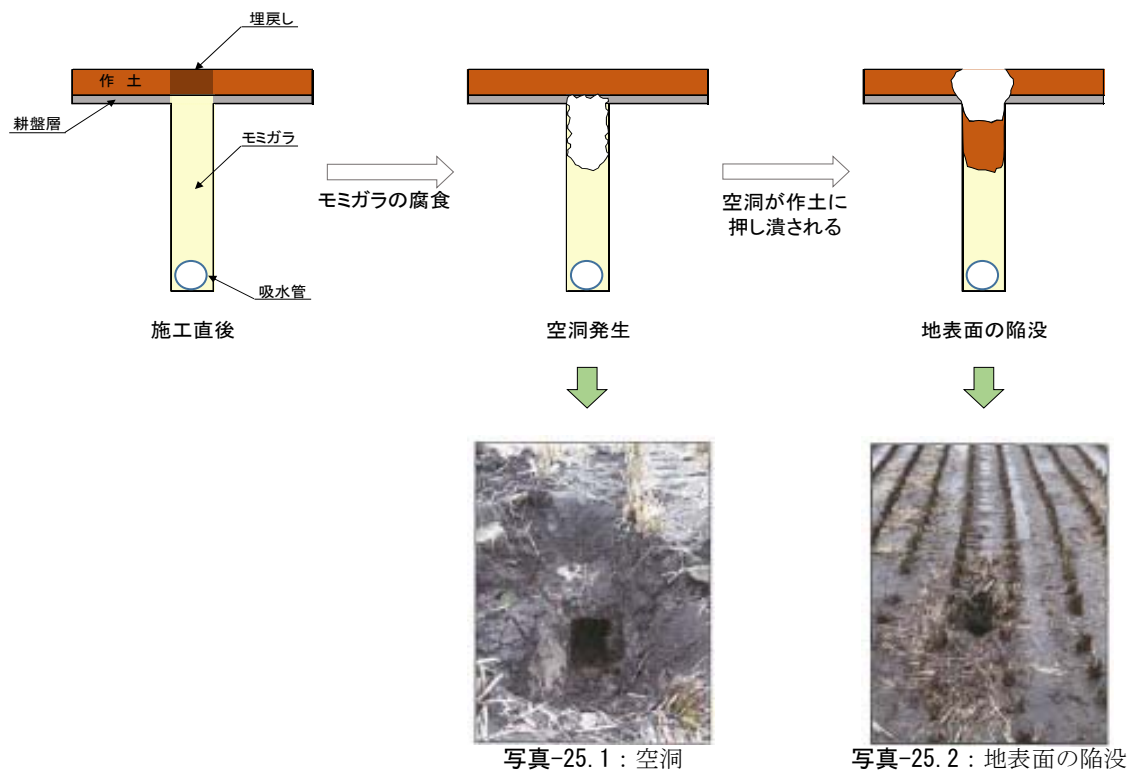
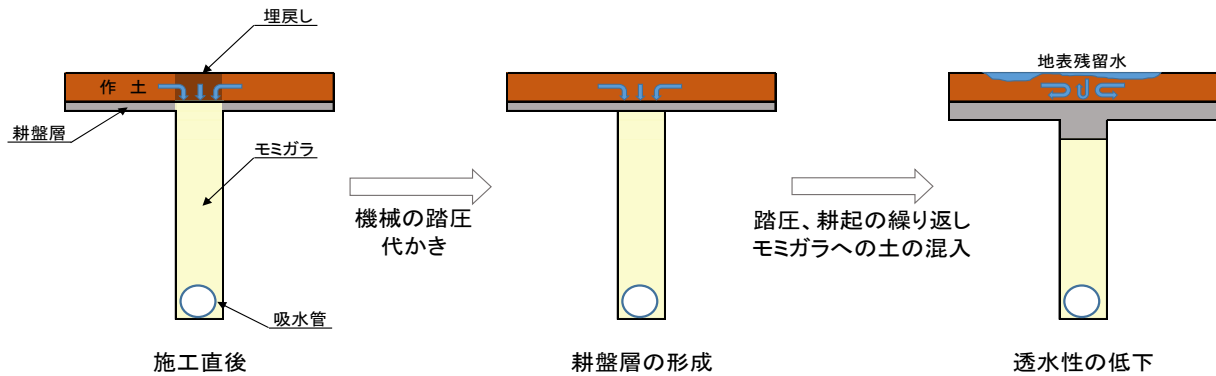


図-25.2 モミガラの劣化過程²⁾

25.6 作土や耕盤層の透水性の低下

図-25.3 に示すように、暗渠排水施工直後はモミガラ上部に耕盤層が無いが、農作業機械による締め固めや、耕起、代かきにより徐々に耕盤層が形成される。そして、耕起や代かきの繰り返しにより、耕盤層は固く締まり、モミガラ上部に土が混じることにより、地表面からモミガラまでの厚さが増す。その結果、地表面の水溜まりの水や、作土に含まれる水分がモミガラへ流れにくくなり暗渠排水の機能が低下する。この対策としては、営農作業において弾丸暗渠やサブソイラ等による心土破碎を実施することである。それは暗渠排水の機能維持にとって重要である²⁾。

図-25.3 透水性の低下過程²⁾

引用文献

- 1) 村島和男・荻野芳彦：汎用化水田の暗渠排水の機能とその維持管理、農業土木学会誌 60(1)、pp13～18 (1992)
- 2) 青森県農林水産部農村整備課：暗渠排水の点検診断・再生工法の手引き (2013)

26. 補助暗渠の種類と施工

(基準書 第4章 4.3、4.4 関連)

補助暗渠は、本暗渠に直角に入れる場合が多く、弾丸暗渠、切断暗渠、せん孔暗渠（無材）等の無材暗渠と、吸水管のあるせん孔暗渠（有材）及び疎水材のみを充填した簡易暗渠の3つに大別される。その他、心土破碎などの工法も、補助暗渠と同様の目的で施工される（図-26.1）。

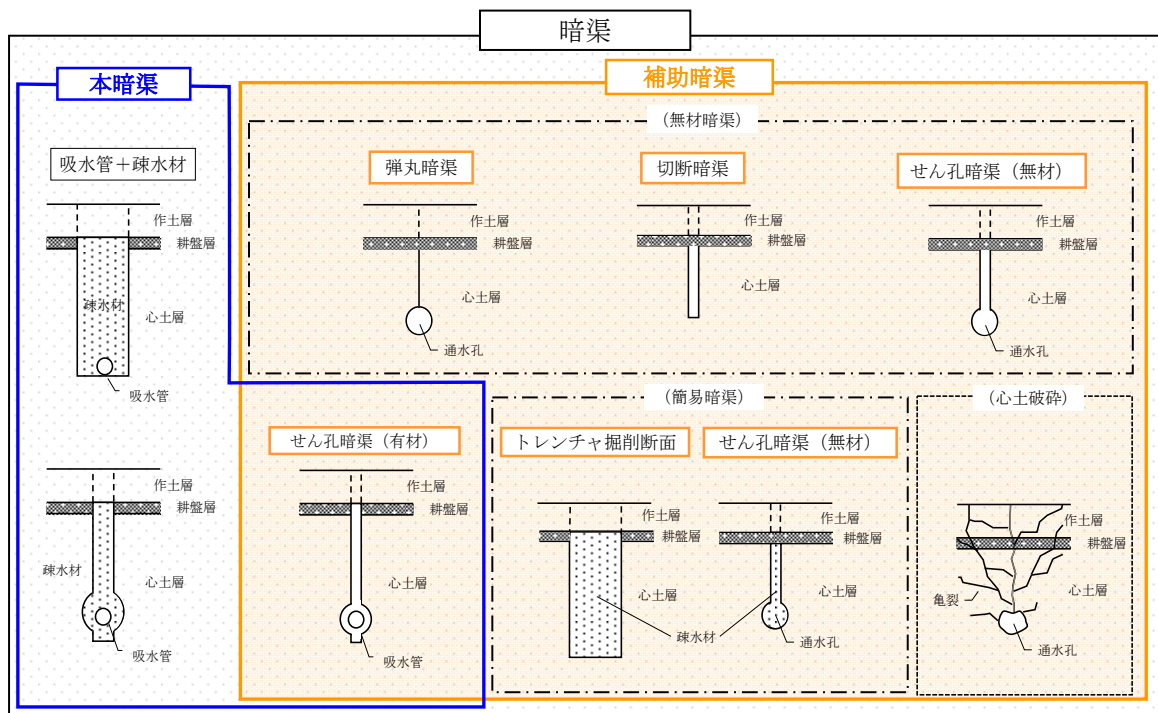


図-26.1 本暗渠と補助暗渠の分類

特徴としては、施工能率が良く安価であるなどの利点と耐久性に欠けるなどの欠点がある。

補助暗渠の種類、間隔、深さ、直径等の施工法における指標については、土地条件等に応じて適切に決定する。

なお、せん孔暗渠（有材）は本暗渠として施工される場合もある。その際の暗渠排水組織計画の策定に当たっては、補助暗渠として施工される場合と同様、地域での効果に対する考え方と評価を踏まえて、地域独自の施工機械及び施工法についてもよく調査して、現地に適応した計画を立てることが必要となる。原則として計画基準値等を実現するは場条件を目標とし、基本暗渠排水組織計画（基準書 3.3.1）をもとに修正を行う。

以下に、補助暗渠の種類と施工に当たっての留意点を示す。

(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。作業機の牽引にはトラクタの施工が有利であるが、地表の条件が悪く、泥ねい化しやすい粘土地盤などにおいては 45kw (60PS) 級のクローラ型トラクタが必要である。

施工時は、比較的降雨の少ない乾燥した季節を選んで行うことが望ましい。

本暗渠と弾丸暗渠の接続法を図-26.2 に示す。

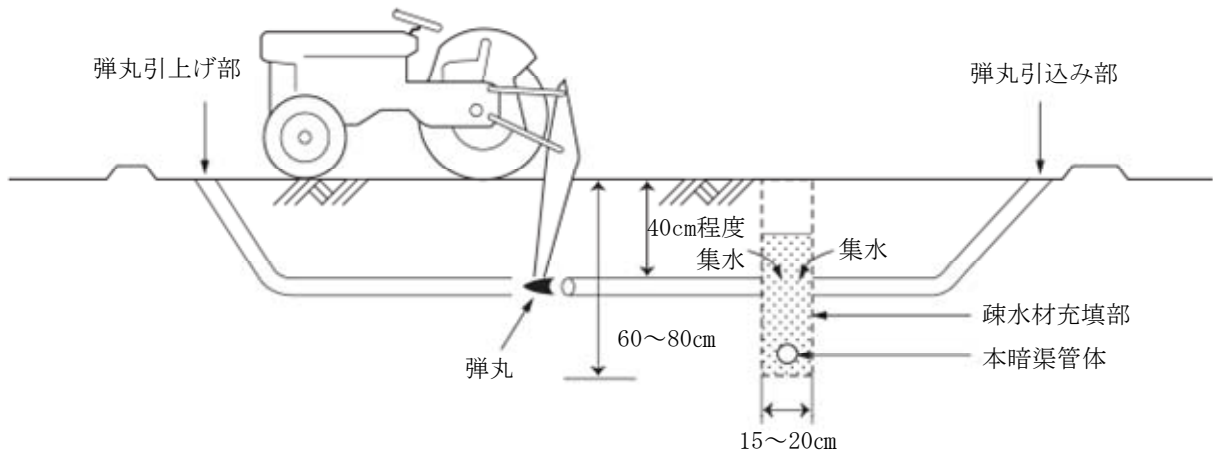


図-26.2 本暗渠と弾丸暗渠の接続法

最近では、バックホウにアーム式補助孔形成装置を装着することで、1m間隔で田面から 40 cmの深さにレーザー光管理で水平に施工できる方法がある (写真-26.1)。下層に礫や石がある場合や硬い地盤でも施工可能であり、また、湧水や軟弱地盤でトラクタ牽引タイプの機械では近寄れなかった場所でも法尻から施工が可能である。



写真-26.1 アーム式補助孔形成装置による施工と断面

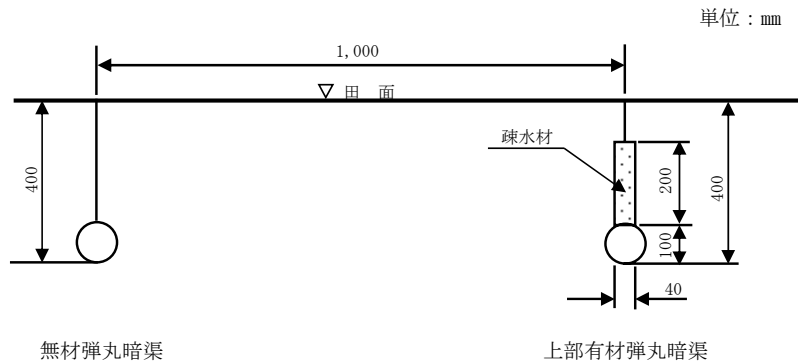


図-26.3 無材弾丸暗渠+上部有材弾丸暗渠の断面図

(2) 切断暗渠及びせん孔暗渠（無材）

切断暗渠及びせん孔暗渠（無材）は、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れる。切断暗渠はトレンチャと類似したチェーンソー又は弾丸暗渠作業機の支柱刃に類似した鉋によって土層を切断していく。せん孔暗渠（無材）には、幅の狭いラダー型掘削機によって溝を掘り地表部を溝の側方から圧して閉塞させるもの、土層をチェーンソーで切断して弾丸跡に相当する部分は回転する爪でせん孔し、切り取った部分を切断跡から地上に運び上げるもの等がある（図-26.4）。

また、資材を用いないせん孔暗渠工法として、土中 40~70 cmの任意の深さに、掘削縦溝の横に空洞を構築する基本工法の横穴型と、掘削縦溝の直下に空洞を構築する補助工法の直下穴型により、土層を持ち上げて、土中の空洞を通水孔として余剰水をは場外に排除する補助暗渠としているものがある（写真-26.2）。

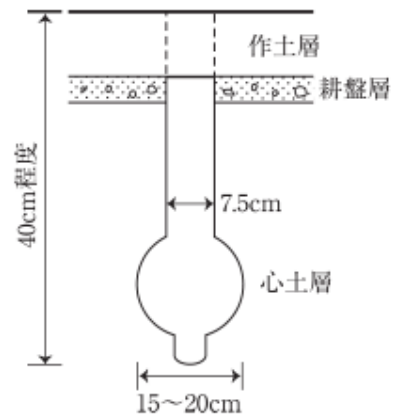


図-26.4 せん孔暗渠（無材）



写真-26.2 せん孔暗渠による工法

(3) 簡易暗渠

簡易暗渠は、掘削したトレンチ等に管の代わりに疎水材を埋設する工法（図-26.5）であり、難透水性で乾燥亀裂の保存性の悪い土壌に主に適用され、長期的な効果の継続が期待できる。

トレンチャにより掘削した溝に疎水材を充填する工法（掘削型）と、弾丸暗渠のせん孔部に疎水材を充填する工法（引込み型）がある。

(4) せん孔暗渠（有材）

せん孔暗渠（有材）は、弾丸暗渠の施工能率並びに本暗渠の効果及びその持続性の向上を図った工法である。（詳細は、技術書「19. 暗渠溝の構造と機能（6）浅層引込式暗渠工法」を参照）

