

# 立体網状スパイラル構造の排水材を応用した 耐凍上性を有する小段排水溝の開発

安達隆征<sup>1</sup>・中村大<sup>2</sup>・川口貴之<sup>3</sup>・山下聡<sup>4</sup>・川尻峻三<sup>5</sup>・山梨高裕<sup>6</sup>・佐藤厚子<sup>7</sup>

寒冷地の切土のり面に設置された小段排水溝では、古くから凍上被害が報告されている。これまでの研究でも様々な対策が検討されてきたが、今後広く普及することが期待できる決定的な凍上対策工法は現時点では存在していない。そこで、本研究ではポリプロピレン製で高強度と柔軟性を併せ持つ立体網状スパイラル構造の排水材を用いて、小段排水溝を作製することを試みた。この小段排水溝を実際に試験施工し、地中温度や排水溝の変位といった様々な項目の計測を2年間実施した。その結果、本研究で開発した小段排水溝は、地盤の凍上・融解沈下挙動に追従して変形することができ、凍上によって損傷しないことが確認された。また、簡易通水性能試験を実施し、2年経過後においても排水材が通水性能を保持していることを確認した。

キーワード：立体網状スパイラル構造、排水材、小段、排水溝、凍上

## 1. はじめに

連続した長大のり面の下部では、降雨や融雪で発生する表面水の流量・流速が増加し、洗掘力が大きくなってしまふ。そこで、表面水の流速低減や点検用の通路を主な目的として、のり面の途中にほぼ水平な小段が設けられる。一般的に切土高が高いのり面では、土質・岩質・のり面の規模に応じて、高さ 5~10m 毎に 1~2m 幅の小段を設けることが望ましいとされている<sup>1)</sup>。ただし、小段を設置することで小段面から切土のり面内への表面水の浸透が容易になってしまうため、のり面の安定が低下するといった懸念も生じてしまふ。このようなことから、表面水ののり面への浸透を避ける目的で、小段には排水溝を設置することが推奨されており、用いられる小段排水溝としては鉄筋コンクリート製の U 形排水溝が広く普及している。

しかしながら、北海道のような寒冷地域において小段排水溝を設置する場合、埋設箇所の気象条件や地盤の凍上性に特段の注意を払う必要がある。特に、寒冷で雪の少ない地域の小段は、小段面と谷側のり面の2面が冷却面になってしまうため、平地やのり面に比べて寒気の影響を受けやすい<sup>2)</sup>。さらに、上述したように小段排水溝には熱伝導性の高い鉄筋コンクリート製のU形排水溝が用いられるため、排水溝の側壁背面は小断面とU形排

水溝の内空面から冷却され、特に寒気の影響を受けやすい箇所となってしまう<sup>3)</sup>。このような要因から、U 形排水溝側壁部の背面土では凍上現象が発生し、側壁に凍上力が作用して破壊されてしまふ被害や、小段の横断方向で発生する不等凍上によってU 形排水溝が回転する被害、小段の縦断方向で発生する不等凍上によってU 形排水溝が浮き上がり、連続性が損なわれる被害等が発生する<sup>4)</sup>。寒冷少雪な道東地域ではこのような被害が特に顕著であり、平成18年に十勝管内で切土のり面を対象に行われた調査では、調査切土全体の約8割にもおよぶ小段排水溝が凍上によって損傷し、排水機能が低下していたことが報告されている<sup>5)</sup>。このような損傷を放置しておく、排水溝の変状の隙間から排水が切土のり面内に浸透し、最終的にのり面崩壊を引き起こす恐れが生じてしまふ。

上記に示した凍上被害の対策としては、一般的に、凍上の直接的な因子である土・温度・水のうち、いずれか一つを取り除くことが試みられる。例えば、U形排水溝の凍上による破壊については、側壁背面の裏込材の凍上性土を非凍上性の粗粒材に置き換える置換工法が提案されており、置換厚さとしては30cmが側壁に作用する凍上力および側壁の変形量を最も効果的に抑制できる厚さであることが報告されている<sup>6)</sup>。ただし、切土のり面の小段では掘削・埋め戻し量が増えることにより地盤が脆弱化してしまふ懸念がある。また、板状の断熱材を側

<sup>1</sup>寒地土木研究所 寒地地盤チーム、研究員（〒062-8602 札幌市豊平区一条三丁目1番34号）

<sup>2</sup>北見工業大学 社会環境工学科、准教授（〒090-8507 北見市公園町165番地）

<sup>3</sup>北見工業大学 社会環境工学科、准教授（〒090-8507 北見市公園町165番地）

<sup>4</sup>北見工業大学 社会環境工学科、教授（〒090-8507 北見市公園町165番地）

<sup>5</sup>北見工業大学 社会環境工学科、助教（〒090-8507 北見市公園町165番地）

<sup>6</sup>寒地土木研究所 寒地地盤チーム、上席研究員（〒062-8602 札幌市豊平区一条三丁目1番34号）

<sup>7</sup>寒地土木研究所 寒地地盤チーム、主任研究員（〒062-8602 札幌市豊平区一条三丁目1番34号）

壁部に設置して凍結の侵入を妨げる断熱工法について検討した研究例もあるが<sup>9,7)</sup>、この工法には凍着凍上による断熱材の持ち上がり等の維持管理上の問題があることが指摘されている<sup>9)</sup>。さらに、凍上に必要な地下水の移動を妨げる方法として遮水シート等を埋設することが考えられるが、こちらは施工性の観点からみて非現実的である。以上のように、小段排水溝においては、今後広く普及が想定されるような決定的な凍上対策工法が存在していないのが現状である。このような背景から、近年では凍上による排水溝の浮き上がりを無理に防ぐのではなく、柔軟な材料で地盤の凍上・融解沈下挙動に追従して変形可能な小段排水溝を開発しようという試みがなされている。例えば、筆者らは暗渠管やアスファルト性遮水シートを用いて小段排水溝を作製して試験施工を行い、いずれの小段排水溝も凍上現象によって破損することがなく、排水溝としての連続性が保たれていたことを報告している<sup>9)</sup>。このように柔軟な材料で作製された小段排水溝が凍上対策として有効なことは明らかにされつつあるが、これらの工法はいまだ研究段階である。

