

様々な凍上対策を施した小段排水溝の凍結融解挙動

Freezing and thawing behavior of beam drainage ditches with various frost heave measures

土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 佐藤厚子 (Atsuko Sato)
北見工業大学 正 員 中村 大 (Dai Nakamura)
土木研究所寒地土木研究所 正 員 畠山 乃 (Osamu Hatakeyama)
土木研究所寒地土木研究所 正 員 山木正彦 (Masahiko Yamaki)

1. はじめに

長大な道路のり面では、降雨や融雪による表流水で、浸食が発生してしまう場合がある。表流水の流速を低減させ、さらにはのり面の点検を実施する目的で、道路のり面には高さ 5~10 m ごとに 1~2 m 幅の小段を設けることが望ましいとされている¹⁾。この小段には、表流水を排水する目的で鉄筋コンクリート製の U 形排水溝が広く用いられている。北海道のような寒冷地域では、のり面の凍上とともに U 形排水溝が凍上を受けて変状する事例が報告されている²⁾。しかし、施工のための指針や要領にその取り扱いが確立されていないため、十分な対応ができていない。

これまで、小段排水溝の凍上対策として、凍上に追従可能な柔軟な材料を用いた排水溝や排水溝を凍結・凍上の発生が少ない位置に設置する施工方法などについて検討を行ってきた³⁾⁴⁾。本調査では、これらの対策の他に、排水溝に土圧を作用させて凍上による持ち上がりを防ぐ方法⁵⁾を加えて、同じ地盤条件で実物大の試験施工を行い、U 形排水溝と比較した。

2. 小段排水溝の凍上による被災と対策の考え方

2.1 U 形排水溝の凍上による被災⁶⁾

凍上は温度、土質、水のすべての条件がそろったときに発生する⁷⁾。特にのり面の小段は、小段面と谷側ののり面の 2 面が冷却面となるため、平地やのり面よりも寒気の影響を受けやすい。このため、小段に施工される U 形排水溝周辺の地盤は、図-1 に示すように排水溝の内空部と地表面の 2 面が冷却面となる。U 形排水溝の周辺の地盤が凍上性の材料である場合、U 形排水溝の側面に凍上力が作用する。しかも、U 形排水溝の谷側は内空部と、地表面、のり面の 3 方向から冷却されるのに対し、山側では内空部と地表面の 2 方向から冷却されるため、排水溝の壁面に作用する凍上力が谷側と山側で異なる。このため、U 形排水溝に傾きや段差が生じたり、コンクリート製品である U 形排水溝が破損したりすることにより、排水機能が失われる場合がある。

2.2 凍上による小段排水溝の被災対策

本研究では小段排水溝の凍上被害を軽減する方法として、排水溝を凍結・凍上の影響が少ない位置に設置する施工方法や、柔軟な材料で凍上に追従できる方法、排水溝に土圧を作用させて凍上による持ち上がりを防ぐ方法について検討した。排水溝を凍結・凍上の影響が少ない

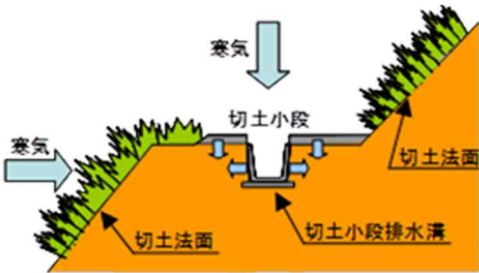


図-1 切土小段に影響を及ぼす寒気の概念図

位置に設置する施工方法は、U 形排水溝を小段中央ではなく、山側ののり尻に移動し、谷側からの冷却を抑制するものである（以降、山側シフト排水溝）。柔軟な材料で凍上に追従できる方法では、アスファルト遮水シート（以降、As シート排水溝）と、ポリプロピレン製で網状構造を有する素材（以降、ジオシンセティックス排水溝）を用いた。いずれの排水溝も柔軟な材料で作製された排水溝であり、凍結融解による力を受けてもこれに追従して変形するものの、排水性を維持するものである。なお、As シート排水溝は、排水溝内部からの冷気を緩和する形状でもある。土圧を作用させて凍上による持ち上がりを防ぐ方法は、U 形排水溝の下部に張り出した板を有する形状（以降、凸型排水溝）で、この突出部に土圧を作用させて、凍上変位を抑制するものである。