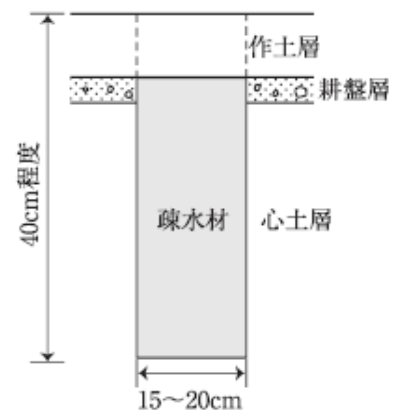


図-26.5 簡易暗渠（掘削型）

(5) 心土破碎

心土破碎（無材）の作業機はサブソイラと称され犁柱（ナイフ）とチゼル（破碎爪：作業幅90cm程度）で構成され、破碎効果を大きくさせるためチゼルにウイング（ $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ）を持たせている（図-26.6(a)、写真-26.3）。

心土破碎（有材）には疎水材埋設機を用いて施工する。疎水材としては、モミガラ、貝殻、チップ等を用い、ナイフにより開削された断面に自動的に充填する（図-26.6(b)、写真-26.4）。

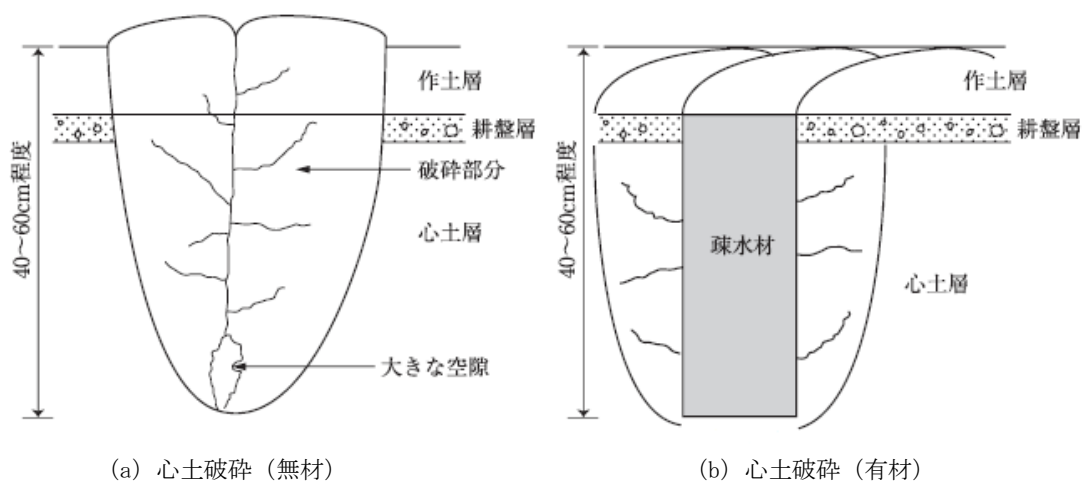


図-26.6 心土破碎（無材・有材）



写真-26.3 二連直装サブソイラ



写真-26.4 疎水材埋設機

27. 補助暗渠の選定

(基準書 第4章 4.3、4.4 関連)

27.1 補助暗渠の選定

補助暗渠の選定に当たっては、下記のとおり土壌条件による選定のほか、施工条件による選定が考えられる。

(1) 土壌条件による選定

- ① 短期間の排水強化によって亀裂等の土壌の構造が発達し、かつ、これが長期間保持される土壌に対しては、弾丸暗渠等の無材暗渠が適する。
- ② 亀裂等の土壌構造の発達が比較的緩慢な土壌に対しては、弾丸暗渠等の反復施工、簡易暗渠、せん孔暗渠（有材）が適している。
- ③ 土壌構造の発達が緩慢で、かつ、流動又は崩壊しやすい土壌に対しては、簡易暗渠、せん孔暗渠（有材）が適している。

(2) 施工条件による選定

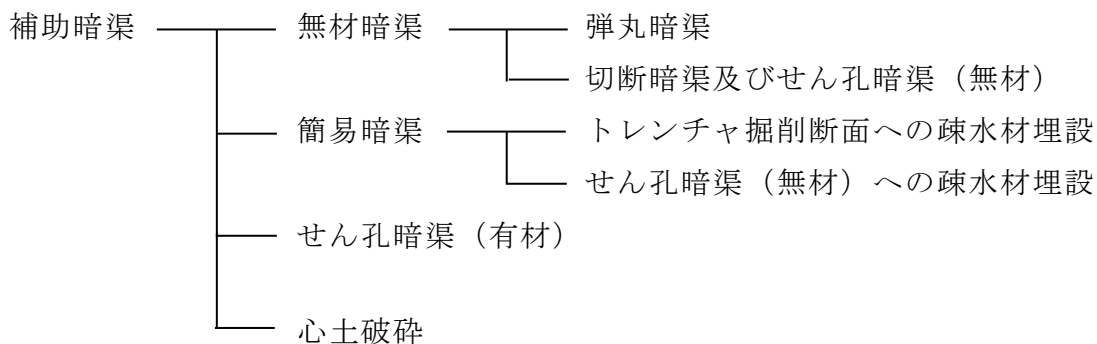
- ① トラクタ（出力 15kw（20PS）以上）を保有し、営農作業的な個人施工又は地域的、共同的な施工が可能かつ有利な場合には、弾丸暗渠等の無材暗渠、心土破碎が適している。
- ② 営農用トレンチャ（トラクタ・アタッチメント等）を保有し、これらの利用が可能かつ有利な場合には、簡易暗渠が適している。
- ③ 事業等で専門の施工業者が施工する場合には、いずれの工法でも良い。

27.2 組合せ暗渠の施工方式

本暗渠のみでは十分な排水効果が見込まれず、補助暗渠との組合せ暗渠を必要とする場合は、その施工に当たって土壌構造の変化に応じて段階的に施工することが望ましい。また、類似地において確立された施工方法がある場合はこれを参考とすることも必要である。

組合せ暗渠の施工方式は、土壌条件や排水条件によって各種の方式が考えられるが、代表的考え方を(図-27.1~27.4)に示す。

なお、前項「26. 補助暗渠の種類と施工」で定義されている区分を参考に下記に示す。



(心土破碎は、本暗渠と組合せて補助暗渠として行う場合と単独で行う場合がある。)

- ① 本暗渠が既に施工されており、排水路の水位が低く保たれ、排水管理等が良好に行われているにもかかわらず、なお排水が十分でない場合

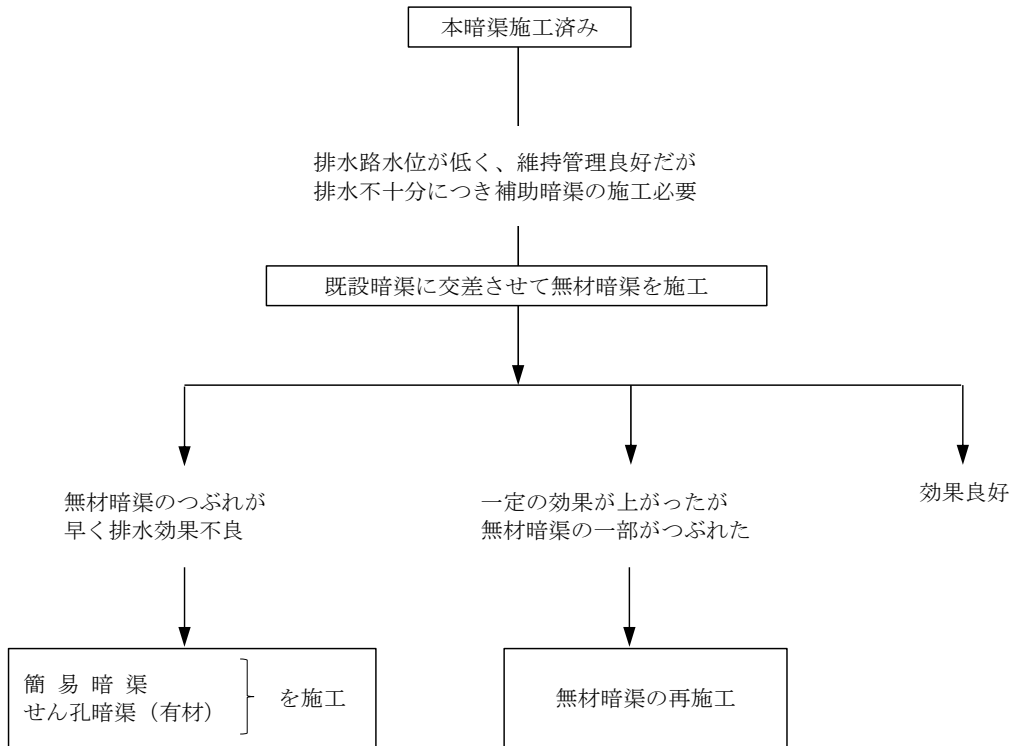


図-27.1 組合せ暗渠方式 (1)

- ② 湿田に暗渠排水を新設する場合

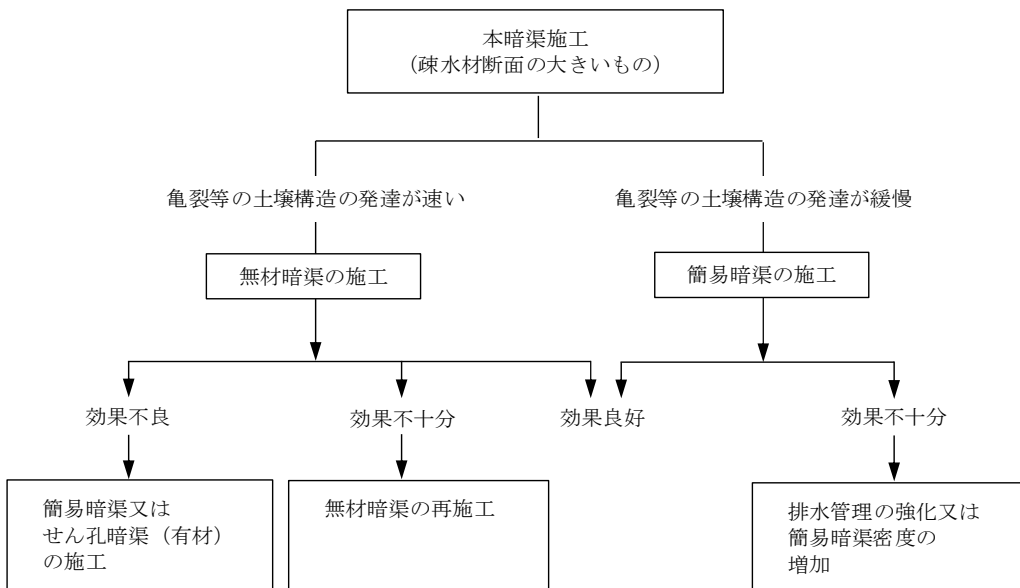


図-27.2 組合せ暗渠方式 (2)

- ③ 地盤が軟弱な強湿田に暗渠排水を新設する場合（干拓地区の初期又はこれに準ずる特別な場合）

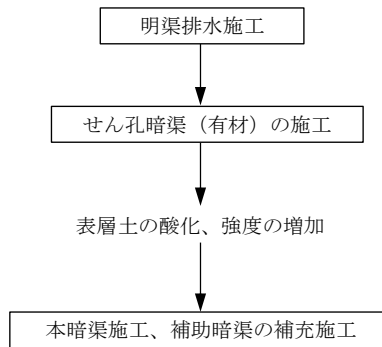


図-27.3 組合せ暗渠方式 (3)

- ④ 緻密な粘土地盤に暗渠排水を新設する場合

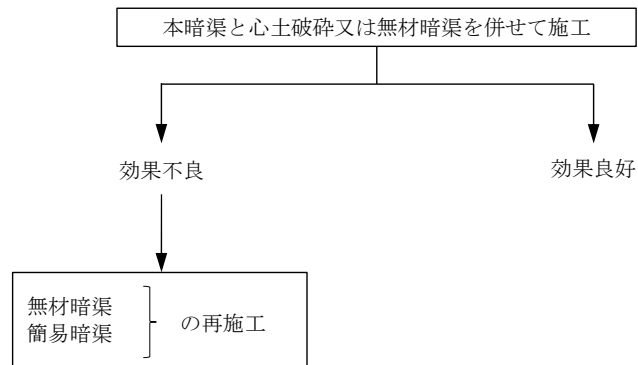


図-27.4 組合せ暗渠方式 (4)

28. 排水路の維持管理

(基準書 第5章 5.2 関連)

暗渠排水の機能を十分に保持するため、排水路の維持管理を適切に行う。維持管理の内容については主に下記のとおりである。

28.1 泥土の除去

排水路は土砂が流れ込み、経年的に通水断面が狭くなっていく（特に干拓地における排水路ではこのことが顕著である）。そこで地形、地質条件によっても異なるが定期的に泥土の除去が必要となる。この作業は、泥土が柔らかく、作業性が悪いことから敬遠されがちであるが、確実に実施する必要がある。泥土の除去は一般的に油圧ショベルが利用されるが、この場合、油圧ショベルが排水路横を自在に走行できるスペース（管理道路等）が必要となる。

また、排水路の底面をライニング構造とすることで、排水路底に泥土が堆積しにくい状況となり、維持管理の軽減に繋がる（写真-28.1）。

28.2 雑草の刈取り

排水路の通水断面は十分であっても、雑草が生えれば排水路の通水機能は著しく低下する。そこで、排水路の雑草の刈取りを行う必要がある。

刈取りの面積が小さい場合は、鎌などで刈取るが、現在はエンジン付きの刈払い機の利用がほとんどである。また、大区画水田での管理では、トラクタに取り付けたアタッチメントを利用した刈取り作業も行われている。

刈取った草を焼き払うときに、暗渠排水口の塩化ビニル管を熱で溶かし、出口を閉塞してしまった例もあるので、このことを避けるため、排水口はコンクリート製品あるいは鉄管などを使用しておく方法もある。



写真-28.1 排水路（底面部）のライニング施工事例

29. 暗渠（吸水渠、集水渠）の維持管理及び機能回復

（基準書 第5章 5.2、5.4 関連）

29.1 暗渠排水の維持管理及び機能回復

暗渠排水は、将来にわたり安定的に機能を発揮させることが重要であり、損傷や劣化等による機能低下又はこれに起因すると想定される農業生産性の低下等を防ぐため、施設の機能維持に努めることが望ましい。本章では、暗渠排水に関する点検診断方法及びその結果に基づく維持管理・機能回復方法の事例を紹介する。

29.2 暗渠排水の機能回復の考え方

暗渠排水の機能回復は、一般的な農業水利施設のような定量的（通水性、安定性、耐久性等）な評価を基に劣化過程を考慮して行うのではなく、外観等の視覚的な確認による評価に基づき、その状況に応じた機能回復の検討、実施を行う。

