

路床・路盤の排水を目的とした ジオシンセティックス排水材の試験施工事例

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○上野 千草
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 丸山 記美雄

積雪寒冷地の道路舗装では、冬期における路床の凍上や、融解期における路床・路盤の支持力低下により、ひび割れやポットホールなどの損傷が発生する。この要因の一つとして舗装体内の水分が挙げられる。ここでは舗装体内の水分を迅速に排水し、これらの損傷を抑制する効果を有するジオシンセティックス排水材について試験施工を実施し、気象条件、および道路構造を考慮した設置方法を検討した結果について報告する。

キーワード：凍上、融解期、支持力低下、排水材

1. はじめに

積雪寒冷地の道路舗装では、冬期間における路床の凍上や、初冬期および融解期にアスファルト混合物層ならびに路盤・路床内の水が凍結融解を繰り返すことにより、ひび割れの早期進行や写真-1に見られるポットホールなどの被害が発生している¹⁾。これらの損傷部からさらに水が浸入すると、写真-2、3のように路面に不陸や沈下、亀甲状のひび割れなども生じ、走行安全性の低下、舗装寿命の低下を引き起こす。

凍上には、温度、土質、水の三要素全てが必要であり、このうちの一つでも欠けると凍上は生じないため、水の供給を抑制することが対策の一つとなる¹⁾。融解期等における路床・路盤の支持力低下は、舗装体内の凍結していた水分が融解し、一時的に含水比の高い層が生じることが要因となる²⁾。また、アスファルト混合物層を貫通するひび割れが発生した場合、路床・路盤へ供給される水の量が大幅に増加するため更なる支持力低下の要因となる³⁾。これらの対策としては、舗装体内の水を迅速に排水することが有効な対策の一つである。

近年、新型のジオシンセティックス排水材（ウィッキングファブリック排水材：以下、WF排水材）を使用し、土の水分を排水することで凍上を抑制する方法が検討されており、アラスカの現地試験において路床の水分が排水され凍上が抑制されたことが報告されている^{4) 5)}。WF排水材は、従来のジオシンセティックス材料とは異なり、土壌内の水分を吸着して、水分を排水することが可能であり、凍上性材料のような細粒分含有率が高く、保水性の高い不飽和土に対しても排水効果が確認されている⁴⁾。



写真-1 舗装のひび割れおよびポットホール



写真-2 路面の沈下および不陸



写真-3 路面の沈下および亀甲状のひび割れ

2. WF排水材の概要⁶⁾ 7)

WF排水材は写真-4に示すシート状の構造であり、補強を目的とした黒色のポリプロピレンを素材とする補強用繊維と、排水を目的とした高い吸水性を有する水色のナイロン素材のウィッキング繊維と呼ばれる2つの繊維によって構成されており、補強用繊維の上下にウィッキング繊維が配置するように構成されている。また、ウィッキング繊維同士は写真-4に示すように排水方向が1方向となるように平行に構成されている。道路舗装の路床・路盤にWF排水材を敷設する際には、ウィッキング繊維を道路の短辺方向である横断方向に平行に配置し、迅速な排水を可能とする。

図-1に写真中水色のウィッキング繊維を構成する1つの繊維を拡大した図を示す。繊維に沿って複数の溝が形成されており、大きな表面積を有していることがわかる。これにより効率的に水分を吸着することが可能であり、路床・路盤中の水分を吸水・排水することが可能となる。WF排水材は高い吸水性を有し、鉛直方向約20cmまで水を吸い上げる能力を有している。なお、ウィッキング繊維は紫外線によって劣化する材料であり、極力日光の直射を受けぬよう設置する必要がある。

