

# 積雪寒冷地における疎水材型暗渠工の機能と耐久性に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地農業基盤研究グループ 資源保全チーム

研究担当者：竹内英雄、横濱充宏、小野寺康浩、石田哲也、  
新津由紀

## 【要旨】

本研究では、疎水材を用いた暗渠工（以下、疎水材型暗渠と称する）の排水機能や耐久性に関する現地調査と室内実験を行い、農地の土壌や疎水材の特性の面から疎水材型暗渠工の機能発現実態と疎水材の耐久性を明らかにした。また、その結果を積雪寒冷地における暗渠工の技術指針などに反映する目的で、疎水材型暗渠の設計・施工・管理に資する基礎資料を作成した。

平成 23～25 年度は北海道空知地域の泥炭地に施工された疎水材型暗渠を対象に、降雨後の圃場の地下水位を観測し、排水機能の発現の実態など調べた。平成 26、27 年度は、北海道内で疎水材型暗渠の疎水材として施工実績が多い砕石、火山礫を対象に、凍結融解あるいは乾燥湿潤の繰返し作用を負荷した耐久性実験を行い、これらの疎水材の耐久性を評価、検証した。

キーワード：暗渠、疎水材、疎水材型暗渠、耐久性、排水機能、維持管理

## 1. はじめに

耕作可能期間が短い積雪寒冷地の北海道では、排水性に劣る農地には暗渠排水や心土破碎による改良が施されてきた。農業者はこれらの排水改良に対して作物の増収と農作業性の向上、さらには冷湿害条件下での生産性の安定化等を期待している<sup>1)</sup>。

過去、北海道では暗渠工の施工にあたり、暗渠管を土壤掘削部底面に敷設した後に、暗渠管敷設のために掘削した土を土壤掘削部にそのまま埋戻す型式が採用されていた。しかし、施工後短期間での機能不全が問題となり<sup>2,3)</sup>、現在は、現地掘削土の代わりに疎水材（微利砂利、砂、火山灰、火山礫、ホタテ貝殻、木材チップ、バーク堆肥、籾殻、ガラス焼成発泡資材など）を土壤掘削部に埋戻す暗渠工に切り替わっている<sup>4,5)</sup>。一方で、これらの疎水材型暗渠は普及してからの年数が短いため、各種疎水材の長期供用後の特性や耐久性、また、疎水材型暗渠の機能を保全するための手法に関する調査報告が少ない。

そこで、本研究では、疎水材型暗渠の機能発現の実態を明らかにするとともに、暗渠工の機能保全と機能保全に関する要因を明らかにした。さらに、その成果を今後の土地改良事業における暗渠工施工計画の策定に資するための技術情報として提示することを目的とし成果の取りまとめを行った。

本研究では、以下の課題について検討した。

### 1) 疎水材型暗渠の機能発現の実態解明

疎水材型暗渠を施工した農地の土壌性状、施工後の経過年数等の違いを考慮した現地調査を行い暗渠排水量、圃場内地下水位、地耐力等の調査結果を解析し、疎水材型暗渠の機能発現の実態、特徴を明らかにした。

### 2) 疎水材の耐久性の検討

疎水材の耐久性に関する室内実験を行い、疎水材の耐久性と材料特性を検討した。

### 3) 積雪寒冷地における疎水材型暗渠排水の技術資料の作成

現地調査および室内実験の結果から、疎水材型暗渠の設計・施工・管理に資する基礎資料を作成した。

具体的には、1) では、平成 23～25 年度にかけて火山礫暗渠工が施工された泥炭地の転作田を調査圃場とし、降雨に伴う地下水位の移動、疎水材と暗渠工周辺土壌の排水性、暗渠排水による地温の変化を現地調査し、暗渠排水の機能発現の実態を整理した。

2) については、地下水位観測、地温観測、地下水の pH 観測を通して、疎水材がおかれている環境を把握した。疎水材に用いた火山礫の供用後の耐久性等を把握するため、現地から採取した経過年数の異なる疎水材の透水性、粒度分布を調べ良好であることを確認した。

また、各種劣化要因に応じた疎水材の耐久性を検討した。

さらに、北海道内で暗渠疎水材として使用されている砕石と火山礫を試料として用い、a)凍結・融解作用を繰返し負荷した場合、b)乾燥・湿潤の繰返し作用を負荷した場合について実験を行った。また、火山礫を試料として用い、c)酸性水に浸漬した際の耐久性についても試験した。これらの室内試験により、各作用に対する耐久性を検討した。

3)では、1)と2)の結果をふまえ、疎水材がおかれている現地での環境と耐久性に関する知見を技術指針等に資するための基礎資料としてとりまとめた。

## 2. 疎水材型暗渠の機能発現の実態解明

### 2.1 現地調査による機能発現の実態解明

#### 2.1.1 調査方法

##### (1) 調査圃場の概要

平成23年度、調査圃場に4圃場を選定し、平成24年度に2圃場を追加して合計6圃場で調査を実施した(以後、各圃場をNo.1圃場～No.6圃場と称す)。これら6圃場は、北海道空知総合振興局管内、南幌町の泥炭農地であり、夕張川と千歳川に挟まれた位置にある(図1)。6圃場とも転作田として利用されている。調査期間を含め平成21年から平成25年までの5年間の作付作物は表1に示すとおりである。

調査圃場ごとの暗渠工施工年度、調査時点の暗渠工施工後経過年数および暗渠工施工直後の地盤高は表2に示すとおりである。No.1圃場、No.2圃場およびNo.5圃場はNo.3圃場、No.4圃場およびNo.6圃場に比べて暗渠工施工直後の地盤高が高い。No.1圃場およびNo.5圃場はNo.2圃場に比べて、また、No.3圃場はNo.4圃場及びNo.6圃場に比べて暗渠工施工後の経過年数が長い。

吸水渠の標準断面図を図2に示す。6圃場ともに暗渠工の疎水材には火山礫が、また、暗渠管には内径φ80mmの合成樹脂製の有孔管が使用されている。施工時の平均暗渠管理設深が1.00m、暗渠工間隔が10mである。疎水材部は、降雨後の地表残留水や表土中の余剰水のすみやかな排除に配慮して、表土と連続するように施工された。



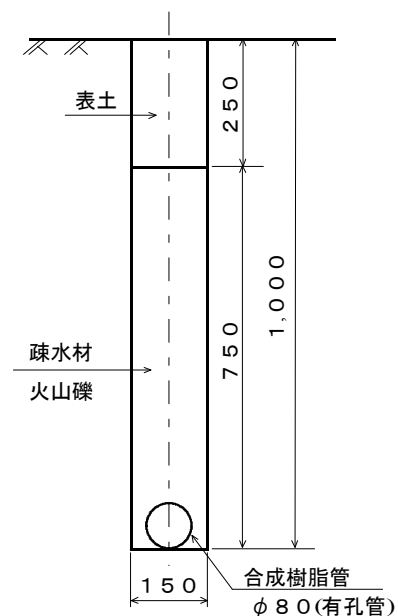
図1 調査圃場位置

表1 調査圃場の作付作物

年度 圃場No.	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度
No.1	てんさい	大豆	春まき小麦	秋まき小麦	大豆
No.2	大豆	秋まき小麦	秋まき小麦	大豆	てんさい
No.3	大豆	秋まき小麦	秋まき小麦	小豆	秋まき小麦
No.4	小豆	秋まき小麦	秋まき小麦	大豆	大豆
No.5	秋まき小麦	秋まき小麦	秋まき小麦	大豆	秋まき小麦
No.6	秋まき小麦	てんさい	小豆	秋まき小麦	秋まき小麦

表2 調査圃場ごとの暗渠工施工年度および暗渠工施工直後の地盤高

圃場No.	暗渠工施工年度	暗渠工施工直後の地盤高
No.1	H14	EL. 9.80m
No.2	H16	EL. 9.44m
No.3	H14	EL. 6.99m
No.4	H18	EL. 6.83m
No.5	H14	EL. 9.69m
No.6	H18	EL. 6.25m



\* 図柱の数字の単位はミリ。

図2 吸水渠の標準断面図

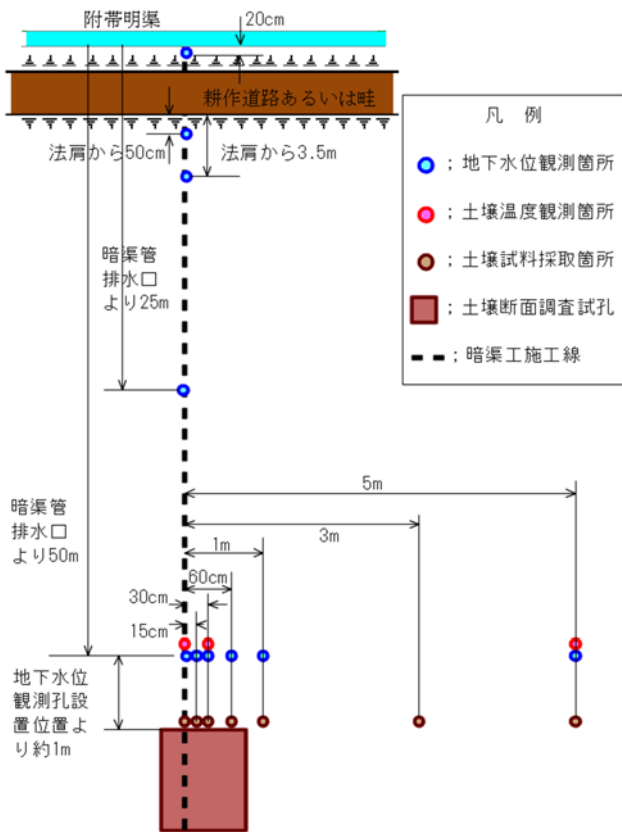


図3 圃場内の観測計器設置位置図（全圃場共通）

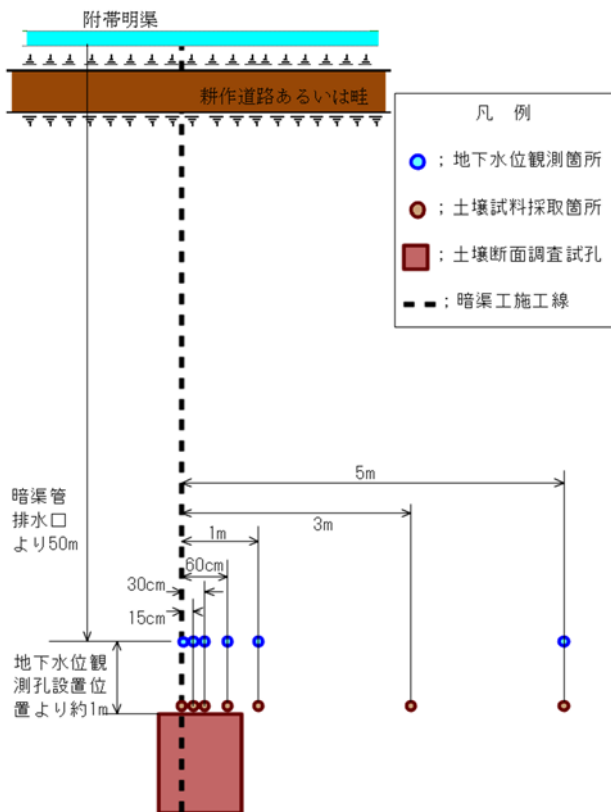


図4 圃場内の観測計器設置位置図（No.1～No.4 圃場のみ）

## (2) 調査項目および測定方法

6 圃場での地下水位観測にあたっては、6 圃場のうち、No.1～No.4 圃場で2 暗渠工を、No.5 およびNo.6 圃場で1 暗渠工をそれぞれ選定した。したがって、6 圃場で合計 10 本の暗渠工を対象に観測を実施することとし、地下水位観測孔を設置した（以後、1 圃場当たり2 暗渠工を選定した圃場の場合、たとえば、No.1 圃場では2 箇所の調査地点を区別して表す場合には、No.1 圃場調査地点①、No.1 圃場調査地点②と称す）。

地下水位観測孔の設置位置は図3、図4に示す位置関係（図中の青丸の位置）にある。それぞれの暗渠工の排水口から農地側に約 50m 入った地点で、暗渠管直上として 0.07m、暗渠工施工線から 0.15、0.30、0.60、1.00、5.00m 離れた位置である。また、各圃場で1 暗渠工については、暗渠工施工線から 0.07m 離れた地点で、排水口から 0.20m、耕作道路あるいは畦の法肩から 0.50m、3.50m、排水口から 25m 離れた位置にも地下水位観測孔を設置することとし、暗渠工の縦断方向の地下水位も観測することとした（図3）。地下水位計には、水位測定範囲が水深 4m、水位測定用圧力センサ精度が 5mm の絶対圧力式水位計を用いた。

測定間隔を 1 時間に設定した。観測期間は、平成 23 年 8 月から平成 25 年 11 月までとした。

地下水位計を設置した後、平成 25 年 11 月下旬までの約 2 年間は観測を継続した。観測期間中は営農に支障を及ぼさないよう、たとえば、耕起や収穫等の作業が行われる場合には、その期間中は関係農家の要請に応じて観測機器を一時的に撤去することとした。

降水量データにはアメダス（江別）を利用した。

また、地下水位の移動を暗渠工周辺土壌と疎水材の物理性と照らし合わせて考察するため、暗渠工周辺土壌と疎水材の性状を把握することとした。そのため、各圃場の暗渠工の位置で暗渠工施工断面を含む土壌断面調査を行うほか、暗渠工周辺土壌や疎水材を採取して物理性を分析した。分析用の供試試料として、暗渠管直上、暗渠工施工線から 0.15、0.30、0.60、1.00、3.00、5.00m 離れた位置（図3 および図4 の茶色の地点）で 100cc 採土管と 50 cc 採土管に未攪乱試料を採取することとした（以後、暗渠工施工線から 0.15m 離れた地点を暗渠管直近、暗渠工施工線から 5.00m 離れた地点を暗渠工間中間部と称す）。暗渠管直上では暗渠管に到達するまで、そのほかの地点では暗渠管理設深と同程度の深さまで 10cm ごとに試料を採取した。試料採取は、平成 23 年 8 月から平成 24 年 11 月までの期間で適宜行った。

分析項目および方法は、飽和透水係数（土壌は変水位法、

疎水材は定水位法による)、三相比(実容積法)、孔隙分布(砂柱法+遠心法)、土壌中の水分量(乾熱法; 105°C、24時間)である。以上のほか、土壌および疎水材の温度を連続的に観測した。浸透性の向上に伴って、春期の融雪を促進し、地温の上昇を図る効果があると言われている<sup>9)</sup>。火山礫暗渠工の地温上昇効果の発現実態を把握することも排水機能の発現実態を明らかにするのと同等に重要と考えられたため、土壌および疎水材の温度観測を実施することとした。なお、温度測定器には小型防水温度データロガーを用い、1時間おきの瞬時値を測定した。温度測定器の設置は平成23年に地下水計設置時と同時期に実施した。地温を観測した地点は、図3に示す赤丸の地点(暗渠管直上、暗渠工施工線から0.30m離れた位置、暗渠工中間部)とし、地表面からおおむね暗渠管の埋設深度(地表面から約100m)まで深度10cmごととした。

## 2. 1. 2 調査結果

### (1) 降雨に伴う暗渠工周辺土壌内の地下水位の移動

図5は、No2 圃場調査地点①における地下水計設置後から平成23年11月下旬までの地下水計観測結果である。

1時間ごとの降水量と地下水位との連動性を説明するため、10調査地点の中からNo2 圃場調査地点①の地下水位観測結果を代表して示す。

図5の地下水位の移動状況を見ると、ある量のまとまった雨が降るとその都度、地下水位は上昇し、雨がやめばすみやかに下降していることがわかる。土地改良事業計画設計基準 計画「暗きょ排水」基準書技術書<sup>9)</sup>(以後、計画基準と称す)には、整備目標の基本的な指標となる、作物生育にとって望ましい土地利用区分別地下水位が示されている。本調査圃場では水田の転作利用をしているので、この指標は、降雨後2~3日の地下水位が地表面下40~50cm、常時地下水位(降雨後7日以降の地下水位)が地表面下50~60cmとなる。No2 圃場調査地点①では、降雨後の地下水位はこれらの指標を満足していたか、あるいは低い位置に地下水位が維持されていた。この傾向はどの調査圃場のどの地下水位観測地点においても同様に認められた。火山礫暗渠工の排水機能は、供用後約10年が経過しても確保されることがわかった。

また、平成23年8月26日の降雨に伴い上昇した地下水位が7日間かけて下降する状況を、No.1~No.4 圃場で観

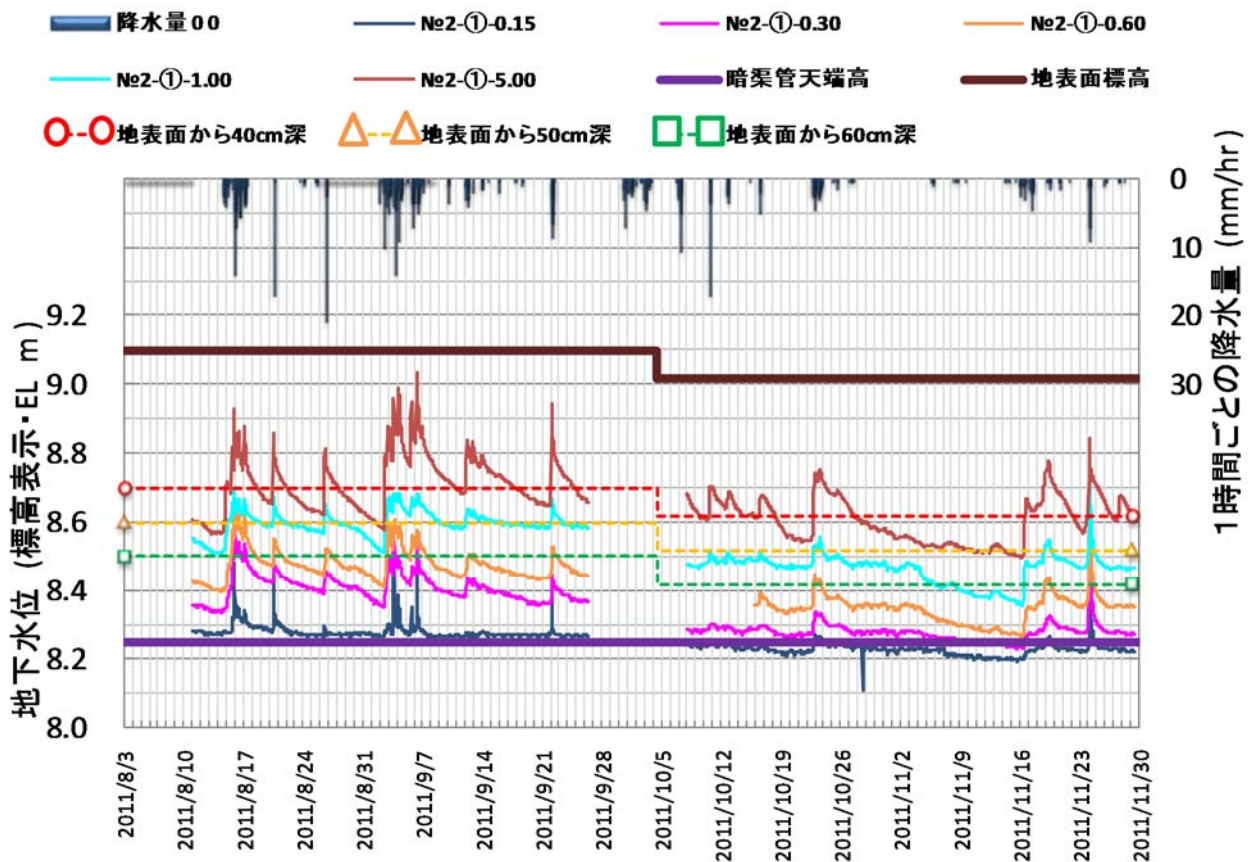


図5 No. 2 圃場調査地点①における地下水位

測した(図6~図8)。降雨直前の地下水位、降雨に伴って暗渠工間中間部の地下水位が最も高くなった時点(以後、降雨直後と称す)の地下水位、その1日後、3日後、7日後の地下水位を示している。