暗渠排水の機能が低下したほ場を対象に、機能診断（全体機能診断、詳細機能診断）を行い、その診断調査結果を踏まえて対策（方法）を検討する。（図-29.1）

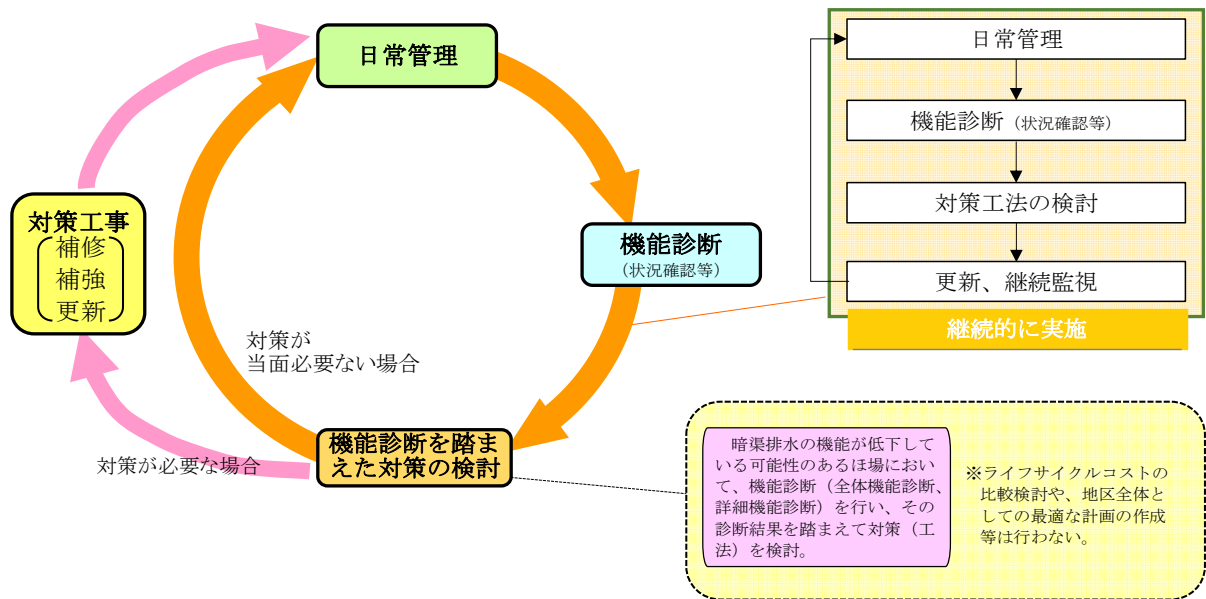


図-29.1 暗渠排水の機能保全サイクル

(1) 全体機能診断

ほ場の「水はけ」と暗渠排水出口の排水状況（水田の場合は水閘）については、定期的な巡回により目視確認を行う。暗渠排水の機能が良好な場合は、日常管理を行い、機能低下が疑われる場合は、詳細機能診断を実施する。

(2) 詳細機能診断

- ①吸水渠 : 試掘調査を行い、吸水管上の難透水性土層の生成の有無などを確認する。吸水管の破損や管ズレの可能性が考えられる場合は、孔内カメラによる診断を実施する。
- ②疎水材 : 吸水渠の試掘調査の際に、疎水材の腐植や断面不足の状況を確認する。
- ③水 閘 : 水閘の地上部分の傷み具合や止水ゴムの硬さを確認し、開閉操作により止水状況を確認する。
- ④排水口 : 水閘の開閉操作と連動して、排水口からの排水の様子・色（茶褐色の有無）などを確認する。

(3) 機能回復方法の検討

- ①吸水渠 : 吸水渠の更新を行う際、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の検討を行う。
- ②疎水材 : 疎水材を再充填する際に断面確保に留意し、また使用量不足とならないようにする。
- ③水 閘 : 水閘の損傷等の状況を踏まえ補修・交換を検討する。また、草刈りなどの維持管理上で破損するケースもあることから、水閘を保護するような対策を検討する。
- ④排水口 : 排水口の破損等の状況を踏まえ補修・更新を検討する。また、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。

暗渠排水施設機能の点検診断フローチャートを図-29.2に示す。

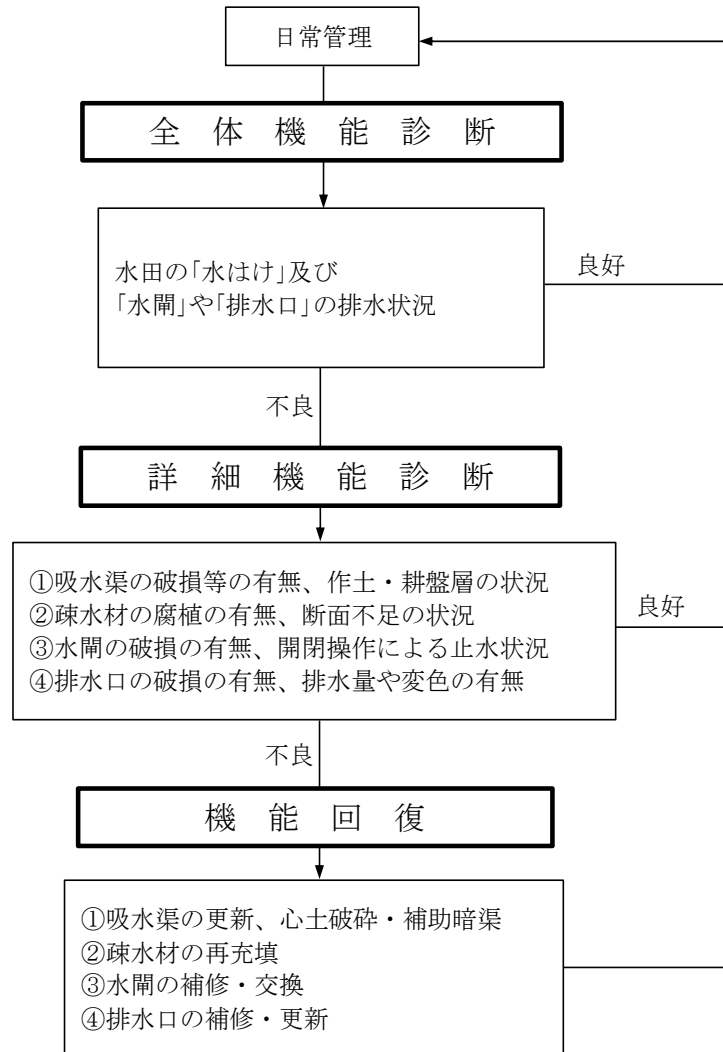


図-29.2 点検診断フローチャート（水田例）

29.3 暗渠管の維持管理

暗渠の清掃は、湛水状態から水閘を開放する操作による方法とジェット・ノズルを暗渠出口から挿入する方法がある。これらの方法では、土砂や水酸化鉄等の目詰まりや沈積が軽微な場合には効果はあるが、吸水管の通水断面の半分程度が閉塞してしまった状態では、ジェット・ノズルの挿入も困難であり、その場合は暗渠の再施工が行われている。

(1) 水閘操作による方法

暗渠機能を持続させるためには、暗渠の出口を泥土で埋没させないように、維持管理の中で定期的に排水路の泥土を除去し、草刈り等も行う必要がある。併せて、管内の土砂の堆積、水あかの付着を流し出す必要がある。その方法としては、水閘を閉じて暗渠管内に水を十分に貯めてから、水閘を開け、急激に水を流し出す作業を年に数回行う。その際、水閘を数回急激に開閉させ、水の流れに衝撃を与える洗浄が効果的である。

(2) 動力噴霧機を利用して暗渠の目詰まりを除去する方法

ア. 上流押し込み方式

作業状況を図-29.3 に示す。弾力補強ホース（グラスファイバー線入りホース）の先端に、洗管ノズルを取り付け、吸水管内に挿入し、湛水された水を暗渠立上り管から、又は用水路の水をサイホンを利用して流入させながら、手動又はホース送り込み機を使って押し込み、高圧水を逆噴射する方式である（図-29.4）。ホースの移動は「上流からの押し込み力+逆噴射の推力+暗渠内の水流」で行われる。長所は暗渠上流より作業が行えることであるが、短所は目詰まりがひどい暗渠管内では通水断面が閉塞し抵抗が大きいことから、末端まで貫通させることが困難な場合もあることである。

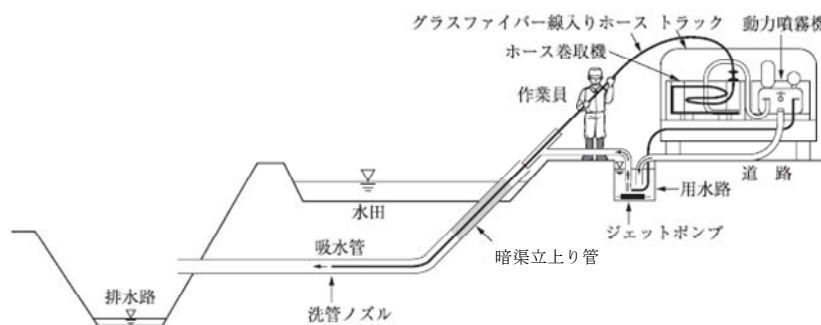


図-29.3 上流押し込み方式



図-29.4 洗管ノズルの構造と洗浄状況

イ. ロープ方式

上流押し込み方式で作業が困難な場合にとられる方式で、あらかじめ、グラスファイバー線を使って、暗渠内に通したロープに洗管ノズル付きホースを結び付け、暗渠出口からこのロープを引っ張りながら上流押し込み方式と同様にして作業を行うものである。ホースの移動は上流押し込み方式の力以外にロープによる引張力が加わるため閉塞状態の大きい暗渠でも利用できることである。(図-29.5)

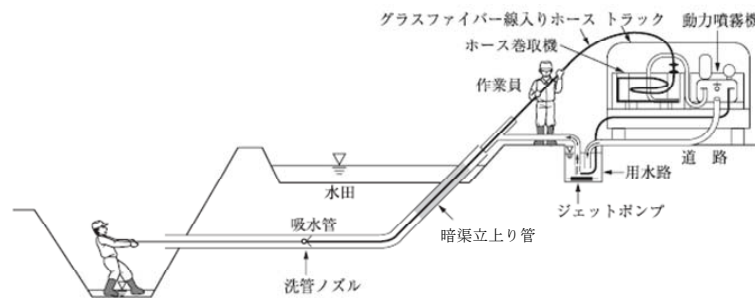


図-29.5 ロープ方式

ウ. 下流押し込み方式

暗渠末端から弾力補強ホース(グラスファイバー線入りホース)を上流に向かって押し込み、同時に高圧水を噴射しながら除去を行う方式である。ホースの移動は「末端からの押し込み力+逆噴射の推力」で行われる。

ホースの押し込みに対して強い力が必要であるが、吸水管の水流に逆らってホースを押し込むため、管内が乾いているとホースと管との摩擦力が大きくなるため、作業は管内の摩擦抵抗が小さい時(湛水状態)に行う方が望ましい。

長所としては、暗渠立上り管が設置されていなくてもこの方法が可能であり、洗浄水として排水を利用することもできるが、短所としては、作業及び器具類の移動が排水路内になることである。この対応のため、排水路に平行して農道や幅の広い溝畔を設置し器具類の移動を可能とする場合もある。

エ. ホース流下方式

図-29.6 のとおり、通常動力噴霧機に洗管ノズルを取り付け、作業は暗渠管上流から順に洗浄を行うものである。器具は動力噴射ホースの先端に取り付ける洗管ノズルだけで、ホースの移動は「逆噴射の推力+暗渠内の水流」で行われるため、暗渠目詰まりが極めて軽微な場合にのみ有効である。

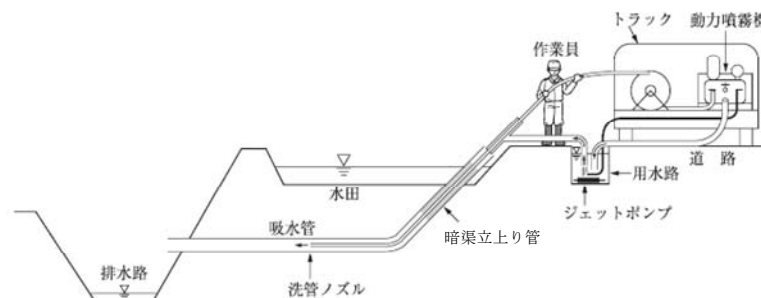


図-29.6 ホース流下方式

(3) 暗渠故障の修復

故障場所の確認は、畑作時に下流は良好で上流が不良な箇所を見て判断する方法もあったが、このように歴然としてわかる状態は少ない。吸水管の不連続箇所を確認するには、グラスファイバー線（弾力線）を吸水管の出口、立上り管から挿入して、貫通不能な場所を確認する方法が効率的である。ただし、グラスファイバー線の弾力性が大きいことから、梱包状態から解放すると、四方八方へ広がり操作が困難になるため注意する必要がある。

(4) 劣化した疎水材の更新（機能回復工法）

暗渠の問題点の一つとしてどのような疎水材を選ぶかがある。モミガラの利用については、土砂の濾過性においては大きな評価を与えるが、腐植が進みやすいという欠点がある。特に畑作物を栽培し続けた場合にこの欠点は顕著となる。疎水材が腐植するとその容積は減少するが、疎水材上の耕盤層に十分な強度がある場合は、空洞を生じることもある。この空洞もいずれ土砂で埋められることとなり暗渠機能の低下は避けられない。

弾丸暗渠の施工により、新たな水みちが発生し、その効果が期待できる場合はこの方法がよいが、弾丸暗渠の施工深よりもモミガラの腐植が進み体積が減少した場合には、疎水材の追加が必要となってくる。この場合、吸水渠直上を掘削し、疎水材を追加充填する方法も考えられるが、埋設箇所の確認は難しいとされている。

このような状況となった暗渠の機能の更新方法としては、吸水渠に直交した方向にトレンチャで掘削し、モミガラを再充填することにより更新する方法として**写真-29.1**に示す施工機械がある。このときトレンチャの掘削幅が広いとモミガラの確保が困難となるので掘削幅が狭い専用のトレンチャも開発されている。この機械の利用においてもモミガラの確保が大きな課題となっている。

施工後断面



写真-29.1 疎水材心土充填機によるモミガラ補助暗渠工法

(5) 泥炭土や弱酸性土内に敷設する暗渠の閉塞抑制対策

泥炭土や弱酸性土における暗渠機能の低下の原因として、土壌が酸性であるため、溶出する鉄が暗渠管内で鉄酸化細菌により酸化鉄として析出し、沈積・固化して管が閉塞することがある。

この対策には、疎水材に pH の高いケイ酸カルシウムを主成分とするロックウールや炭酸カルシウムを主成分とする粗粒石灰石を使用することにより、疎水材の外側で溶出した水溶性鉄を水酸化鉄として析出させ暗渠管内に鉄分を流入させず、かつ、pH の制御により鉄酸化細菌の活動を抑制することで酸化鉄の生成を制御できる。以上のことから、暗渠管の閉塞を抑制できる場合がある。

参考文献

-
- 青森県農林水産部農村整備課：暗渠排水の点検診断・再生工法の手引き（2013）
 - 北川巖：暗渠排水の機能低下の要因と改善対策、畑地農業 698 号、pp22（2017）

30. 水稲生育と地下排水性の関係

(基準書 第5章 5.3 関連)

30.1 水稲の養分吸収と根の活力

水稲は水田に水を張って栽培されるため、大気中の酸素は直接土中へ入ることはできない。作土の表層数mmについては、湛水中の藻類の光合成活動などによって酸素が供給されて酸化状態となるが、それ以下の作土層は酸素が欠乏し還元状態になる。しかし、水稲の根が、酸素が欠乏した還元層の中で呼吸作用を行えるのは、水稲が地上部から根へ酸素を送る通道組織が発達していて、これを通して酸素が送られてくるためである。また、水稲の根は余った酸素で根の周囲を酸化しながら生育する。

水稲が養分を吸収するためには、根の活力が高く養分吸収力があることと、土壌中の養分が根に吸収されやすい形態で存在していることが重要である。特に、生育初期は新根が発生し、根の活力が高くなるため、この時期の土壌中の養分を吸収されやすい形態にして、根に吸収させることが重要である。生育後期になると、新根の発生が停止し、古根によって養分吸収がなされるが、根の老化に伴い活力は低下する。したがって、この時期は根の活力を高く維持させることが重要である。

水稲が養分をよく吸収するためには、それぞれの生育時期によく適合した根の状態を保つことが重要となる。水管理の立場からは、生育初期に湛水して養分の有効化を促進し、生育中期以降は根の活力を高く維持することが重要となる。

30.2 根の活力と透水性

水稲の根は、土壌の適度な透水性が確保されることにより活力が高まる。また、根量特に「うわ根」が増加し、全般に分岐根の発生が多くなる傾向がみられる。生育、収量に及ぼす透水处理の効果は土壌によって異なるが、有効茎歩合の向上による穂数の増加と稔実歩合の向上及び千粒重の増加がみられる。適度な透水性が確保されている場合は、登熟期における下葉の枯れ上がりが少なく、光合成の低下が少ない。