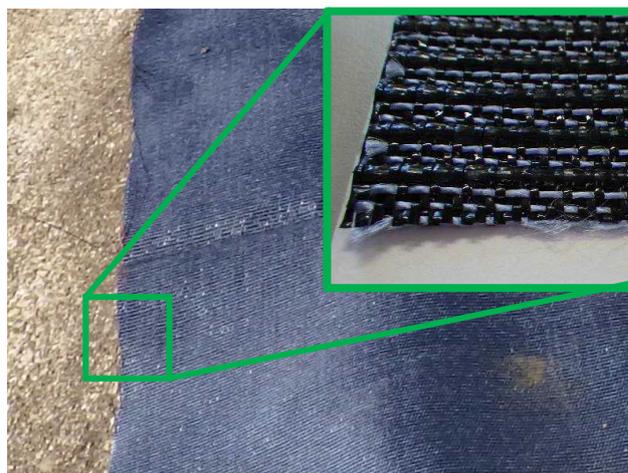


写真-4 WF排水材



図-1 ウィッキング繊維の断面⁶⁾ 7)

3. WF排水材の効果と設置深さ

図-2に舗装体へ浸入する水の経路とWF排水材を設置した場合の排水経路モデルを示す。

舗装体への水の侵入経路として、地山からの地下水の流入、舗装面以外の地表面（路肩部、法面部）からの水の浸透、舗装部のひび割れ箇所からの水の浸入等が考えられる。舗装体内部に水が浸入すると、舗装体の支持力低下を招き、積雪寒冷地では前述のように凍上の要因や、凍結融解作用が加わることにより舗装体支持力の更なる低下、舗装損傷の加速化、拡大につながる。

WF排水材はこれらの損傷を抑制することを目的としており、図-2の矢印で示すように道路横断方向に迅速に舗装体内の水を排出することで、路床・路盤の含水比の上昇を抑制する効果が期待される。

図-3に舗装体内部にWF排水材を設置する場合の設置深さの例を示し、その目的とする効果を列記する⁸⁾。なお図中赤色がWF排水材設置深さを示している。

路床内に排水材を配置する場合（左）、路床土の水分の排水、または地下水位からの水分供給を遮断することで、排水作用に加え、凍上量を抑制する効果を期待する。

路床上面に配置する場合（中央）においては、路盤層の水分を排水することを目的とし、路盤の支持力向上を期待する。

路盤内の比較的浅い位置に設置する場合（右）は、舗装表面から浸入する水を速やかに排水することを目的とし、路盤上層の支持力向上を期待する。

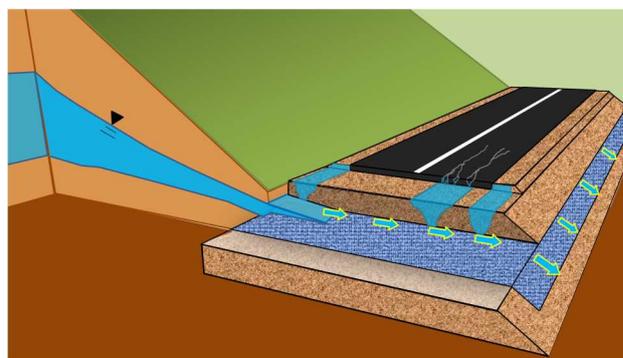


図-2 舗装体への水の経路および排水材による排水経路

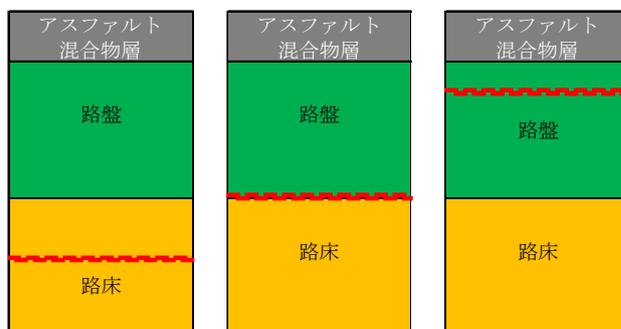


図-3 排水材設置深さ例⁸⁾

4. 流沫構造

WF排水材の設計ガイドライン⁹⁾によると、WF排水材の流沫構造は図-4に示すとおり6通りある。それぞれの構造の特徴を以下に列記する。なお、排水材の設置深さは路床上面に統一して図示する。