図6~図8を見ると、土壌中の地下水位移動の仕方は調査圃場ごとで様々であり、また、同一の圃場内であっても異なっていることがわかる。地下水位の主な移動の仕方を述べると、次のとおり3つに分類されると考えられる。

まず、1つめのパターンは、No2 圃場の両調査地点、No.3 圃場調査地点①、No4 圃場調査地点②(図6)のパターンである。これらは、降雨直後でも、暗渠管直近の地下水位はほとんど上昇していない。しかし、暗渠施工線から1m離れた地点であったり、暗渠工間中間部であったりと降雨直後に地下水位の上昇幅が大きく表れた位置は調査地点ごとで異なるものの、降雨に伴って暗渠施工線から離れた位置ですみやかな水位上昇が認められた。この上昇した地下水位はその1日後には地表面下40cm以深に、3日後には降雨前と同じように、元の地下水位の位置にまで下がっていた。

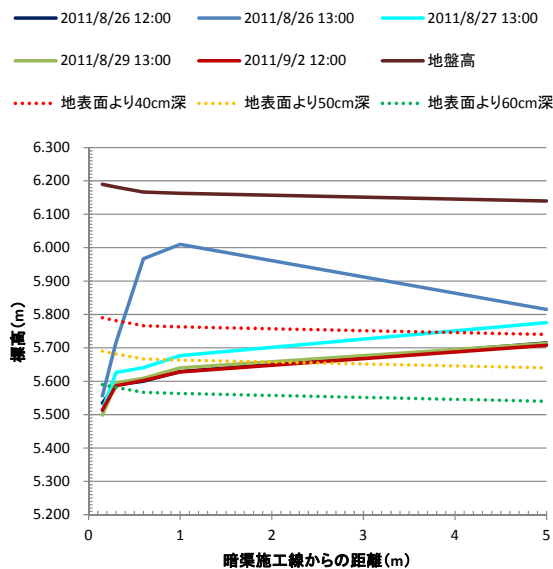


図6 No4 圃場調査地点②における地下水位

2つめのパターンは、No3 圃場調査地点②(図7)、No4 圃場調査地点①のパターンである。これらは、暗渠施工線から離れる距離によって地下水位の上昇幅に違いがあるものの、暗渠工管直近の地下水位を含めて全体的に地下水位が降雨直後に上昇し、その1日後には全体的に地下水位が地表面下40cm以深にまですみやかに下がるといった現象が認められた。

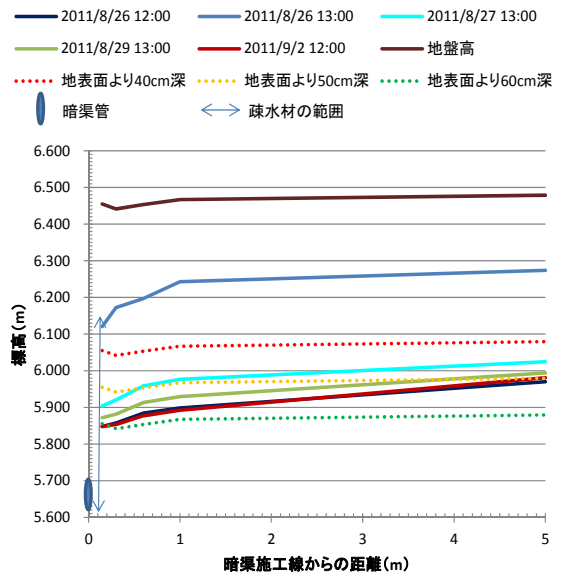


図7 No3 圃場調査地点②における地下水位

最後に、3つめのパターンは、No1 圃場の両調査地点で確認されたパターンである。この圃場では両調査地点とも暗渠施工線から15~30cm離れた地点(以後、暗渠施工線から15~30cm離れた地点を暗渠施工線付近と称す)で地下水位が降雨とともに緩やかに上昇した。一方で、暗渠施工線付近以外の地点では降雨とともにすみやかに上昇した。この地下水位の上昇の仕方を細かく見ると、暗渠施工線から離れた距離に応じて地下水位が到達する最終地点の標高や最高到達地点に至るまでの経過時間に違いが認められた。また、地下水位の低下開始時刻にも暗渠施工線から離れた距離によってタイムラグが生じていた。上記の説明では理解しづらいので、ここで、図8を用いて3つめのパターンの降雨に伴う地下水位の移動を補足説明する。暗渠工間中間部では降雨直前、EL.8.9mの位置にあった地下水位が、雨が降り始めて1時間後にはEL.9.2mの位置にまで一気に上昇した。しかし、暗渠管直近の地下水位は雨が降り始めてから1時間の間、降雨直前の地下水位と比べてもそれほど上昇しなかった。雨が降り始めてから1時間の間、暗渠施工線付近では順調に排水が行われていたと推察される。この暗渠施工線付近と付近以外で地下水位の上昇に差が生じた結果、暗渠施工線付近と暗渠工間中間部とに水頭差が生じ、暗渠工間中間部で地下水位の低下が始まったと推察される。しかし、暗渠施工線付近ではこの時点でも地下水位の上昇が継続した。暗渠施工線付近から暗渠管への排水量に比べて水頭の高い位置から暗渠施工線付近への土壌水の供給量の

方が多かったためと考えられる。さらに時間が経過して、降雨直後から1日後になると、暗渠工間中間部と暗渠施工線付近との水頭差がほとんどなくなり、水平面に平行して地下水位が低下した。No.1 圃場での降雨に伴う地下水位の移動の仕方はNo.2～No.4 圃場で見られた現象とは明らかに異なっていると考えられる。

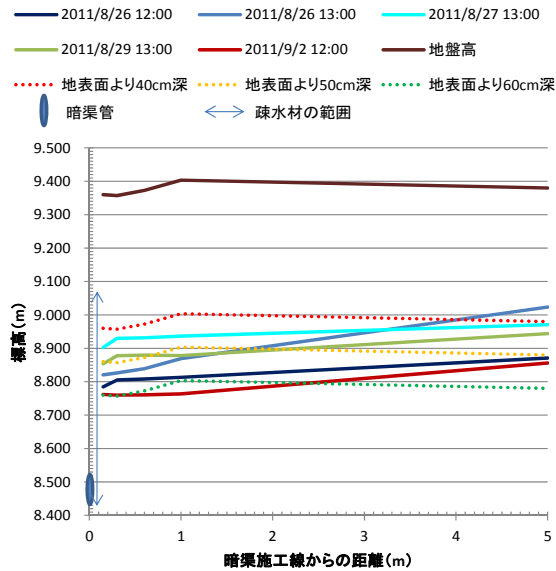


図8 No.1 圃場調査地点②における地下水位

以上の調査結果を整理すると、降雨に伴う地下水位の移動は以下の3とおりに要約されると考えられる。

- ① 降雨があっても暗渠工施工線付近の地下水位は動かないまま、暗渠工施工線付近以外の地下水位がそれぞれの地点の土壌透水性に応じて上昇し、降雨がやめば元どおりに下降するパターン
- ② 暗渠工施工線から離れる距離に関係なく地下水位が降雨とともに水平面に平行して上昇し、降雨が無くなれば水平面に平行して元どおりに下降するパターン
- ③ 暗渠工施工線から離れる距離に応じて、降雨による地下水位上昇・下降の開始時にタイムラグが生じるパターン

4つめのパターンとして、「降雨とともに暗渠管直近の地下水位を含めて全体的に地下水位が上昇し、降雨がなくなると暗渠管直近から地下水位の低下が生じ、徐々に暗渠工間中間部に向けて地下水位の低下が生じるパターン」が考えられたが、今回の調査では確認されなかった。

(2) 降雨に伴う疎水材部内での地下水位の移動

平成23年度の地下水位調査結果から、調査地点によっ

て降雨に伴う地下水位の上昇、下降の仕方に違いが認められた。この原因を解明することは長期供用後における疎水材型暗渠工の機能発現実態および機能低下要因の把握に繋がると考えられた。そこで、平成24年度に疎水材部内の地下水位観測を追加した。

図9～図13は、平成24年5月下旬あるいは6月上旬から平成25年10月中旬あるいは11月下旬にかけて各圃場において暗渠工の排水口から農地側に約50m入った地点で、暗渠管直上(暗渠工施工線から0.07m離れた地点)で観測された、疎水材部内の地下水位を表している。各図には、それぞれ疎水材部天端の標高と暗渠管天端の標高を併記したので、地下水位が疎水材部のどの位置にあったかが読み取れる。なお、図中の疎水材部天端の標高と暗渠管天端の標高は土壌断面調査結果から求めた。また、暗渠管および疎水材が本調査期間中は営農や地下水位の影響によって動かないと仮定した。

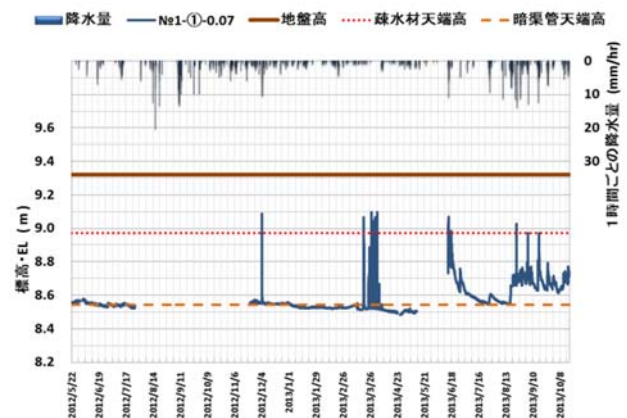


図9 No.1 圃場調査地点①の疎水材部内の地下水位

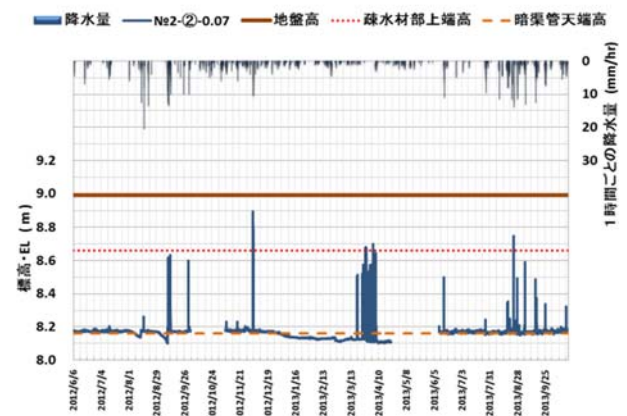


図10 No.2 圃場調査地点②の疎水材部内の地下水位

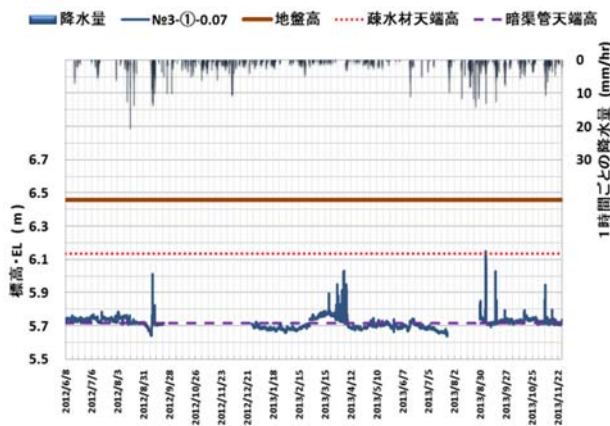


図 11 No.3 圃場調査地点①の疎水材部内の地下水位

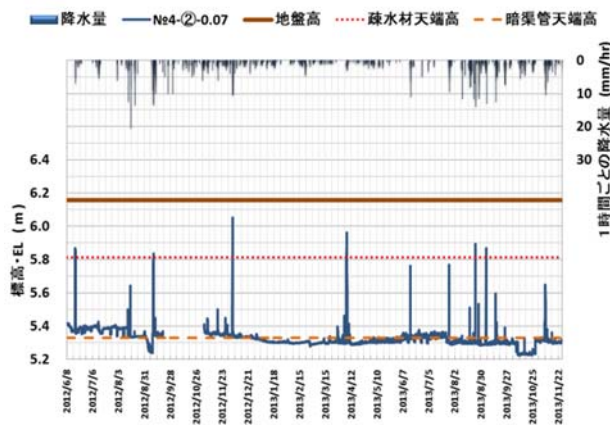


図 12 No.4 圃場調査地点②の疎水材部内の地下水位

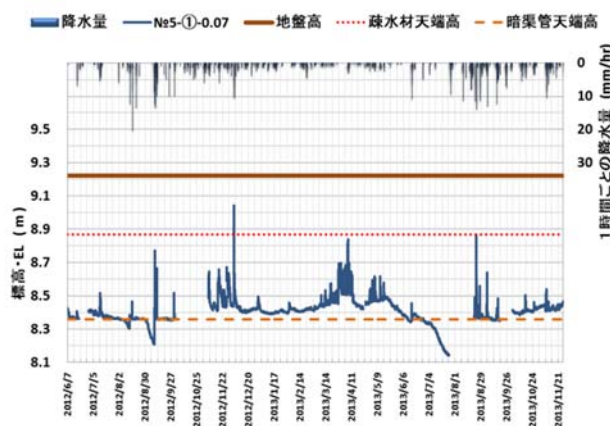


図 13 No.5 圃場の疎水材部内の地下水位

これらの図を見るとわかるように、疎水材部内の地下水位は、どの圃場のどの調査地点でもほとんど移動しておらず、また、ほぼ暗渠管の埋設深度で推移している。疎水材部内では降雨の地下水位に及ぼす影響が現れにくく、地下水位は降雨に伴いほとんど移動しないことがわかった。ただし、短時間に多量の降雨がある場合には疎水材部内の地下水位は移動していた。

(3) 疎水材と暗渠工周辺土壌の排水性

図 14～図 31 に各調査地点の暗渠工施工断面、透水係数、粗孔隙量を示す。

No.1～No.4 圃場では土壌断面調査を 2 箇所実施したが、同じ圃場内で調査地点の差異はほぼなかった。

計画基準<sup>5)</sup>には、目標となる土壌条件として、透水係数は、水田の畑利用の場合  $1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$  以上程度が望ましいこと(以後、計画基準の目標となる土壌条件の透水係数と称す)や、また、地力増進基本方針における普通畑の土壌として望ましい目標値としては、作土の厚さ 25cm 以上、主要根群域 40cm の物理条件として、粗孔隙の容量で 10% 以上、易有効保水量が 20mm/40cm 以上(地表から 40cm の深さの土壌中に正常生育有効水分に相当する水分が 20mm 以上)、緻密度が 22mm 以下であることが示されている。

No.1 圃場の暗渠工施工断面および土壌等の物理性について考察する。土壌は、地表面から下層に向かって、盛土層を含む作土層、泥炭土層、粘土層で構成されている。泥炭土層は地表面から約 35～55cm の浅い深度に分布しており、厚さは他の調査圃場に比べて薄い。泥炭土の種類は低位泥炭土に該当する。泥炭土の下層には透水性の悪い粘土層が確認された。暗渠工施工線から離れた地点の常時地下水位が地表面下 50～60cm 深辺りに位置する原因として、この粘土層の存在が考えられる。

土壌の透水係数は、作土層では  $1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$  以上がほぼ維持されていた(図 15)。また、粗孔隙量もほとんどが 10% 以上であった(図 16)。No.1 圃場の作土層は排水機能に何ら支障のない土壌断面であったと考えられる。一方、疎水材部の幅は施工時に比べて若干狭くなっており、また、疎水材部の天端の位置は耕起のため地表面から 25cm 深であったのが地表面から 30cm 以上に深くなっていた。疎水材部の断面の縮小が認められた。しかし、疎水材部の透水係数は、図 15 に示すとおり  $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$  以上であり、施工後約 10 年目でも疎水材部の排水機能は十分に確保されていると考えられる。

以上より、No.1 圃場では、降雨後、土壌中の余剰水は作土層中の流れやすい間隙を通して疎水材部上部へ入り、暗渠管から圃場外へと排水されていると推察される。

No2 圃場の土壌断面は、地表面の作土層とその下の泥炭土層で構成されている。No1 圃場で見られた粘土層はなかった。No2 圃場調査地点①では心土破碎の影響か、疎水材の断面が地表面から40cm深のところで大きく曲げられていた。

No2 圃場調査地点①には、土壌の透水係数の分布状況(図18)に表れているとおり、暗渠工施工線付近の深度37.5~50cmのところ $1 \times 10^{-4}$  cm/sec未満の透水性の悪い箇所が認められた。No2 圃場調査地点②にも暗渠管直上で深さ30cmのところ $1 \times 10^{-4}$  cm/sec未満の透水性の悪い箇所が認められた。降雨後の作土中の余剰水は疎水材を経由して暗渠管から排除されると一般的には考えられるが、この調査地点では作土層と疎水材部上部を結ぶ水道が塞がれた形になっていた。しかし、No2 圃場調査地点①における地下水位の移動状況を見ると、暗渠工施工線から15cm離れた地点の地下水位は降雨直後でも暗渠管を埋設した深度と同程度でほとんど動いていなかったことから、この透水性の悪い箇所による地下水位の移動への影響はなかったと考えられた。深度10~20cmまでの地表面に近い層や50cm以深の深い層の粗孔隙量が10%以上であり、これらの層では地力増進基本方針における普通畑の土壌として望ましい目標値<sup>5)</sup>としての粗孔隙量を満足していた。No2 圃場では、降雨後、土壌中の余剰水は泥炭土層を介しながら透水性の良い間隙を通して暗渠管から排水されていると推察される。

No3 圃場の土壌断面は、No2 圃場と同じく、作土層、泥炭土層で構成されている。泥炭土層の上層が高位泥炭土、その下が低位泥炭土である。また、疎水材部の幅は施工時に比べて狭くなっており、また、耕起のため作土層が厚くなり、疎水材部の天端の位置が施工時に比べて5~10cmほど深い位置になっていた。

No3 圃場の作土層内の透水係数を見ると、計画基準の目標となる土壌条件の透水係数<sup>5)</sup>未満の箇所が数多く確認された(図21)。また、粗孔隙量は地力増進基本方針における普通畑の土壌として望ましい目標値<sup>5)</sup>未満であった。これらから作土層と泥炭土層の境界辺りに耕盤層の生成が疑われた。一方、作土層と疎水材部とが透水性の良い箇所が繋がっていた(図21)。また、泥炭土層内の粗孔隙量がほとんど10%以上である。さらに、泥炭土層内では計画基準の目標となる土壌条件の透水係数や地力増進基本方針における普通畑の土壌として望ましい目標値はクリアされている。上昇した地下水位がすみやかに低下していることを鑑みると、No3 圃場では泥炭土層から暗渠管への水道が確保されていると推察された。

