

被覆による切土のり面の凍結抑制効果

Freezing suppression effect of cut slope by covering

土木研究所寒地土木研究所 ○正員 佐藤厚子 (Atsuko Sato)
 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

寒冷地域における切土のり面は、凍結および融解作用を繰り返すことによるり面の変状事例が多く報告されており、対策技術の確立が求められている¹⁾。その対策のひとつとしてのり面を緑化工²⁾³⁾や断熱材を用いて被覆して地山への凍結を抑制する方法がある。これまで、切土工事において、のり面を緑化工や発泡プラスチック系断熱材で被覆して、切土のり面の凍結深さを長期にわたり測定してきており⁴⁾、効果の持続性を調査した。また、様々な条件で施工した現場の発泡プラスチック系断熱材について時間が経過した状態の断熱性と強度、密度を調べた。

本報告は、これらの結果をまとめたものである。

2. 試験方法

2.1 切土のり面の凍結抑制に関する試験

寒冷地である苫前郡初山別村の切土のり面において、特殊ふとんかご（以降ふとんかご）を施工する現場で、断熱のための被覆材として緑化工のひとつである張芝工（以降張芝）と発泡プラスチック系断熱材のひとつである

発泡ポリスチレン（以降 EPS）により被覆した。施工の種類を表-1 に施工断面の概略を図-1 に示す。a~d はこう配 1:1.5 の北西向きのり面に、e、f はこう配 1:1.2 の西向きのり面に施工した。a は地山に張芝を施工（以降「張芝」）、b は EPS の上にふとんかごを施工（以降「EPS+ふとんかご」）、c は EPS の上にふとんかごと張芝を施工（以降「EPS+ふとんかご+張芝」）、d は対策無しの地山（以降「地山」）、e は EPS の上にふとんかごを施工（以降「EPS+ふとんかご」）、f は EPS の上にふとんかごと張芝を施工（以降「EPS+ふとんかご+張芝」）した。c と f はふとんかご 2 枚分（2m×2m）の面積に対して、ふとんかご上部のラス網内に、張芝の根を中にして 2 枚重ねで敷設した。ふとんかごの規格は 1m×2m×0.25m の標準タイプで、中詰め材は切り込み材 80mm 級である。EPS は紫外線の影響を受けることから、ふとんかごの下面に敷設した。ふとんかごは、地山からの湧水を排水させる効果があるが、一般的な EPS は非透水であることから、ふとんかごの下に配置すると地山の湧水をふとんかごから排出させる効果を阻害するため、この現場では、透水性を有する厚さ 5cm の EPS を用い

表-1 施工の種類

No.	a	b	c	d	e	F
被覆材	張芝 ○	—	○	—	—	○
	ふとんかご —	○	○	—	○	○
	EPS —	○	○	—	○	○
のりこう配	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.2	1:1.2
のり面の向き	北西	北西	北西	北西	西	西
計測期間	2013-2020	2013-2020	2013-2020	2015-2020	2013-2017	2013-2017