根重の地上部に対する比率（根重／地上部重）は、地下水位が高いほど大きい。これは、地下水位が高く土壌の還元が著しい場合、単位根当たりの地上部が相対的に小さいことを表しており、根の老化が早く補償的新根が発生するため、根量が増加すると考えられる。また、硫化水素による黒腐根、2 価鉄による赤褐色根、有機酸などによる獅子尾状根などの異常根が発生するほか、分岐根が少ないという特徴がある。

適度な透水性が確保されている多収穫田の根と排水不良田の根の活力を比べてみると、前者は古い根においても活力低下が少ないが、後者は老化が早く、活力の低下が著しく収量は低い。多収穫田では根量も多いが古い根の活力が高く維持されることに特徴がある。

排水不良田における暗渠排水整備は、適度な透水性が確保されるため、根の活力を高める効果が期待できる。

30.3 水田土壌の酸化還元

水田土壌が畑土壌と異なる大きな特徴は、稲作期間中に水田が湛水状態に保たれ、土壌が大気から遮断されることによって、還元状態になることである。一方、畑の土壌は全層にわたって酸化状

態に維持されている。土壌の還元は有機物の嫌氣的な分解によって進行する。一方、土壌中の酸化物（鉄、マンガン、硝酸など）は過度な還元を抑制する働きをする。したがって、土壌の還元は、有機物含量が高く、酸化物が欠乏している場合に強く、速やかに進行する。「秋落ち」は、作土から鉄やマンガンが溶脱した水田において過度な還元が進み、硫化水素などが生成することによって起こる水稻の生育障害である。このような水田は老朽化水田とも呼ばれ、その改良には含鉄資材の施用、客土、反転耕、床締めなどが重要となる。

土壌の酸化還元の程度を知る指標として酸化還元電位（Eh）が測られている。Eh が 300mV 以下になると還元的であるとされ、これは土壌中で Fe^{3+} （3 価鉄）が Fe^{2+} （2 価鉄）に変化し始める電位である。Eh が 300~-50mV の範囲を弱還元状態、-50mV 以下を強還元状態としている。

土壌の還元化は水稻生育に対して相反した二つの作用をもつ。還元化によって養分の有効化が助長されるが、過度に還元化が進むと生育障害の原因となる硫化水素や有機酸などが生成する。

暗渠排水の整備は、中干しによる土壌への酸素供給を容易とし、土壌の過度な還元を抑制する効果が期待できる。

参考文献

-
- 飯田修司・新村善男・上森 晃・久津那浩三：生育中期の水管理が水稻生産収量に及ぼす影響、日本作物学会紀事第 59 巻（1990）
 - 福井県：施肥の手引き（2014）

31. 転換畑作物の地下水位管理基準

(基準書 第5章 5.3 関連)

転換畑における湿害対策として、地下水位が連続的に変化する傾斜ほ場において、32種類の畑作物の地下水位に対する反応を調べ、正常な生育に必要な地下水位及び安定多収に必要な地下水位を明らかにした。

一般に、地下水位を50～60cmに下げればほとんどの畑作物は栽培可能になるが、作物別の適する地下水位は30cm前後から70cm前後にわたることが認められた。この成果は、転換畑の地下水位条件に応じた作付作物の選択基準としても有効であると考えられる。

作物別の地下水位管理基準をまとめたのが表-31.1である。以下に、地下水位ごとに作物生育の状況を概説する。

- ① 地下水位20cm前後で十分な生育をするのはさといもだけである。しかし、30cm以上では収量は高いが貯蔵中の腐敗が多くなるので、この点から30cm以下にするのがよい。
- ② 地下水位が約30cmに下がると、しょうが、にんにく、レタス、はくさい、すいか、きゅうり、かぼちゃ、なす、ピーマン、トマト、スイートコーン、いんげん、大豆及びそばがほぼ正常に生育する。これらのうち、しょうがは40cm以上で黄化株が多くなるが、健全株の品質はよく、葉しょうがの出荷には25～40cmが適する。
レタスは60cm以下に下がると玉揃いが悪くなり、トマトは尻腐れが増加する。また、きゅうりは60cm以下、いんげんは80cm以下に下がると、栽培後期の収量が低下する。
- ③ 地下水位が約40cmに下がると、春まきにんじん、たまねぎ、やまといも、しゅんぎく、キャベツ、ブロッコリー及びらっかせいが、十分に生育する。
これらのうち、極早生晩まき栽培のキャベツは、60cm以下になると結球が小さく、玉揃いも悪くなる。70cm以下になると、ブロッコリーは花蕾の揃いがやや悪くなる。
- ④ 地下水位が約60cm以下に下がると、夏まきにんじん、ほうれんそう、はなやさい、さつまいも及びグレインソルガムが十分な生育を示す。これらのうち、夏まきにんじんの場合は、地下水位が下がるほど根は増加するが根色はよくなる。グレインソルガムは30cm以下であれば生育はよいが不稔粒が多く、60cm以下で精子実重が一定になる。
- ⑤ 秋まき麦類は、3麦とも地下水位が下がるほど出穂期・成熟期が遅くなり、約60～70cm以下でほぼ一定になる。また、穂数は地下水位が下がるに従ってやや増加し、穂長も同様の傾向である。3麦のうち、小麦は地下水位25cm以下であれば十分な収量をあげる。さらに50cm以下になると二条大麦が、65cm以下になると六条大麦が、それぞれ安定多収を示す。

以上のように、地下水位を 50~60cm に下げればほとんど畑作物は栽培可能になるが、作物ごとに適する地下水位は異なっている。

表-31.1 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、昭和 52 年～55 年）

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 			
さいとういも		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以上では桿長が短い
〃 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。

32. 現場透水係数の補正と吸水渠間隔の計算

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

32.1 はじめに

図-32.1 に示すような吸水渠の構造と、土壌の排水条件は透水層を作土層に限定し、耕盤より下層の心土層を不透水層として、降雨は作土層を水平に流れて吸水渠に達するモデルを考える。この場合、2本の吸水渠の中央で水面がちょうど地表面に接する定常排水を考えると、暗渠間隔 S は、

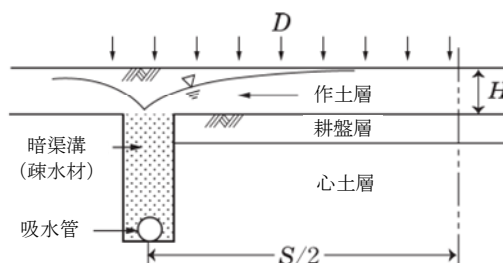


図-32.1 暗渠排水の模式図

$$S = 2H \sqrt{\frac{k}{D}} \times 86.4 \dots \dots \dots (32.1)$$

と表される。

ここで、 S ：吸水渠の間隔(m)、 H ：作土層の厚さ(cm)、 k ：吸水渠間隔決定のための透水係数(cm/s)、 D ：計画暗渠排水量(mm/d)、定数 86.4 は単位換算係数である。 H は 10~20cm 程度、 D は水田の場合 10~50mm/d の範囲で 20~30mm/d が標準的な値(第3章 3.2.1. 参照)である。ここでは測定した現場透水係数(k_s)を補正して透水係数(k)を求め、吸水渠間隔を求める方法の一例を示す。

32.2 現場透水係数の補正

現場透水係数(k_s)は式(32.2)によって補正し、吸水渠間隔決定のための透水係数(k)を求める。

$$k = \alpha \cdot k_s \dots \dots \dots (32.2)$$

ここで、 α は現場透水係数に対する補正係数で、現場透水係数のオーダーごとの概数値が表-32.1のように与えられている。(農業土木学会誌 59(9)1991年：汎用水田の暗渠排水の計画と設計)

表-32.1 補正係数(α)の概数値

k_s のオーダー	α の概数値
10^{-3} cm/s	50
10^{-4}	100
10^{-5}	500
10^{-6}	1,000

しかし、現場透水係数(k_s)とその補正值(k)の関係は、図-32.2の両対数紙上に破線(①線)で示すように波状を示し、特にオーダーが変わるごとにその前後で数値が逆転するなど、実用には

供しにくい。そこで、実用に便利なように、 α の取り扱いを変更して、現場透水係数のオーダーごとにその補正值（ k ）が一定値になるように考える。これは、5桁にわたって変動する現場透水係数の値を、実際に設計に利用できるように簡単に数値化することが必要であるとともに、求める吸水渠の間隔は、10m程度を中心に、数m（組合せ暗渠を計画することになる）から10数m程度の1桁の範囲をカバーすればよいことによる。しかも、実際に暗渠排水を施工する際には短辺長に対してちょうど割り切れる数値（例えば、現在のほ場の標準的な区画の短辺長30mに対して、30、15、10、7.5m（それぞれ吸水渠の本数は1、2、3、4本）及び数m（組合せ暗渠）のいずれになるか）が判断できればよい。現場透水係数（ k_s ）を補正した吸水渠間隔決定のための透水係数（ k ）はかなりラフでも実用には十分に耐えうる。

そこで、まず、**図-32.2**に示すように、 k_s と k の関係（**図-32.2**の破線（①線））を一点破線（②線）のように直線で近似し、この直線を更に実線（③線）で示すように、 k_s のオーダーごとに一定値を与えるものとする。ただし、ここではオーダーの区切りを、例えば、 $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ のように、 5×10^n 以上及び $5 \times 10^{n+1}$ 未満で区切るものとする。

したがって、現場透水係数（ k_s ）は**表-32.2**のように補正して透水係数（ k ）を得ることができる。

表-32.2 透水係数（ k ）

現場透水係数 (k_s ; cm/s)	透水係数 (k ; cm/s)	補正係数 (α)
$k_s < 5 \times 10^{-6}$	3×10^{-3}	≥ 600
$5 \times 10^{-6} \leq k_s < 5 \times 10^{-5}$	1×10^{-2}	2,000 ~ 200
$5 \times 10^{-5} \leq k_s < 5 \times 10^{-4}$	3×10^{-2}	600 ~ 60
$5 \times 10^{-4} \leq k_s < 5 \times 10^{-3}$	1×10^{-1}	200 ~ 20
$5 \times 10^{-3} \leq k_s$	3×10^{-1}	$60 \geq$

32.3 吸水渠間隔の計算

吸水渠の間隔は、**式(32.1)**に k の値として補正した透水係数 k (cm/s)、計画暗渠排水量 D (mm/d)、及び作土層の厚さ H (cm)をそれぞれ代入して計算で求める。 k 、 D 及び H の具体的な数値は次のようにして決定する。

(1) 設計のために必要なデータ

ア. 透水係数（ k ）

現場透水試験によって求めた現場透水係数（ k_s ）の大きさに応じて、**表-32.2**により、透水係数（ k ）を求める。

イ. 計画暗渠排水量（ D ）

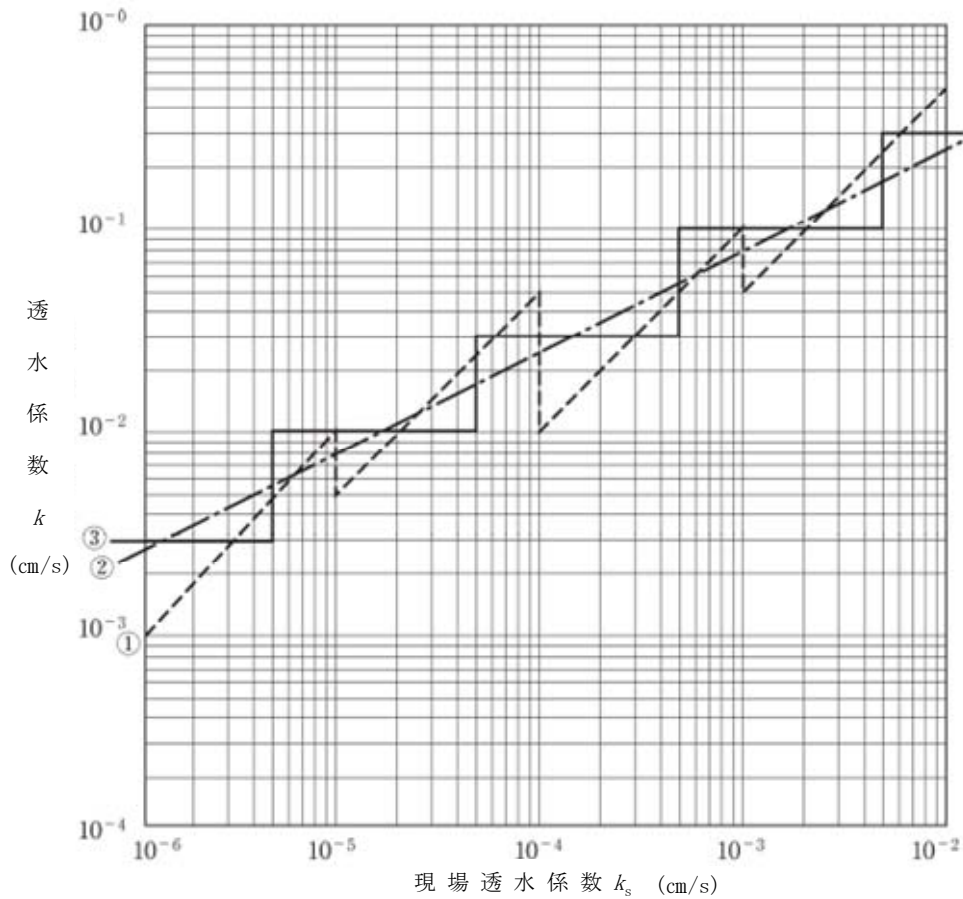
水田の場合、計画暗渠排水量（ D ）は10~50mm/dの範囲で20~30mm/dが標準的な値とされているので、計算には $D=20$ あるいは30mm/dを採用する。ただし、後述するように、計算した吸水渠間隔（ S ）の大きさによっては、この D の値を見直して、10~50mm/dの範囲であらためて間隔を計算することがある。

ウ. 作土層の厚さ（ H ）

水田の場合、作土層の厚さ（ H ）は10~20cm程度である。この試算では $H=15$ cmを使用す

る。

- ① 破線：現場透水係数 k_s (cm/s) とその補正值 k (cm/s) の関係式。
- ② 一点破線：①の1次近似式。
- ③ 実線：現場透水係数 k_s のオーダーを 5×10^n 以上及び $5 \times 10^{n+1}$ 未満で区切り、 k_s のオーダーごとに k の一定値を与えた関係式。



- k_s (cm/s) のオーダーが大きくなるごとに、 α 及び D を変化させて、 S が狭くなる様にする。
- k (cm/s) の中央値 3×10^{-2} では、 $D=20 \sim 30$ mm/d に対し $S=10$ mとなる。
- ここでは作土層 $H=0.15$ mとしている。

k_s :			5×10^{-6}	5×10^{-5}	5×10^{-4}	5×10^{-3}			
4桁のオーダーの範囲	$\sim 5 \times 10^{-6}$		$\sim 5 \times 10^{-5}$	$\sim 5 \times 10^{-4}$	$\sim 5 \times 10^{-3}$	$\sim 5 \times 10^{-2}$			
k : 2桁のオーダーの範囲	3×10^{-3}		1×10^{-2}	3×10^{-2}	1×10^{-1}	3×10^{-1}			
D : 10~50mm/dの範囲	10	20	10	20	20	30	30	40	40~50
S : 3~15mの範囲	5	3	10	5	10	10	15	10	15~25
(組合せ暗渠例)	(10, 5)	(10, 3)		(10, 5)					