No4 圃場の土壌断面は、地表面から作土層(盛土層含む)、泥炭土層、粘土層、泥炭土層で構成されている。疎水材部の幅は全体的に施工時に比べて狭くなっており、No4 圃場調査地点①では上部の幅の方が下部の幅より狭くなっていった。

No4 圃場調査地点①地点では、暗渠工施工線から1m離れた地点と暗渠工間中間部の間に透水係数が $1 \times 10^{-6}$  cm/sec以下の箇所が多数あり(図24)、また、これらの箇所では総じて粗孔隙量が10%以下になっていた(図25)。一方、暗渠工施工線付近ではおおむねの箇所、透水係数は $1 \times 10^{-4}$  cm/sec以上であり、粗孔隙量は10%以下であった。暗渠工施工線付近は水が移動しやすく、暗渠工間中間部では移動しにくいことが推察される。

No5 圃場は作土層、泥炭土層で構成されており、泥炭土層は低位泥炭土である。疎水材部の幅は施工時に比べて狭くなっており、また、耕起のため作土層が厚くなり、疎水材部の天端の位置が施工時に比べて10cmほど深い位置になっていた。

No5 圃場では、飽和透水係数が $1 \times 10^{-4}$  cm/sec未満の箇所が作土層中、泥炭土層中に関わらず多数分布していた。また、作土層の粗孔隙量はほとんど10%未満であった。このため、No2 圃場と同様に暗渠管中間部は暗渠工施工線付近に比べて地下水位が高くなっていた。

No6 圃場は調整盛土層を含む作土層、泥炭土層で構成されており、泥炭土層は低位泥炭土である。疎水材部の幅、暗渠管埋設深は施工時とほぼ変わっていない。作土層厚は薄くなり、疎水材部の天端の位置が施工時に比べて5cmほど浅い位置になっていた。

No6 圃場では、泥炭土層の飽和透水係数の方が作土層の飽和透水係数より小さな値であり、粗孔隙量についても飽和透水係数と同様の傾向が認められた。本圃場では地下水位が、暗渠工施工線からの距離にかかわらずどの観測地点でも常に低い位置にあったことから、降雨に伴う表層の余剰水は基準書等に示されているよう疎水材部の情報から入り込み、暗渠管を通して排水されたと推察される。

以上、暗渠工施工断面および土壌等の物理性と地下水位の移動状況から、泥炭転作田における土壌中の過剰水は、泥炭土層に形成される地下水面を介して暗渠管へと導かれ、圃場外へと排水されることが推察される。