①はWF排水材の流沫を盛土内に設け、法面の上部を碎石で構成させる構造になっている。②についてもほぼ同様の構造となっているが、法面に露出する碎石が①よりもわずかとなっている。③はWF排水材を法面から垂らすだけの簡易な構造である。④はWF排水材を法面に垂らした後、法面全体を碎石で覆う構造である。⑤はWF排水材を法面に垂らした後、法面全体を覆土で覆う構造であり、覆土の上に生えた植物が水を吸い上げる効果を期待した構造である。⑥は暗渠排水を流沫とする構造である。

③以外、WF排水材の流沫が直接露出しない構造となっているが、前述の通り、ウィッキング繊維は紫外線によって劣化するためである。

①、②、④については法面に碎石が露出することにより、法面上での維持管理作業の支障になることや、降雨による崩壊等が懸念されるため、我が国においては構造の改良が望ましいと考える。⑤については降雨や法面に堆積した雪の融雪水により覆土が高含水比となった場合、WF排水材を通して舗装体内へ水分が導かれる恐れがあり湿潤な地域での採用には十分な検討が必要と考える。

⑥についてはこの中で唯一盛土構造、切土構造の両方に適用できる構造となっている。

5. 試験施工

WF排水材の設置効果、流沫形状の検討、および施工性等の把握を目的に、試験施工を実施した。施工箇所は当研究所所有の苫小牧寒地試験道路であり、この地域における必要置換厚（10年確率最大凍結深さの70%）は80cmである。舗装構成は全て北海道開発局のN4断面相当であるアスファルト混合物層厚12cmとし、下層路盤は40mm級粗粒材40cmとした。なお、凍上抑制層は排水材設置による凍上抑制効果を把握するため設けていない。

(1) 予備試験施工

予備試験施工では、最も簡易な構造である図-4の③の構造を参考にWF排水材を路床内に設置した図-5の構造で施工した。ここでは、WF排水材による凍上抑制効果の把握を目的とし、路床内にWF排水材を設置した図-5に示す断面と、隣接する同一の舗装構成でWF排水材を設置していない断面（以下、無対策断面）の2条件において凍上量を計測し、最大凍上量を比較した。