注) (10, 5)は組合せ暗渠における(本暗渠間隔, 補助暗渠間隔)を示す

図-32.2 現場透水係数 k_s の補正

(2) 吸水渠間隔の計算

補正した透水係数 k (cm/s)、計画暗渠排水量 D (mm/d) 及び作土層の厚さ H (cm) から、式 (32.1) により吸水渠間隔 S (m) を計算することができる。表-32.3 は、作土層の厚さ $H=15$ cm として、現場透水係数 k_s (cm/s) は 5×10^{-6} 以上から 5×10^{-3} までの 5 桁にわたる 4 段階について、計画暗渠排水量 D (mm/d) は 10 から 50 mm/d までの 5 段階についてそれぞれ与えて、吸水渠間隔 S (m) を計算したものである。

具体的な計算結果は次のようになる。

- (ア) 計画暗渠排水量 (D) が 20 又は 30 mm/d で、現場透水係数 (k_s) が $5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ cm/s (このとき補正後の透水係数は $k=3 \times 10^{-2}$) の場合は、 S が 11 又は 8.8m となる。これは、実際の施工では 10 又は 7.5m 間隔として差しつかえなく、従来より一般的に採用されている間隔を与える。
- (イ) 現場透水係数 (k_s) が 5×10^{-6} cm/s 以下と小さくなると、計画暗渠排水量 (D) の標準的な値に対してだけでなく、計画暗渠排水量 (D) 10 mm/d に対しても S が 4.8m、すなわち $S < 7.5$ m となって、本暗渠単独では計画暗渠排水量を満たすことが困難となる。このような場合は、土層改良を施して透水性や作土層厚を大きくするか、又は弾丸暗渠等の補助暗渠との組合せ暗渠を考えなくてはならない。組合せ暗渠の設計は、式 (32.3) を用いて、この場合は $S=4.8$ m と、本暗渠間隔を $a=10$ m として、式 (32.3) より補助暗渠間隔 (b) を求めることになる。 $b \doteq S$ である¹⁾。

$$\frac{1}{S^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \dots\dots\dots (32.3)$$

- (ウ) 現場透水係数 (k_s) が $5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-5}$ cm/s のオーダーの場合は、計画暗渠排水量 (D) を 30 mm/d とすると S が 5.1m となる。この場合は、計画暗渠排水量 (D) を見直して、10 mm/d とする。これによって S が 8.8m となって、本暗渠のみの単独施工が可能となる。
- (エ) 現場透水係数 (k_s) が 5×10^{-4} cm/s のオーダーの場合は、計画暗渠排水量 (D) を 30 mm/d とすると S が 16m、 D を 40 mm/d とすると S が 14m となって、おおむね 10~15m が標準的な吸水渠間隔となる。

表-32.3 吸水渠の間隔(S ; m)

現場透水係数 k_s (cm/s) 補正後の透水係数 k (cm/s)	計画暗渠排水量 D (mm/d)					標準的な 吸水渠間隔
	10	20	30	40	50	
$< 5 \times 10^{-6}$ 3×10^{-3}	<u>4.8</u>	3.4	2.8	2.4	2.2	(10, 5) 注)
$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-5}$ 1×10^{-2}	<u>8.8</u>	6.2	5.1	4.4	3.9	7.5
$5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ 3×10^{-2}	15	<u>11</u>	<u>8.8</u>	7.6	6.8	10・7.5
$5 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-3}$ 1×10^{-1}	28	20	<u>16</u>	<u>14</u>	12	10・15

注) (10, 5)は組合せ暗渠における(本暗渠間隔、補助暗渠間隔)を示す

引用文献

- 1) 荻野芳彦・村島和男：暗渠排水計画の理論的検討、農業土木学会論文集第119号、pp1~6 (1985)

33. 暗渠排水組織の計画・設計例（1） 一 汎用化水田における暗渠排水量の調査事例一

（基準書 第3章 3.3.1 関連）

33.1 はじめに

水田の暗渠排水組織の計画と設計について、S県下D地区を事例としてその手順を具体的に示す。

汎用化水田においては、暗渠排水計画は水田の場合と転換畑の場合のそれぞれについて検討し、どちらがより厳しい排水条件になるか判断することになる。ここでは水田を対象として暗渠組織を計画、設計した。施工後、本ほ場が畑状態に転換されたときに暗渠排水量調査を行い、水田を対象にした暗渠排水組織が転換畑においてもその機能を果たしていることを確認した。

33.2 暗渠排水組織の計画と設計

(1) 試験ほ場及び調査の概要

暗渠排水組織設計のための調査はS県下D地区内に試験ほ場を設けて実施した。

本地区は、かつてはB湖の内湖の1つで、湖面干拓によって面積1,150haの農地として整備された。ほ場からの排水は小排水路から幹線排水路を経て、B湖へ機械排水（計画排水量 $21\text{m}^3/\text{s}$ ）されている。試験ほ場は $30\times 125\text{m}$ 区画である。

暗渠排水組織を計画するに当たり、平成4年度より図-33.1に示すように、雨量、地下水位、土壌水分（深さ10、20、40cm）、支線排水路水位及び土層断面、作土層の透水係数、排水状況等について実測を開始した。

(2) 暗渠排水組織の計画と設計

ア. 計画基準値と設計データ

- ① 計画暗渠排水量（ D ； mm/d ）；
ほ場が水田状態のときの落水を想定して、 $D=20\text{mm}/\text{d}$ とした。

- ② 現場透水係数（ k_s ； cm/s ）；オーガーホール法により現場透水係数 $k_s=1.3\times 10^{-4}\text{cm}/\text{s}$ を得て、これを補正係数（ $\alpha=100$ ）で補正し、 $k=1.3\times 10^{-2}\text{cm}/\text{s}$ を得た。
（「32. 現場透水係数の補正と吸水渠間隔の計算」とは、一部考え方が異なり、本ケースは、補正には表-32.1を使用している。）

- ③ 作土層の厚さ（ H ； cm ）；実測により $H=20\text{cm}$ を得た。

イ. 吸水渠の幅と深さ

ほ場では雑草除去のために深さ60cmまでプラウをかけるため、暗渠管敷設深さを平均95cmにした。溝幅は、バックホウによって施工することから30cmとした。

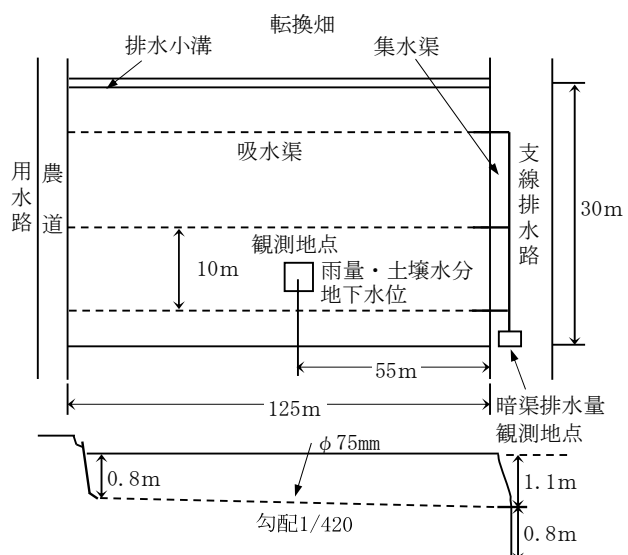


図-33.1 試験ほ場の縦断面図

（暗渠と観測機器の配置）

ウ. 暗渠間隔の決定

アで決定した設計データを式(33.1)に代入して暗渠間隔 (S ; m) を計算すると、S=9.5 mを得る。よって暗渠間隔を 10mとし、短辺 30mに対し 3本の吸水渠を埋設した。

エ. 吸水管の直径

吸水管の直径 (d ; mm) は、吸水管の下流端が、落口となる支線排水路等が十分に深く、1/10年確率の降雨時においても、排水路の水位以下に没することがなく、かつ排水が暗渠管内を満流にて、吸水渠上流端と下流端の水頭差によって流れる場合には、 Manning式の Iに (H₀/L) を代入することにより、次の式で計算ができる¹⁾。

$$d = 2,000 \left\{ \left[\frac{DSn}{8.64 \times 10^7 \cdot C} \right]^2 \cdot \frac{L^3}{3H_0} \right\}^{3/16} \dots\dots\dots (33.1)$$

ここで、C : π (1/2)^{2/3} = 2.0、n : 吸水管の粗度係数、S : 暗渠間隔 (m)、L : 吸水管の長さ (m)、H₀ : 管上・下流端の水頭差 (m)

式(33.1)に暗渠間隔を 10m、吸水管長を 125m、管の上・下流端の水頭差 (H₀) を 0.3m (吸水渠上流端深さ 0.8m と下流端深さ 1.1m の水頭差) とする。ここでは、より厳しい排水条件になる転換畑における雨水排除を想定した計画暗渠排水量 6.6 mm/h(後述)で吸水管の直径を計算すると管径は 75 mmとなり、市販されている管径 75 mmのポリエチレン管を採用した。式(33.1)の適用に当たって、計画暗渠排水量の単位はmm/d に揃える必要がある。))

オ. 吸水渠の構造

暗渠排水の設計で重要なのは、透水性の良い埋戻し材 (砕石、モミガラなど) を作土層に達するまで十分に充填し、過剰な土壌水と地表残留水を排除することである。この方針に従って図-33.2 のような暗渠排水を平成 5 年に施工した。その仕様は次の通りである。

[暗渠排水組織]

- 暗渠の間隔 : S = 10m
- 暗渠管敷設深さ : 平均 95cm
上流端 80 cm、下流端 110 cm
- 埋設勾配 : 1/420
- 管材料と直径 : ポリエチレン管、75 mm
- 暗渠溝の幅 : 30 cm (バックホウ掘削)
- 埋戻し材 : 砕石 30~60 cm (下層)
モミガラ 30 cm (上層)
(作土厚 20 cm)

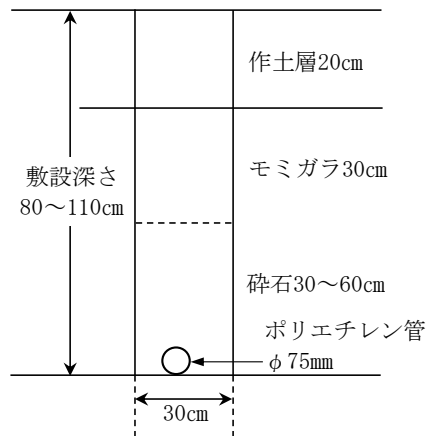


図-33.2 吸水渠の構造

33.3 転換畑における暗渠による雨水排除機能の評価

試験ほ場では水田状態を対象として暗渠組織設計を行い、暗渠を施工した。次にこの暗渠が畑状態に転換されたときに、転換畑に要求される排水能力を持っているかどうか実測によって確認した。

(1) 転換畑の計画基準値

転換畑のほ場排水の計画基準値は、①暗渠排水量の観点からは、1/10年確率4時間雨量について、地区の条件等を考慮して定める計画暗渠排水量と、②地下水位の低下速度の観点からは、降雨後2～3日で地表面下40～50cm、7日以降（常時）で50～60cmを、それぞれ同時に満たすことが必要とされている。本事例における計画暗渠排水量は、1/10年確率4時間雨量（75.2mm/4h）に流出率0.35（本調査地区においては農地等の流出率を準用）を乗じた6.6mm/h（1.8m³/s/km²）を用いた。

(2) 転換畑における暗渠排水能力

ア. 評価のための観測データ

平成9年度に観測・記録した降雨時における暗渠排水量と地下水位の時間曲線（8月4日～5日にかけて114mmの降雨があった）を図-33.3に示した。また、表-33.1に、比較的総雨量の多い5例について、降雨量では①総雨量、②最大4時間雨量、③4時間平均降雨強度について、暗渠排水量では④ピーク暗渠排水量、⑥暗渠総排水量について、地下水位の低下速度については⑧降雨後3日目の地下水位の位置（田面からの深さで表示）についてそれぞれ観測データを整理して示した。

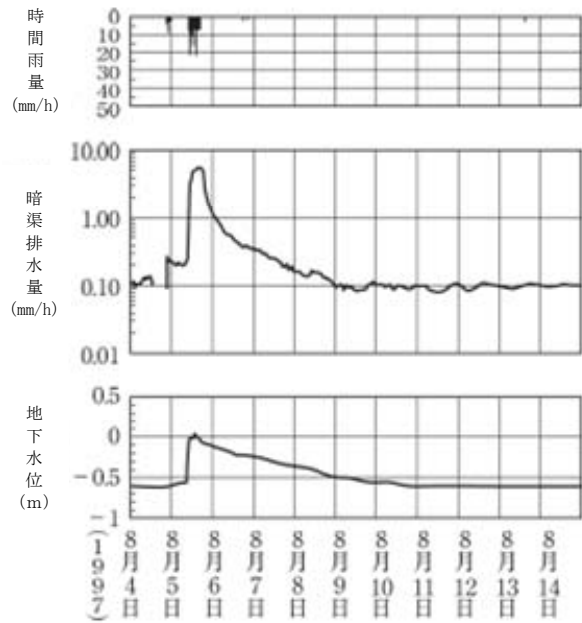


図-33.3 暗渠排水量と地下水位の観測結果の一例

表-33.1 暗渠の排水実績

観測期間（1997年）		7/8～16	8/4～9	9/6～15	9/17～24	9/25～10/3
①総雨量	mm	251.0	114.0	55.5	38.5	56.0
②最大4時間雨量	mm	53.0	52.0	47.5	33.0	21.5
③4時間平均降雨強度	mm/h	13.4	13.0	11.9	8.3	5.4
④ピーク暗渠排水量	mm/h	5.4	5.4	4.8	2.4	2.8
⑤ ④/③	%	40.3	41.5	40.3	28.9	51.9
⑥暗渠総排水量	mm	185.6	74.7	36.5	25.9	42.5
⑦ ⑥/①	%	73.9	65.5	35.8	67.2	75.9
⑧地下水位（降雨後3日） ^注	cm	38	46	58	58	53

注)ほ場面からの深さで表示

イ. ピーク暗渠排水量

図-33.3、表-33.1より明らかなように、降雨のピーク時の最大で5~6 mm/h程度の排水量を示している。降雨の規模が1/10年確率4時間雨量に比べて小さいので、計画暗渠排水量(6.6 mm/h)を下回っているが、1/10年確率4時間雨量相当の降雨の場合は、十分に計画暗渠排水量を上回ると考えられる。

転換畑は乾燥や耕うんによって粗大間隙が発達しているので、表-33.1の欄④実測されたピーク暗渠排水量を計画暗渠排水量として推測する(式(32.1)より k を逆算)と、転換畑の透水係数は水田のそれに比べて1桁は大きくなっていることがわかる。転換畑の暗渠排水量は、暗渠間隔と作土層の厚さが同じ条件であるから、水田の場合の $D=20$ mm/dの10倍、すなわち、200 mm/d(時間当たりに換算すると、約8 mm/h)となり、本事例においては、転換畑のほ場排水については地下排水量にて十分対応できるものと判断できる。前述のとおり、これは日常のほ場の管理として転地返しなどして作土層の透水係数を良好に保つ努力をしたり、地下水位と排水路の水位差が1.0m程度降雨時においても保たれていたことも、約8 mm/hに近い排水量を記録するに至った原因と考えられる。

ウ. 地下水位の低下速度

降雨のピーク時で地下水位は耕地面より+2 cmで若干の湛水があったようである。その後、3日後にはほぼ40~50 cmに低下している。総雨量が小さい場合では、50~60 cmと、地下水位は更に低い。

常時では、湖水の浸透を0.1 mm/h(2~3 mm/d)程度排除し、地下水位を60 cm程度に下げている。これにより、暗渠排水施工前に畝間や農機の旋回後に見られた残留水は排除され、畑作のための排水条件が改善されたと判断できる。