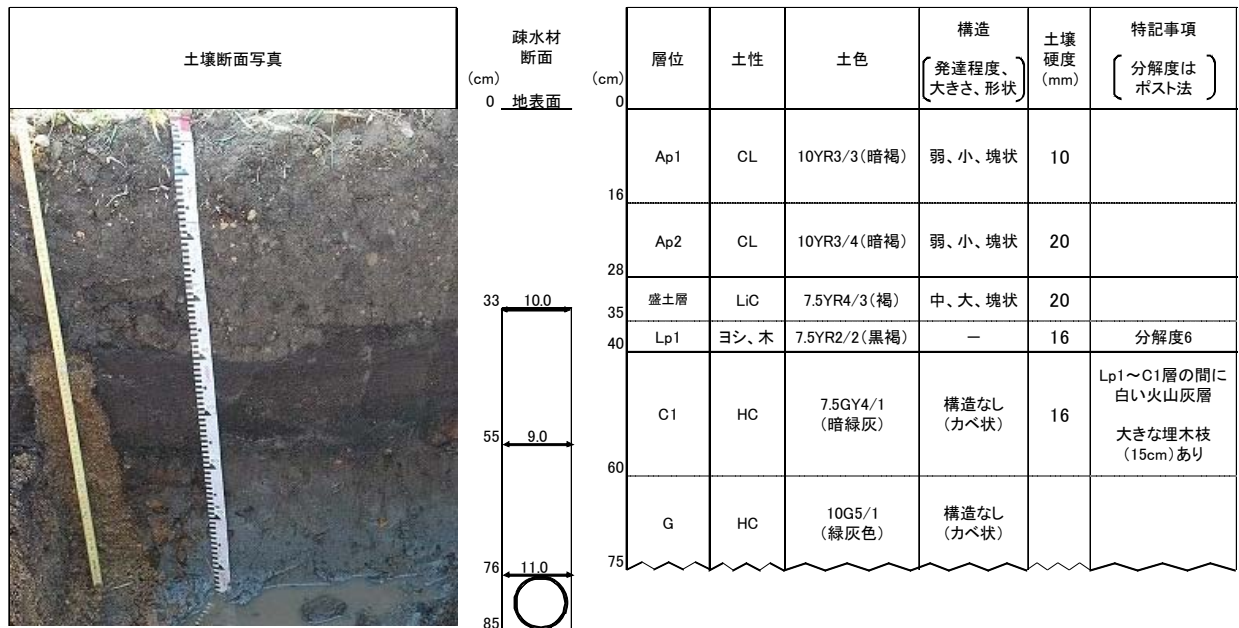


図 14 No.1 圃場調査地点①の暗渠工程施工断面

\* 中央の疎水材断面の図中の数値は地表面からの深度と疎水材部の幅を、右側の土壌断面の枠横の数値は深度を示す。

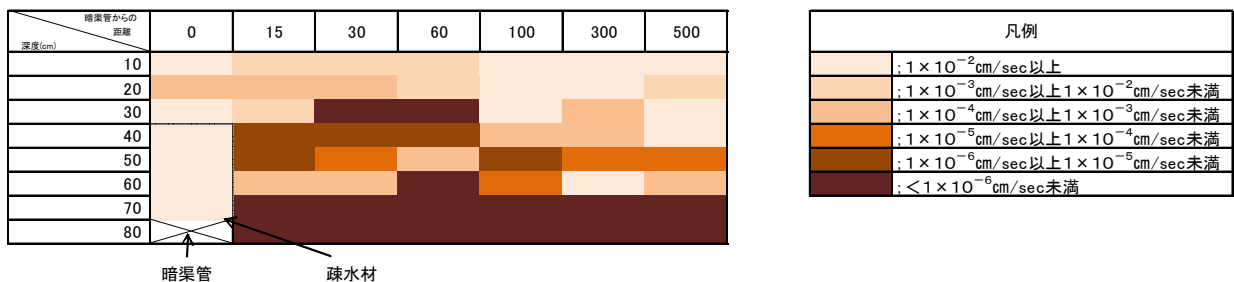


図 15 No.1 圃場調査地点①の透水係数

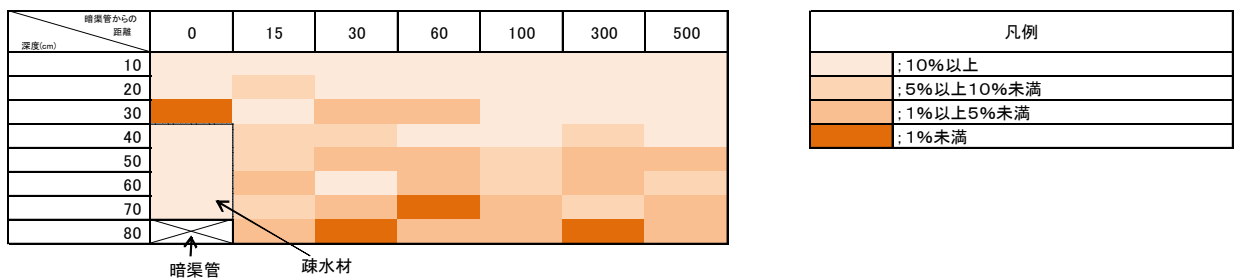


図 16 No.1 圃場調査地点①の粗孔含量

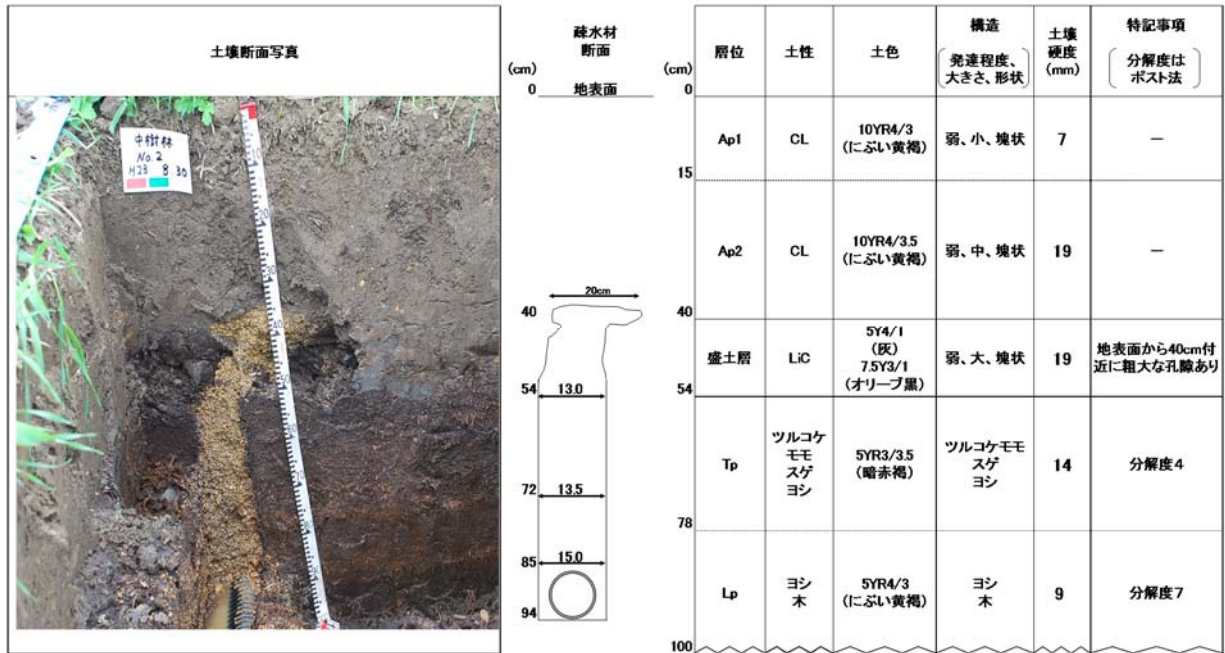


図 17 No2 圃場調査地点①の暗渠施工断面

\* 中央の疎水材断面の図中の数値は地表面からの深度と疎水材部の幅を、右側の土壌断面の枠横の数値は深度を示す。

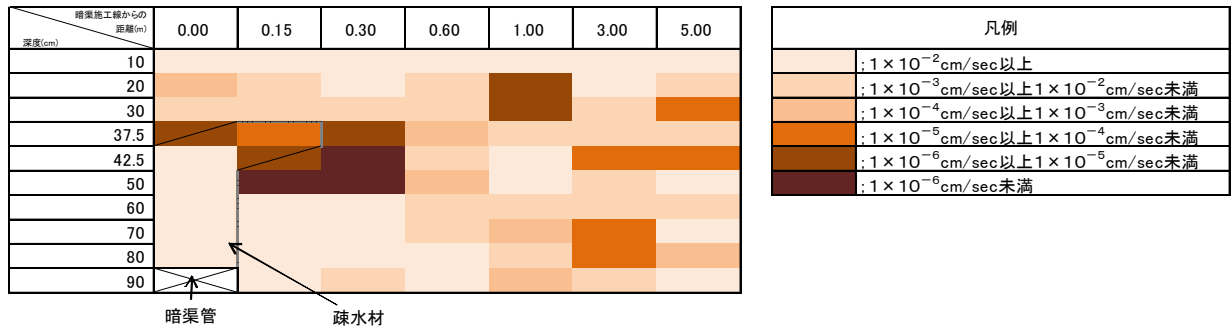


図 18 No2 圃場調査地点①の透水係数

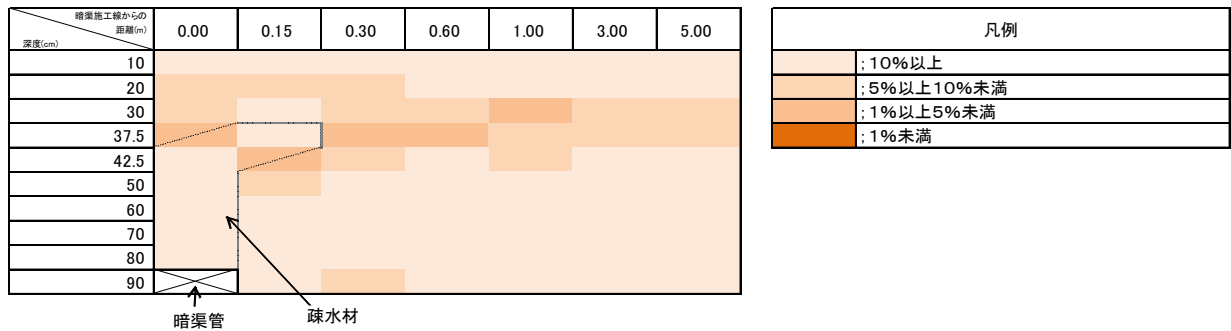


図 19 No2 圃場調査地点①の粗孔隙量

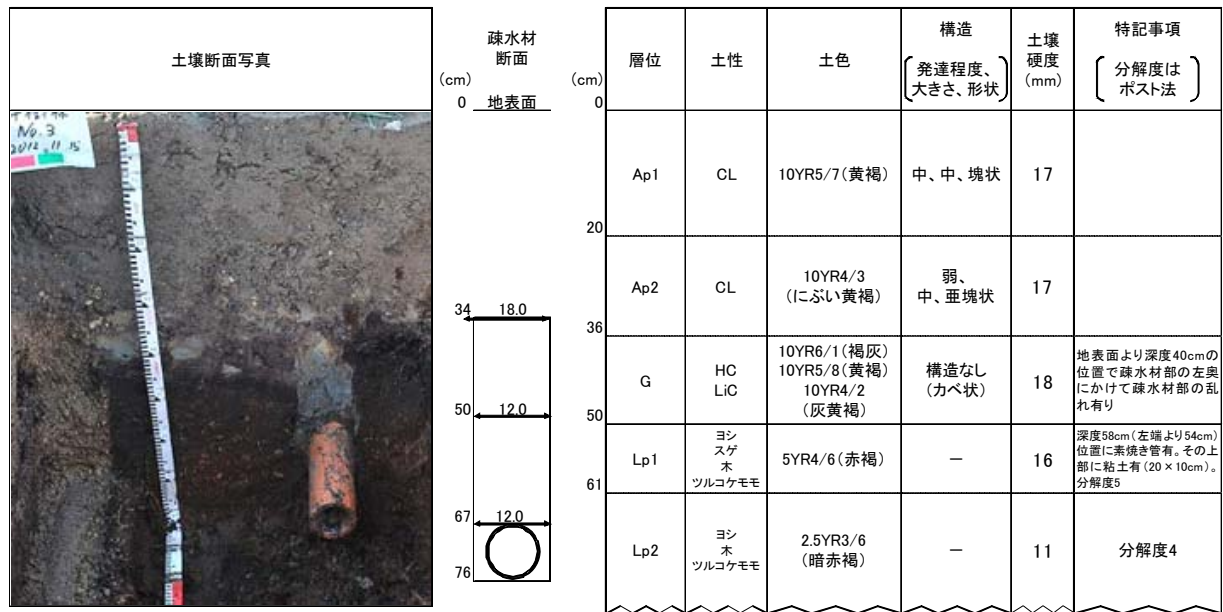


図 20 No.3 圃場調査地点①の暗渠工施工断面

\* 中央の疎水材断面の図中の数値は地表面からの深度と疎水材部の幅を、右側の土壌断面の枠横の数値は深度を示す。

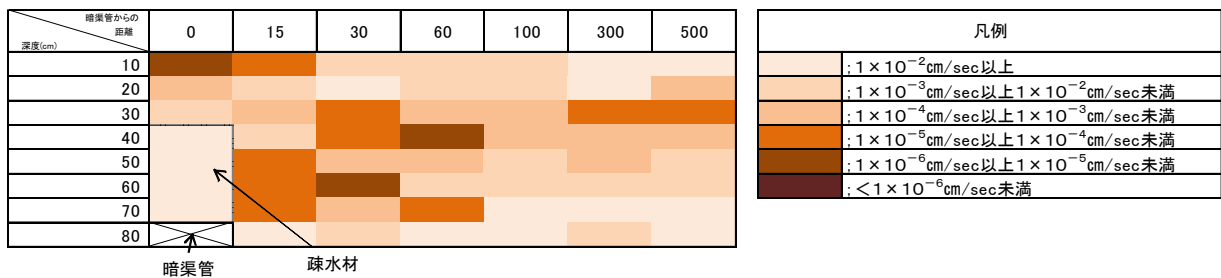


図 21 No.3 圃場調査地点①の透水係数



図 22 No.3 圃場調査地点①の粗孔隙量

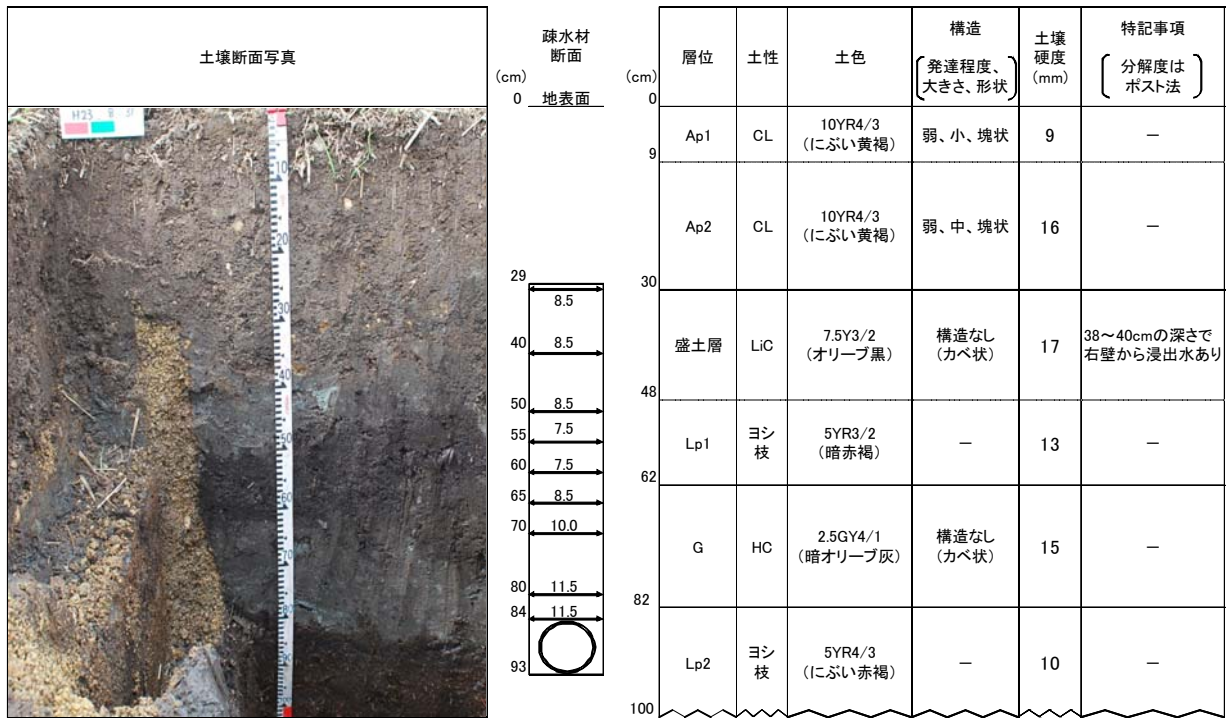


図 23 No.4 圃場調査地点①の暗渠工程施工断面

\* 中央の疎水材断面の図中の数値は地表面からの深度と疎水材部の幅を、右側の土壌断面の枠横の数値は深度を示す。

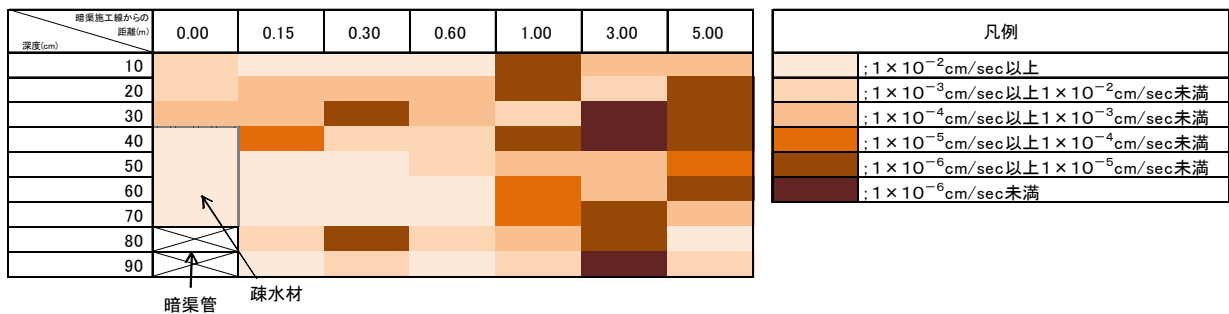


図 24 No.4 圃場調査地点①の透水係数

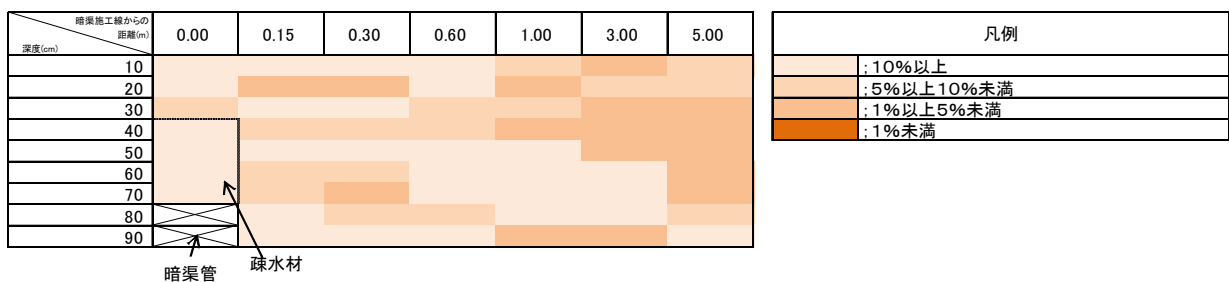


図 25 No.4 圃場調査地点①の粗孔隙量

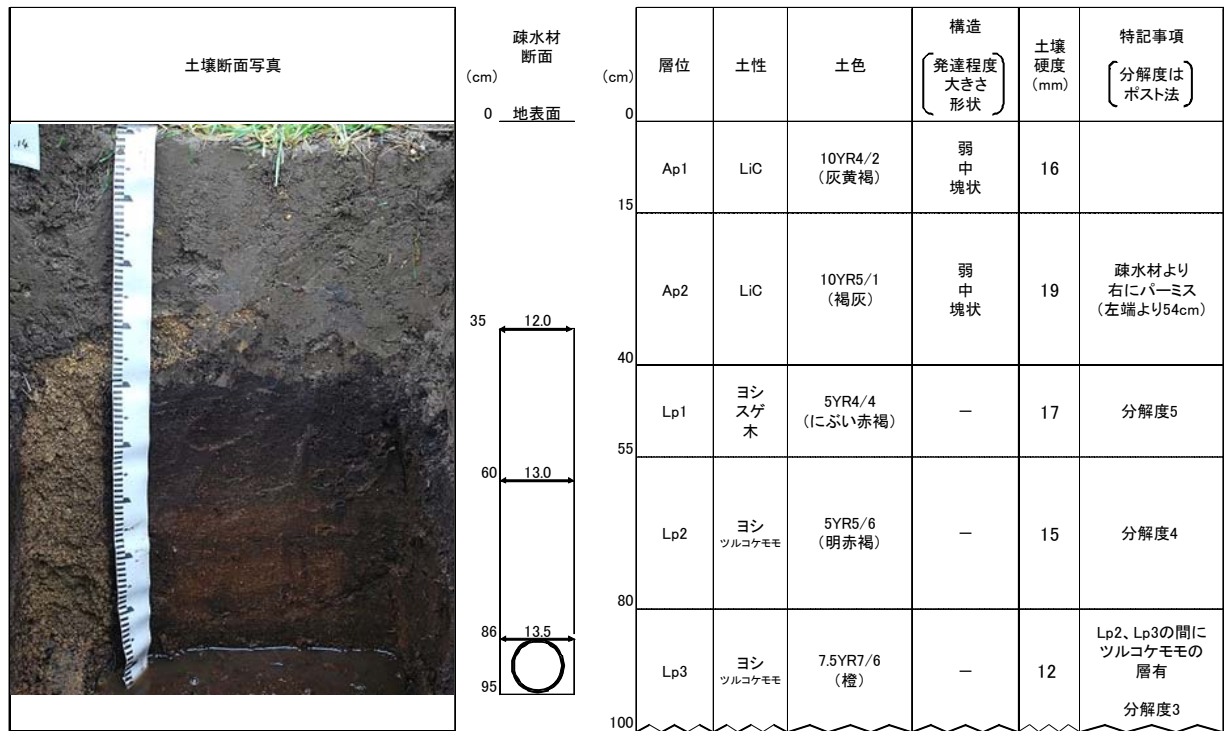


図 26 No.5 圃場の暗渠工施工断面

\* 中央の疎水材断面の図中の数値は地表面からの深度と疎水材部の幅を、右側の土壌断面の枠横の数値は深度を示す。

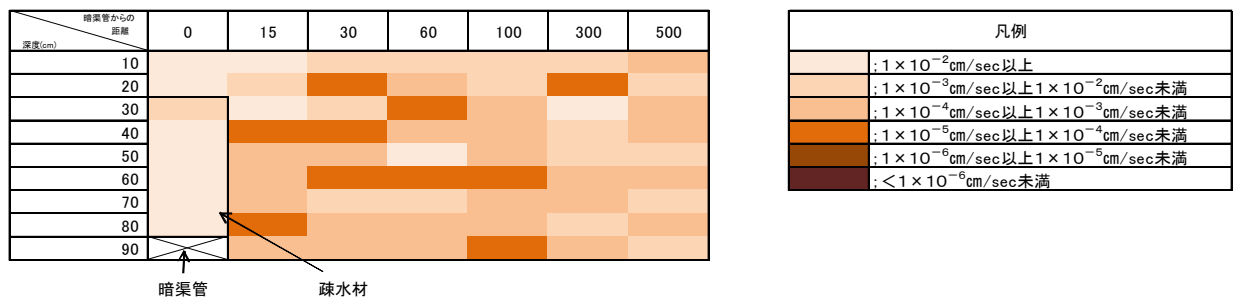


図 27 No.5 圃場の透水係数

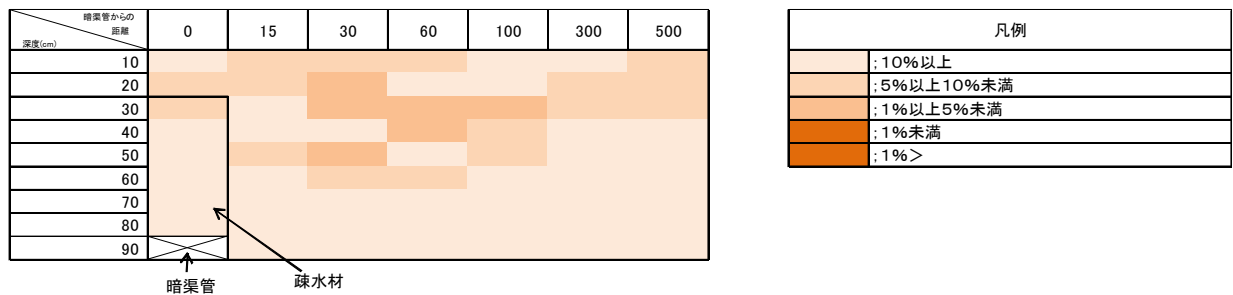


図 28 No.5 圃場の粗孔隙量

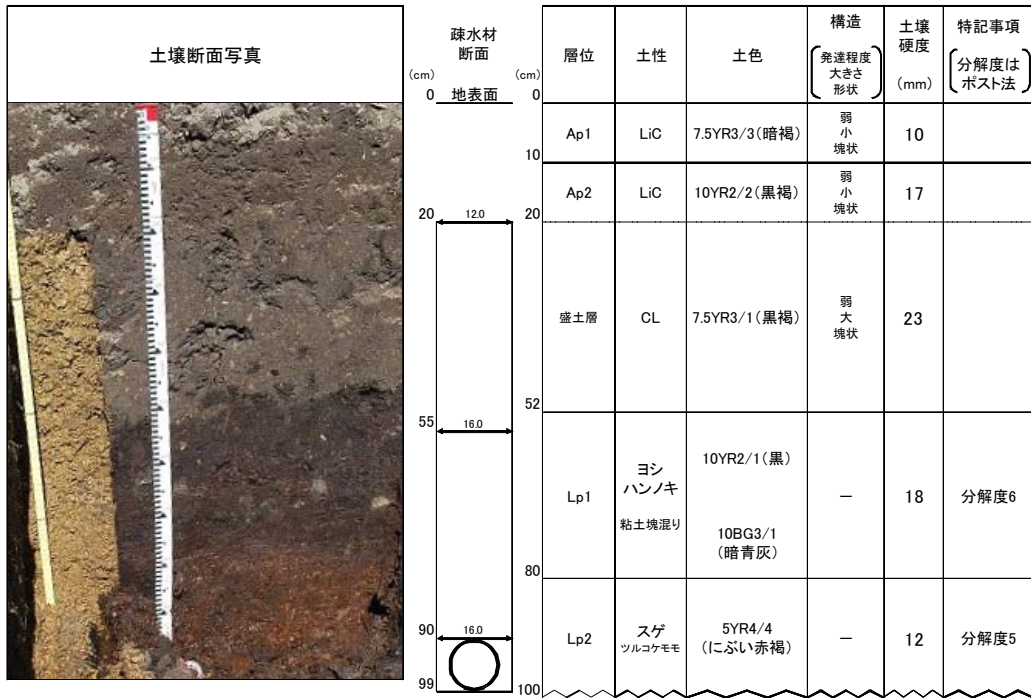


図 29 No.6 圃場の暗渠工施工断面

\* 中央の疎水材断面の図中の数値は地表面からの深度と疎水材部の幅を、右側の土壌断面の枠横の数値は深度を示す。

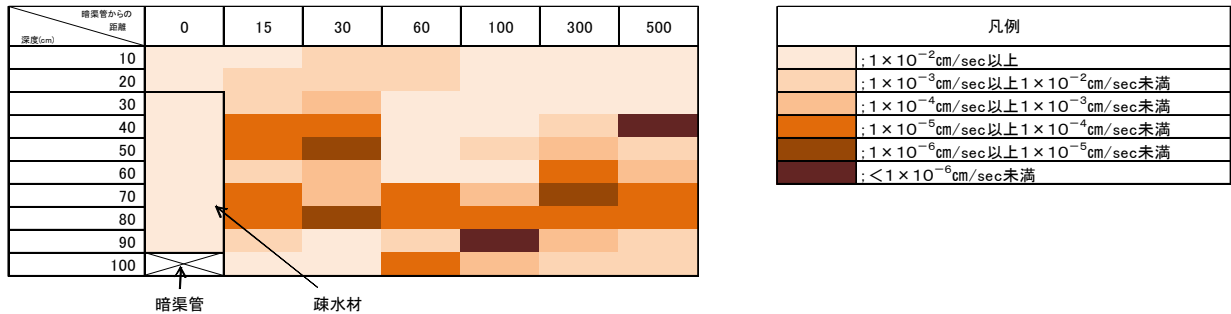


図 30 No.6 圃場の透水係数

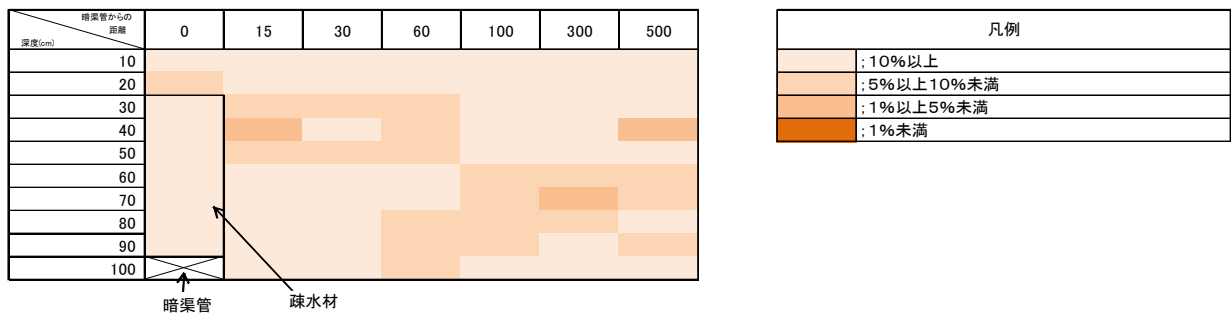


図 31 No.6 圃場の粗孔隙量

(4) 暗渠排水による地温の変化

図32～図34は平成23年から平成25年に観測した地温である。それぞれの調査圃場の深度10, 40, 80cm、暗渠工施工線から0, 0.30, 5.00m離れた地点の温度を示す。なお、これらの図のうち、No.1, No.3, No.6 圃場の暗渠管直上の深度40cmと80cmの温度、ならびにNo.2 圃場の暗渠管直上の深度80cmの温度は疎水材の温度を示している。

これらの図を見ると、調査圃場間で差は認められず、どの圃場でも同様の傾向が示された。主な傾向を整理すると次のとおりである。

- ① 深度10cmの地表部の地温は、気温の影響を受けて1日の間で上下しながら変動していた。暗渠工施工線から離れる距離による温度差はなく、ほぼ同一であった。
- ② 深度40cmの地点の温度は地表部の地温のように1日の間で変動することがなく、また、暗渠工施工線か

ら離れた距離に伴う温度差もなかった。疎水材に利用された火山礫と土壌との間に温度差が生じることがなかった。

- ③ 深度80cmでは、地温が1日の中で地表面付近の温度のように変動することはなかったが、No.3およびNo.4圃場においては夏期に変動していた。原因については不明である。また、これらNo.3およびNo.4の圃場ではこの夏期の期間は暗渠工施工線付近の方が暗渠工中間部部に比べて数℃高くなっていたが、このほかの期間では、また、他の圃場では暗渠工施工線から離れた距離に関係なくほぼ同じ温度であった。
- ④ 春から夏にかけては、どの調査圃場ともに地表面からの深度が10, 40, 80cmと深くなるにつれて温度が低くなっていた。しかし10月以降冬期になると、逆に深くなるにつれて地温が高くなっていた。

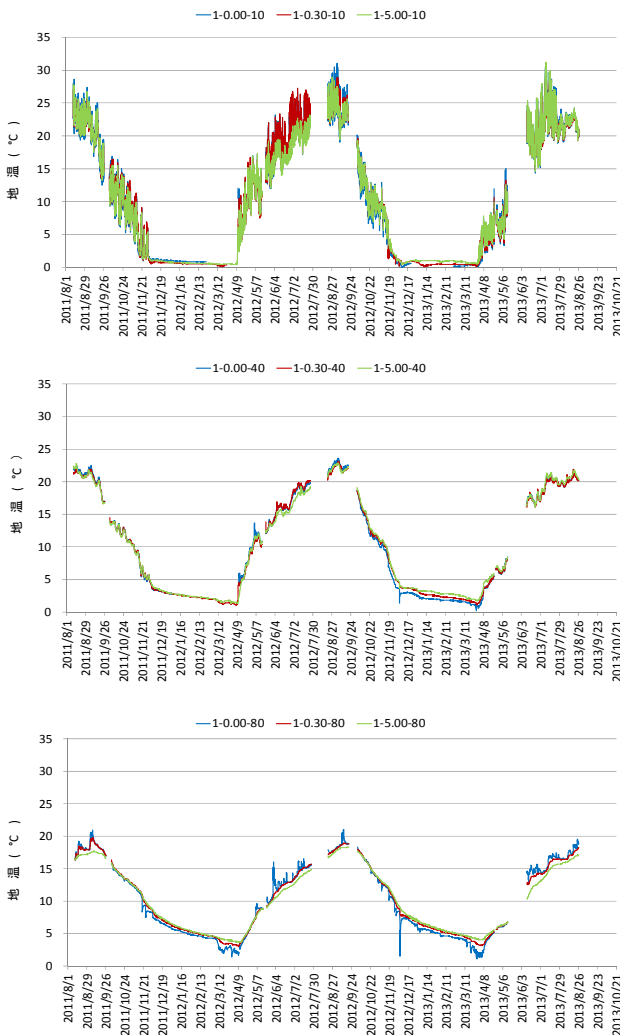


図32 No.1 圃場調査地点②における深度別地温  
(上；深度10cm、中；深度40cm、下；深度80cm)

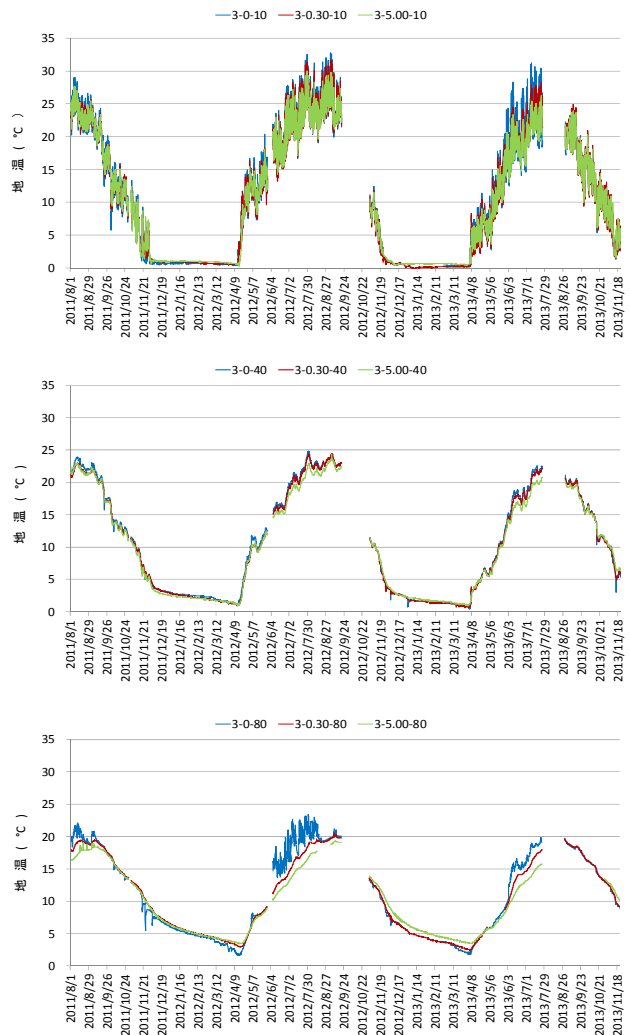


図33 No.3 圃場調査地点②における深度別地温  
(上；深度10cm、中；深度40cm、下；深度80cm)