表-1 盛土材料の基本物性値

土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$		2.732
自然含水比 $w_n(\%)$		68.6
粒度特性	最大粒径(mm)	19
	2mm 以上(%)	1.5
	75 μm ~2mm(%)	70.1
	75 μm 以下(%)	28.4
コンシステンシー限界	液性限界(%)	98.3
	塑性限界(%)	61.5
地盤材料の分類記号		SF
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$		0.995
最適含水比 $w_{opt}(\%)$		54.2
コーン指数 $q_u(\text{kN/m}^2)$		649
凍上性	凍上速度(mm/h)	1.2
	凍結膨張率(%)	67.2

3. 試験方法

3.1 施工方法

苫小牧試験施工フィールドにおいて、高さ 1.2m の切土面に表-1 に示す火山灰質の盛土材により、幅 1.5m の小段を施工した。盛土材は、凍上速度が 1.2 であり、非常に凍上性の高い材料である。図-2 に小段断面の概略を示す。山側シフト排水溝は小段の山側のり尻へ、その他の排水溝は小段の中央へ設置した。各排水溝の長さは 2m である。排水溝施工後、土砂の流入を抑制するため各排水溝の周辺は張芝で土砂を被覆した。

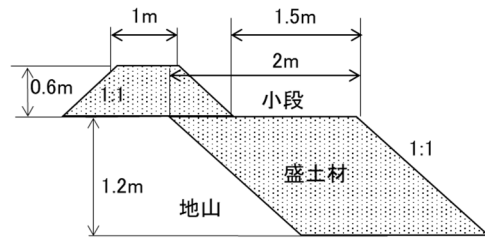


図-2 小段断面の概略

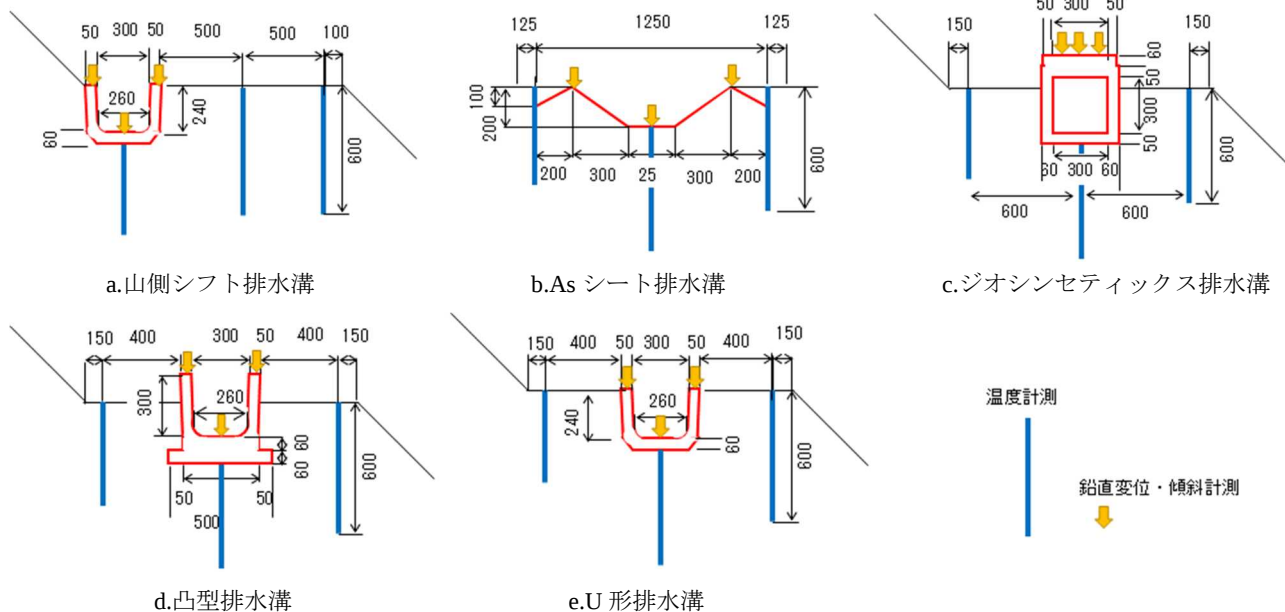


図-3 各排水溝の測定位置

2.2 調査方法

排水溝周辺の 3 箇所において、地山の温度を 10cm ごとに設置した温度センサーで、1 時間ごとに自動計測した。また、各排水溝の両側と中心の 3 箇所排水溝の鉛直変位量を測量した。さらに、同じ箇所スランートルールにより排水溝の傾斜を測定した。排水溝の鉛直変位量と傾斜は約 2 週間に 1 度の間隔で測定した。各測定位置を図-3 に示す。排水溝の鉛直変位量と傾斜は約 2 週間に 1 度の間隔で測定した。各測定位置を図-3 に示す。