(2) 本試験施工

本試験施工における舗装断面の詳細を図-6に示す。本試験施工では①～⑤の構造を参考に法面にWF排水材の

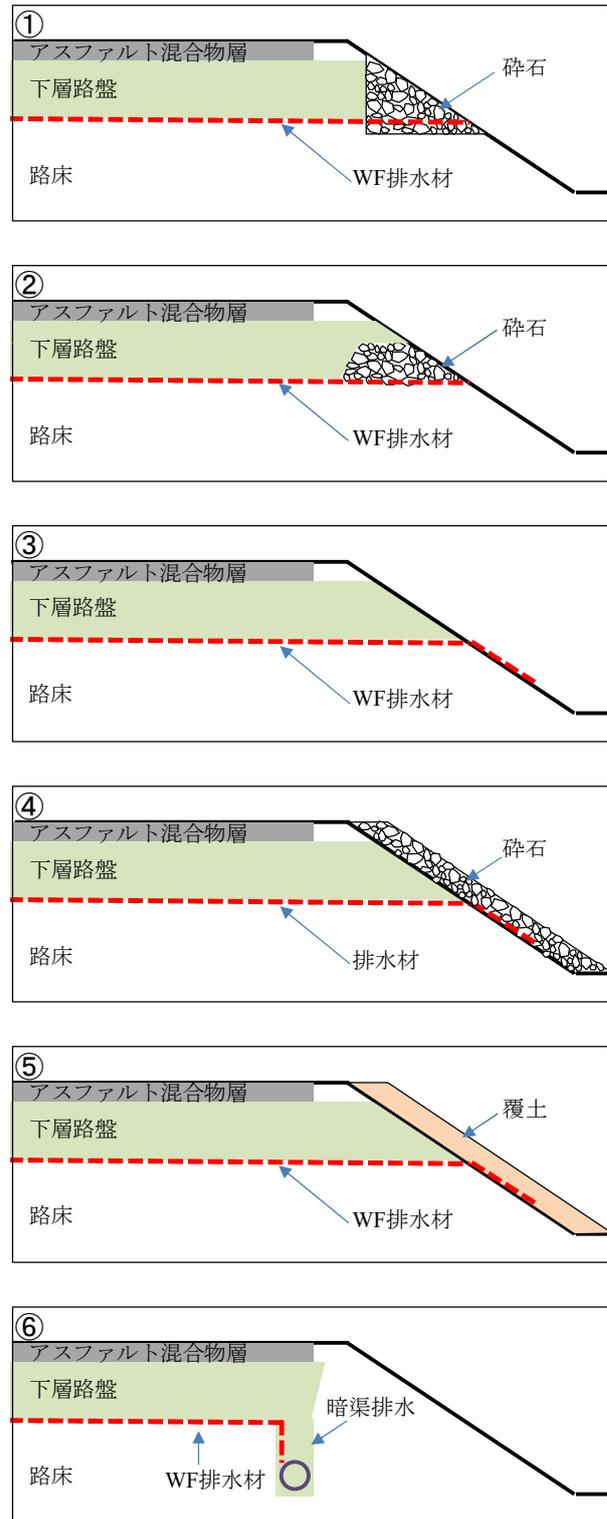


図-4 排水材の流沫構造例⁹⁾

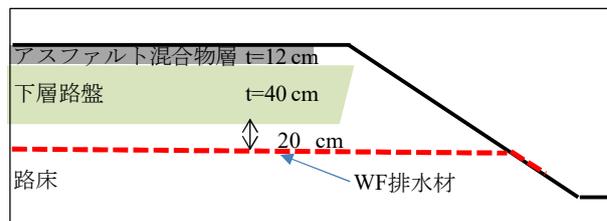


図-5 予備試験施工箇所の断面

流沫を法面側に設け、法面の崩壊を防ぐため流沫構造をふとんかごとした断面（2・3工区）、⑥を参考に流沫を暗渠排水とした断面（4工区）、および比較対象のための無対策断面（1工区）の計4断面を設けた。

流沫構造をふとんかごとした断面については、WF排水材の設置深さを路盤内とした2工区と、WF排水材の設置深さを路床上面とした3工区の2条件としている。また、流沫構造を暗渠排水とした4工区については、WF排水材の設置深さを路床上面としている。

ここでは、各工区において舗装体内の体積含水率を土壤水分計により計測し、無対策の1工区の値と2～4工区の値を比較することで、排水効果を評価する。

(3) 施工性

予備試験施工は幅員4 m、延長5 m、本試験施工は各工区幅員3.5 m、延長10 mの規模で実施した。各箇所・各工区における流沫の施工からWF排水材設置、下層路盤敷設までの施工日数は、予備試験施工箇所、本試験施工箇所の1工区および4工区で1日以内、本試験施工箇所2工区および3工区で3日程度となった。

このような施工日数に差が出た要因として、ふとんかごの製作に時間を要すること、WF排水材の敷設高さにふとんかご上面の高さを調整する必要があり高さ調整に労力を要する点などが挙げられる。

(4) WF排水材の施工上・構造上の留意点

WF排水材の施工上・構造上の留意点を以下に示す。

WF排水材は幅 $W=4$ m 長さ $L=100$ m のロール状の材料であり、短辺方向に平行して排水を行う構造となっている。このため、敷設幅が4 m よりも広い場合には写真-5に示すように、横断方向にWF排水材を並行して数枚配置する必要がある。