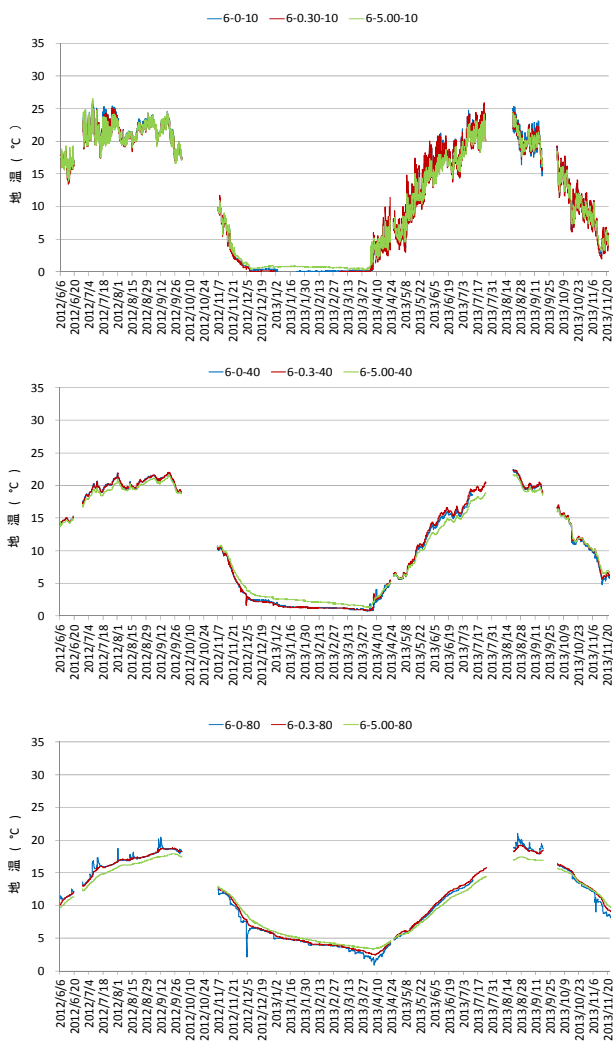


図 34 No.6 圃場における深度別地温  
(上；深度 10cm、中；深度 40cm、下；深度 80cm)

当初は、排水の影響を受けやすい暗渠工施工線付近の地温の方が暗渠工中間部に比べて高くなる傾向が表れると予想していたが、本調査結果ではそのような傾向は確認できなかった。

### 2. 1. 3 現地調査による機能発現の実態解明に関する考察

調査地点によっては暗渠管直近の地下水位が降雨直後、疎水材部天端付近まで上昇する箇所があったり、降雨があっても暗渠工施工線付近の地下水位は動かないまま、暗渠工施工線付近以外の地下水位が上昇、下降する箇所があったりした。このように暗渠工周辺土壌中では様々な地下水位の移動の仕方がある一方で、疎水材部内の地下水位はほとんどの調査地点で移動していなかった。また、地下水位の移動を暗渠工周辺土壌と疎水材の物理性と照らし合わせてみると、土壌中の余剰水は泥炭土層内に形成され

る地下水面を介しながら透水性の良い間隙を通して疎水材部に入って暗渠管から排水されていると推察された。これらから、疎水材型暗渠工の排水機能の発現は疎水材部と暗渠管直近の土壌との水の連続性が確保されているか否かによって影響を受けると考えられ、良好な排水の維持のためにはこの疎水材部と暗渠管直近の土壌間の水みちの確保が重要と考えられる。

暗渠工の排水機能が持続しているとは、降雨があっても暗渠管直上の地下水位が常に低く保たれていることにはほかならないと考えられる。今回の調査地点では全ての地点で暗渠管直上の地下水位が常に低く保たれており、暗渠工の排水機能は十分に維持されていると判断された。今後も圃場全体の排水機能を良好に保つためには、疎水材部と周辺土壌との排水経路の確保が重要と考えられ、そのためには、通常の営農作業としての心土破碎の継続実施が圃場全体の排水経路の確保のための効果的な手法になると推察された。

## 2. 2 室内実験による機能発現の実態解明

各種疎水材ごとに暗渠模型実験を行い、疎水材型暗渠の機能発現機構を調べた。

### 2. 2. 1 実験方法

#### (1) 実験装置

暗渠模型実験装置の断面を図 35 に示す。装置は土層と降水装置で構成されている。土層は 4 側面が強化ガラス、底面は鋼板で出来ており、内寸は幅 2,000mm、深さ 400mm、奥行き 500mm である。土槽の前面と背面のガラス面には見出し線を付けて、埋設部や地下水の移動状況を目視観察できるようにした。降水装置は、最大圧約 10kPa までの水压をかけることができ、この範囲まで任意の雨量を制御できる。

#### (2) 供試管

供試管には内径 50mm のコルゲート型式のポリエチレン多孔管を使用した。管には浸透水を吸水するための径 5mm (約 9mm<sup>2</sup>) の開口部が 1,455 個/m 設けられている。実験では管の前後両端面は水が浸入しないように密閉した。

#### (3) 供試疎水材

北海道内で疎水材として使用実績の多い碎石、火山礫、砂、火山灰土を用いた。各供試疎水材の最大粒径と工学的分類は表 3 の示すとおりである。

#### (4) 模型地盤の作製方法

模型地盤の作製では、土槽の底面から約 40cm までの約 40cm 厚を下層土 (砂質粘土)、下層土の上の約 10cm 厚を作土 (粘土質砂) とし、それぞれ自然含水比で締め固めた。



また、下層土は、事前に実施した締固め密度と透水係数の関係を用い、透水係数が $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ になるように作製した。疎水材は実際の暗渠施工方法と同様に、下層土を詰めた後に、幅約200mmで掘削し、ルーズな状態で詰めた。

#### (5) 観察方法

様々な雨量の人工降水後に地下水位の低下状況、地下水面の形状を観察した。なお、本実験の降雨強度は、強度小は時間雨量3mm程度、強度大は時間雨量8mm程度とした。

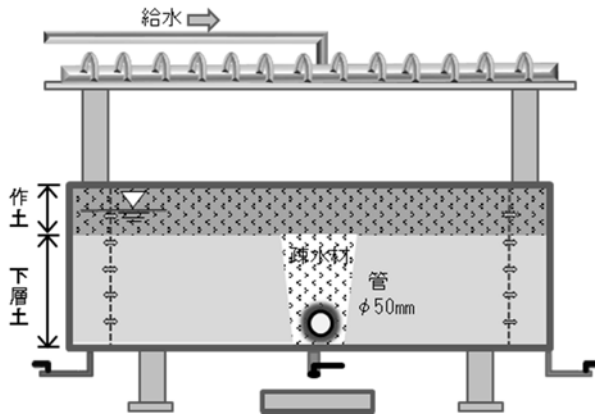


図 35 暗渠模型実験装置の断面  
(実験土槽：幅2m、深さ40cm、奥行50cm)

表 3 供試疎水材の最大粒径と工学的分類

供試疎水材	最大粒径(mm)	工学的分類
砕石	26.5	GP (分級された礫)
火山礫	37.5	GWS (粒径幅の広い砂質礫)
砂	9.5	SP-G (分級された礫まじり砂)
火山灰土	26.5	SVG (火山灰質礫質砂)

## 2. 2. 2 実験結果

### (1) 排水時の排水機構

排水にともなう地下水位の低下は疎水材部で先行し、管の上部で最も速かった。また、地下水面の形状は疎水材部で凹型を示すことも認められた(写真1(左))。この傾向は、透水性の高い砕石や火山礫の場合でより顕著にみられた。疎水材の種類によらず降水後の排水性は良好で、滞水することなく排水された。その中でも、疎水材に砕石を用いたケースの排水が最も速やかであった。一連の実験から、降水量が少ない場合は地下水位が暗渠管の側部までしか上昇せずに水位を維持しながら排水することが観察された(写真1(右))。この場合の排水は、暗渠管の側部の開孔部が排水機能を確保するうえで重要な役割を果たしている。降水量が多い場合は、暗渠管からの排水とともに暗渠

管の頂部に地下水位が維持される。この場合は、前述したように排水管の頂部で地下水位が最も低くなる水面形状を示す。降水量の多い場合により速やかな排水を得るには、暗渠管の頂部および側部の開孔部が排水機能上、重要であるといえる。

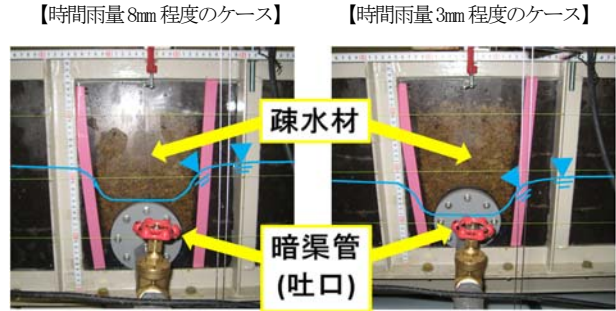


写真 1 暗渠排水時の地下水位面の形状(火山礫の例)

### (2) 暗渠管の土砂付着と目詰まりの状況

暗渠排水終了後における暗渠管外周の土砂の付着状況を写真2に示す。どの疎水材の場合でも排水後の暗渠管外周には作土、あるいは下層土のものと思われる土砂が付着していた。付着量は、火山灰土、砂、火山礫、砕石の順に多かった。なお、いずれの疎水材の場合でも、降水後の排水に支障はみられなかった。この実験の中では火山灰土を用いた際の排水速度が最も遅かった。また、砕石を用いると排水が速やかで、暗渠管に付着する土砂が少なく、暗渠管内からの観察による管の孔部の目詰まりも少ないことが認められた。

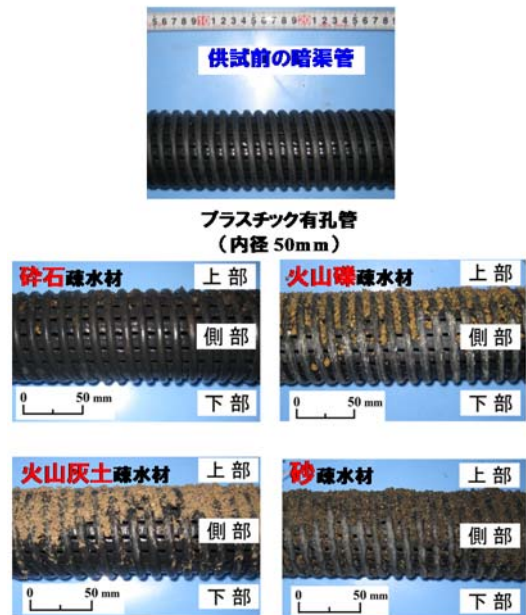


写真 2 排水後の暗渠管外面の土砂付着状況

速やかな排水機能の発現のためには作土あるいは下層土から暗渠管にいたる水みちを維持することが重要である。具体的には、疎水材部の水みちとなる空隙が確保されることが必要である。しかし、空隙を減少させる要因として、細粒分をはじめとする土粒子が疎水材部に混入することによる透水性の低下や、施工後の農作業機械の走行などより疎水材部が圧縮することなどが想定される。実験後の疎水材の施工位置ごとに粒度分布を確認した結果、細粒分の変化はほとんど現れていなかったため、疎水材部の空隙をふさぐほどの透水性の低下は生じていなかったと考えられる。

暗渠管の孔部の目詰まりを防ぐことが排水機能維持の面で有効と考えられた。管内の滞泥を防ぐ意味でも、管内洗浄などの維持管理を行うことが必要であると思われる。また、火山灰土、砂などで材料の粒径が比較的小さい疎水材を施工する場合は、施工から年数が経過すると、疎水材部の粗孔隙が減少し透水性が低下する場合も考えられる。疎水材型暗渠の排水性を確認するための一つの手段として、疎水材の種類や特徴に応じ、経年後の疎水材部の透水性をチェックすることが必要であると思われる。

## 2. 3 解析による機能発現の実態解明

### 2. 3. 1 検討方法

現地調査等で得られたデータをもとに疎水材部や疎水材部周辺の土壤中を移動する水分動態を推測するために、HYDRUS-2D を用いて暗渠施工断面中を流れる土中水の移動モデルを作成し、解析を行った。HYDRUS-2D とは、George E. Brown, Jr. Salinity Laboratory (米国農務省塩類研究所、リバーサイド、カリフォルニア州、<http://www.ussl.ars.gov/>) において開発された、2次元土中水分・塩分移動予測用プログラムである<sup>6)</sup>。

検討方法は、No2 圃場調査地点①における土壌断面上で HYDRUS-2D を用いて圧力水頭を目安として降雨後の地下水位変動の解析を実施し、と同時に土中水分量の変化の仕方や流速ベクトル等を解明することとした。具体的な手順を次に示す。

#### 1) 現地調査等で得られた地下水位、土壌物理性等のデータ整理

地下水位、1時間ごとの降水量、検討対象の土壌断面の地盤高(標高)、飽和透水係数、孔隙量、三相比を前述の現地調査等結果から整理した。

#### 2) 再現期間の設定

積雪や融雪時期を除いた平成24年6月5日～平成24年11月下旬までの間で、降雨後に無降雨期間が7日間確

保できる時期を再現期間とした。ただし、再現期間の決定の際に、日雨量が5mm未満の日は無降雨日と見なした。

これらの条件を満足する期間で、降雨停止後の地下水位の変動状況が比較的明瞭であった、平成24年9月9日2:00～平成24年9月12日4:00にかけて降った降雨を検討対象とすることとした。なお、計算日数を設定する際には、降雨後7日間の地下水位変動が把握できるように、余裕を見て10日間としたため、再現期間を平成24年9月9日0:00～平成24年9月22日23:00とした。

#### 3) 再現断面の設定

再現する断面の横断方向の長さは暗渠施工線～5.00m地点までとし、暗渠管直上および暗渠施工線から0.15、0.30、0.60、1.00m地点に変化点を設けた。また、縦断方向の長さは暗渠管の埋設深さ(地表面から90cm)と実測地下水位の最低値(地表面から89cm)を考慮し、余裕を見て100cmとした。再現断面のイメージを図36に示す。なお、HYDRUS-2Dは有限要素メッシュ自動作成プログラム MeshGen2Dにより、メッシュ密度を自動で作成する。自動で作成されたメッシュ密度どおりであれば再現断面全体が均一の密度であり、そのため計算に時間がかかる。ここでは、計算にかかる時間短縮のため、暗渠施工線から遠い範囲の密度を自動設定状態より荒めに変更した。

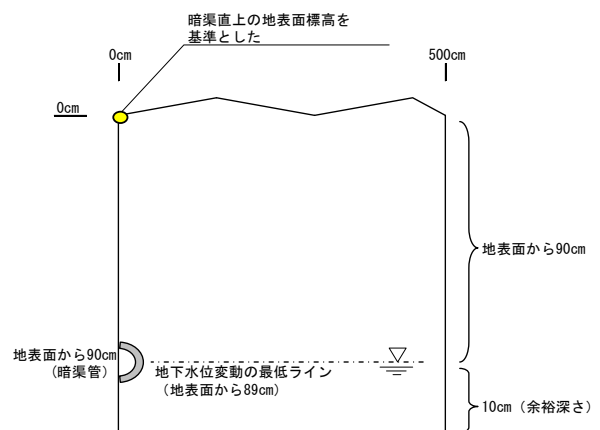


図36 再現断面のイメージ

#### 4) 土壌物理性条件設定

土壌物理性データから求め、HYDRUS-2Dに入力しなければならない水分移動パラメータは以下のとおりである。

$Q_r (\theta_r)$  : 残留体積含水率

$Q_s (\theta_s)$  : 飽和体積含水率

Alpha : 水分保持曲線の形状を与えるパラメータ

n : 水分保持曲線の形状を与えるパラメータ

$K_s$  : 飽和透水係数

l : 間隙結合係数

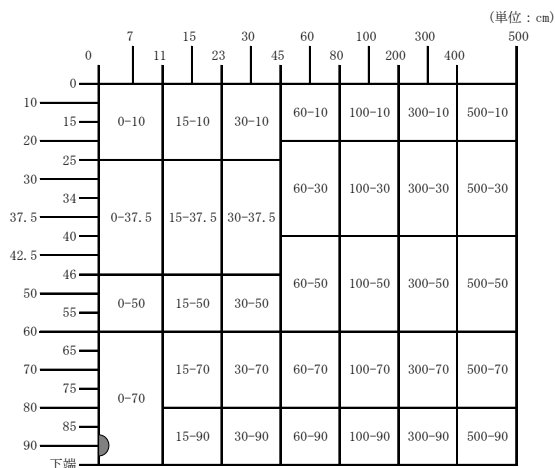


図 37 パラメータ値を与える再現断面内の領域

試料番号： 0-10

残留水分量	飽和体積含水率	係数1	係数2	透水係数 (cm/s)	係数3
$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$	$K_s$	$m$
0.200	0.705	1.050	1.290	3.46E-02	0.225

pF	h	Se	$\theta$	実績値	差
0.0	1	0.849	0.629		
0.5	3	0.684	0.545		
1.0	10	0.500	0.453		
1.5	32	0.360	0.382	0.349	0.033
2.0	100	0.259	0.331		
2.7	501	0.162	0.282		
3.0	1,000	0.133	0.267	0.291	-0.024
3.5	3,163	0.095	0.248		
4.2	15,857	0.060	0.230	0.200	0.030

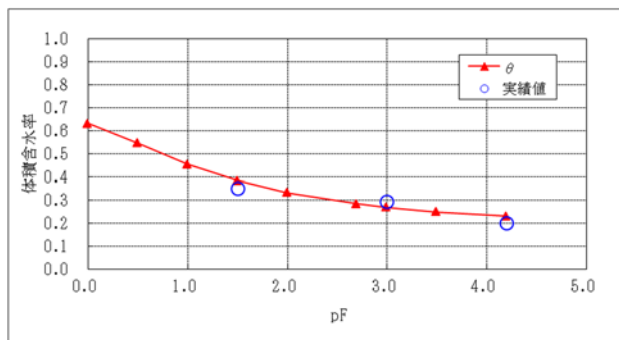


図 38 パラメータ値の設定例

再現断面内を図 37 の領域に区分し、これらのパラメータ値を与えることとした。なお、 $Q_r$ 、 $Q_s$ 、 $K_s$  は前述の 1) で整理されたデータをもとに設定することとした。 $Q_r$  は非有効水分孔隙量の値、すなわち pF4.2 の体積含水率の値を用いることとし、 $Q_s$  は全孔隙量の値を設定することとした。1 は土中間隙の屈曲や連結による影響を補正するための係数であり、Mualem は 45 種類の土試料の平均値として 0.5 を推奨している。HYDRUS-2D のプログラム上のデフォルト値も 0.5 としていることから、ここでも同様に