4. 試験結果

4.1 排水溝周辺の凍結深さの変化

地山の凍結深さは、測定した温度がマイナスからプラスに変わる上下の温度から、比例配分して 0℃の深さとして求めた。2019 年の冬期の凍結指数は 400℃・days 程度で比較的寒冷な気候であった。

各排水溝の施工後の経過時間と凍結深さの関係を図-4 に示す。山側シフト排水溝を除いて、谷側と山側では凍結深さが異なっており、谷側において凍結深さが大きくなった。なお、この深さは排水溝の種類によって異なっていた。また、どの排水溝においても排水溝の直下は、山側、谷側よりも凍結深さが小さかった。以上の凍結深

さの挙動はこれまでの研究成果³⁾と同様である。2019 年 1 月から 2 月中は施工箇所付近の平地で 10cm 程度の積雪が確認されている。また、排水溝内空は小段平坦部よりも深い積雪となり、排水溝直下は凍結が進まなかったものと考えられる。

ジオシンセティックス排水溝は、上蓋が設置された構造であり、冬期間排水溝内に積雪がないことを確認している。これは、積雪による断熱効果がないため寒気が排水溝の内空部に侵入し排水溝直下の凍結が進み、他の排水溝よりも地山が凍結したものと考えられる。

山側シフト排水溝の凍結深さはすべての排水溝の中で、最も小さく、他の排水溝の半分程度であった。このことから、山側シフト排水溝が小段排水溝の凍上対策として効果があると考えられる。

次に、排水溝ごとに凍結面の推移を調べた。図-5 は、排水溝の鉛直変位量を測定した日の凍結深さを示したものである。山側シフト排水溝では計測期間中で排水溝直下の凍結は確認できなかった。ジオシンセティックス排水溝は谷側の凍結が小さく、谷側と山側の凍結深さは比較的対称であった。As シート排水溝、凸型排水溝、U 形排水溝は、山側よりも谷側の凍結深さが大きく、非対称な凍結状態であった。