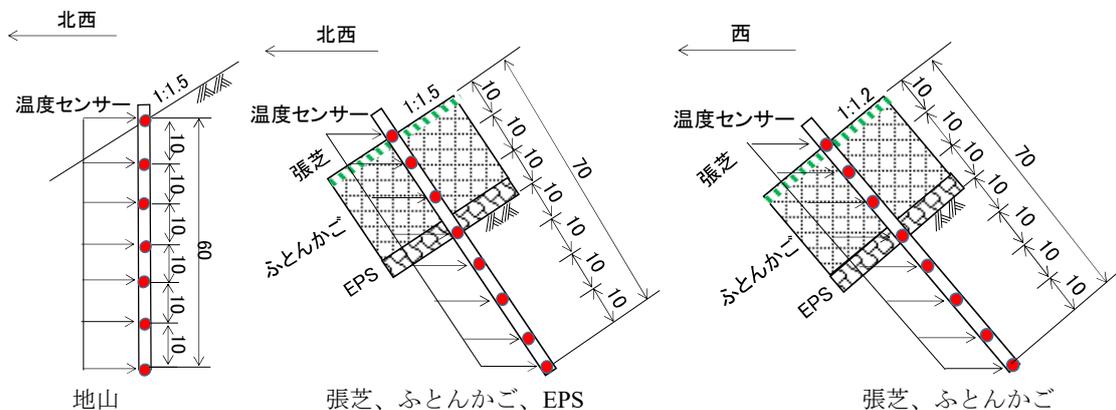


図-1 施工断面の概略

た。

地山の土質の基本物性値を表-2 に、EPS の物性を表-3 に示す。それぞれの施工箇所に対して、温度を計測するためのセンサーを地表面から 10cm 間隔で埋め込み、正時に 1 時間ごと自動計測した。温度センサーは、d の地山のみ鉛直に 60cm まで、その他は地表面に対して垂直に 70cm までである。

表-2 地山の土質物性値

乾燥密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.281
自然含水比 $w_n(\%)$	39.9
熱伝導率 $\lambda(\text{W}/\text{m}\cdot\text{K})$	1.128
土質分類	SFG(細粒分質礫質砂)

表-3 EPS の物性

密度(kg/m^3)	25
空気率($\%$)	25
熱伝導率 $\lambda(\text{W}/\text{m}\cdot\text{K})$	0.039
透水係数(cm/sec)	0.2

表-4 EPS の経過時間と現場の状態

No.	経過時間(年)	現場の状態	種類
1	9	土中 (現場使用と同じ EPS)	A-EPS
2	12	11 年土中、1 年室内気中	K-EPS
3	12	室内気中と外気を交互	K-EPS
4	12	室内気中	K-EPS
5	4	土中	S-EPS
6	4	2 年土中、2 年室内気中	S-EPS
7	35	室内気中	S-EPS

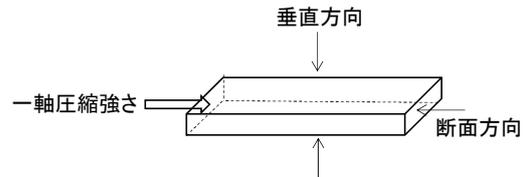


図-2 計測位置図

2.2 EPS の経時変化に関する試験

凍結抑制を確認するため施工した EPS と同じ素材で別な現場で使用した EPS および様々な状態で時間が経過した EPS について性質を調べた。各 EPS の経過時間と現場の状態を表-4 に示す。一軸圧縮強さ、密度、熱伝導率を測定した。各測定方向を図-2 に示す。それぞれの試験について一軸圧縮強さは 3 供試体で、熱伝導率は EPS の上下 2 方向の垂直方向とこれ直交する断面方向の 3 箇所をそれぞれ 3 回行った。熱伝導率は、非定常細線加熱法による熱伝導率計によった。

3. 試験結果

3.1 切土のり面の凍結状況

冬期間の積雪状況を定点カメラにより確認したところ、c「EPS+ふとんかご+張芝」で一時期 20cm を超える積雪が確認されたが、これ以外では、ほとんど積雪は確認されなかった。

北西向き斜面の施工からの経過日数とラス網からの凍結深さおよび日平均気温の累積値を図-3 に示す。凍結

深さは、観測日ごとに地中の温度からマイナス温度となる領域を推定した。d (地山) は鉛直の温度を測定したことから、凍結深さは、のり面から垂直となるように補正している。日平均気温の累積値は a (張芝) 箇所の地上 1.5m の高さの温度より算出した。図には、凍結指数と凍結期間も合わせて記載している。計測した 7 年間の凍結指数、凍結期間は同じ傾向を示していた。a (張芝) では、2013 年度から 2016 年度までは凍結深さは 40~50cm 程度であった。2015 年度、2016 年度は地山よりも凍結深さは浅かった。2017 年度以降は d (地山) の凍結が 50cm よりも深く測定の範囲以上となり比較できなかった。2015 年度、2016 年度の結果のみではあるが、張芝でも凍結深さを 10cm 以上抑制する効果があるといえる。