エ. ピーク流出率

ピーク流出率は、表-33.1の⑤欄に示すように、ほぼ40%程度の数値を示している。なお、降雨が少ない場合は、降雨の初期損失が土壤の乾燥の程度に大きく左右されるので、流出率は大きくばらつくこととなる。

オ. 暗渠排水の雨水排水率

転換畑における雨水排水能力は、総雨量に対する暗渠排水の排水率によっても評価できる。表-33.1の⑦欄に示したように、本事例の場合、総雨量の70%程度は暗渠によって地下排水されていることがわかる。

引用文献

- 1) 村島和男・荻野芳彦：汎用化水田の暗渠排水の機能とその維持管理、農業土木学会誌 60(1)、pp13~18 (1992)

34. 暗渠排水組織の計画・設計例(2) 一類似地調査による暗渠間隔の計算事例一

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

34.1 はじめに

暗渠排水試験を実施する場合、事業の中で施工が数年度にわたる場合は初期の段階に施工した暗渠を現場試験として利用することが可能である。また、いわゆる類似地の実測データが入手できる場合は、わざわざ暗渠排水試験を行わなくてもその排水実績を用いて暗渠間隔が決定できる。

最初に、暗渠排水試験では、既設の暗渠(暗渠間隔を S' (m) とする)を利用して暗渠排水量の経時変化を観測し、初期暗渠排水量 (q_0 ; mm/h) と暗渠総排水量 (V ; mm) を求める。次に、暗渠総排水量 (V ; mm) から計画暗渠排水量 (D ; mm/d) を式 (34.1) (10. 類似地調査による計画暗渠排水量の求め方 参照) より求め、この D と q_0 から式 (34.2) によって暗渠間隔 S (m) を決定する。ここで T は計画排水時間 (1日とする) である。類似地の暗渠排水試験の結果として q_0 と V のデータが不可欠である。

$$D = 3 \frac{V}{T} \dots\dots\dots (34.1)$$

$$S = S' \sqrt{\frac{q_0}{D} \times 24} \dots\dots\dots (34.2)$$

この方法は暗渠排水の排水量の実測を行わなければならないが、暗渠間隔式 (式 (34.2)) において透水係数 (k) が捨象されており簡便な方法である。

34.2 暗渠排水試験結果から暗渠間隔を決定する理論的背景

暗渠(吸水渠)がある間隔 S' で施工されている一枚のほ場で暗渠排水試験(暗渠排水の排水量の実測、ほか)を行った場合、図-34.1 に示すような暗渠排水量の時間曲線(以下、実測時間曲線と呼ぶ)が得られる。試験の初期条件は、地下水位がほ場面まで上昇しかつ地表湛水がなく水閘を開いている状態である。排水開始後はほ場への新たな流入はないから、図-34.1 に示すように初期暗渠排水量が最大値となる単調減少曲線が得られる。この実測時間曲線の初期暗渠排水量を q_0 (mm/h) とし、排水時間 t (日) で暗渠総排水量 (V ; mm) を排除したものとすると、 q_0 と S' の間には式 (34.3) が成り立っている。なお、 H は作土層の厚さ (cm)、 k は透水係数 (cm/s)、定数 3.6 は単位換算係数である。

$$S' = 2H \sqrt{\frac{k}{q_0} \times 3.6} \dots\dots\dots (34.3)$$

一方、計画排水時間 T を1日と与えて、暗渠排水試験で得られた暗渠総排水量 (V ; mm) をこの T 時間で排除するような時間曲線を考えると、この時間曲線の初期暗渠排水量 (q_0 ; mm/h) が計画暗渠排水量 (D ; mm/d) で、このとき式 (34.2) より暗渠間隔 (S' ; m) が求める暗渠間隔 (S ; m) となる(この曲線を計画時間曲線と呼ぶ)。前述の実測時間曲線と計画時間曲線の形状を初期暗渠排水量 (q_0 と D) と排水時間 (t と T) について比較すると次の3つのケースがある。(図-34.2)

- ① $t < T$ ($q_0 > D$, $S' > S$) の場合
- ② $t = T$ ($q_0 = D$, $S' = S$) の場合
- ③ $t > T$ ($q_0 < D$, $S' < S$) の場合

実測時間曲線の排水時間 t を計画排水時間 T と比較して、 $t < T$ の場合は実測時間曲線の初期暗渠排水量 q_0 を D まで減らすと、逆に $t > T$ の場合は q_0 を D まで増やすと、実測曲線は計画排水時間に一致すると考えてよい。

本方法は、暗渠排水試験で得られた (S' , q_0 , t , V) の関係から、計画排水時間 $T=1$ 日を与え、計画暗渠排水量 (D ; mm/d) を式 (34.1) から計算し、これを満たす暗渠間隔 (S ; m) (式 (34.2)) を決定しようとするものである。

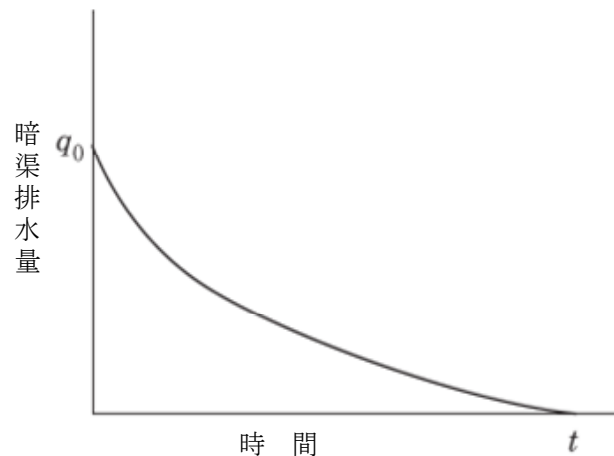


図-34.1 暗渠排水量～時間曲線

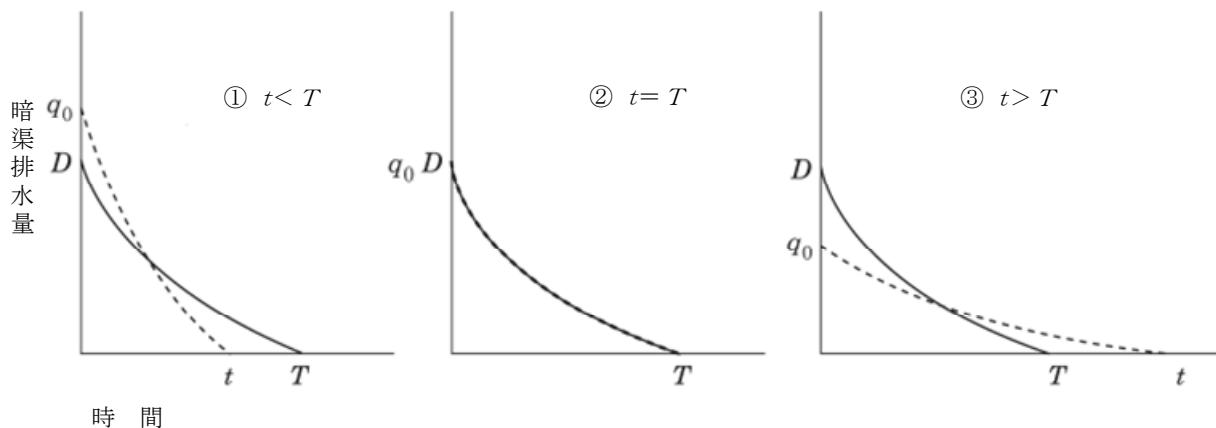


図-34.2 実測時間曲線と計画時間曲線の比較

34.3 暗渠排水試験の実施例 (H県M地区)

(1) 調査地区

暗渠排水試験はH県 I 町のM地区で行った。本地区は一級河川A川とB川にはさまれた低平な水田地帯である。湿田状況を改善し、将来の水田農業を見据えた生産性の高い営農を実現するため、県営低コスト化水田農業大区画ほ場整備事業が平成4年度から実施された。

この地区の標準区画は $200\text{m} \times 60\text{m}$ (1.2ha)、均平区画は 2.4ha) で、田面の嵩上げ、幹線排水路の改修、小排水路の管路化と暗渠排水によってほ場の排水改良が図られている。暗渠排水を実施す

るに当たりその組織（吸水管材料、吸水渠の深さと間隔及び疎水材の種類）の詳細を決定するために平成9年度に暗渠排水試験を行い、設計のためのデータを得た。

(2) 試験区の設定

1枚のほ場に、図-34.3に示すように試験的に10m間隔で吸水渠5本を1組とする暗渠排水組織を4組設けA、B、C、D区とした。これらの4試験区に、吸水管の材料（素焼土管又はポリエチレン管）と、吸水渠深さ（50cmまたは70cm）の2項目についてそれぞれ2種類、合計4種類の暗渠排水組織を設けた。

図-34.4に示すようにA、D区が素焼土管、B、C区がポリエチレン管で、A、B区が50cmの埋設深、C、D区が70cmの埋設深である。本地域のこれまでの埋設深標準仕様はポリエチレン管の70cmであった。疎水材は、碎石（下層）とモミガラ（上層）を用い、モミガラは作土層に達するまで十分に厚く足で踏み込みながら投入した。吸水渠の掘削、吸水管の敷設及び疎水材（碎石・モミガラ）の投入までの工程は平成8年11月に行い、表土の埋戻しは土壌の表層部の乾燥を待って平成9年3月に行われた。

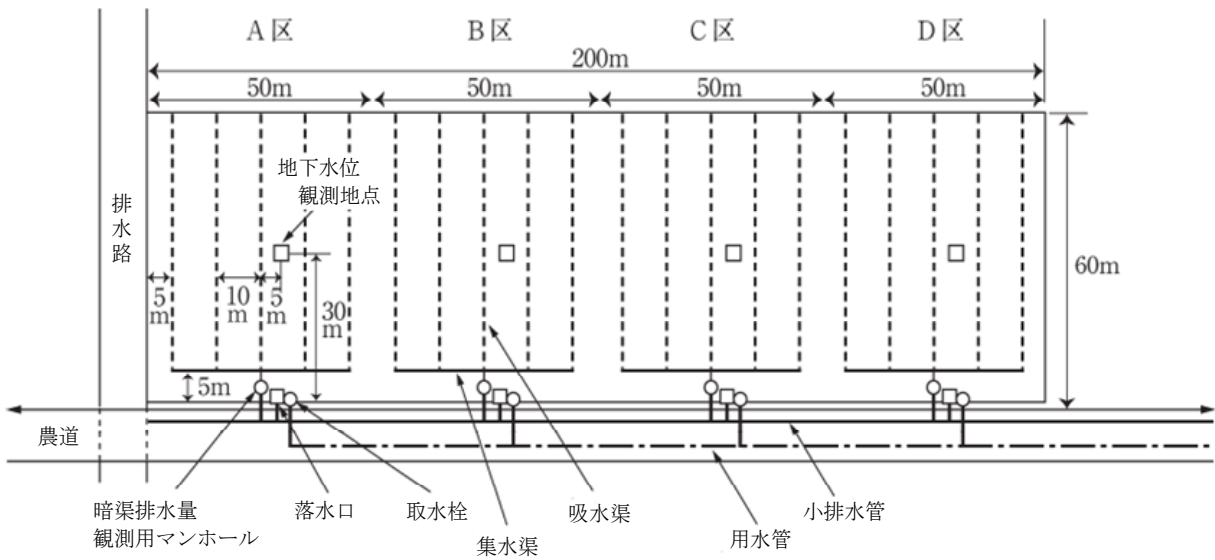
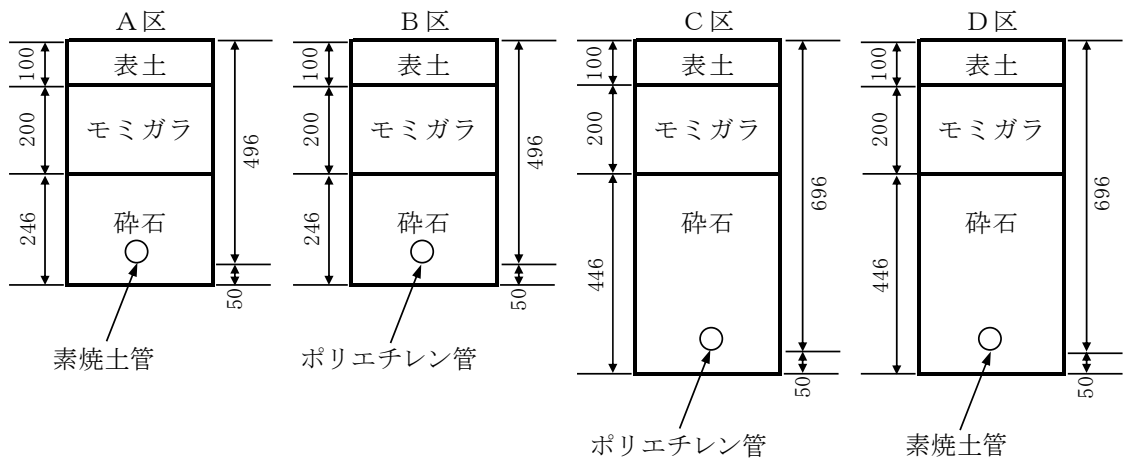


図-34.3 暗渠排水試験区の設定



単位：mm

図-34.4 吸水渠の断面

(3) 試験方法

ア. 観測項目

① 暗渠排水量

暗渠排水量は、**図-34.3** に示すようにA、B、C、D区ごとに集水渠に超音波流量計を設置して測定した。

② 地下水位

地下水位は、**図-34.3** に示すように、各区の中央部分に地下水位観測井（ $\phi 150\text{mm}$ のオーガーホールに $\phi 75\text{mm}$ 、長さ 1m の有孔塩化ビニル管を挿入し、すき間に礫を充填した）を設け、その底に水圧式水位計を設置して測定した。

イ. 暗渠排水試験の方法

暗渠排水試験は、中干し後（平成9年7月20日）と落水期（平成9年8月28日）に行った。試験に際し、まず地表湛水の大部分を落水口から排除し、その後、各区の水閘を一斉に開いて暗渠排水量及び地下水位を観測した。暗渠排水の開始は、地表湛水が完全に排除された状態（この状態を非湛水飽和状態と呼ぶ）に達する前に開始することが重要である。これは、後述の初期暗渠排水量（ q_0 ）を確実に観測記録するためである。

暗渠排水試験は暗渠排水量の大きさが初期暗渠排水量の数パーセント以下に小さくなった段階（2桁程度に低下）で終了する。通常は半日から1日の観測期間である。

34.4 試験結果の整理

(1) 暗渠排水量～時間曲線

観測された暗渠排水量は排水区域面積で除して mm 単位として整理し、横軸に時刻若しくは暗渠排水開始からの経過時間（ h ）、縦軸に暗渠排水量（ mm/h ）の対数値をとって片対数紙上にプロットする。この図を実測時間曲線と呼ぶ。実測時間曲線の形状は、排水開始からしばらくの間は上に凸な曲線を描きながら穏やかに減少し、その後、大きな減衰率で直線的に減少し、さらにその後は減衰率を大から小へ徐々に変化させながら下に凸な曲線（逆S字状の曲線）を描く。

図-34.5 にC区における実測時間曲線の観測例（平成9年7月20～21日）を示す。これらの実測時間曲線から初期暗渠排水量（ q_0 ; mm/h ）と暗渠総排水量（ V ; mm ）を次のように求める。