そこで、本研究ではポリプロピレン製で高強度と柔軟性を併せ持つ立体網状スパイラル構造の排水材を用いて、小段排水溝を作製することを試みた。この小段排水溝を北海道常呂郡訓子府町の整備中である北海道横断自動車道の切土路面において試験施工し、2012年10月から2014年6月までの約2年間、継続的に地中温度や排水溝の変位といった様々な項目の計測を行った。また、本研究では通水性能を簡易な試験で確認・評価することにも取り組んだ。さらに、試験施工実施から2年経過後に排水溝をサンプリングし、排水材の目詰まり具合の詳細な観察も実施した。本文では、この試験施工や計測方法の詳細を示すとともに、各種計測結果について報告する。

## 2. 立体網状スパイラル構造の排水材を用いて開発した小段排水溝の概要

### (1) 立体網状スパイラル構造の排水材

本研究では写真-1のような立体網状スパイラル構造の排水材を用いて、小段排水溝を作製することを試みた。この排水材の素材はポリプロピレンであり、これを線条相互融着させた立体網状体である。一般的な立体網状体（ヘチマ構造）とは内部構造が大きく異なり、面内通水方向にランダムな筒状空洞部（スパイラルパイプ）が配列されており、通水断面に複数の中空洞部を有している。このため、全面開孔型の線条網状で集水する機能と、スパイラルパイプの中空洞で通水する機能を併せ持っている。さらに、このスパイラルパイプは強度増加にも寄与しており、内部構造中に複数のスパイラルパイプが配列されることによって、高い耐圧強度を実現させている。上記のように本研究で使用した排水材は優れた機能を有しており、盛土安定排水工や擁壁裏面排水、トンネル裏面排水工等といった幅広い用途で活用されている。

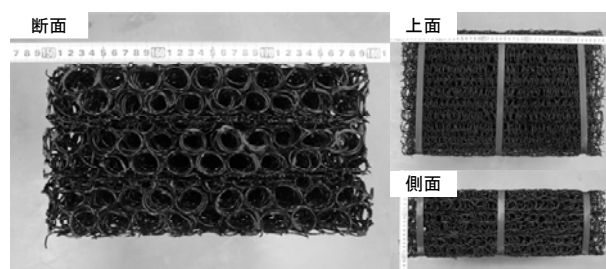


写真-1 立体網状スパイラル構造の排水材

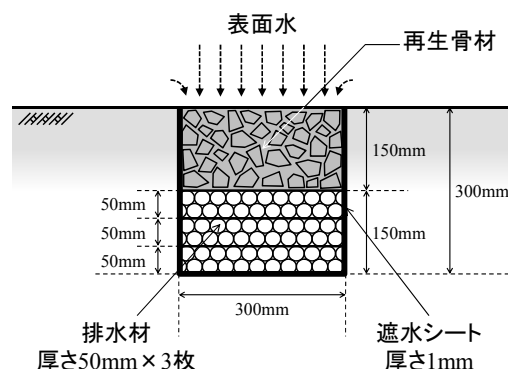


図-1 立体網状スパイラル構造の排水材を用いて開発した小段排水溝の模式図

### (2) 開発した小段排水溝の構造

図-1に本研究で立体網状スパイラル構造の排水材を用いて開発した小段排水溝の模式図を示す。排水溝の断面は幅300mm、深さ300mmであり、概ね従来のU形排水溝と同等の通水断面面積を確保している。排水材は1枚の厚さが50mm、幅300mm、長さ2000mmの板状であり、これを3枚重ねて束ね、厚さ150mmとしたもの（写真-1を参照）を排水溝に用いた。排水材の上部には浮き上がりを防ぐ目的で、0-40mmの再生骨材を厚さ150mmで敷設した。再生骨材が表面水の集水を妨げることはなく、表面水を浸透させ排水材へと流入させるのに十分な透水性を有していることは、現場において確認済みである。また、表面水の浸透時に再生骨材等が排水材へと流入することが懸念されたことから、本研究では比較を行う目的で、2mmメッシュのフィルタで覆った排水材と、フィルタで覆わない排水材の2種類を用いた。さらに、排水材の周囲には厚さ1mmの軟質塩化ビニル製遮水シートを敷設しており、集水した表面水が地中へと浸透していくことを防ぐとともに、小段の縦断方向下流へと表面水を流す役割を果たしている。

### (3) 開発した小段排水溝の施工方法

図-2は本研究で開発した小段排水溝の施工手順を段階的に示したものである。まず、小型のバックホーを用いて排水溝の幅300mm、深さ300mmよりも若干大きく平坦部を開削する。形成した掘削溝に遮水シートを敷き、その上に立体網状スパイラル構造の排水材を設置していく。通常用いられるU形排水溝の運搬および敷設には搭載型トラッククレーンが必要であるが、本研究に用いた排水材は非常に軽量であり、人力で運搬することが可能で、

敷設も容易である。その後、木枠を用いて遮水シートを自立させながら、掘削溝と遮水シートの間に現地発生土を充填していく。また、これと同時に排水材の上部に再生骨材を敷設していく。再生骨材に転圧はかけず、スコップ等で表面を平坦に成形し、木枠を外して完成させる。