b (EPS+ふとんかご) では、いずれの年度においても a (張芝)、d (地山) よりも凍結深さは浅く EPS による凍結抑制の効果が大きいことがわかる。

c (EPS+ふとんかご+張芝) は、b (EPS+ふとんかご) よりも凍結深さが浅くなり、張芝も凍結抑制の効果が

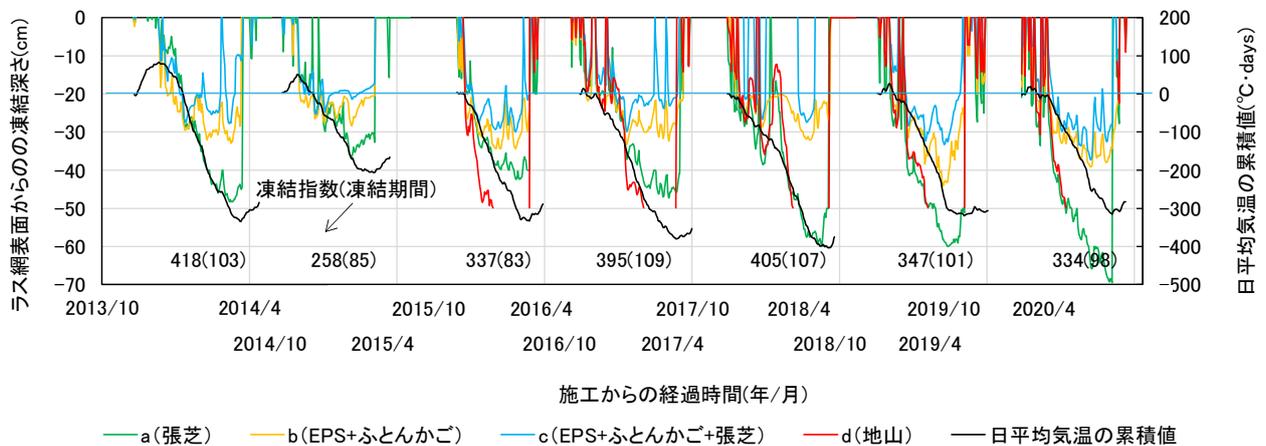


図-3 北西向き斜面のラス網表面からの土砂部分の凍結深さ

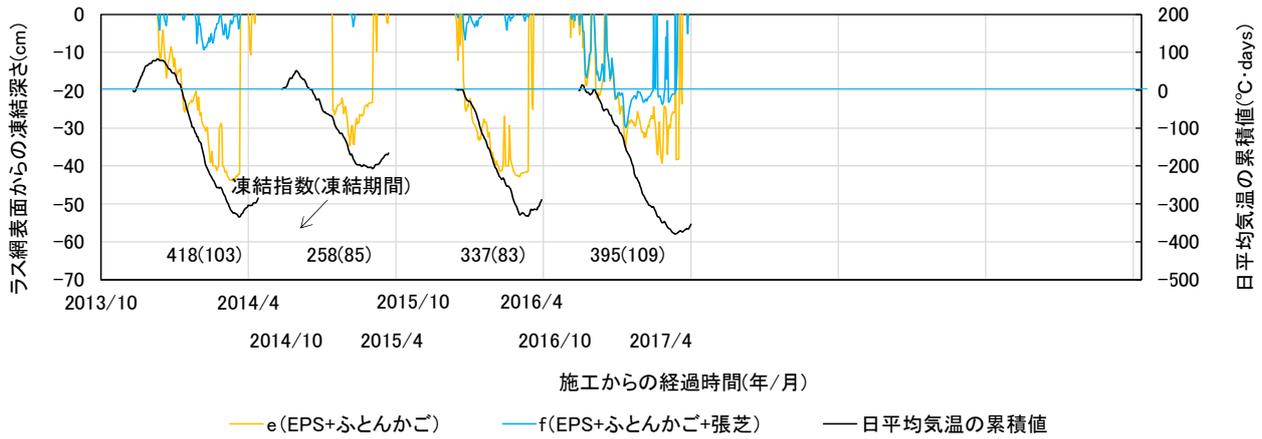


図-4 西向き斜面のラス網表面からの凍結深さ

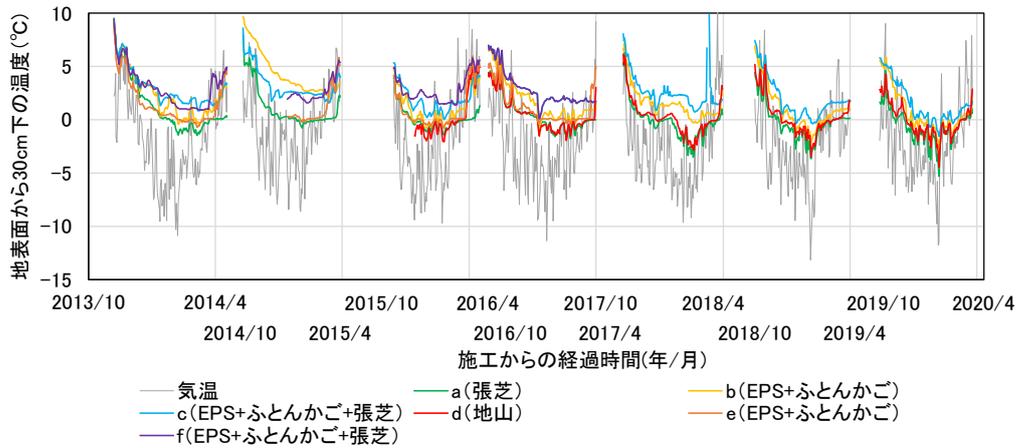


図-5 地表面から 30cm 下の温度

きいといえる。ここでは、20cm を超える積雪が確認されている。積雪深が 20cm を超えると地盤の凍結が進まないという報告⁹⁾もあり、張芝の断熱効果だけではなく積雪による凍結抑制の可能性もある。

次に、西向き斜面の施工からの経過日数とラス網表面からの凍結深さおよび日平均気温の累積値を図-4に示す。e (EPS+ふとんかご) では、いずれの年度でも f (EPS+ふとんかご+張芝) よりも凍結深さは 10cm 程度浅く、張芝も凍結抑制の効果がある。図-5には、地表面から 30cm 下の地中温度を示す。a (張芝)、d (地山) 以外はEPS直下の温度を示している。a (張芝)、d (地山) よりもEPS敷設した箇所の温度は高く、ほとんどマイナスにはなっていない。このことから、EPS はのり面の凍結を抑制できるといえる。

なお、施工から6年後の写真-1に示すように、計測したすべての箇所で、ふとんかごの変形や損傷は確認されず、ふとんかごを固定するためのアンカーピンの抜け上がりも発生していなかった。また、周辺の小段排水溝の変状の発生もなく、排水機能は健全な状態であった。ふとんかごの上に施工した張芝は、施工後水分補給や追肥などの維持管理をしなかったが、2020年11月時点で十分に生育していた。



写真-1 のり面の状況 (2019.5)

3.2 EPSの経時変化

表-4の各EPSについて観察等を行った結果を以下に示す。No.5、6、7のS-EPSはいずれも表面を指で触れると粉が浮き出てきて、劣化しているように見受けられた。No.1のA-EPSとNo.2、3、4のK-EPSは、指で触れても粉が出ることはなく、見かけ上の劣化はなかった。次いで時間が経過したEPSの圧縮強さ、密度、熱伝導率