また、上流側に位置するWF排水材（この場合、写真左側）が、下流側（この場合、写真右側）に位置するWF排水材の上側になるようにラップさせて敷設する必要がある。これは、上流側のWF排水材の排水材が集水した水を下流側のWF排水材で受けるためである。

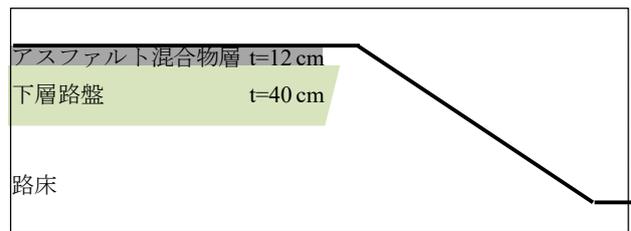
さらに、図-6の4工区のように暗渠排水構造とする場合、WF排水材は前述のように高さ20 cm程度まで水分を吸い上げる能力があるため、暗渠排水内の水を吸い上げないために、WF排水材敷設面と排水材下端に25 cm以上の落差を設ける必要がある。

6. 試験施工における計測結果

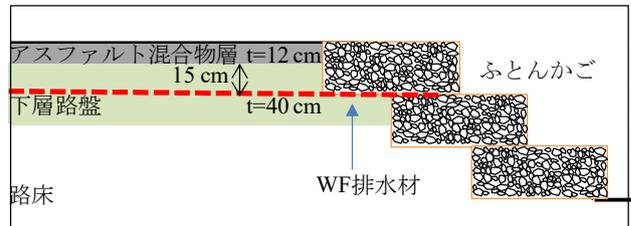
(1) 予備試験施工における凍上量計測結果

図-5に示した予備試験施工箇所における凍上量計測を実施した。調査期間は令和1年11月～令和2年3月である。

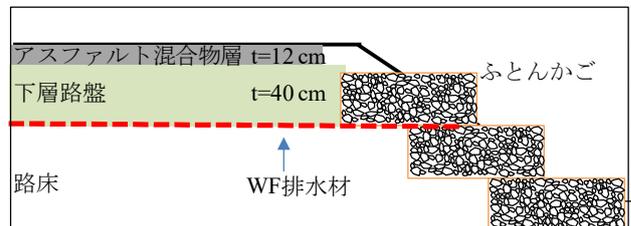
計測の結果、無対策箇所における期間中の最大凍上量が12 mmであったのに対し、予備試験施工箇所における最大凍上量は6 mmであった。このことから、WF排水材を路床内に設置することで凍上量を抑制できることが明