### 3. 試験施工の概要

本研究で開発した小段排水溝を、現在整備が進行中である北海道横断自動車道・足寄―北見間のうち、常呂郡訓子府町字緑丘の切土のり面上に、試験施工した。

試験施工を実施した小段の土質は、細粒分質礫質砂（SFG）に分類される、細粒分に火山灰を含む段丘堆積物である。また、地盤工学会学会基準<sup>9)</sup>に準拠して凍上試験を実施したところ、得られた凍上速度は0.301 mm/hourであり、地盤工学会基準に基づく「凍上性が高い」と判定される。粒度分布等、各種の物性の詳細に関しては、川口ら<sup>10)</sup>を参照されたい。

図-3は試験施工を実施した小段の概要および計測器の設置箇所をまとめた平面図である。図の上側は小段の山側、下側は谷側である。また、図の右側から左側に向かって3%の縦断勾配がついており、小段排水溝で集められた表面水は図の左側へと排水される。計測期間中の小段幅は6mと通常に比べ長くなっているが、北海道横断自動車道の供用開始前に、網掛け部分（幅4.5m）を切り取り、最終的に1.5mとなる。

試験施工は小段排水溝の種類やフィルタの有無、設置位置を変えて全5ケース実施した。全5ケースの内、4ケースについては立体網状スパイラル構造の排水材を用いた小段排水溝であり、CASE1、CASE2は2mmメッシュのフィルタで覆った排水材を用いた排水溝、CASE3、CASE4はフィルタで覆わない排水材を用いた排水溝である。また、CASE1、CASE4については従来通り小段の中央に排水溝を設置し、CASE2、CASE3については小段の山側に排水溝を設置した。これは小段山側では凍上変位

が小さくなるという過去の研究成果<sup>11)</sup>に基づき、排水溝の凍上量が軽減されることを期待して実施したものである。残りの1ケースはこれらとの比較を目的として設置したU形排水溝を用いた小段排水溝である。各ケースの延長は全て8mとした。