0.5 を採用することとした。Alpha と n については pF 値と体積含水率との関係、水分保持曲線のモデルから求めた。設定例を図 38 に示す。

#### 5) 再現断面の境界条件の設定

再現断面の左端は暗渠管センターとしているため、これより左側から再現断面への水分移動は無いものとした。同様に、右端は暗渠間のセンター (渠間 10m) に位置するため、これより右側の水分は隣の暗渠へ移動するものとし、再現断面への水分移動は無いものとした。また、下端については実測において常に飽和状態であることから、同様に水分移動無しとする。上端については、蒸発散量及び降雨を想定して大気条件を与えることとした。そのため、基本の境界条件は下記のとおりとした。

上端：大気条件

下端：水分移動無し

右端：水分移動無し

左端：水分移動無し

暗渠：浸潤面

大気条件に与えるパラメータには降雨と蒸発散量を想定した。降雨は 1 時間ごとの降水量とし、アメダス (江別) データを利用した。また、ペンマン法により時間ごとの蒸発散量を与える。必要な気象データについては江別観測所を基本とする。ただし、相対湿度については観測していないため、札幌気象観測所のデータを用いることとする。なお、ペンマン法による蒸発散量は日計算が基本であるため、江別観測所のデータである日照時間、気温、風速のデータをもとに 1 時間当たりの蒸発散量に重みを持たせることとした。

#### 6) 初期条件の設定

初期条件における土壌水分量は、HYDRUS-2D の動作中の画面上の各メッシュに対して設定が可能である。しかし、今回は、以下の手順に従って計算開始時の初期条件を見出すこととした。

- ① 再現断面が飽和状態となるような水分量を各メッシュに与える。
- ② 上端の大気条件を与えないまま計算を開始する。
- ③ 上記計算を開始した後、暗渠施工線から 5.00m 離れた地点における地下水位の計算値が実測値と同程度になるまでの計算に要した経過時間を確認する。
- ④ 確認した経過時間以降から大気条件を与えるような条件設定を行い、再現計算を開始する。

#### 7) 計算

- 8) 出力ファイルをもとに地下水位変動の再現結果の整理および評価

各観測地点（暗渠管直上および暗渠施工線から 0.15、0.30、0.60、1.00、3.00、5.00m地点）の地下水位を出力ファイルのデータを用いて換算する。降雨後 7 日目の計算値と実測値を比較し、相対誤差を求めた。

なお、HYDRUS-2D についての概要を説明するため、以下に引用文献から抜粋した、HYDRUS-2D に関する記述を示す。

HYDRUS-2D は、有限要素法における要素のメッシュを自動的に作成できること、入力画面上で様々な境界条件、初期条件等の設定が容易に行えること、2次元水分・塩分移動の結果を動画として視覚的に理解できること、逆解析によるパラメータ推定が行えること、さらに地温と植物根による吸水を加味できること等が特徴である。計算の信頼性や汎用性の高さから、欧米を中心に、広く研究、教育、応用面で用いられている。我が国においても、こうした汎用プログラムを用いた土中の物質移動予測の重要性は増している<sup>8)</sup>。

HYDRUS-2D は、水分流れは Richards 式、溶質移動は移流分算式 (CDE) に基づき、2次元の土中水分および溶質移動を有限要素法により計算する。計算条件の設定は、下記の手順で行い、計算を実行する。

- 1) 計算条件、各種パラメータの入力
- 2) 計算領域の設定と有限要素メッシュの作成
- 3) 境界条件の設定
- 4) 初期条件の設定

計算においては、離散化、反復計算、有限要素メッシュの条件を適切に設定することが重要であるが、画面上で容易に条件を変更できる。とりわけ有限要素メッシュ自動作成プログラム MeshGhen2D により、メッシュ密度の変更等が行えること、境界条件や手記条件の計算結果に及ぼす影響が容易に調べられる点の特徴である。計算結果は、2次元の等高線図、流速ベクトル、アニメーション表示、任意断面の分布図、境界フラックス、マスバランス情報等が図示される<sup>7)</sup>。

### 2.3.2 検討結果

HYDRUS-2D による地下水位変動再現結果を図 39～図 41 に示す。代表して、暗渠管直上、暗渠施工線から 1.00m および 5.00m 地点を示す。また、降雨後 7 日目の地下水位の計算値と実測値との相対誤差を表 4 に示す。

暗渠管直上、暗渠施工線から 0.15m、5.00m 地点では計算値と実測値との相対誤差は 6～7% 程度であり、精度の高いモデルとなっている。降雨後の地下水位の変動をうまく表すことができている。一方で、暗渠施工線から 0.30m、0.60m、1.00m 地点では降雨後の経過時間に伴う

地下水位変動の波形は似通っていたものの、計算値と実測値とは 10%以上の相対誤差を伴っていた。

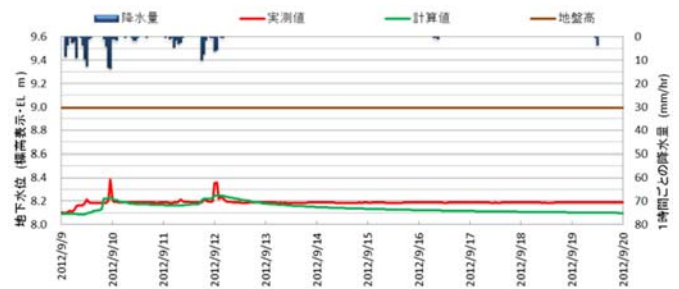


図 39 地下水位変動  
(No.2 圃場調査地点① 暗渠管直上)

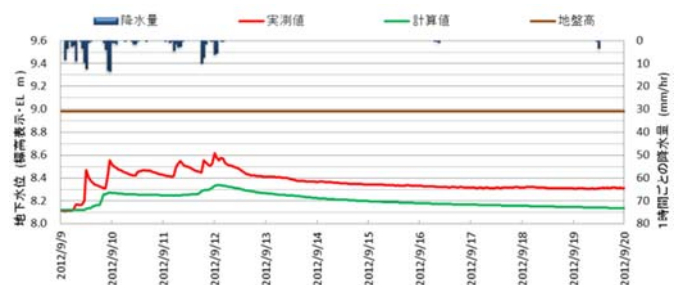


図 40 地下水位変動  
(No.2 圃場調査地点① 暗渠施工線から 1.00m)

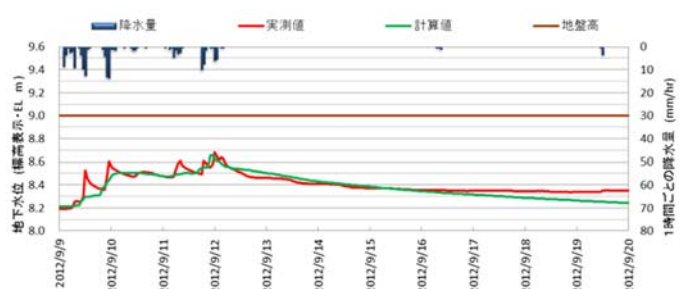


図 41 地下水位変動  
(No.2 圃場調査地点① 暗渠施工線から 5.00m)

表 4 観測地点の地下水位計算値の実測値との相対誤差

暗渠からの距離 (m)	0.00	0.15	0.30	0.60	1.00	5.00
相対誤差 (%)	6.71	7.46	13.23	19.05	20.13	6.10

HYDRUS-2D によって作成できたモデルにはこのような相対誤差を含むが、このモデルを用いて降雨前、降雨停止直後、降雨後 7 日目の圧力水頭を再現した。その結果として地下水位変動結果を図 42 に、また、これらの時期ごとの流速ベクトルを図 43 に表す。

図 42 を見ると、降雨前では圧力水頭  $h=0\text{cm}$  となる深さは暗渠施工線からの距離に関係なくどの地点でもほぼ同程度であり、降雨停止直後に暗渠から遠い地点で上昇し、降雨後 7 日目に下降し元どおりになっていることがわかる。降雨に伴い地下水位が渠間地点では上昇し、降雨停止とともに 7 日後には元通りになることが視覚的にわかる。しかし、暗渠管付近ではほとんど変動が認められなかった。このような結果となった要因としては、疎水材の透水係数が  $4.0 \times 10^{-1} \sim 7.5 \times 10^{-1} \text{cm/s}$  と非常に大きいため、疎水材付近まで土壌水分が到達するとすぐさま暗渠管から排水されていることが考えられる。

図 43 の流速ベクトルを見ると、土壌水は土壌断面の透水性の良い箇所を流れていることも視覚的にわかる。

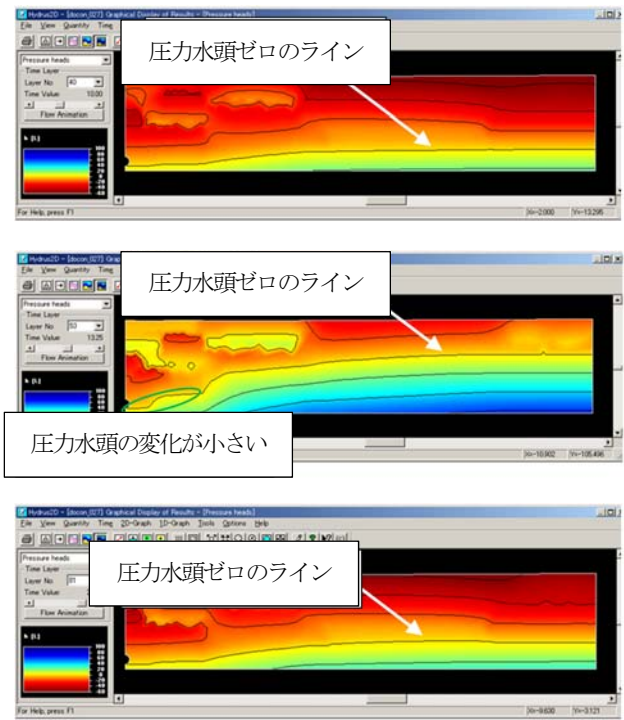


図 42 圧力水頭の変動状況  
(上段; 降雨前、中断降雨停止直後、下段; 降雨後 7 日目)

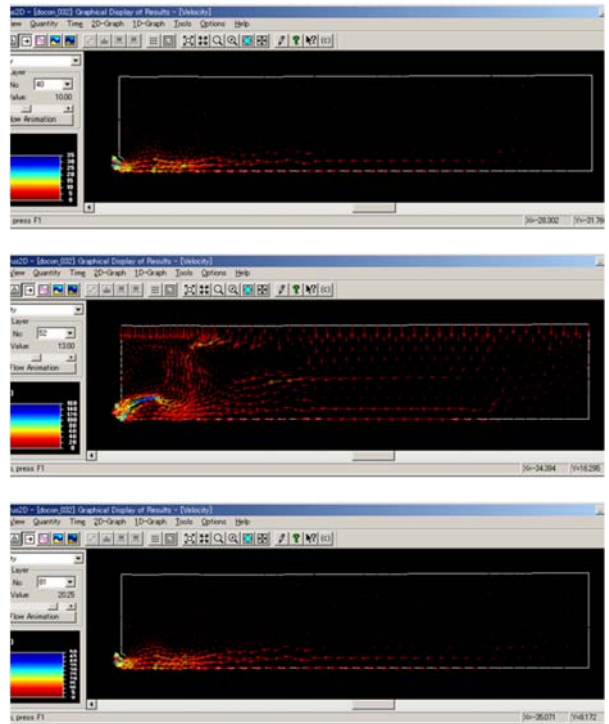


図 43 流速ベクトルの変動状況  
(上段; 降雨前、中断降雨停止直後、下段; 降雨後 7 日目)

### 3. 疎水材の耐久性の究明

#### 3. 1 フィールド調査による疎水材の現地環境条件の把握

##### 3. 1. 1 調査方法

疎水材の耐久性を室内実験等で検討していく上で、疎水材の置かれている環境を事前に把握しておくことは重要と考えられる。一方で、北海道の泥炭農地に施工された暗渠工の疎水材にかかる負荷として、地下水位の上下に伴う乾湿繰り返し作用、泥炭土は強酸性であるため酸性水、凍結融解作用が考えられる。

そこで、前述の地下水位観測および土壌等の温度観測結果から疎水材部の浸水状況、疎水材温度を整理した。また、地下水の酸性状況を把握するために pH 測定を定期的を実施した。

疎水材部の浸水状況を整理するにあたっては、土壌断面調査を実施した調査地点の暗渠管直上の地下水位データ(図 9~図 13)から各圃場の疎水材部の浸水状況を推測することとした。

疎水材の温度観測方法は、前述の「2. 1. 1 調査方法」に示したとおりである。

pH 測定にあたっては、6 圃場とも土壌断面調査を行った調査地点で、かつ暗渠管直近の地下水位観測孔から地下水を採水し、現地にて携帯用 pH 計を用いて測定した。1 回

の採水に対して計測を3反復とし、平均値を採水時のpHとした。平成23年9月からおおむね1ヶ月に1回の間隔で測定することとした。なお、地下水位観測と同様にpH測定もおおむね2年間の測定を実施した。

### 3.1.2 調査結果

#### (1) 疎水材部の浸水状況

疎水材部の上部(疎水材部天端から10cm下の位置)、中間部(疎水材部天端と暗渠管天端との中間地点)、下部(暗渠管天端から10cmの位置)の1ヶ月当たりの浸水回数、1回の浸水当たりの平均浸水時間、本調査期間に占める浸水のべ時間の割合を表5に整理した。なお、地下水位観測が途切れた期間については観測中断前後の地下水位を連続させて地下水位と疎水材部の標高の関係から浸水の有無を判断した。

図9～図13を見る限り、どの圃場でも疎水材部はほとんど浸水していないことがわかる。表5によると、疎水材部の上部ではほとんどの地点で全調査期間に占める浸水延べ時間の割合が1%もない。最も浸水割合が大きかったNo.1圃場①の下部で2割弱程度の期間しか浸水していなかった。どの圃場の暗渠工も排水機能が十分に満足しており、すみやかな排水がなされていたためと考えられる。

#### (2) 疎水材温度

疎水材部の上部、中間部、下部において観測された疎水材の温度を図44～図46に、最高温度と最低温度を表6に整理した。疎水材部の上部、中間部、下部の温度は、それぞれの調査地点の地盤高、疎水材部天端標高、暗渠管天端標高をもとにして、疎水材部の上部、中間部、下部に最も近い位置に設置した温度計のデータで代表した。

これらの図、表から次のことが整理される。

- ① 観測期間を通しての疎水材の温度は最高で20℃、

氷点下になることはなかった。

- ② 疎水材部の上部から下部における温度差が数℃しかない。
- ③ 1日の間に温度の周期的な変動がない。
- ④ 夏季から秋季にかけて緩やかに温度が低下し、融雪とともに緩やかに温度が上昇する。
- ⑤ 調査圃場が異なっても調査圃場間で顕著な温度差が生じていない。

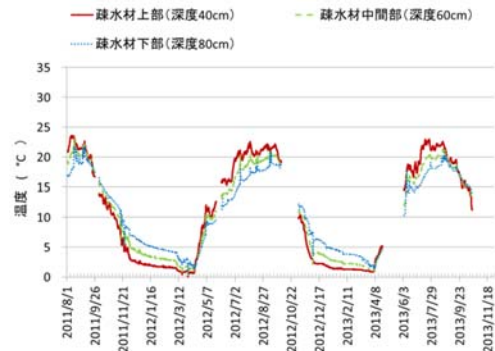


図44 No.2 圃場の疎水材温度

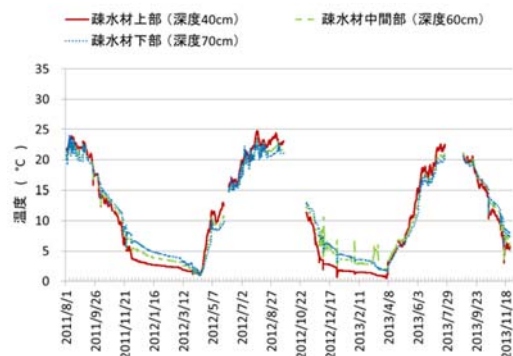


図45 No.3 圃場の疎水材温度

表5 疎水材部の浸水状況

調査圃場No.			No.1		No.2		No.3		No.4		No.5	No.6
			①	②	①	②	①	②	①	②		
上部	浸水回数	回/ヶ月	1.0	0.4	0.1	0.9	0.1	0.1	0.4	0.5	0.2	0.0
	浸水時間	hr/回	8	5	2	3	0	5	5	4	5	0
	浸水割合	%	1.04	0.29	0.04	0.41	0.02	0.08	0.24	0.30	0.14	0.00
中間部	浸水回数	回/ヶ月	1.7	1.2	0.2	1.3	0.4	0.5	0.6	0.7	1.6	0.2
	浸水時間	hr/回	16	9	3	5	3	4	4	4	9	3
	浸水割合	%	3.52	1.53	0.09	0.93	0.20	0.28	0.32	0.38	1.86	0.06
下部	浸水回数	回/ヶ月	1.6	1.6	1.2	1.9	1.1	2.8	2.3	1.4	2.5	1.5
	浸水時間	hr/回	91	42	5	5	4	5	30	3	47	10
	浸水割合	%	19.65	9.21	0.81	1.36	0.64	2.10	9.34	0.62	15.88	2.04

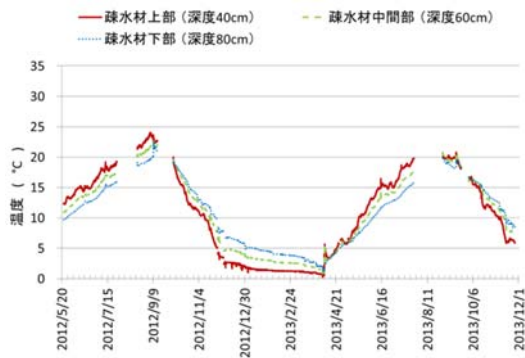


図 46 No.6 圃場の疎水材温度

表 6 疎水材部の上部、中間部、下部の最高・最低温度

	上部		中間部		下部	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低
No.1 圃場	23.6	0.3	22.0	0.9	21.0	1.1
No.2 圃場	23.6	0.0	23.1	0.2	21.8	0.5
No.3 圃場	24.8	0.5	23.3	0.9	24.1	0.9
No.4 圃場	24.7	0.3	23.7	0.3	23.4	0.7
No.5 圃場	22.4	0.8	21.9	0.8	21.0	0.9
No.6 圃場	24.0	0.2	22.7	0.8	22.6	1.2

### (3) 地下水の酸性状況

地下水の pH 観測結果を図 47 に示す。

観測された pH は、No.1 圃場では 5.5~6.5、平均が 6.0、No.2 圃場では 5.3~6.5、平均が 5.8、No.3 圃場では 4.7~6.3、平均が 5.3、No.4 圃場では 5.1~6.2、平均 5.6、No.5 圃場では 5.5~6.0、平均 5.6、No.6 圃場では