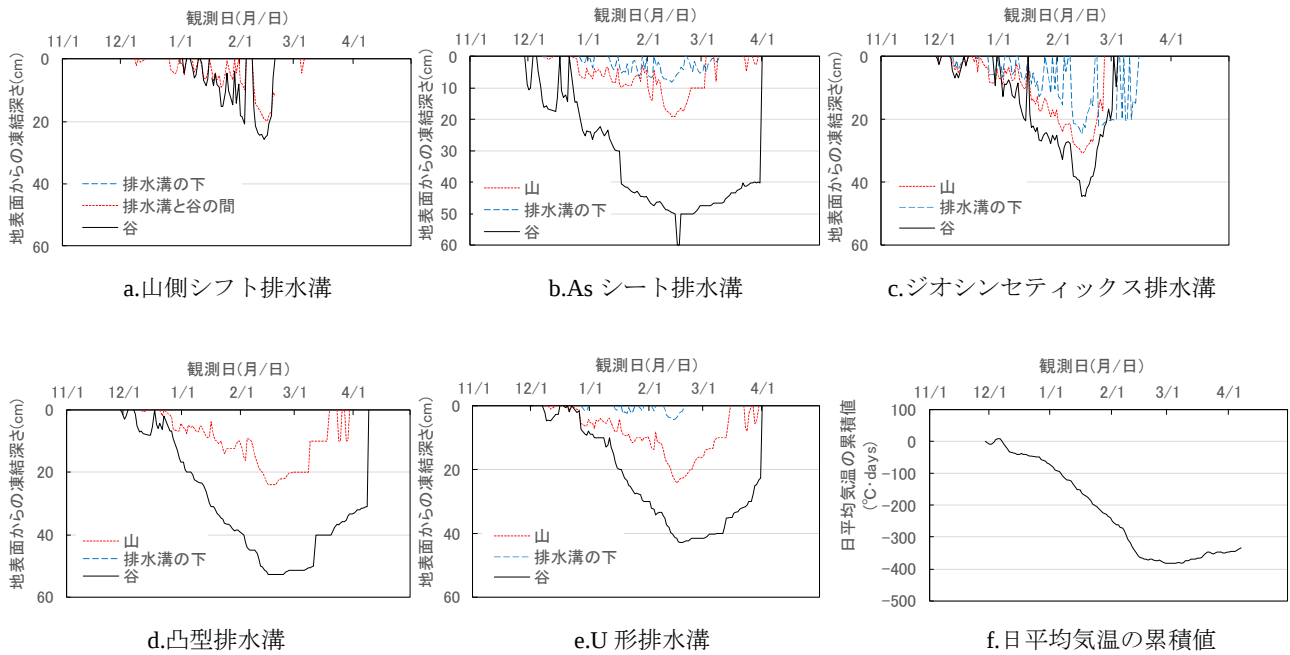


図-4 各排水溝の凍結深さと日平均気温の累積値

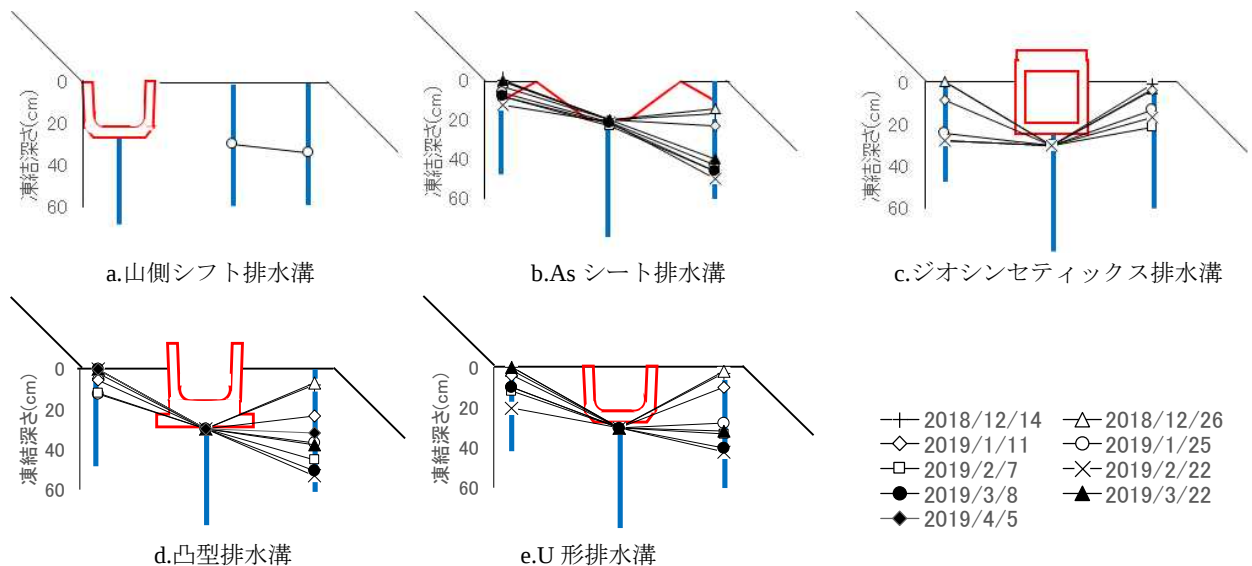


図-5 各排水溝の凍結面の推移

4. 2 排水溝の凍上量の変化

各排水溝の凍上量の変化を図-6に示す。すべての排水溝で、施工してから気温がマイナスである3月上旬まで凍結深さが大きくなっていき、気温がプラスになると沈下した。凍上量はコンクリート構造物である山側シフト排水溝、凸型排水溝、U形排水溝では、5cm程度であったが、柔軟性を示す材料によるAsシート排水溝とジオシンセティックス排水溝の凍上量は、軽い材質であることもあって8~11cmでコンクリート製品よりも若干大きかった。凸型排水溝については埋設深さが浅かったこともあり、当初期待していたような、凍上量の抑制効果は確認できなかった。適切な埋設深さ等については今後の課題であると考えられる。また、コンクリート構造物で

は、谷側と山側はほぼ同時に沈下し早期に沈下は収束した。これは、コンクリート製品には沈下を促すのに十分な重量があるためと考えられる。一方、Asシート排水溝とジオシンセティックス排水溝は沈下の収束までに時間を要し、谷側と山側では沈下の速度が異なっていた。谷側の方の凍結深さが大きかったためと考えられる。ジオシンセティックス排水溝は、ほぼもとの位置に戻ったが、Asシート排水溝は、もとの位置には戻らなかった。

Asシート排水溝とジオシンセティックス排水溝は、融解期に写真-1、2に示すような変状が発生した。Asシート排水溝はシートが浮き上がった状態であった。ジオシンセティックス排水溝は谷側が大きく変状し、側面で折れ曲がった。しかし、いずれの排水溝も排水機能は低