図-2 開発した小段排水溝の施工手順

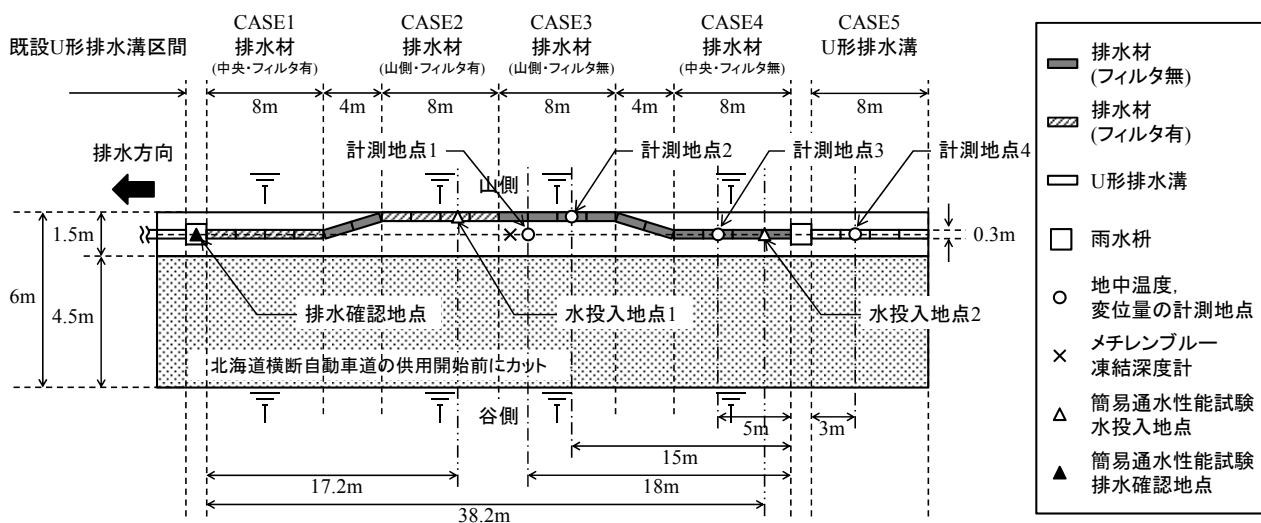


図-3 小段の平面図

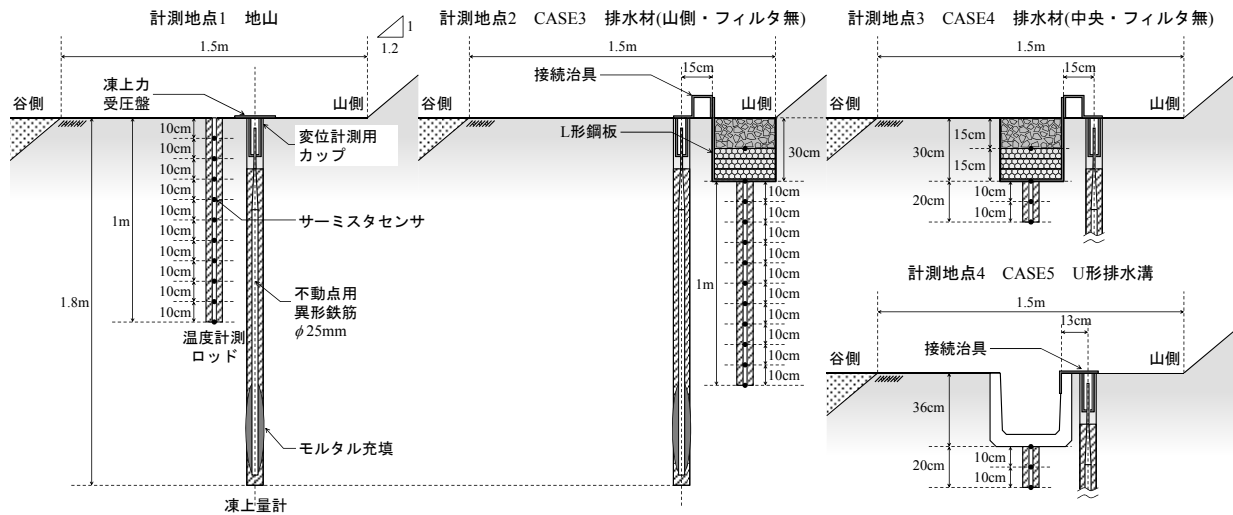


図-4 小段の横断面図および計測器の設置状況

#### 4. 計測の概要

本研究では主に、地中温度および凍結深さ、小段排水溝の変位について計測を行った。地中温度、変位については、図-3に示した4つの計測地点に、それぞれの計測器を埋設した。計測地点1では小段中央部の地山、計測地点2では小段の山側に設置した排水溝（CASE3）、計測地点3では小段中央に設置した排水溝（CASE4）、計測地点4ではU形排水溝（CASE5）の温度および変位を計測している。温度や変位の測定値にフィルタの有無は関係しないと考え、CASE1、CASE2についてはこれらの計測を実施しなかった。さらに、本研究独自の簡易通水性能試験を実施して、凍結前後における小段排水溝の通水性能を評価することも試みている。以下に、それぞれの計測の概要について述べる。

##### (1) 地中温度、凍結深さ、積雪深さ

地中温度の計測には、木材にフッ素樹脂で被覆したサーミスタセンサの先端を10cm間隔で固定して作製した温度測定ロッドを用いた。図-4に各計測地点における温度測定ロッドの埋設状況について示す。埋設深さは各計測地点によって異なり、計測地点1は地表面から1m、計測地点2は排水溝直下から1m、計測地点3は排水溝直下から20cm、計測地点4はU形排水溝直下から20cmの深さとなっている。計測地点2と計測地点3については、排水材と再生骨材の境界部分にもサーミスタセンサを設置した。センサの末端は計測地点ごとに集約して2チャンネル温度ロガーに接続し、地表面から上方1mの位置に設置した計測ボックスに収納した。現地の気温はこの計測ボックス内に設置したセンサで計測している。なお、計測間隔は1時間である。さらに、地山の凍結深さを確認する目的で、メチレンブルー凍結深度計も図-3の×印地点に埋設した。また、積雪深さについては、現地に設置したスノーポールを用いて計測した。

##### (2) 小段排水溝および地山の変位、変形

小段排水溝および地山の変位については凍上量計を

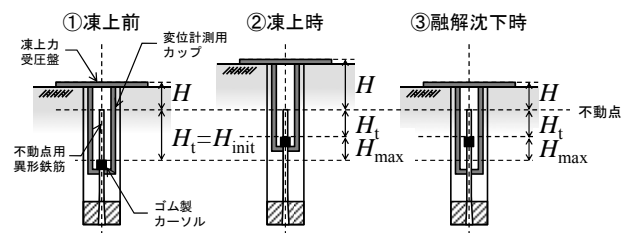


図-5 変位計測方法の模式図

用いた。図-5 に変位計測方法の模式図を示す。ここでは、計測地点1の地山の凍上量計を例に変位量  $H$  の計測方法について説明する。図の不動点用異形鉄筋上端から凍上力受圧盤までの長さ  $H_t$  を、ノギスを用いて計測した。まず、施工直後に  $H_t$  の初期値  $H_0$  の計測を行った。冬期、凍上によって変位計測用カップが上方へと移動し  $H_t$  は長くなる。一方、春期には変位計測用カップは下方へと移動し  $H_t$  は短くなる。このように計測した  $H_t$  と  $H_0$  との差をとり  $H$  を算出した。したがって、 $H$  は計測日における凍上量もしくは融解沈下量を表すこととなる。

図-4 に各計測地点における凍上量計の設置状況について示す。ここでは、計測地点2の凍上量計を例に、その設置方法について説明する。まず、機械ボーリングを行い、掘削したボーリング孔に不動点用異形鉄筋を挿入する。この鉄筋の凍着凍上による持ち上げを防ぐため、鉄筋の下端はモルタルで固定し、ボーリング孔との間にできる隙間には砂を充填した。その後、鉄筋上端から変位計測用カップを設置した。また、排水溝には遮水シートの内側に L 形鋼板を設置した。排水溝は、凍結深さが小さい初冬には外側の遮水シートの凍着凍上で、厳寒期には排水溝の下部まで進行した凍結線によって引き起こされる凍上によって持ち上げられることが想定されるが、遮水シートの内側に設置した L 形鋼板はこれら両方の変位に追従して動くことが可能である。この L 形鋼板と上記の変位計測用カップは、治具を用いて接続される。このようにして、L 形鋼板と変位計測用カップは剛結されるため、排水溝の変位に伴って、変位計測用カップも上下に動くこととなる。U 形排水溝についても、これと同様に、治具を用いて変位計測用カップと排水溝

を剛結した。また、地山については、凍上力受圧盤を地表面に設置し、これと変位計測用カップを剛結した。

これに加えて、U形排水溝では回転も懸念されることから、計測地点4において、デジタル角度計による回転角度 $\theta$ の測定も実施した。また、融解後には小段の平坦性を確認する目的で、不動点を設置して縦断方向の水準測量も実施した。測量を行った区間は、図-3に示したCASE1からCASE4までの立体網状スパイラル構造の排水材を用いた小段排水溝区間と図左の既設U形排水溝区間である。測量箇所は、排水材を用いた小段排水溝区間では排水溝の上面（再生骨材表面）、既設U形排水溝区間は排水溝の淵である。測点の間隔は2mとした。