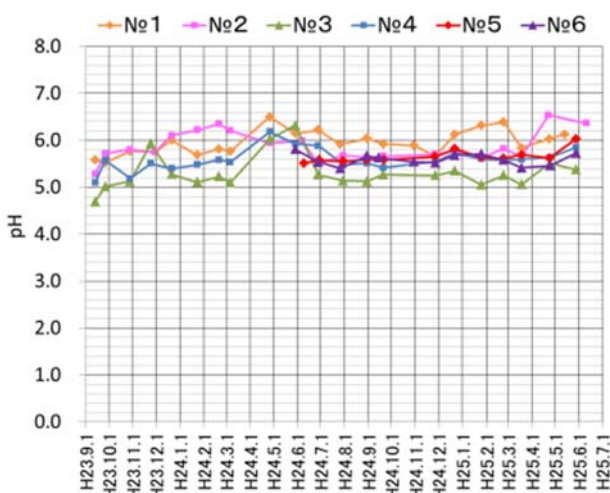


図 47 地下水の pH

5.4~5.8、平均 5.6 であり、全体では 4.7~6.5 の範囲にあり、平均が 5.7 であった。どの圃場でも地下水はやや酸性を呈していると判断される。全圃場の地下水の pH を比較してみると、No.1 圃場の pH がやや大きめであり、No.3 圃場はやや小さめであった(有意水準 5% の t 検定において有意差あり)。また、それぞれの圃場における地下水の pH に時期に伴う差は認められなかった(有意水準 5% の t 検定において有意差なし)。

## 3. 2 疎水材としての火山礫の長期供用後の耐久性

### 3. 2. 1 調査方法

計画基準<sup>5)</sup>では、「疎水材は吸水きよの透水性の確保と吸水管への土砂の流入防止のフィルター機能を持ち、腐植しにくいものを選定しなければならない」とのことである。したがって、疎水材の機能の持続性を評価するにあたっては疎水材の透水性、すなわち透水係数が評価指標の一つになると考えられる。また、透水性は粒度分布との関係が深い。そこで、疎水材として長期供用後の火山礫の耐久性を透水係数と粒度分布に着目して室内分析を実施した。

透水試験用の試料確保にあたっては、「2. 1. 1 調査方法」で示したとおり土壌断面調査と併せて 100cc 採土管に未攪乱試料を採取した。粒度試験用には攪乱した疎水材をビニール袋に採取した。粒度試験用試料は疎水材部の天端から約 10cm 下の位置(疎水材部の上部)、疎水材部天端と暗渠管天端との中間地点(中間部)、暗渠管天端から 10cm の位置(下部)で採取した。透水試験は定水位法、粒度試験は JIS A 1204(土の粒度試験)に準じた。

### 3. 2. 2 評価方法

長期供用後の疎水材の機能を透水性や粒度分布によって評価するための基準値は現在使用中の基準類には見当たらなかった。ここでは、計画基準<sup>5)</sup>を参考に、暗渠溝の幅、計画暗渠排水量、暗渠間隔から求められる透水係数〔以後、透水係数(計算値)と称す〕と透水試験による現状の透水係数〔以後、透水係数(試験値)と称す〕を比較し、透水係数(試験値)の方が透水係数(計算値)より大ならば疎水材部の排水機能が維持されていると判断することとした。なお、前提条件として、暗渠間隔を 10m、計画暗渠排水量を 50mm/day、暗渠溝の幅を疎水材部の平均幅として透水係数(計算値)を次式で求めた。疎水材部の平均幅は土壌断面調査結果から求めた。

透水係数(計算値)

$$= (\text{計画暗渠排水量} \times \text{暗渠間隔}) / \text{暗渠溝の幅}$$

また、疎水材の粒度分布の基準値にはアメリカ土壤保全

局等の基準を採用した。現指針の前の北海道開発局農業水産部監修 暗渠排水計画設計技術指針<sup>9)</sup>は現在、廃止扱いであるが、この指針の中にフィルター材ならびに排水促進材の基準値が記されていた。

### 3. 2. 3 調査結果

#### (1) 透水係数

調査圃場ごとの疎水材の透水係数を図 48 に透水係数(試験値)と透水係数(計算値)との関係で整理した。

どの調査圃場においても、目安となる透水係数(計算値)が  $1.0 \times 10^{-3}$  cm/sec のオーダーに対して透水係数(試験値)は  $1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-1}$  cm/sec のオーダーであった。施工後約 10 年が経過していても疎水材の排水機能は十分に確

地点①と No. 5 圃場の疎水材の粒度分布である。これらの図にはフィルターの基準として、アメリカ土壤保全局(1971)基準のほか、WINGER and TYAN(1979)基準、SPALDING(1970)基準を併記した。SPALDING(1970)基準はアメリカ土壤保全局(1971)基準や WINGER and TYAN(1979)基準に比べてフィルターの限界値の適用範囲が細かめである。これらの図を見ると、いずれも疎水材の粒度分布がアメリカ土壤保全局(1971)基準や WINGER and TYAN(1979)基準の適用範囲内におおむね入っており、どの調査圃場でも疎水材のフィルター機能が確保されていると推察される。また、このことから 5 年や 10 年程度の違いによる施工後の経過年数の違いには疎水材の細粒化が現れるほどの影響力はないと考えられた。

さらに、疎水材の埋設深度、上部、中間部、下部の位置による粒度分布の違いは認められなかった。前述の疎水材の浸漬状況と疎水材温度の結果で示したように疎水

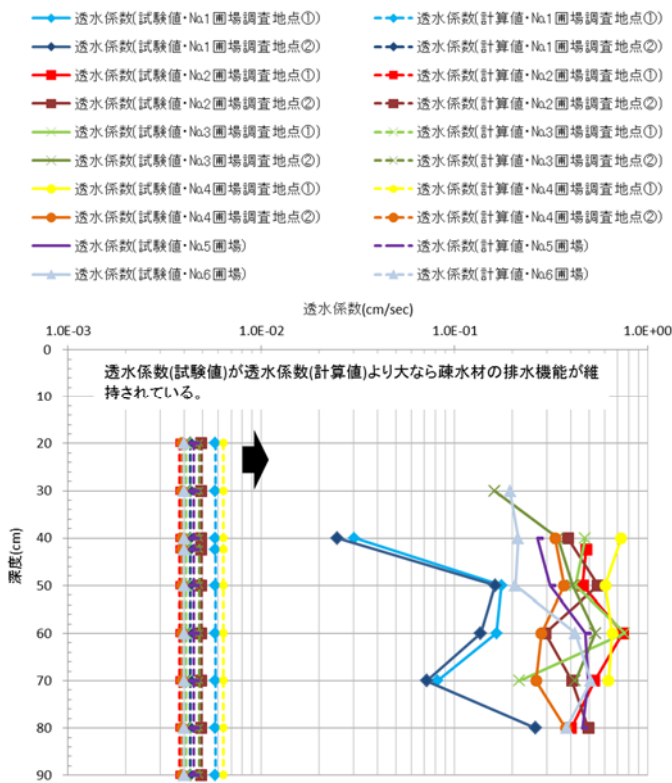


図 48 調査圃場ごとの疎水材の透水係数

保されていると推察される。また、調査圃場、疎水材の埋設された深度、浸漬状態の違いによる透水係数への影響が表れていないかを確認したが、No.1 圃場の透水係数の値が他の圃場に比べてやや小さかったこと以外に差は認められなかった。

#### (2) 粒度分布

図 49、図 50 は、各調査圃場を代表して、No. 2 圃場調査

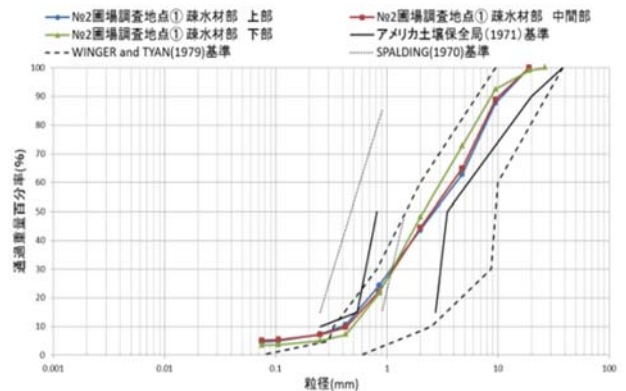


図 49 No.2 圃場調査地点①の疎水材の粒度分布

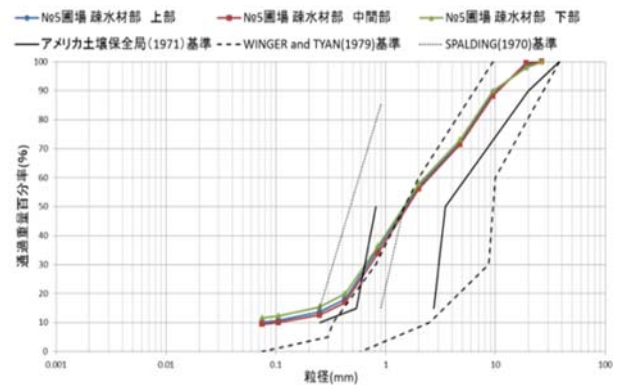


図 50 No.5 圃場の疎水材の粒度分布



材はほとんど浸漬せず、また、深度に伴う温度差が小さかった。したがって、疎水材部の埋設深さの違いによって疎水材部にかかる負荷に差が生じることはなく、さらにそのため、疎水材の粒度分布に埋設深度に伴う違いが生じなかったと考えられる。

なお、暗渠排水計画設計技術指針<sup>9)</sup>によると、0.25mm以下の粒子混入は全体の10%以下が望ましいとの基準がある。これらに照らすと、どの圃場でも細粒分の割合が基準値に比べてやや多くなっている。No2以外の圃場や特に上部や下部に位置する疎水材の中にはこの基準を満足しない状況が確認された<sup>10)</sup>。しかし、火山礫の暗渠疎水材に関する研究<sup>11)</sup>によると、最大粒径が19mm以上で、2mm以上の割合が40%以上で、かつ0.074mm以下が10%以下であるものが採用基準を満たすとの記載がある。これらの目標値は満足していることから、適正な疎水材性状を満たしていると判断できる<sup>12)</sup>。

### 3.3 室内試験による疎水材の耐久性の評価

北海道内で暗渠疎水材として使用されている碎石と火山礫を試料として用い、a)凍結・融解作用を繰返し負荷した場合、b)乾燥・湿潤の繰返し作用を負荷した場合について実験を行った。また、火山礫を試料として用い、c)酸性水に浸漬した際の耐久性についても試験した。これらの室内試験により、各作用に対する耐久性を検討した。

#### 3.3.1 凍結融解作用に対する耐久性

北海道内では、十勝地域、根釧地域などの少雪寒冷地域をはじめ、各地域で土壤凍結が生じる。農地の表層部は、冬は凍結して春には融解し、1年間でみると凍結と融解が繰り返される条件下におかれている。疎水材は凍結融解の影響は避けられず、凍結融解の繰返しに対する性状の変化を考慮する必要がある<sup>13), 14)</sup>。

凍結深度に関して、土谷・松田による畑地の土壤凍結についての研究<sup>15)</sup>では、冬には土壤の上層から下層へと徐々に凍結が進み、2月上旬に深さ50cm程度までが凍結し、4月上旬頃から地表側と下方側から融解が生じることなどが報告されている。また、北海道内の凍結深度は最大で120cm程度で、道内の約半数の市町村で凍結深度が80cmを超えることなども報告されている<sup>16)</sup>。暗渠疎水材は、地面の約20cm以深から約100cmまでの範囲に施工される場合が多いため、凍結融解作用の影響は避けられない。そのため、凍結融解作用に対する耐久性について試験を行った。

#### (1) 試料

試験には碎石と火山礫の2試料を用いた。これらの試料は、北海道中央部の土取場から採取したものである。試料の基本的性質は表7に示すとおりである。碎石は砂岩を母材とし、呼び径5-25mmに分級調整したものをを使用した。その粒度の約99%は礫分で構成されている。

火山礫は降下テフラである火山噴出物であり、呼び径40mmふるいを通り、最大粒径を調整したものをを使用した。礫分約50%、砂分約45%で、細粒分は約5%であった。

表7 試料の基本的性質

試料	碎石	火山礫
最大粒径 $D_{max}$ (mm)	26.5	37.5
礫分 (%)	98.8	50.3
砂分 (%)	1.2	45.0
細粒分 (%)	0	4.7
土粒子の密度* $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.717	2.876
コンシステンシー	NP	NP
自然含水比 $w_n$ (%)	1.0	44.9
地盤材料分類	GP	GVS

\* JIS A 1202 による

表8に試料の密度、吸水率、有効間隙率を示す。初期状態の吸水率を見ると、碎石は約1%である。一方、火山礫は多孔質であることを反映して、吸水率は約84%であった。

表8 試料の密度、吸水率、有効間隙率

項目	試料	
	碎石	火山礫
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.660	1.360
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.620	0.740
$E_c=100\%$ での乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.578*	0.876**
吸水率 (%)	1.2	83.9
有効間隙率 (%)	3.1	61.9

\* JIS A 1210 のB-c法の締固めエネルギー( $E_c$ )にて $w_n$ の試料で求めた

\*\* JIS A 1210 のB-c法による

#### (2) 試験方法

試験では、試料をφ150mmモールド(高さ175mm)に詰め、凍結融解の繰返しを与えた。試料の作製では、実際の暗渠施工時と同様に締固めは行わず、3層に分けて詰め、ルーズな状態を再現した。また、φ150mmモールドの試料には、重さ5kg(荷重2776kN/m<sup>2</sup>)の有孔盤を載せた。

後述する鉛直方向の軸ひずみはこの有孔盤の中央部1ヶ所と外周部4ヶ所(90°間隔)の平均値を用いた。

凍結融解の繰返しは、凍結工程 -5°Cで24時間、融解工程 20°Cで24時間を1サイクルとした。凍結温度は、土谷・松田の農地における土壌凍結に関する既往研究<sup>15)</sup>を参考とし、設定した。この工程を最大50サイクルまで行い、所定のサイクル後の物理性、貫入強さ、透水性などを調べた。凍結融解の繰返し過程では、モールド内の試料の上面において、鉛直方向の軸ひずみも測定した。透水試験は、定水位法にて測定した。

### (3) 結果と考察

#### 1) 凍結融解繰返し後の物理的性質

##### ① 粒度分布

砕石、火山礫の2種類の試料について、凍結融解繰返し後の粒度分布を図51に示す。図には0, 20, 50サイクル後の粒度分布を示した。砕石ではほとんど変化がみられなかった。火山礫は、20サイクルまではほぼ変化がみられないが、50サイクル経過後にはわずかではあるが、細粒分が増加する傾向がみられた。

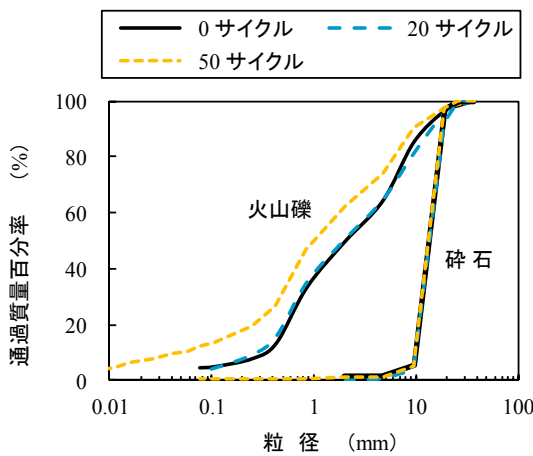


図51 凍結融解繰返し後の粒度分布

##### ② 吸水率

凍結融解作用の繰返しを50サイクルまで与えた場合の吸水率の変化を図52に示す。砕石は、初期状態の吸水率が1.2%程度で、凍結融解50サイクル後に1.3%程度になっているが、大きな変化はみられなかった。また、火山礫については、凍結融解を繰返し負荷すると徐々に吸水率が増加し、50サイクル後では約90%を示していた。

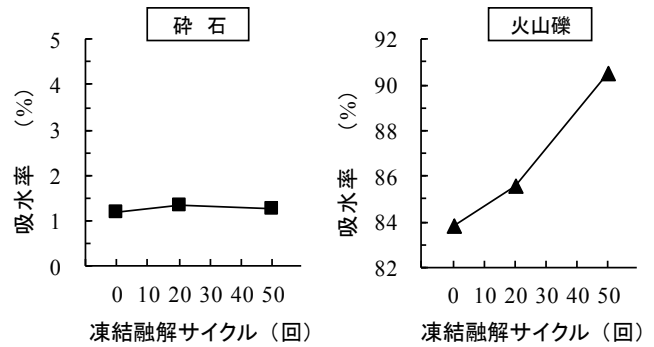


図52 吸水率の変化

#### 2) 凍結融解の繰返しに伴う強度とひずみ

凍結融解の繰返し作用を50サイクルまで与えた各試料の貫入強さと鉛直方向の軸ひずみの変化を測定した。図53は砕石と火山礫の凍結融解サイクル過程におけるCBR試験で求めた貫入強さである。

貫入強さは凍結融解を繰返された後に農作業機械などによる踏圧に対する疎水材部の抵抗力を評価するものである。50サイクルの凍結融解では疎水材の強度低下は生じず、0サイクル時点よりも貫入強さが大きくなることが認められた。この傾向は、砕石と火山礫のいずれの場合も同様であった。

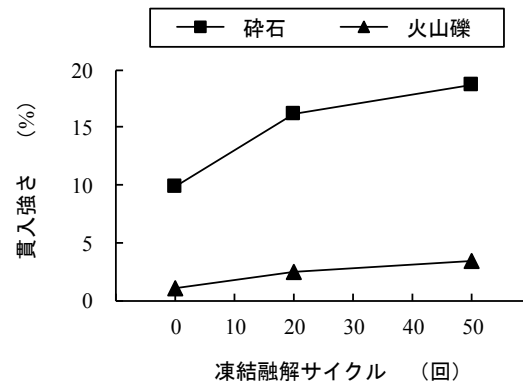


図53 貫入強さの変化

鉛直方向の軸ひずみの推移を図54に示す。軸ひずみは、暗渠施工直後からの疎水材部の層厚の減少を予測するものである。砕石、火山礫ともに凍結融解を与える前処理の水浸によって大きなひずみが発生している。砕石は30サイクル以降、軸ひずみの変化はほとんどなく2%程度で収束する結果となった。火山礫はその後もサイクルが進むと徐々に軸ひずみが増加している。

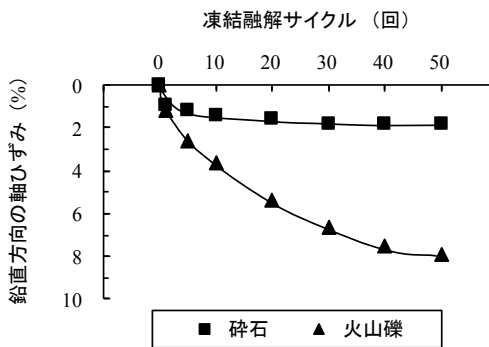


図 54 供試体の鉛直方向の軸ひずみ

### 3) 凍結融解繰返し後の透水性

図 55 に、凍結融解の繰返し作用を 50 サイクルまで与えた場合の 0 サイクル時 (凍結融解前)、20 サイクル後、50 サイクル後の透水係数を示す。各サイクルを繰返した結果、大きな変化は生じておらず、砕石では、 $1 \times 10^0$  cm/sec オーダーを、火山礫では、 $1 \times 10^{-1}$  cm/sec オーダーを維持していた。繰返しサイクルが増加しても、疎水材部から排水管に至る通水を阻害するような透水性の低下は生じず、疎水材としての排水機能は十分確保しているものと考えられた。