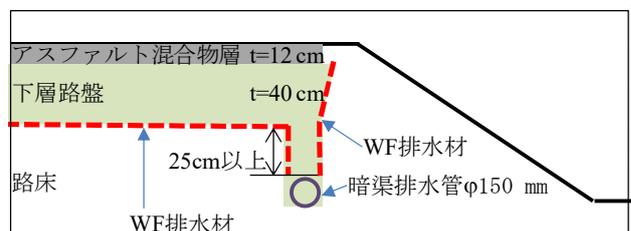
1工区（標準断面：無対策）



2工区（路盤内設置ふとんかご排水断面）



3工区（路床面設置ふとんかご排水断面）



4工区（路床面設置暗渠排水断面）

図-6 本試験施工断面



写真-5 WF排水材の継ぎ目処理

らかとなった。これは前述のように、凍上に必要な凍結面への水の供給がWF排水材の設置によって抑制されたためであると考えられる。

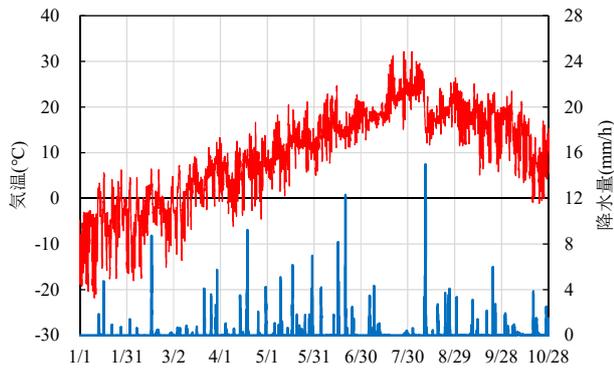


図-7 気象条件

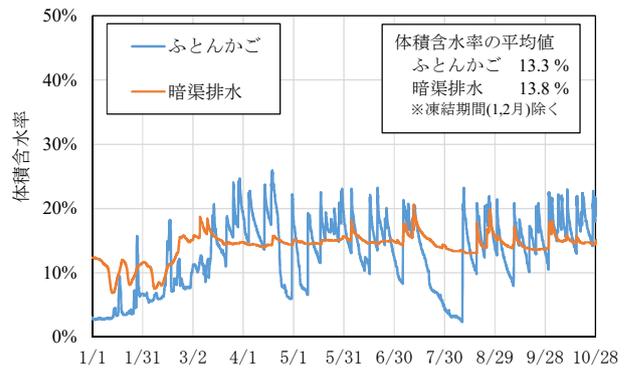


図-8 流沫の体積含水率

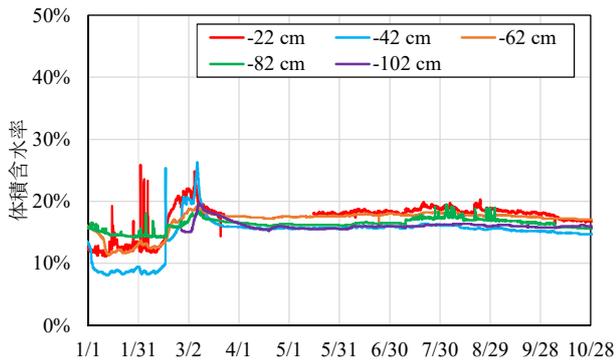


図-9 1工区の体積含水率の変化

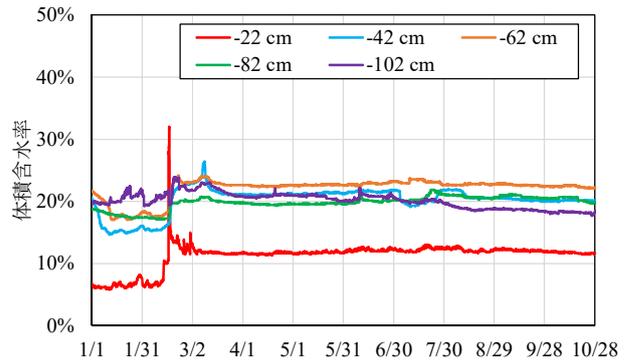


図-10 2工区の体積含水率の変化

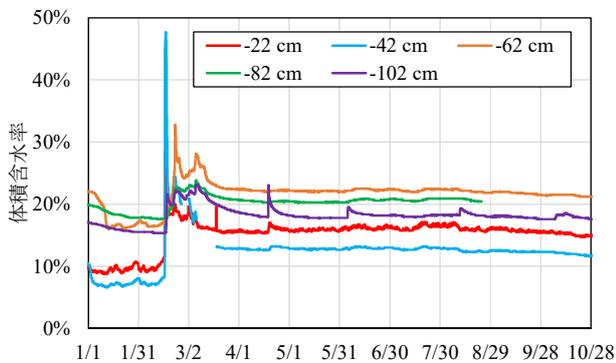


図-11 3工区の体積含水率の変化

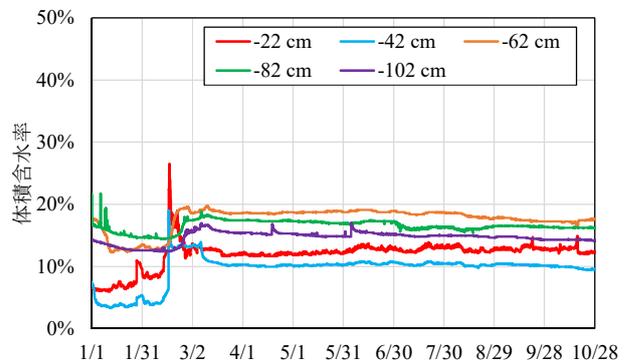


図-12 4工区の体積含水率の変化

(2) 本試験施工における体積含水率等の計測結果

WF排水材による排水効果の把握、および流沫環境の把握のため、下層路盤、路床、流沫にあたるふとんかご内、および暗渠排水のフィルター材内の体積含水率を土壌水分計を用いて1時間毎に計測した。令和3年1月1日からの令和3年10月28日までの計測結果を以下に示す。

a) 気象条件

計測期間中の外気温、および降水量を図-7に示す。外気温は3月上旬から3月中旬にかけて0℃以下の値と0℃以上の値の観測頻度が逆転しており、この時期が計測地域における融解期であると考えられる。降水は調査期間を通じて観測され、湿潤な環境であることが分かる。

b) 流沫の体積含水率