### (3) 簡易通水性能試験

簡易通水性能試験の概要について図-3を用いて説明する。本研究で実施した通水性能試験は、小段排水溝の上流部（図の△印地点）から10Lの水を流し、その水が下流の雨水枡（▲印地点）から排水されるまでの時間をストップウォッチで計測するという非常に簡便なものである。フィルタの有無が通水性能に与える影響を比較する目的で、水の投入場所は雨水枡から17.2mの地点と、38.2mの地点の2箇所とした。試験実施日に排水溝内に流水が確認される場合には、単位時間辺りの流量を予め測定している。なお、通水性能試験時は、水投入地点の再生骨材を一時的に取り除いている。

## 5. 計測結果および考察

### (1) 気温、凍結深さ、積雪深さ

図-6に2012年10月から2014年6月までの現地の気温および地山のメチレンブルー凍結深度計による凍結深さ（図-3の×印地点）、積雪深さについて示す。2012年度は11月下旬から気温が0℃を下回り始めており、それと同時に地山に凍結線が入り始めている。この年は12月の降雪量が多く、12月中旬に90cmもの積雪深さが計測された。この積雪の断熱効果のため、凍結線は12月中旬以降進行しにくくなり、最終的な地山の凍結深さは約25cmとなった。2013年度は11月中旬から気温が0℃を下回り初めているものの、寒暖が繰り返されて、12月中旬以降になるまで地山に凍結線が入らなかった。この年は2012年度に比べて暖かな冬であり、地山の凍結深さも8cmと非常に小さな値となっている。融解は2シーズンともに3月下旬頃から始まり、4月下旬には凍結深さは0cmとなった。

図-7に各計測地点において観測された最大凍結深さについて示す。図中の●印は温度計測ロッドの計測値から得られた凍結深さを、◆印はメチレンブルー凍結深度計で計測された地山の凍結深さ（図-3の×印地点）をそれぞれ示している。ただし、メチレンブルー凍結深度計と温度計測ロッドから得られた地山の凍結深さには最大十数cmの差が生じている。これは、それぞれの計測機器の設置箇所が若干異なっていることが主な原因であり、

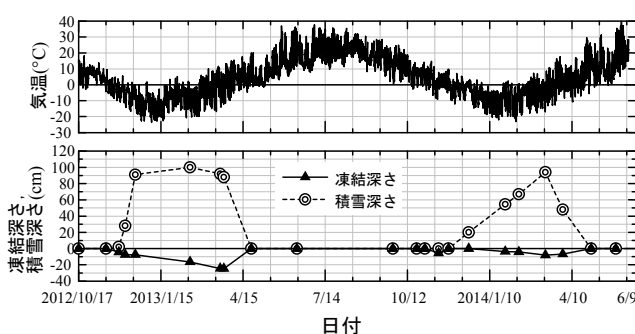


図-6 現地の気温、地山の凍結深さ、積雪深さ

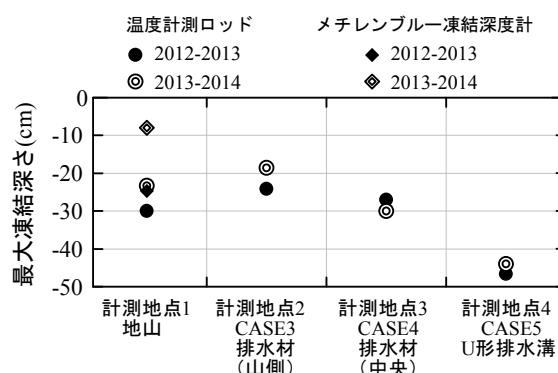


図-7 最大凍結深さ

それぞれの箇所での断熱効果のある積雪の深さが異なることも影響を与えていると考えられる。図から、最大凍結深さは2シーズンともに、U形排水溝で最大となっている。これは、本研究で設置したU形排水溝が熱伝導性の高い鉄筋コンクリート製であったためだと考えられる。次に、小段中央に設置された排水材では、2シーズンともに、地山とほぼ同程度の最大凍結深さが計測された。これについては、排水材の上部には地山に比べて熱伝導率の高い再生骨材が敷設されている一方で、排水材中の空気が断熱効果を発揮して、凍結線の進行を低減させたことで最終的に同程度だったのではないかと考えられる。最後に、2シーズンを通して、小段山側に設置された排水材では、最大凍結深さは最も小さな値となった。一般的に、凍結期では小段面と谷側のり面の両方から寒気が入るため、凍結線は地表面とは平行にはならず、のり肩部分に向かって凍結深さが大きくなることが知られている<sup>2)</sup>。また、現場の積雪状況は、小段中央に比べて山側で積雪深さが大きかった。これらの状況から、本研究においても小段山側よりも中央の方が、凍結深さが大きくなっていたものと考えられる。

### (2) 小段排水溝および地山の変位、変形

図-8に各計測地点における変位 $H$ 、U形排水溝の回転角度 $\theta$ の計測結果を示す。まず、地山の凍上・融解沈下挙動に着目し、2シーズンの凍上量について比較を行うと、2012年度は2013年度に比べて明らかに大きな値を示していることがわかる。これは先に述べたように、2013年度の冬が2012年度に比べて暖かかったためだと考えられる。また、地山の最大凍上量は2012年度に約100mmに

達しており、このことから試験施工を実施した小段は非常に高い凍上性を有する土質であることが確認できる。

次に、小段中央および山側に設置した排水材の凍上・融解沈下挙動に着目する。最大凍結深さは排水材（中央）で30cmであり、いずれの排水材においても凍結線が排水材の底面以深に達していないにも関わらず、凍上変位が計測されている。このことから排水材は遮水シートの凍着凍上によって持ち上げられたものと推測できる。また、排水材の凍上量は、小段中央と山側では明らかに中央の方が大きな変位を示しているが、これは凍結深さの計測結果でも述べたとおり、小段中央の凍結深さが山側に比べて大きくなるためだと考えられ、筆者らの過去の研究成果<sup>1)</sup>と合致している。