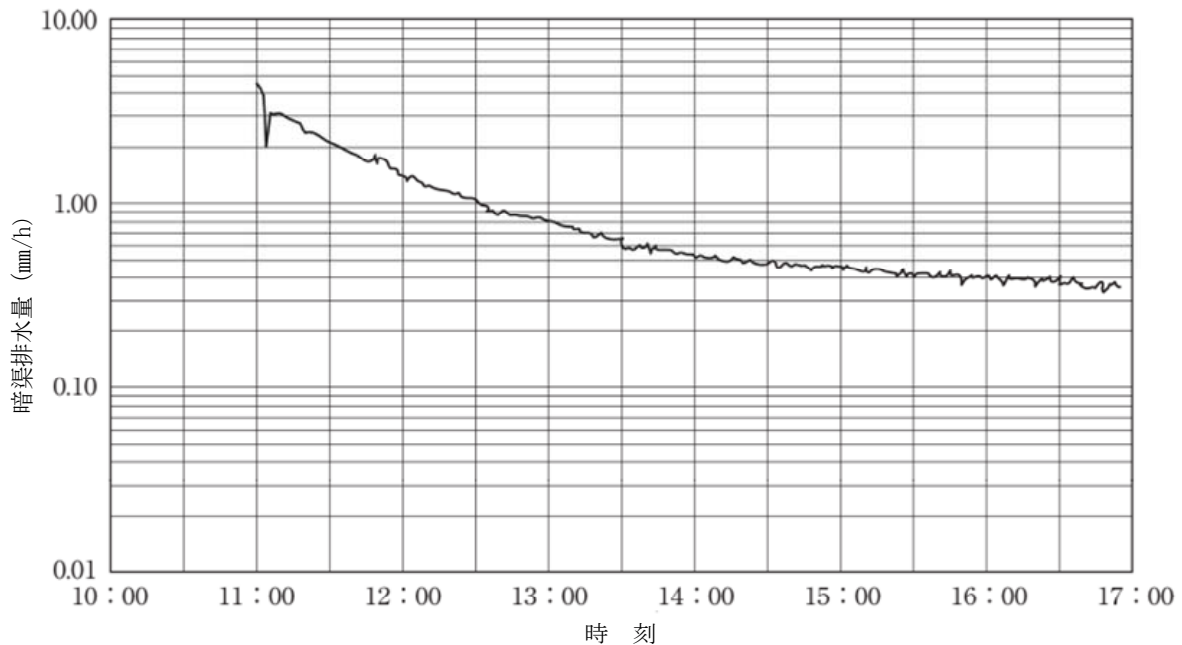
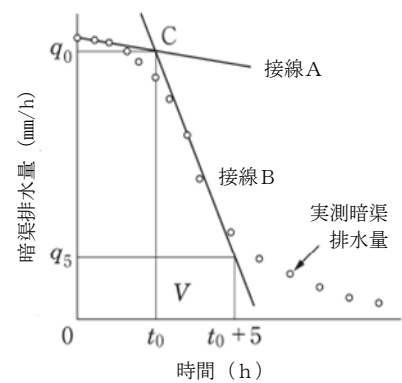


図-34.5 暗渠排水量の観測結果 (C区)

(2) 初期暗渠排水量 (q_0 ; mm/h)

初期暗渠排水量とは地下水位がほ場面まで上昇し非湛水状態の条件で水閘を開き、暗渠排水試験を行った場合の暗渠排水量で、実測時間曲線から図-34.6に示すような手順によってこれを求めることができる。

- ① 排水開始時 ($t=0$) の暗渠排水量に接する接線Aを引く。
- ② 上に凸な部分を過ぎた直後の、減衰率が最も大きな直線部分に接する接線Bを引く。
- ③ 接線Aと接線Bの交点Cを求めて、点Cの横軸 t_0 と縦軸の q_0 を読み取る。 t_0 は地下水位がほ場面まで上昇し非湛水状態の時の時間 (時刻)、 q_0 がこの時の初期暗渠排水量 (mm/h) である。

図-34.6 q_0 と V の求め方(3) 暗渠総排水量 (V ; mm)

暗渠総排水量 (V ; mm) とは初期暗渠排水量 (q_0 ; mm/h) 以降に暗渠が排水した総量である。実測時間曲線の q_0 以降の暗渠排水量を積算して暗渠総排水量 V を求めることができる。

34.5 暗渠間隔の決定

暗渠排水試験結果を整理すると、式(34.1)から計画暗渠排水量 D (mm/d) を求め、さらに式(34.2)から暗渠間隔 S (m) を計算で求めることができる。このようにして求めた本地区のC区の暗渠間隔は表-34.1に示すとおりである。

表-34.1 暗渠排水試験による暗渠間隔の決定

試験区	管材料	埋設深 (cm)	暗渠 間隔 (S') (m)	排水試験結果		計画暗渠 排水量 (D) (mm/d)	暗渠 間隔 (S) (m)
				q_0 (mm/h)	V (mm)		
C	ポリエチレン	70	10	3	13	39	13

なお、地下水位の低下速度の観点から暗渠の排水能力を検証すると次のようである。図-34.7に本試験区の平成10年7月1か月間の地下水位の変化を示す。7月20~21日の暗渠排水の後、地下水位は3日後には各区で25cm~45cm程度まで低下し、地下水位の基準値は満たしていることとなる。地下水位の低下速度に基づいた暗渠間隔決定法は現段階ではまだ確立されておらず、暗渠排水試験を通してその機能を検証しておかなければならない。

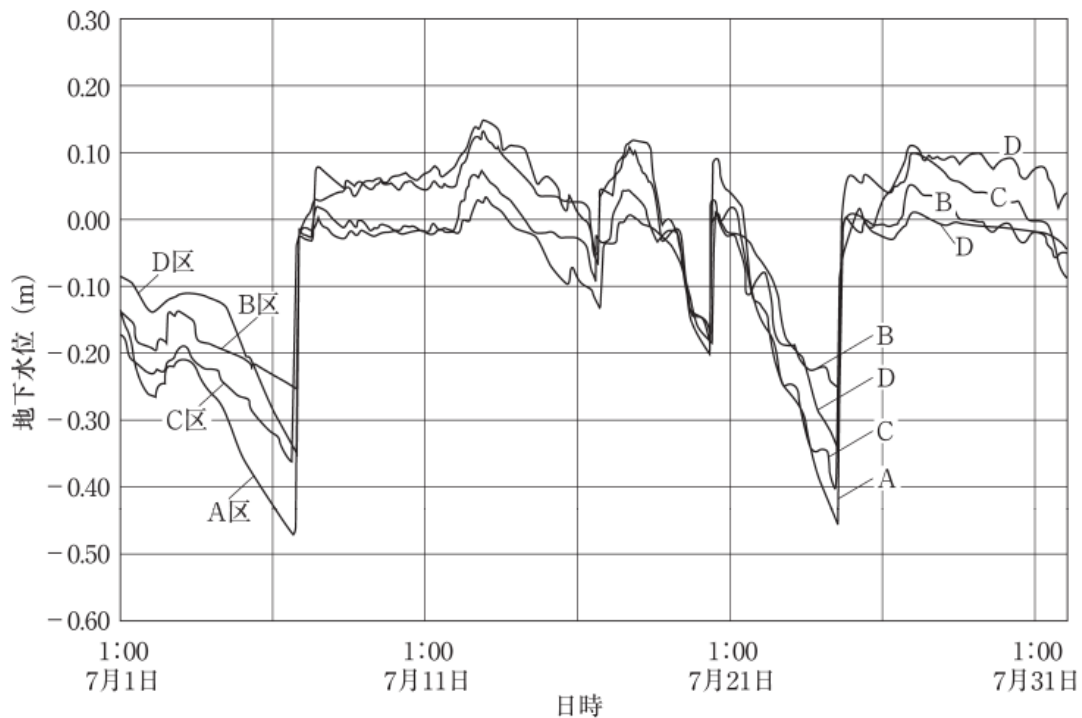


図-34.7 地下水位の変化 (H. 10. 7. 1~7. 31)

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—

（基準書 第3章 3.3.1 関連）

35.1 はじめに

暗渠排水工事における吸水管の規格の選定に当たり、吸水管内の流速等を考慮した上で、上流地点と下流地点の管径を各地点の排水量に応じて選定し、設計を行った事例を紹介する。

35.2 計画と設計

(1) 対象地区の概要

対象地区は、低平地に位置した水田・汎用田であり、ほ場の大部分は泥炭土など軟弱で排水不良となりやすい土壌が分布しており、不同沈下が発生しやすい地域である。また、暗渠管内の泥土の堆積などにより暗渠排水の機能が低下していることもあり、ほ場の大区画化や区画整理（面積 1.2ha、長辺長 170m、短辺長 68m）と併せて暗渠排水整備を実施する地区である。さらに用水路と暗渠上流部を接続し、かんがい用水を洗浄用として注水することにより、暗渠管の洗浄を容易とした暗渠排水の整備を行っている。なお、用水路と暗渠排水上流部を接続することで、地下かんがいとしての利用も可能なため、水稻の乾田直播栽培や水田の畑利用など、農業生産の選択的拡大に寄与している。

(2) 水理諸元

ア. 計画暗渠排水量

標準的な計画暗渠排水量は、水田の畑利用の場合 30～50 mm/d となっている。

対象ほ場は、平坦な農地であり、地表排水の早期の排除が期待できないため、計画暗渠排水量の上限の値である 50 mm/d を採用する。

イ. 水理計算

暗渠管の管径は、その管路が受けもつ計画暗渠排水量と管の敷設勾配及び管路内の粗度係数からマンニング式によって管内の流れを等流として算定する。式(35.1)

暗渠管の敷設勾配と管径の決定に際して、管内平均流速は、管周辺土砂の吸出し及び泥土の堆積が生じない流速として一般的な標準値である 0.3m/s を目安とし算定する式(35.2)

また、管径は管内での土砂の沈積、水あかの付着による管断面の縮小を考慮し、計画流量を管径の 70%以下の水深で流し得るように決定する。

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{8/2} \times I^{1/2} \times \alpha \quad \dots\dots\dots (35.1)$$

$$V = \frac{1}{n} \times r^{2/3} \times I^{1/2} \times \beta \quad \dots\dots\dots (35.2)$$

Q：流量 V：管内平均流速

r：管の半径 I：勾配

n：粗度係数（合成樹脂管 0.012）

$\alpha \cdot \beta$ ：定数（ $h/2r=0.70$ $\alpha=1.65696$ $\beta=0.70541$ ）

「※定数：表-22.2 暗渠管の流量、流速計算表より」

(3) 吸水渠の設計

ア. 設計埋設深

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し、水田の畑利用の場合では 60～80cm 程度が目安となっており、心土破碎による作業深 60 cm と管外径 10 cm を考慮し 70 cm を最低深とする（図-35.1）。

イ. 吸水渠間隔

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が、対象地区の近傍で土壌等の条件が同一な地区の事例を参考とし 10m とする。

ウ. 敷設勾配及び管径

暗渠管の敷設勾配は、整地されたほ場の勾配、落口となる排水路の深さや暗渠管の埋設深に大きく支配され、一般には敷設勾配は 1/100～1/1,000 が標準（浅埋設暗渠では無勾配含む）とされている。なお、接続する排水路への落差の範囲内で可能な限り急な勾配とすることで、管径を小さくすることができるほか、適度な流速が与えられ堆積土砂が流掃される。一方、勾配を緩くして平均掘削深を小さくすることにより疎水材料を少なくすることができる。これらを考慮し 1/500 を標準としている。

対象ほ場の水理計算結果は表-35.1 のとおりである。

なお、水理計算の結果、管径変化位置は吸水渠の支配面積に応じて設定し、図-35.2 に示す暗渠排水組織平面図を作成し、経済性等を考慮して管径を決定する。

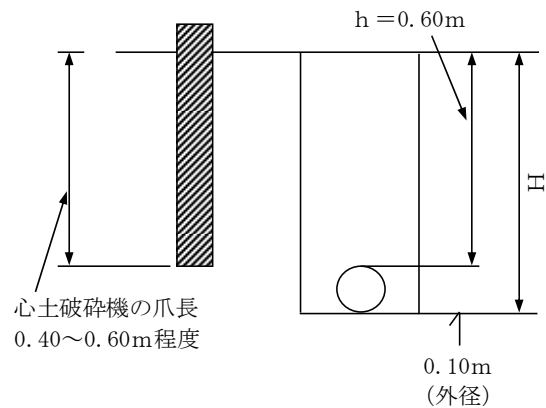


図-35.1 設計埋設深

表-35.1 水理計算結果一覧

区分	勾配・間隔	口径 (m ²)	流速 (m/s)	支配面積 (ha)	支配延長 (m)
水田 汎用田 畑 50mm/day	I =1/500 N=10m	60	0.254	0.092	92.6
		80	0.307	0.199	199.5
		90	0.333	0.273	273.2
		100	0.357	0.361	361.8
		125	0.414	0.656	656.1
		150	0.468	1.066	1,066.9

(参考：吸水渠7割水深延長早見表(勾配1/500の場合))

粗度係数： 0.012		管径 (mm) : φ60~150		計画排水量： 50mm/日 (5.79ℓ/s/ha)		管種： 合成樹脂管		
勾配 (管径)	流速 (m/s)	流量 (ℓ/s)	境界支配面積 (ha)	渠間別境界延長 (m)				
				10	9	8	7	6
1/500 (φ60mm)	0.254	0.537	0.09267	92.6	102.9	115.8	132.3	154.4
1/500 (φ80mm)	0.307	1.156	0.19958	199.5	221.7	249.4	285.1	332.6
1/500 (φ90mm)	0.333	1.582	0.27323	273.2	303.5	341.5	390.3	455.3
1/500 (φ100mm)	0.357	2.095	0.36187	361.8	402.0	452.3	516.9	603.1
1/500 (φ125mm)	0.414	3.799	0.65612	656.1	729.0	820.1	937.3	1,093.5
1/500 (φ150mm)	0.468	6.177	1.06692	1,066.9	1,185.4	1,333.6	1,524.1	1,778.2

※参考事例地区の吸水渠7割水深延長早見表より抜粋

(4) 水閘、立上り管 (管理孔)

暗渠管内の清掃や、地下かんがい用水を給水するため、用水路と暗渠管上流部を接続する管理孔を設置する。

また、地下水位の調節・逆流防止、管路内土砂の清掃や地下かんがい利用のため、集水渠の末端には水位調整型水閘を設置する (図-35.2)。

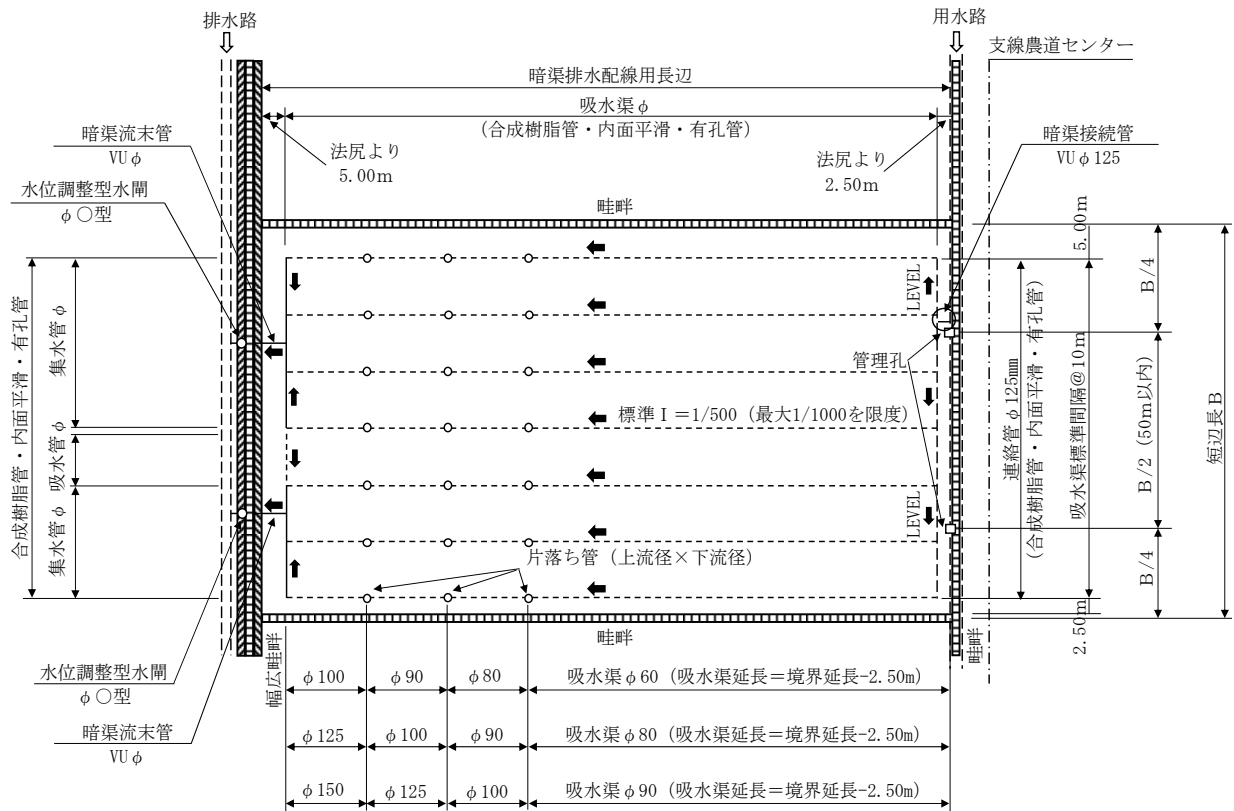


図-35.2 暗渠排水組織平面図 (水田・汎用田) の例

36. 暗渠排水組織計画に関する調査事例 —無勾配暗渠排水の調査事例—

(基準書 第3章 3.3.1 関連)