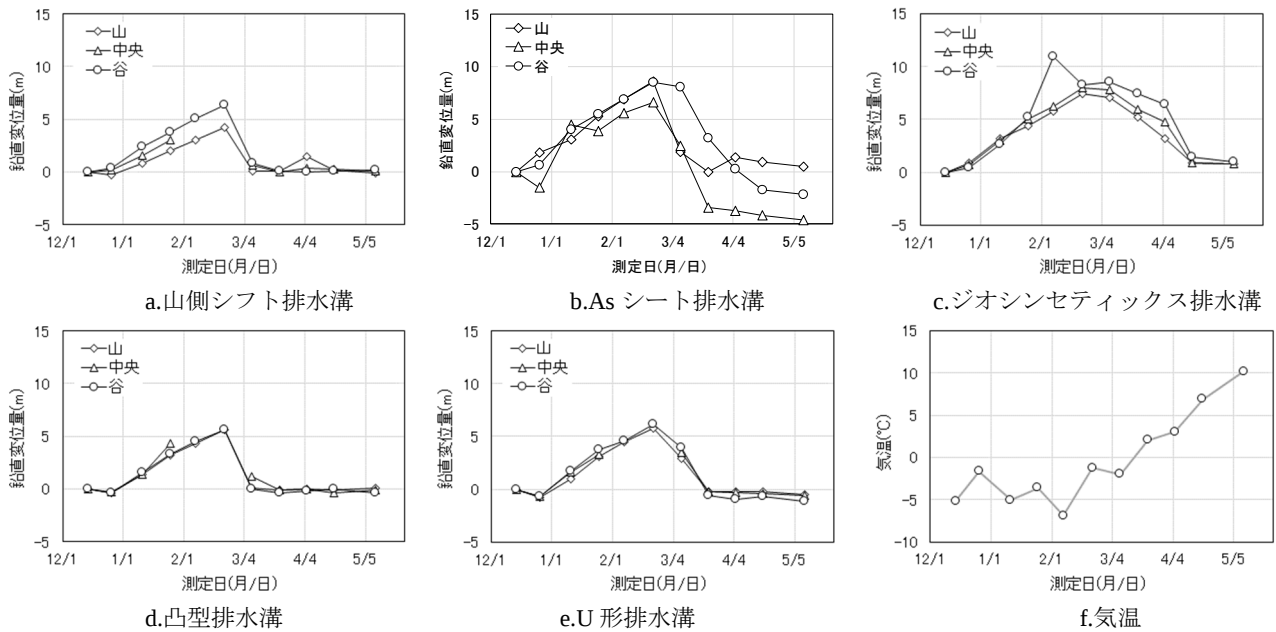


図-6 各排水溝の鉛直変位量と気温

下していないと考えられる。

なお、各小段排水溝の傾斜については、1 冬期では大きな変化は見られなかった。凍上による排水溝の回転などの変状を観察するにはある程度の時間を要するものと考えられる。

5. まとめ

同一の地盤条件下で、凍上対策を考慮した種類の異なる小段排水溝について凍上による影響を調べた。得られた知見について、以下にまとめる。

- ① 山側シフト排水溝は凍結深さが小さく、他の排水溝の半分程度であった。
- ② As シート排水溝、ジオシンセティックス排水溝は凍上による変状に追従可能で、排水機能を保持できる可能性があると考えられる。

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) 公益社団法人 地盤工学会北海道支部地盤の凍上対策に関する研究委員会編：寒冷地地盤工学—凍上被害とその対策—、p.3、2009.
- 3) 安達隆征、西本聡、佐藤厚子：非対称な凍結面が切土小段排水溝に与える影響と対策寒地土木研究所月報 No.714、2012.12
- 4) 安達隆征、中村大、川口貴之、山下聡、川尻俊三、山梨高裕、佐藤厚子：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 ジオシンセティックス論文集第 29 巻 2014.12
- 5) 中村大、川口貴之、安達隆征、川尻俊三、渡邊達也、佐藤厚子、吉原孝保：ジオシンセティックス排水材



施工時
写真-1 As シート排水溝の変状



施工時
写真-2 網状構造排水溝の変状

を利用した小段排水溝の施工性および通水性能の改善と耐凍上性の強化、ジオシンセティックス論文集、Vo.30, pp.147-154, 2015.

- 6) 公益社団法人 地盤工学会北海道支部凍上対策工の調査・設計法に関する研究委員会：斜面の凍上対策の調査・設計マニュアル（案）、p.12、2016.9.
- 7) 公益社団法人土質工学会：土の凍結、pp.116-117、1994.