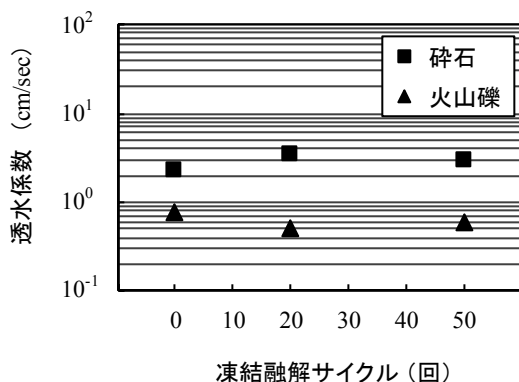


図 55 凍結融解繰返し後の透水係数の変化

### 3. 3. 2 乾湿繰返し作用に対する耐久性

疎水材は、雨水や融雪水で湿潤状態におかれる時期があるものの、耕起などで毎年表層部を掘り起こすため、乾燥する期間もある。したがって、湿潤時の吸水と乾燥時の脱水の繰返しにより疎水材の破碎などが生じることが考えられる。細粒化が顕著に生じると、透水性に影響を与える可能性も考えられる。

#### (1) 試料

試験には凍結融解繰返し作用と同じ砕石と火山礫の 2 試料を用いた。試料の分級調整方法なども同様とした。

#### (2) 試験方法

測定項目は凍結融解繰返し試験と同様とした。乾燥湿潤の繰返しは、乾燥工程 60°C で 24 時間、湿潤工程 (水中浸漬) 20°C で 24 時間を 1 サイクルとした。

#### (3) 結果と考察

##### 1) 乾湿繰返し後の物理的性質

##### ① 粒度分布

砕石、火山礫の 2 種類の試料について、乾燥湿潤繰返し後の粒度分布を図 56 に示す。図には 0, 20, 50 サイクル後の粒度分布を示した。砕石ではほとんど変化がみられなかった。火山礫は、20 サイクルまではほぼ変化がみられないが、50 サイクル経過後にはわずかではあるが、細粒分が増加する傾向がみられた。

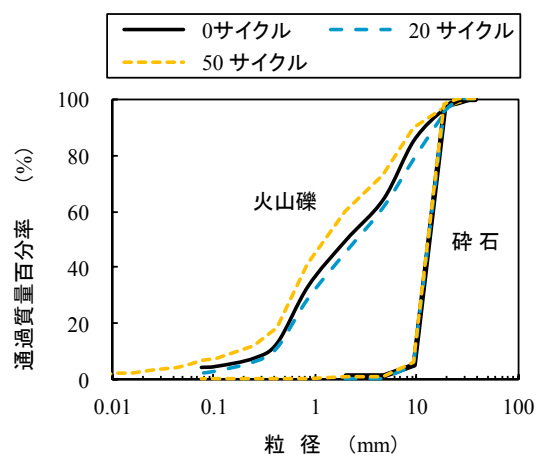


図 56 乾湿繰返し後の粒径分布

##### ② 吸水率

乾燥湿潤の繰返し作用を 50 サイクルまで与えた場合の吸水率の変化を図 57 に示す。砕石は初期状態の吸水率が 1.2% 程度で、乾燥湿潤 50 サイクル後もほとんど変化は認められなかった。また、火山礫については、乾燥湿潤を繰り返し負荷すると徐々に吸水率が増加し、50 サイクル後では約 91% を示していた。

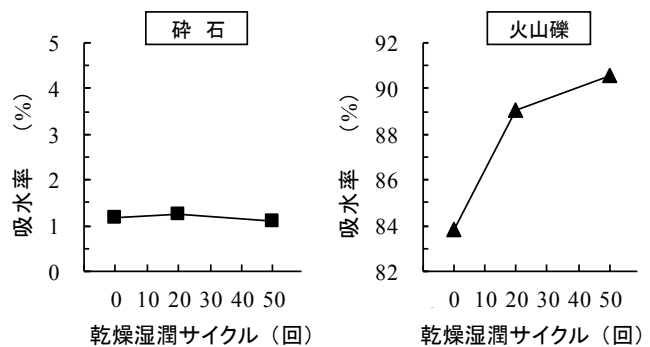


図 57 吸水率の変化

2) 乾燥湿潤繰返しに伴う強度とひずみ

乾燥湿潤の繰返し作用を 50 サイクルまで与えた各試料の貫入強さと鉛直方向の軸ひずみの変化を測定した。図 58 は碎石と火山礫の乾燥湿潤サイクル過程における CBR 試験で求めた貫入強さである。

50 サイクルの乾燥湿潤では、凍結融解の繰返し作用と同様に疎水材の劣化が顕著に生じず、0 サイクル時点よりも貫入強さが大きくなる傾向が認められた。この傾向は碎石と火山礫のいずれの場合でも同様であった。

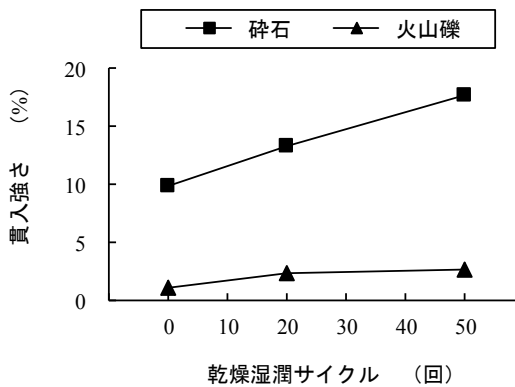


図 58 貫入強さの変化

鉛直方向の軸ひずみの推移を図 59 に示す。碎石、火山礫ともに乾燥湿潤を与える前処理の水浸によって大きなひずみが発生している。その後は、サイクルの増加とともに軸ひずみが増加する傾向がみられ、碎石より火山礫の方が大きかった。

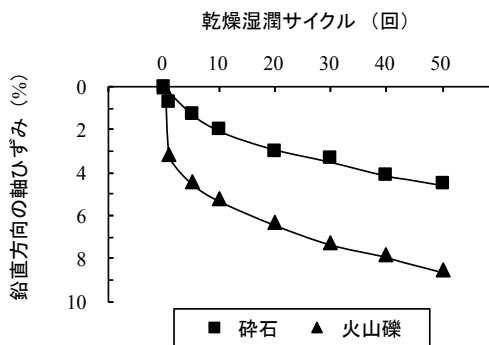


図 59 供試体の鉛直方向の軸ひずみ

3) 乾湿繰返し後の透水性

図 60 に乾湿繰返し作用を 50 サイクル与えた場合の 0 サイクル時 (乾燥湿潤前)、20 サイクル後、50 サイクル後の透水係数を示す。その結果、乾燥湿潤の繰返しにより、

透水係数は大きく変化しなかった。乾燥湿潤の繰返しサイクルが増加しても、疎水材部から暗渠排水管に至る通水を阻害する程の透水性の低下は生じておらず、疎水材としての排水機能は十分確保しているものと考えられる。

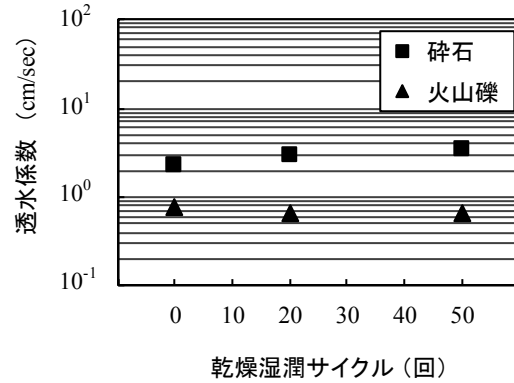


図 60 乾湿繰返し後の透水係数の変化

3. 3. 3 酸性水浸漬に対する耐久性

泥炭地で土壌や地下水が弱酸性～弱酸性の場合には、疎水材が酸性水に浸漬される条件下におかれる。酸性水により疎水材の劣化が生じる可能性が考えられることから、その影響も考慮する必要がある<sup>17)</sup>。

(1) 試料

試験には火山礫を試料として用いた。

(2) 試験方法

酸性水への浸漬試験は、pH=4.0 に調整した硫酸水溶液に火山礫試料を浸漬させ、1 週後、4 週後の粒度分布の変化を調べた。酸性水浸漬状況は写真 3 に示す。

本試験の pH 設定にあたっては、いくつかの研究報告を参考とした。近藤<sup>18)</sup>は、高位泥炭土、中間泥炭土、低位泥炭土に分けて pH を測定しており、それぞれの pH の平均値が 3.3、3.7、3.8 で、強酸性～弱酸性を呈することを報告している。また、高有機質土は、pH4～7 の範囲が多い<sup>19)</sup>。前述の「3. 1. 2(3) 地下水の酸性状況」の調査結果からも、pH4.7～6.5 の範囲であることを確認している。これらの結果を参考に試験では、pH4.0 に設定した。なお、浸漬に用いた酸性水については、1 週間毎に新鮮なものと交換した。

(3) 結果と考察

試験の結果を図 61 に示す。浸漬期間が増加すると少しずつ粒径が細かくなることが確認され、砂分以下ものが増加する傾向がみられた。しかし、1 週間後と 4 週間後における変化がほぼみられないことから、一度浸漬した後の細粒化の進行はほとんど生じていない。



写真3 酸性水浸漬試験の状況（火山礫の例）

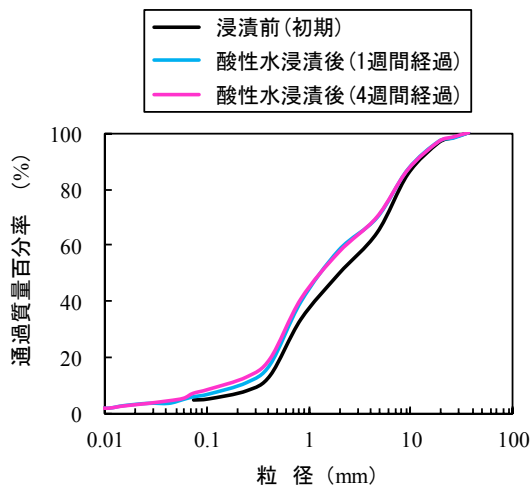


図61 酸性水への浸漬後の粒径分布（火山礫）

なお、当チームでは、道内で無機質系疎水材として施工実績のあるホタテ貝殻などを暗渠疎水材に用いた圃場での耐久性に関する調査も実施しており、これらの疎水材については十分な耐久性を保持していることを確認している<sup>20), 21)</sup>。

#### 4. 積雪寒冷地における疎水材型暗渠排水の技術資料の作成

本研究成果を用い、北海道のような積雪寒冷地で疎水材型暗渠を整備する場合の基礎資料を取り纏めた。この資料は、今後、行政機関による設計技術指針の改訂に資するもので、北海道のような積雪寒冷地で暗渠疎水材に使用される材料の特性と耐久性に関する調査試験結果の一部を要約したものである。

本資料は、現行の「暗渠排水計画設計技術指針（案）」（北海道開発局農業水産部、2000）をベースに、当該研究で得られた現地調査および室内実験の結果をもとに積雪寒冷地の疎水材の耐久性等の材料特性を示した資料である。

#### 5. まとめ

積雪寒冷地における疎水材型暗渠の機能と耐久性を明らかにするため火山礫等を疎水材に用いた暗渠工の機能発現の実態等を調査した。主な結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 土壌中の透水係数や粗孔隙の分布状態から泥炭転作田における土壌中の過剰水は、泥炭土層に形成される地下水面を介して暗渠管へと導かれ、圃場外へと排水される。良好な排水の維持のためにはこの疎水材部と暗渠管直近の土壌間の水みちの確保が重要と考えられる。
- 2) 地下水位が高い場合を除いて、暗渠工（疎水材）がおかれている環境として、一年を通して浸水している時間はほとんどなかった。
- 3) 疎水材の温度は、一年を通して最高で20数℃、最低で0℃程度であった。
- 4) 通年を通して観測された泥炭農地の地下水は弱酸性を呈しており、pHは4.7～6.5の範囲にあり、平均が5.7であった。
- 5) 疎水材として長期供用中の火山礫の透水係数と粒度分布を評価した結果、透水係数は $1.0 \times 10^{-1}$  cm/secのオーダーであり、粒度分布はアメリカ土壤保全局（1971）基準やWINGER and TYAN(1979)基準の適用範囲内におおむね入っていた。施工後約10年が経過しても透水係数、粒度分布ともに基準値が確保されていた。
- 6) 疎水材型暗渠の排水機能を検証するため、道内で疎水材への使用事例が多い砕石、火山礫、砂、火山灰土を供試疎水材に用いた室内模型実験を行った。いずれの疎水材の場合も降水後の排水性は良好であった。砕石を用いたケースは排水管有孔部の目詰まりが少ないことなども確認された。
- 7) 凍結融解作用および乾燥湿潤作用に対する耐久性については、砕石に比べると火山礫でわずかながら細粒化が認められた。しかし、50サイクルを负荷した場合においても十分な透水性が維持していた。また、砕石、火山礫ともにサイクルを重ねるごとに圧縮し疎水材部の強度が増加していた。
- 8) 酸性水に浸漬した火山礫試料の物理性を調べた結果、水中浸漬前の初期の材料に比べると砂分が増加しわずかに細粒化する傾向がみられた。水中浸漬にともなう粒度変化は小さく、透水性や強度に影響を及ぼすような変化はみられず酸性水下での耐久性は高いものと考えられた。

## 6. おわりに

積雪寒冷地における暗渠疎水材の耐久性を把握するため、疎水材のおかれる環境の確認と各劣化要因に対する耐久性について検討を行った。

その結果、厳しい環境におかれる積雪寒冷地の疎水材においても、材料の劣化に起因する疎水材料としての機能低下は生じていないことを確認した<sup>22), 23)</sup>。積雪寒冷地において過酷な条件となる凍結融解作用や泥炭土壌のような酸性を呈する地下水に浸漬された状態においても、材料の劣化はほとんどみられなかったことから、一般的な暗渠排水の疎水材として十分な耐久性を維持していることが確認できた。

今回の研究は疎水材料に特化したものであるため、各材料の劣化以外の要因については取りまとめていないが、暗渠排水を効果的に使用するためには、管内洗浄などの維持管理を行うことや、補助暗渠などを適切に施工することが必要である。

## 参考文献

- 1) 北川巖：積雪寒冷地における排水改良の現状と今後の展開、*土壌の物理性*, No.100, pp. 43-53, 2005
- 2) 石渡輝夫、横堀将、横濱充宏、高宮信章：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策（その1）、pp. 2-9, *開発土木研究所月報*, No.498, 開発土木研究所, 1994
- 3) 石渡輝夫、横堀将、横濱充宏、高宮信章：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策（その2）、pp. 3-11, *開発土木研究所月報*, No.499, 開発土木研究所, 1994
- 4) 入戸信貞、森川俊次、中村和正、岡本隆、石渡輝夫：暗渠排水の疎水材として用いた貝殻及び埋木チップの効果と耐久性、*開発土木研究所月報*, No.574, pp. 18-28, 2001
- 5) 北川巖：圃場の総合的な排水改良技術の確立に関する研究, pp. 1-42, *北海道立農業試験場報告*, 第113号, 北海道立中央農業試験場, 2007. 3
- 6) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画「暗きよ排水」 基準書技術書、p4、p37、p39、p48、p130、2000. 11
- 7) D. Rassam, J. Šimůnek, and M. Th. van Genuchten 著 取手伸夫、井上光弘監訳：HYDRUS-2D による土中の不飽和流れの計算、2003. 3
- 8) 取手伸夫、長裕幸：土中水分・塩分移動予測汎用プログラム HYDRUS を用いた教育・研究と応用、*農業土木学会全国大会講演要旨集*, pp. 90-91, 2004
- 9) 北海道開発局農業水産部監修 暗渠排水計画設計技術指針, pp. 112-117, 1989
- 10) 大深正徳・岡村裕紀・大岸 譲：暗渠疎水材として用いられた火山礫の劣化因子と長期供用後の性状, *寒地土木研究所月報*, No. 732, pp. 20-27, 2014
- 11) 北川巖・横井義雄・守屋明・森越靖浩・長壁淳：火山礫の暗渠疎水材への利用—暗渠排水の機能向上に関する研究（Ⅲ）—, 第46回農業土木学会北海道支部研究発表会講演集, pp62-63, 1997
- 12) 大岸 譲・大深正徳・中谷利勝：火山礫を暗渠疎水材に用いた暗渠の排水機能の持続性, *寒地土木研究所月報*, No. 707, pp. 11-17, 2012
- 13) 新津由紀・小野寺康浩：暗渠疎水材の凍結融解耐久性に関する検討, *寒地土木研究所月報*, No. 749, pp55-58, 2015
- 14) 新津由紀・小野寺康浩：暗渠排水用疎水材の凍結融解耐久性に関する検討, *寒地技術論文・報告集 vol. 31*, pp114-118, 2015
- 15) 土谷富士夫・松田 豊：畑地の土壌凍結について, — 寒冷地における凍期の農地工学的研究（Ⅰ）—, *農業土木学会論文集*, No. 110, pp. 51-57, 1984
- 16) 藤村成夫：建物の凍上被害と対策, *土と基礎*, Vol. 38, No. 6, pp. 78-80, 1990
- 17) 新津由紀、小野寺康浩、石田哲也：積雪寒冷地における無機質系暗渠疎水材の耐久性について, *寒地土木研究所月報*, No. 758, 2016(投稿中)
- 18) 近藤錬三：北海道における泥炭土壌の化学的性質に関する研究(第4報), *帯大研報*, pp. 296-302, 1979
- 19) 土質工学会：土質試験の方法と解説, p. 482, 1990
- 20) 石田哲也・山田 章：暗渠疎水材に使用したホタテ貝殻の劣化状況に関する報告, *寒地土木研究所月報*, No. 666, pp. 20-24, 2008
- 21) 横濱充宏・伊藤久司：ホタテ貝殻の暗渠疎水材への利用, *農業農村工学会誌*, 第82巻, 第7号, pp. 15-18, 2014
- 22) 小野寺康浩・新津由紀：寒冷地の暗渠排水溝に施工する粗粒材料の耐久性に関する一考察, *土木学会北海道支部*, 2015
- 23) 新津由紀・小野寺康浩・石田哲也：積雪寒冷地における無機質系暗渠疎水材の耐久性の検討, 第27回北海道開発技術研究発表会, 2016

# A Study on the Functions and Durability of Underdrains Made with Filter Materials in Cold Snowy Regions

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Agricultural Development Research  
Group (Rural Resources Conservation)

Author : TAKEUCHI Hideo

YOKOHAMA Mitsuhiko

ONODERA Yasuhiro

ISIDA Tetsuya

NIITSU Yuki

**Abstract** : In this study, an onsite survey and laboratory experiments were done to examine the drainage function and durability of underdrains made with filter materials (hereinafter: filter-material underdrains). The soil in agricultural land where the underdrains were used and the characteristics of filter materials were examined to clarify the functionality of the underdrains. The durability of the filter materials was also clarified. Toward improving the technical guidelines for the design, construction and maintenance of underdrains in cold, snowy regions, we created basic material by using the results of this study.

During the period from FY 2011 to 2013, we investigated the effectiveness of existing filter-material underdrains constructed in peat land in the Sorachi region in Hokkaido. We observed the groundwater level in fields after rainfall. In FY 2014 and 2015, we investigated the durability of the filter materials commonly used in Hokkaido. In experiments in which specimens were repeatedly subjected to freeze-thaw or drying-wetting, the durability of the crushed stone and that of lapilli were evaluated and verified.

**Key words** : underdrain, filter material, filter-material underdrain, durability, drainage function, maintenance