U形排水溝の凍上・融解沈下挙動に着目すると、このケースの変位は他の3つのケースと異なることが明らかである。2013年度には凍結期に若干の凍上変位が計測されているが、2012年度に至っては凍結期にも関わらず沈下挙動を示している。これはU形排水溝が回転してしまったためだと考えられるが、これを裏付けるように回転角度 $\theta$ の計測結果において山側へ1°程度回転する挙動が確認された。ただし、このような小さな回転角度であっても、剛なU形排水溝にとっては大きなダメージとなり、写真-2に示すような接続部の剥離も確認された。

地山と排水材（中央）の凍上・融解沈下挙動を比較すると、排水材は概ね、地山と同様の變形挙動を示していたことがわかる。このことから、本研究のねらい通り、立体網状スパイラル構造の排水材を用いて、地盤の凍上・融解沈下挙動に追従して変形可能な小段排水溝を開発できていたことが確認された。図-9に立体網状スパイラル構造の排水材を用いた小段排水溝区間と図-3左の既設U形排水溝区間で行った縦断方向の水準測量結果について示す。図中のプロットは各区間における排水溝の地盤高を2m間隔で表したものであり、図中の直線は、それぞれの排水溝が雨水枡に接続される地点の地盤高さを結んだものである。この直線を基準線とし、各計測点との差を算出して、図示したものが図-10である。両図から、排水材を用いた排水溝区間では、中央部が凸状に盛り上がってしまっていることが確認できる。しかしながら、現場を観察した限りでは、2年経過後においても大きな損傷等は確認されなかった。一方、既設U形排水溝区間では、測定点はほぼ直線上に並んでいることが確認できるが、図の矢印で示されている通り、1点において浮き上がりが生じてしまっている。この浮き上がりが生じたU形排水溝の様子を写真-3に示す。写真は施工から一冬経過した2013年4月24日に撮影したものであるが、たった1シーズンであるにも関わらず、U形排水溝接続部において最大2cm程度の段差（写真-3(a)）、排水溝の中央部においては不等凍上が原因と思われる複数の開口したクラック（写真-3(b)）が確認された。大きな凍上変位が確認される今回のような施工現場では、無対策で鉄筋コンクリート製のU形排水溝を施工すると、上記のような損傷は避けられないようである。

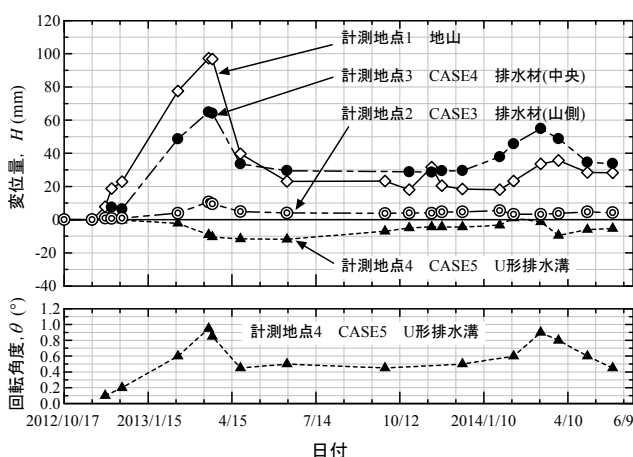


図-8 変位量 $H$ 、回転角度 $\theta$

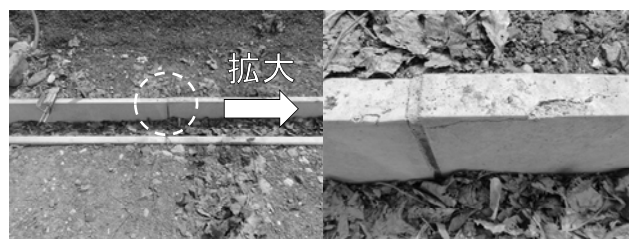


写真-2 U形排水溝接続部の剥離（2013年4月24日撮影）

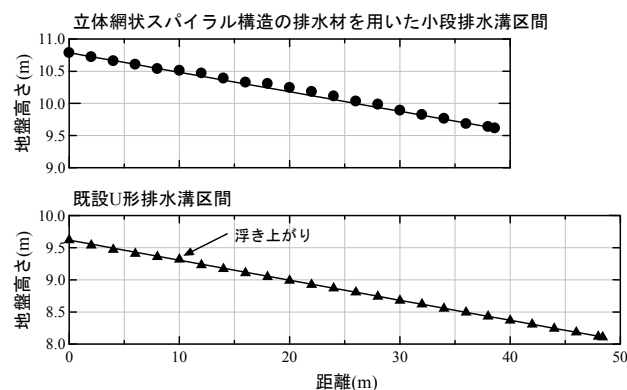


図-9 縦断方向の水準測量結果（2013年10月31日実施）

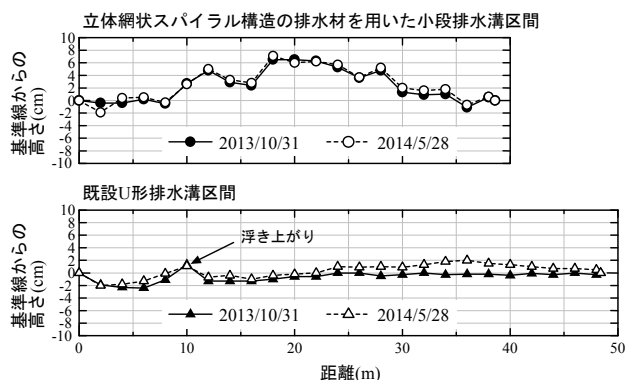


図-10 基準線からの高さ

### (3) 簡易通水性能試験

図-11に現地の降水量と簡易通水性能試験実施日に排水溝を定常的に流れていた水の流量について示す。ここで示した日降水量は北見地区農業振興連絡協議会から



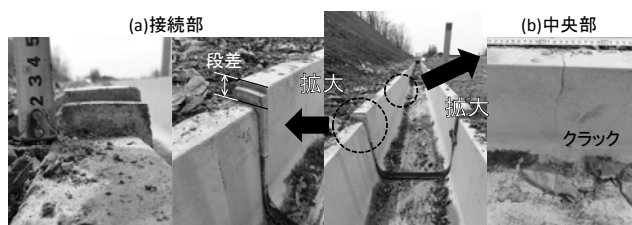


写真-3 接続部において段差、中央部においてクラックが確認されたU形排水溝 (2013年4月24日撮影)