表-5 時間経過によるEPSの性質の変化

No.	時間経過後のEPSの性質					施工時のEPSの性質		
	圧縮強さ kN/m ²	密度 g/cm ³	熱伝導率 W/m・K			圧縮強さ kN/m ²	密度 g/cm ³	熱伝導率 W/m・K
			表面	内部	土との接触面			
1	36	0.0178	0.0378	0.036	0.039	100	0.025	0.039
2	143	0.0295	0.034	0.034	0.034	200	0.020～ 0.025	0.024～ 0.036 以下
3	126	0.0291	0.035	0.035	0.034			
4	138	0.0284	0.035	0.035	0.035*			
5	151	0.0265	0.038	0.036	0.037	160～200	0.020～ 0.025	0.022～ 0.036 以下
6	147	0.0265	0.038	0.035	0.036			
7	117	0.022	0.035	0.035	0.036*			

*は、気中で時間が経過していないので、表面と反対面で計測



写真-2 EPSの透水性 (2020.12)

を施工時の性質とともに表-5 に示す。No.1 は施工時の性質を把握していたが、その他は把握していなかったため、カタログのりよりデータを示している。圧縮強さは、すべてのEPSで時間が経過した場合小さくなっていった。密度はNo.1のA-EPSで小さくなり、No.7のS-EPSでほぼ等しかったが、他は若干大きくなっていった。熱伝導率は、方向や表面の劣化にかかわらず測定した3箇所ではほぼ等しかった。すべてのEPSで、施工時の熱伝導率とほぼ等しく、熱伝導率に関しては、施工からの経過時間、EPSの周辺の環境、劣化の程度にかかわらず、施工時とほぼ同じであり、断熱効果が持続されたといえる。

その他、No.1のA-EPSについて透水性を調べた。写真-2に示すようにEPSの上から水を流すとEPSを通して下に流れることを確認した。これより、時間が経過しても透水性を保持している。

4. まとめ

寒冷地域における切土のり面の凍上対策としてのり面を緑化工や断熱材により被覆して凍結深さの抑制の程度を調べた、また、断熱材のひとつである発泡プラスチック系断熱材について、時間経過による性質の変化を調べた。その結果、今回の測定結果では、次のことがわかった。

- ① 切土のり面を張芝や厚さ5cmの発泡プラスチック系断熱材により被覆することは凍結深さを抑制できる。特に、発泡プラスチック系断熱材は凍結深さを大きく低減できる。
- ② 張芝は、根を中側にして2枚重ねで施工することにより、7年間水分補給や追肥などの維持管理が不要

で凍結深さの抑制効果を維持できる。また、透水性を有する発泡プラスチック系断熱材は、7年間排水機能を維持したまま、凍結深さの抑制効果を維持できる。

- ③ 発泡プラスチック系断熱材は、室内の空中では35年間、土中で11年間、気中と土中を繰り返した状態で11年間経過しても熱伝導率に変化はない。また、透水性も確保できていた。

5. おわりに

凍上によるのり面の変状を抑制する対策のひとつとして、従来から施工されている特殊ふとんかごのみによる方法に透水性を有する発泡プラスチック系断熱材と張芝を組み合わせて施工することにより、さらに凍結深さを浅くできることと、この方法が耐久性を有する方法であることが明らかになった。今後、凍上により変状したのり面の補修工事や凍上による変状が予想されるのり面への適用を検討されたい。

参考文献

- 1) 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)、公益社団法人地盤工学会北海道支部、p.4、2016。
- 2) 安藤彰、高瀬一隆、佐藤厚子：切土法面における湧水、凍上対策について、第52回(平成20年度)北海道開発技術研究発表会、2009。
- 3) 佐藤厚子、畠山 乃：寒冷地での法面緑化工の違いによる法面の凍上抑制効果、地盤工学会誌 Vol.67-1、pp.10-13、2019.1。
- 4) 野上敦、林憲裕、佐藤厚子：断熱材を併用した特殊ふとんかごによる寒冷地域における切土のり面の凍上対策について(その2)、第52回地盤工学研究発表会、2017。
- 5) 地盤の凍上対策に関する研究委員会：寒冷地地盤工学、p.37、2009.12。
- 6) <http://www2.kenzai.kaneka.co.jp/kanelite/kanelite/kikaku.html>
- 7) https://www.dupontstyro.co.jp/images/catalog/styrofoam_sougou.pdf?0416