3工区の流沫であるふとんかご内と4工区の流沫である暗渠排水フィルター材内に設置した土壌水分計より計測した体積含水率を図-8に示す。ふとんかご内の体積含水率は暗渠排水フィルター材中の体積含水率と比較して大きく変動する結果となった。これは、ふとんかご内が暗渠排水内と比較して降雨や乾燥の影響の受けやすい環境にあるためと考えられる。また、各流沫における冬期間を除く融解期以降の体積含水率の平均値は、ふとんかご内で13.3%、暗渠排水フィルター材内で13.8%であった。ふとんかごは通風性が高く乾燥状態を維持しやすい環境であると考えたが、両者の値はほぼ同程度であり大きな差は現れなかった。

c) 1工区の体積含水率

図-9に結果を示す1工区は、図-6に示したように無対策断面となっている。2月中旬から3月上旬の融解期において、比較的浅い $h=22$ cm、および 42 cmの深さにおいて体積含水率が20%を超える期間が続いている。3月中旬以降においては各深さの体積含水率は16~18%程度で推移しており、融解期においてこれらの深さで体積含水率が高い状態にあることが分かる。

d) 2工区の体積含水率計測結果

図-10に結果を示す2工区は、図-6に示したように下層路盤内 ($h=27$ cm) にWF排水材を設置した断面となっている。2月中旬に $h=22$ cmの深さにおいて体積含水率が20%を超え瞬時的に30%を超える値が数時間観測されたものの、この深さにおいて体積含水率が上昇したのはこの期間だけであり、これ以降は1工区と同じ深さの体積含水率より低い値で推移している。このことから、WF排水材設置深さで浅ではWF排水材の排水効果が得られていると判断できる。一方、WF排水材設置深さで深では、1工区と比較して体積含水率が高く推移し、特に $h=42\sim 82$ cmにおいては2月中旬以降、体積含水率が20%以上の値となっている。

e) 3工区の体積含水率

図-11に結果を示す3工区は、図-6に示したように下層路盤内 ($h=52$ cm) にWF排水材を設置した断面である。

WF排水材設置位置直上の $h=42$ cmの深さでは、融解期にあたる2月下旬から3月上旬まで体積含水率が20%以上となる状況が続いたが、3月中旬以降の通常期では12~13%程度と1工区と同じ深さよりも低い値で推移した。さらに浅い位置である $h=22$ cmにおいては概ね15%程度で推移しており1工区と同じ深さよりも低い値で体積含水率が推移している。