提供いただいたもので、試験施工現場周辺の常呂郡訓子府町字柏丘において計測されたデータである。図から試験直前に降雨が続いていた2012年11月30日、2013年9月26日では、排水溝を定期的に水が流れている様子が確認できた。2013年8月9日は前日に約30mmの日降水量が確認できるが、短時間で記録された降雨であったためか流水は確認できなかった。その他の計測日では、直前に降雨が無かったため流水は確認できなかった。

図-12 に本研究で実施した簡易透水性試験の結果を示す。試験結果は試験時の排水溝中の流量に影響を受け、排水までにかかった時間は、試験日によってばらつきが大きい。試験時の流量が多量であった2013年9月26日では、凍結直前よりも排水までにかかった時間は短くなったが、流水が確認できなかった他の計測日では凍結直前よりも排水までにかかる時間が長くなった。2年間で若干の透水性能の低下が示唆される試験結果となったものの、フィルタで覆った排水材からなる17.2mの区間もフィルタで覆わない排水材を含む38.2mの区間も、試験時には排水が確認されており、2年経過後においても排水材が透水性能を保持していることを確認できた。また、先に述べたように、降雨後に排水溝を定期的に水が流れていたことも、開発した小段排水溝が凍結融解後も表面水を流すのに十分な機能を保持していたことを裏付けていると考えられる。ただし、ここでは立体網状スパイラル構造の排水材に関して、透水性能の低下が見られるか否かについて検討しただけであり、単位時間当たりの透水能力そのものやその大きさがU型排水溝とどの程度異なるのかについては検討していない。よって、これについては排水材の構造や形状の見直しも含めて今後検討・改良していく予定である。

#### (4) 2年経過後の排水材の詳細観察

本研究では試験施工実施から2年経過後の2014年6月に、排水溝をサンプリングし、排水材の損傷および目詰まり具合の詳細な観察も実施した。写真-4に2年経過後の排水材および遮水シートの様子を示す。写真から、排水材および遮水シートは凍上等による損傷を全く受けていないことが確認できる。次に排水材の目詰まりについてフィルタで覆われていないCASE3の排水材に着目すると、3枚重ねの排水材のうち、上から2枚目まで、再生骨材の粗粒分の混入が確認された。この粗粒分の一部は、排水材の下部に敷かれた遮水シートでも確認された。一方、フィルタで覆われたCASE1の排水材では、