36.1 はじめに

水田農業は近年、低コストを追求する観点から水稻の直播栽培の導入が進み、また、自給率向上と高収益作物への転換等から、麦・大豆・飼料作物、野菜等が作付けられ、発芽・苗立ちの安定化と干ばつ対策を必要としている。これらに対応する技術として、暗渠排水組織を利用しこれに用水を注入する地下かんがいがある。特に地下水位制御を行う際、一定の水位を制御、維持する方法として無勾配暗渠で施工を行い、併せて地下かんがいの均一性向上のために補助暗渠を配置している事例がある。

その背景のもと、無勾配暗渠排水の水理検証を行った調査事例を紹介する。

36.2 調査方法

対象ほ場において、土壌は黄褐色土壌強粘土型で透水係数は $10^{-6} \sim 10^{-7}$ (cm/s) である。試験ほ場は 100m×50m、面積 50a、吸水渠間隔 10m、埋設深は管底で 0.70m、吸水管の管径は 50 mm、疎水材はモミガラである。弾丸暗渠は間隔 1m区、1.5m区、2m区の 3 区とした。排水調査は、吸水管延長 100mを 4 等分し、5カ所に圧力式水位計を設置し、各区間の距離は 25mとした。また、上流端に地下かんがい給水用のパイプを接続し、流量計を設置、下流端には暗渠からの流出量測定用の流量計を設置、雨量計も設置し、各計器について 15 分間隔で自動計測を行った。(図-36.1)

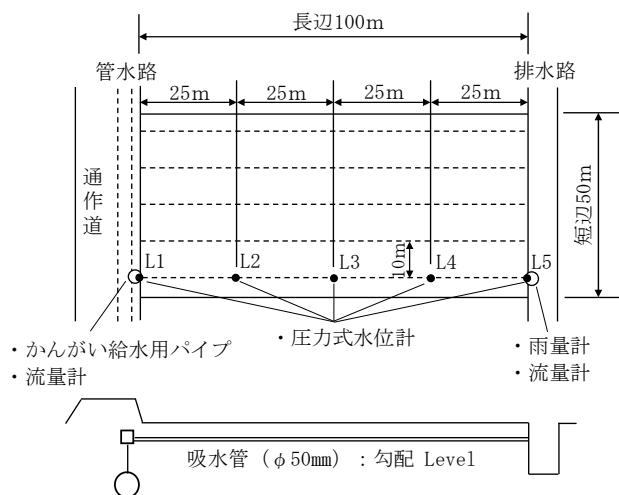


図-36.1 対象ほ場の観測機器設置位置

調査地区の 1/10 年確率雨量は最大 24 時間 139.3 mm、最大 4 時間 69.8 mm、1/2 年確率雨量の最大 24 時間は 93.4 mm、最大 4 時間は 49.3 mmである。

36.3 調査結果と考察

(1) 暗渠管内の水位差と流出量

8月11日～12日における79mmの降雨と7月11日の217mmの大雨について流出特性を検証する。

8月11日は60mm、8月12日は19mmの日降雨であり、100m間における5地点の水位差及び流出量を観測した(図-36.2)。降雨開始後、一定雨量になると暗渠管内に水位差が発生し流出が始まる。降雨終了後5～6時間以内に流出が完全に終了した。降雨開始後の積算降水量と積算排水量をみると、降雨量15mmで流出が開始し徐々に流出率が高まり、降雨終了後3時間で暗渠からの排水は終了する。

次に7月10日～11日の降雨217mmの流出特性をみると、11日7時頃の降雨終盤のピーク雨量時において、最下流以外はいずれも動水位が田面よりも高くなり、湛水したことを示している(図-36.3)。しかし、降雨終了後急激に水位が低下し、3～4時間後には地表湛水はなくなり、12時間後には田面下60cm位まで低下した。

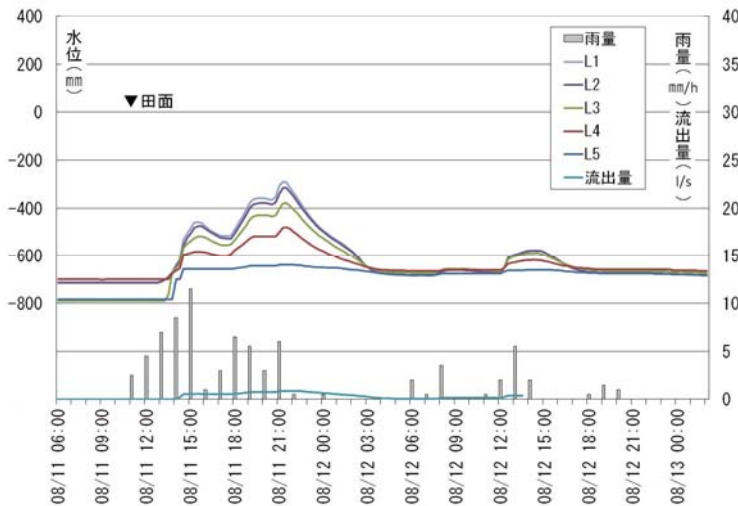


図-36.2 降雨と暗渠管内の水位 (降雨79mm)

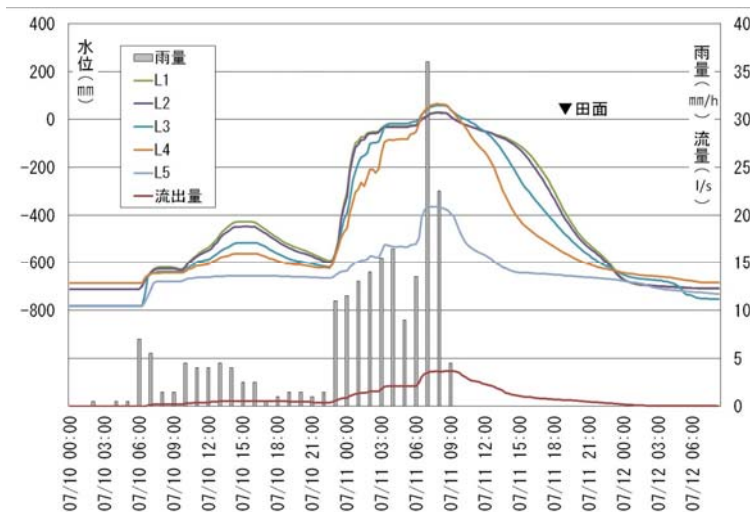


図-36.3 降雨と暗渠管内の水位 (降雨217mm)

(2) 動水勾配

図-36.4 及び図-36.5 は、(1)で示した期間(降雨～排水完了)のL1 からL5 の水位を15分間隔で測定した結果から正時(1時間毎)を抽出したものであり、各時点の動水勾配を表している。

各地点間の水位変動をみると、上流端(L1)から下流端(L5)にかけて、水位が低下している。これは、暗渠管が満流となり、疎水材部分において動水勾配が生じて排水が行われていると考えられる。なお、下流端(L5)の水位が一点に集中しない原因は、最初は管の底のみを流れ、次第に満流になっていくためである。

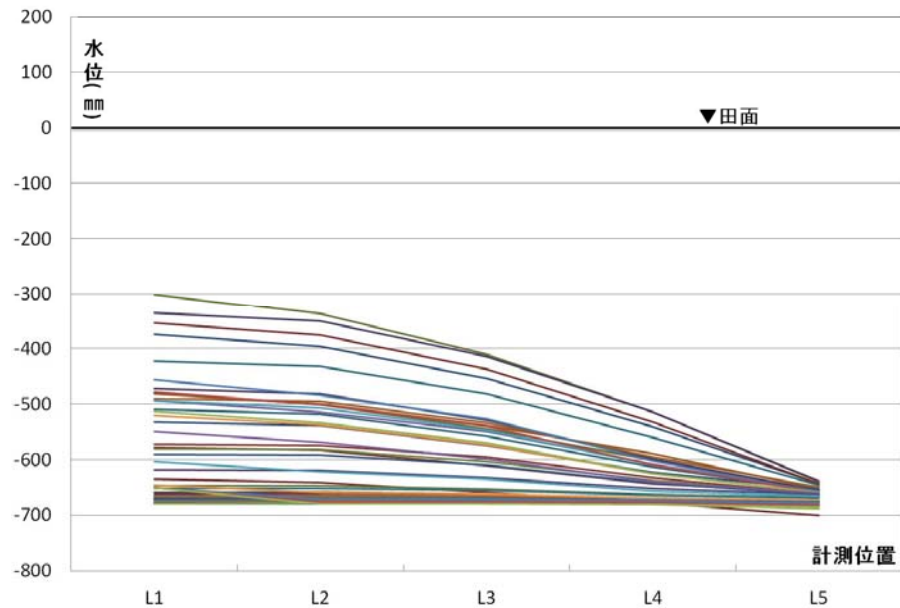


図-36.4 動水勾配 (降雨 79 mm)

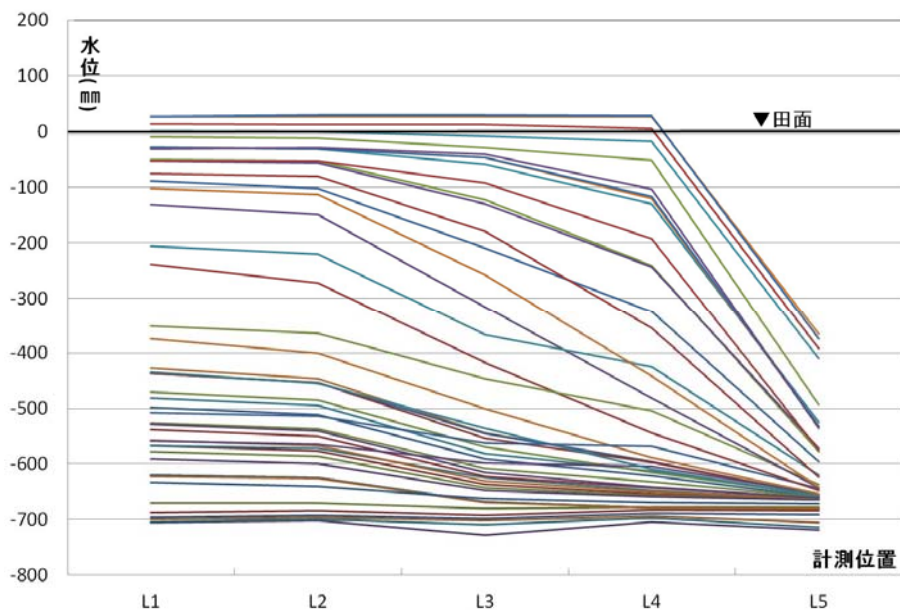


図-36.5 動水勾配 (降雨 217 mm)

流量毎にマンニング式で表せる理論的な降雨と実測流量の比率を確認した（図-36.6）。降雨初期は計算流量が実測流量よりも非常に大きな値となるが、その後は計算流量と実測流量の比率は1を維持していた。降雨初期のズレの原因は降雨初期に水田全体に降った雨が先ず吸水渠内に貯留され、動水勾配を作ってから流出が始まるタイムラグによる。実際には降雨開始から流出開始までのタイムラグもあり、降雨が20mm～30mm以内の場合は水田の土壤に保持されて暗渠から流出しない。8/11の22時頃からは、雨が止んだ場合に先ず上流側の水位が下がりその影響が下流側に及んだ時点で流出量が減少してくることにより、計算上の数字よりも実際の流量が多くなりここでもタイムラグが生じる。特に流出が止まる直前は先ず動水勾配が無くなってから流出が止まるため、計算上の流量は極端に減少する。

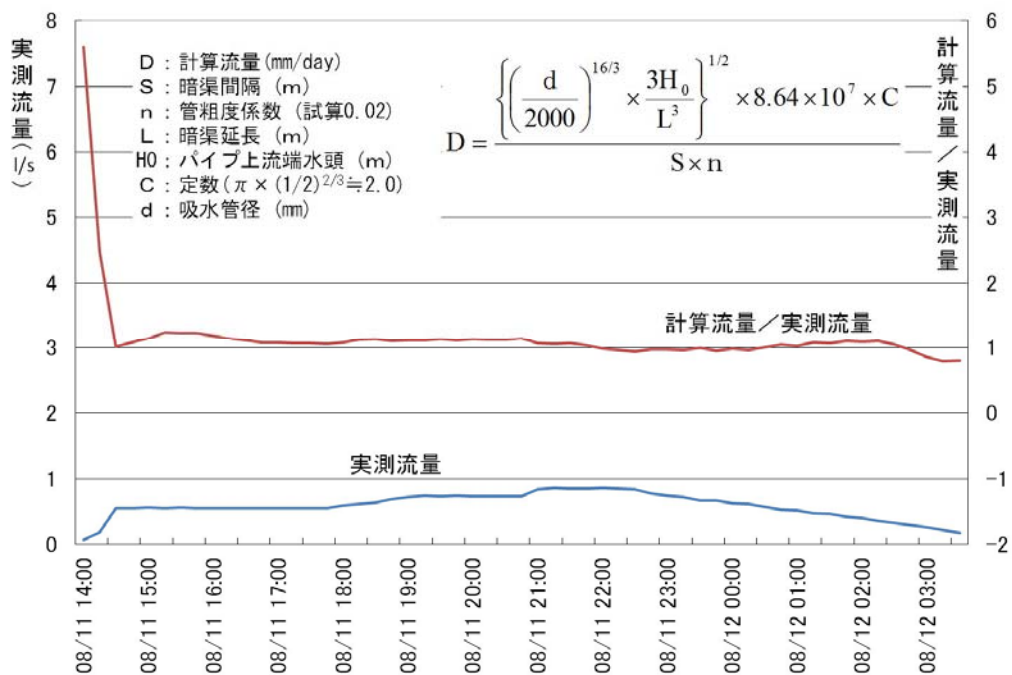


図-36.6 降雨時における動水勾配法による計算流量と実測流量の比率

参考文献

■ 小野寺恒雄・谷本岳・若杉晃介・藤森新作・浅利達朗：弾丸暗渠を組み合わせた無勾配暗渠排水試験（Ⅱ）－無勾配暗渠の動水勾配－、平成15年度農業土木学会大会講演要旨（2003）