一方、WF排水材設置深さで深である $h=62$ cm、 82 cmにおいては計測期間を通して体積含水率が20%以上と1工区と同じ深さよりも高い値で体積含水率が推移する結果となった。

f) 4工区の体積含水率

図-12に結果を示す4工区は図-6に示したように下層路盤内 ($h=52$ cm) にWF排水材を設置した断面となっている。3工区との違いは流沫がふとんかごから暗渠排水に変更されている点である。

WF排水材設置位置直上の $h=42$ cmの深さでは、2月中旬に数時間だけ体積含水率が18%程度となったが、これ以降は3月上旬までは13%程度、3月中旬以降では10%程度と1工区と同じ深さよりも低い値で推移した。また、さらに浅い位置である $h=22$ cmにおいても2月中旬に数時間だけ体積含水率が20%を超えたが、これ以降は13%程度と1工区と同じ深さよりも低い値で推移した。

一方、WF排水材設置深さで深では1工区と同じ深さとほぼ同程度の体積含水率が計測期間を通して観測された。

7. まとめ

流沫をふとんかごとした場合、WF排水材設置深さで浅では、体積含水率の低下傾向が見られたが、WF排水材設置深さで深では反対に体積含水率の上昇傾向が見られた。流沫であるふとんかご内の含水比に着目すると、降雨の影響を受け体積含水率が大幅に上昇する可能性があることから、降雨や融雪による水分をWF排水材が舗装体内へ引き込んでいる可能性があると考えられる。

一方、流沫を暗渠排水とした場合、WF排水材設置深さで浅では体積含水率の低下傾向が見られ、融解期の体積含水率が上昇する期間も無対策と比較して短くなることが確認された。また、WF排水材設置深さで深では無対策の場合と同程度の体積含水率であった。暗渠排水構造では、降雨による流沫からの水の浸入の影響が比較的小さいため、このような結果となったものと考えられる。

以上のことから、湿潤な気候で降雨や降雪が多い地域においてWF排水材による排水工法を用いる場合、流沫構造を暗渠排水とすることが望ましいと判断する。また、流沫を暗渠排水とした場合、盛土構造以外の道路構造へも適応できることから汎用性が高いと考える。

本検討においてWF排水材の設置による凍上抑制効果および舗装体内の体積含水率低下効果を把握することができた。今後、継続的な調査やさらに効率的な排水構造の検討を行い、積雪寒冷な地域に対応した路床・路盤内の排水技術を提案していきたい。

参考文献

- 1) 地盤工学会北海道支部：寒冷地地盤工学―凍上被害とその対策―、2009。
- 2) 丸山記美雄、安倍隆二、木村孝司：融解期に発生する舗装のポットホールの実態と発生メカニズムの検討、寒地土木研究所月報 No.730、p.10、2014
- 3) 上野千草、丸山記美雄：融解期における舗装体内の状況把握手法に関する一検討、第 62 回 (2018 年度) 北海道開発技術研究発表会論文、pp.管 11、2019。
- 4) Zhang, X., Presler, W., Li, L., Jones, D., Odgers, B.: Use of Wicking Fabric to Help Prevent Frost Boils in Alaskan Pavements. *J. Mater. Civ. Eng.*, 26(4), pp.728-740, 2014.
- 5) Jorge G.Zomberg, Marcelo Azevedo, Mark Sikkema, Brett Odgers: Geosynthetics with enhanced lateral drainage capabilities in roadway systems, *Transportation Geotechnics*, pp.85-100, 2017.
- 6) Chuang Lin, Xiong Zhang, Jie Han: Comprehensive Material Characterizations of Pavement Structure Installed with Wicking Fabrics *J.Mater. Civ. Eng.*, 2019.
- 7) 安岡朋久、石川達也、Yuwei Wu、所哲也、丸山記美雄、上野千草：道路舗装の凍上抑制のためのジオシンセティックス排水材料の設置方法の提案、地盤工学会北海道支部技術報告集第 62 号、2021.3
- 8) TenCate Geosynthetics Americas : Installation Guidelines for MIRAFI H2Ri Moisture Management System、2020.4