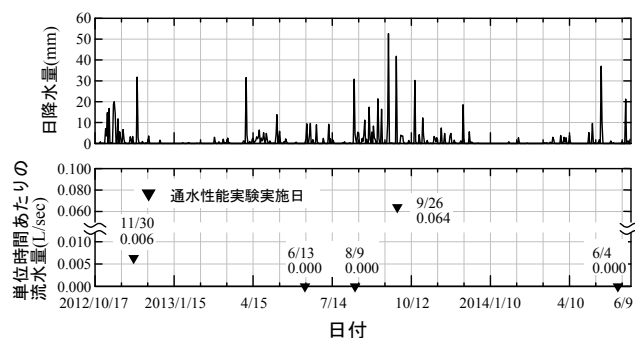


図-11 現地の降水量および簡易透水性試験実施日に排水溝を定期的に流れていた水の流量

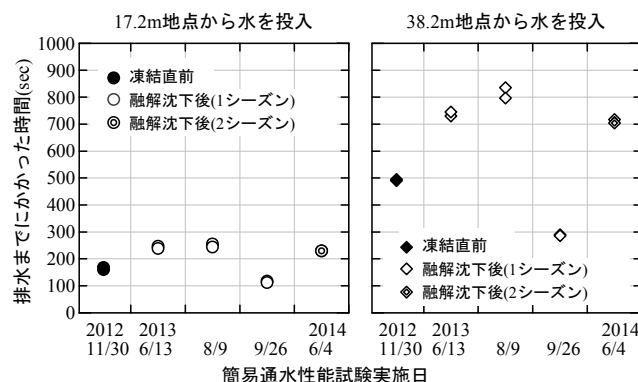


図-12 簡易透水性試験結果

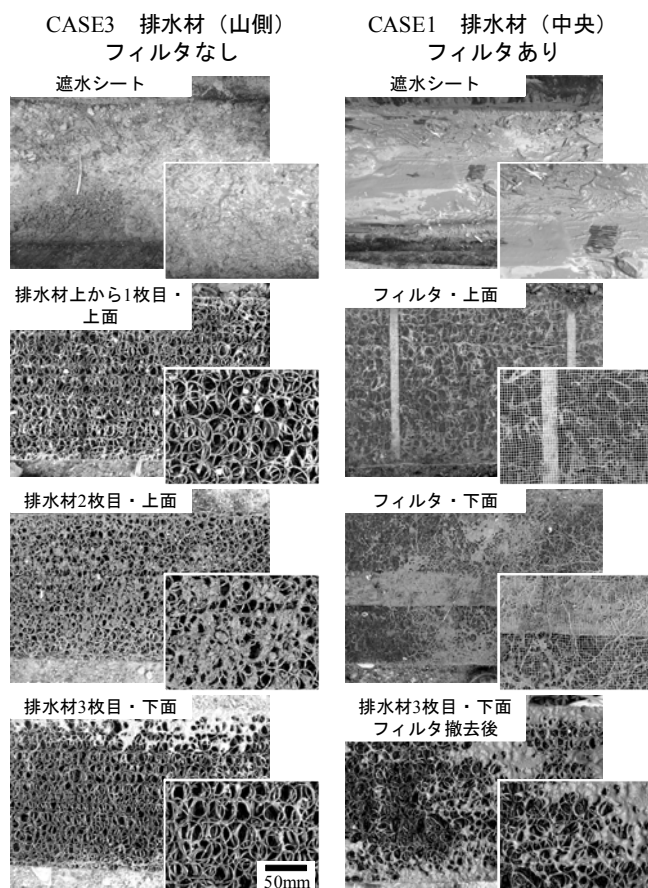


写真-4 2年経過後の排水材および遮水シートの様子 (2014年6月11日撮影)

フィルタの働きにより再生骨材の粗粒分の侵入は妨げられていたものの、遮水シート上には現地土のものと思われる細粒分が薄く堆積している様子が観察できた。再生骨材の粗粒分や現地土の細粒分の混入は、長期的には排水材の通水性能を低減させる恐れがあるため、本研究で開発した小段排水溝は、必ずフィルタで覆う必要があると考えられる。

## 6. まとめ

高強度と柔軟性を併せ持つ立体網状スパイラル構造の排水材を用いて小段排水溝を開発した。この小段排水溝を実際に試験施工し、地中温度や排水溝の変位といった様々な項目の計測を2年間実施した。本研究で得られた知見について以下にまとめる。

- 1) 本研究で開発した小段排水溝は、地盤の凍上・融解沈下挙動に追従して変形することができ、凍上によって損傷しないことが確認された。
  - 2) 簡易通水性能試験を実施し、2年経過後においても排水材が通水性能を保持していることを確認した。
  - 3) 排水材を覆ったフィルタが、敷設した再生骨材の排水材への混入を十分に妨げていたことが確認できた。
- 最後に、本研究によって立体網状スパイラル構造の排水材を応用した小段排水溝が寒冷地において有用であることが確認されたと思われる。よって、今後は排水溝の通水断面積や施工性、更には長期的な目詰まり等に対応するためのメンテナンス等も考慮した改良を行い、実用化を意識して研究を進めていく予定である。

**謝辞：**本研究を実施するにあたり試験施工現場を網走開発建設部北見道路事務所にご提供いただいた。また、排水材は株式会社吉原化工からご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年度版），2009.
- 2) 上野邦行，芮大虎，中村大，伊藤陽司，山下聡，鈴木輝之：植生保護法面の凍結・融解過程における挙動特性，地盤工学ジャーナル，Vol.5, No.3, pp.413-424, 2010.
- 3) 武市靖：用排水路の凍結対策における側壁高と積雪を考慮した置換厚さの設計手法の検討，土木学会論文集，第499巻/III-28, pp.147-156, 1994.
- 4) 公益社団法人 地盤工学会北海道支部 斜面の凍上被害と対策に関する研究委員会：斜面の凍上被害と対策のガイドライン，2010.
- 5) 外塚信，豊田邦男，水野津与志，佐藤幸久，萬隆：寒冷地における切土のり面小段工の凍上対策に関する検討，公益社団法人 地盤工学会北海道支部 技術報告集，第46号，pp.291-296, 2006.
- 6) 鈴木輝之，上野邦行，林啓二：裏込め砂利による小型Uトラフの凍上破壊対策，土木学会論文集，第439巻/III-17, pp.89-96, 1991.
- 7) 辻修，松田豊，土谷富士夫：道路側溝の凍上害について，帯広畜産大学学術研究報告I，No.17, pp.255-261, 1991.
- 8) 安達隆征，西本聡，佐藤厚子：凍結進行期に着目した小段排水溝に及ぼす凍上力の影響評価，公益社団法人 地盤工学会北海道支部 技術報告集，第52号，pp.1-8, 2012.
- 9) 公益社団法人 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説 JGS 0172-2009 凍上性判定のための土の凍上試験方法，2009.
- 10) 川口貴之，中村大，山下聡，林豪人，安達謙二，雨宮盛児，原田道幸，山崎新太郎，小林歩，玉井啓博：ジオセルとジオグリッドを併用した補強土壁の耐凍上性評価，ジオシンセティックス論文集，第28巻，pp.345-352, 2013.
- 11) 安達隆征，西本聡，佐藤厚子：切土のり面における小段排水の凍上メカニズムと耐凍上性の検討，公益社団法人 地盤工学会北海道支部 技術報告集，第51号，pp.63-68, 2011.

## APPLICATION OF FROST HEAVE RESISTANT DRAINAGE MATERIAL WITH THREE-DIMENSIONAL MESH AND SPIRAL STRUCTURE TO BERM DITCHES

Takayuki ADACHI, Dai NAKAMURA, Takayuki KAWAGUCHI,  
Satoshi YAMASHITA, Shunzo KAWAJIRI,  
Takahiro YAMANASHI and Atsuko SATO

In this research, we have tried to make a berm ditch using a polypropylene drainage material that has a three-dimensional mesh and spiral structure featuring both high strength and flexibility. We have actually constructed the ditch and made various measurements, such as soil temperatures and ditch displacement, over two years. From the results, we have confirmed that the berm ditch developed in this research is not damaged by frost heave since it is able to follow the frost heave and thaw settlement of the ground. In addition, we have conducted a simple transmissivity test and found that the material maintains its water transmissivity performance after two years.

**KEYWORDS:** Three-Dimensional Mesh and Spiral Structure, Drainage Material, Berm, Ditch, Frost Heave