

# 断熱工法を用いた既設アスファルト舗装の凍上対策について

上野 千草    松本 第佑    丸山 記美雄

## 1. はじめに

積雪寒冷地においては厳冬期に凍結が路床まで達し、凍上により舗装にひび割れが生じる場合がある<sup>1)</sup>。また、凍結融解作用により路床の支持力が低下し、舗装にひび割れや沈下などの破損が生じることがある<sup>1)~3)</sup>。このため凍上対策は積雪寒冷地において舗装を構築する上で極めて重要である。本文では、置換厚が不足し凍上による被害が生じている既設アスファルト舗装の凍上対策として断熱工法の適用性を検討した結果を報告する。

## 2. 凍上の要因および対策

### 2. 1 凍上の要因

凍上現象に影響する要因は多く挙げられるが、究極的には、温度、水分、土質、荷重の4つにまとめられる。このうち、温度、水分、土質を凍上の3要素と呼び、全ての条件が揃うことで凍上は発生するが、1つでも欠けると凍上は発生しない<sup>2)</sup>。

### 2. 2 凍上の対策

凍上の3要素のうち1つ以上の要素を除くことにより凍上を抑制できる。凍上抑制対策工法には置換工法、断熱工法、安定処理工法、遮水工法等があり、凍上性の土質の材料を非凍上性の材料で置き換える置換工法が主として用いられている<sup>4)</sup>。構造的な制約等がある場合は置換工法以外の温度や水分の要素を除く工法が検討される場合がある。本研究では既設舗装の掘り返しを最小限に押さえることで、置換工法で修繕を行う場合よりもコスト縮減をはかることが可能となる断熱工法に着目し、その適用性を評価した。

## 3. 試験施工断面の検討

### 3. 1 応力度の評価

断熱工法にて舗装断面を決定する際に、必須となる評価項目は①応力度の評価と②断熱性能の評価がある

<sup>2)</sup>。ここでは、応力度の評価を「EPS工法-発泡スチロール (EPS) を用いた超軽量盛土工法」<sup>5)</sup> より以下の式より行い、試験舗装断面を決定した。

$$\sigma_z > \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \quad (1)$$

ここに、

- $\sigma_z$  : 断熱材の許容応力度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_{z1}$  : 断熱材上面での上載物荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_{z2}$  : 断熱材上面での活荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$\sigma_{z2} = \frac{P(1+i)}{(B+2h \tan\theta)(L+2h \tan\theta)} \quad (2)$$

ここに、

- $P$  : 輪荷重 (kN)
- $B$  : 車輪輪帯幅 (m)
- $L$  : 車輪接地長 (m)
- $h$  : 路面から評価面までの深さ (m)
- $\theta$  : 舗装部の分散角 (°)
- $i$  : 衝撃係数

表-1 応力度の評価

断熱材の許容応力度: $\sigma_z$		180 kN/m <sup>2</sup>
上載物荷重:: $\sigma_{z1}$		11.48kN/m <sup>2</sup>
計算条件	アスファルト混合物層密度	22.6 kN/m <sup>3</sup>
	アスファルト混合物層厚	0.12 m
	下層路盤密度	19.6 kN/m <sup>3</sup>
	下層路盤厚	0.40 m
	砂密度	18.6 kN/m <sup>3</sup>
	砂層厚	0.05 m
交通荷重: $\sigma_{z2}$		59.16 kN/m <sup>2</sup>
計算条件	層厚: $h$	0.12 +0.40+0.05=0.57 m
	荷重: $P$	100 kN
	接地幅: $B$	0.5 m
	接地長: $L$	0.2 m
	衝撃係数: $i$	0.3
	荷重分散角: $\theta$	45°
$\sigma_{z1} + \sigma_{z2}$		70.64kN/m <sup>2</sup>
判定		$\sigma_z > \sigma_{z1} + \sigma_{z2}$ 【OK】

本試験施工では下層路盤下に断熱材を配置する計画とし表-1の条件で評価を行った。評価の結果、表-1の最下段に示すとおり、下層路盤下に断熱材を配置する荷重応力 ( $\sigma_{z1} + \sigma_{z2}$ ) が断熱材の許容応力度 ( $\sigma_z$ ) を超えないことを確認した。

### 3. 2 試験舗装断面

応力度の評価の結果を踏まえ、写真-1に示す当研究所所有の苫小牧寒地試験道路に図-1に示す断面で試験舗装を施工し、断熱性能の評価を行った。なお、断熱材を埋設した断熱工区の他に、比較工区として凍上対策として一般的に使用されている置換工法を用いた置換工区と、凍上対策を施さない無対策工区を設けた。

当該地域の10年確率凍結深さに置換率70%を掛けた設計置換厚は80cm<sup>6)</sup>であり、置換工区はこれを満足させるため凍上抑制層を30cm設けている。断熱工区は、凍上抑制層を設けずに下層路盤下に砂層と断熱材を用いた断熱層を設けている。砂層は断熱材設置面の不陸整正および断熱材の保護を目的としている。断熱材はJIS A 9511 A種押出法ポリエチレンフォーム保温板(2種b)に適合する材料をt=5cmの厚さで設置した。無対策工区は、凍上抑制層も断熱層も設けない断面となっている。なお、各工区の延長は50mとした。

## 4. 断熱性能の評価

試験舗装において断熱性能の評価、およびこれに併せて支持力の評価を行うため表-2に示す調査を実施した。断熱材の断熱効果の評価するためメチレンブルー凍結深度計を用いて凍結深さ測定を実施した。また、凍上抑制効果の評価するため、レベル測量により凍上量を測定した。さらに、FWD測定車を用いて舗装体の支持力評価を行った。調査期間は2016年度から2020年度までの5ヶ年であり、調査時期は当該地域の秋期から融解期にあたる11月~3月とした。

### 4. 1 気象条件

調査期間を含めた過去21年間の凍結指数および年間最大積雪深を図-2に示す。当該地区の21年間の平均凍結指数は473°C・daysであり、調査を実施した5年間はいずれもこの値を下回り比較的温暖な気象条件であった。また、当該地区の21年間の平均最大積雪深は32.0cmであり、調査期間における年最大積雪深は17~43cmとなっている。なお、調査箇所において積雪が確認された場合は、翌朝除雪車を用いて除雪を行い、供



写真-1 苫小牧寒地試験道路（断熱工法試験施工区間）

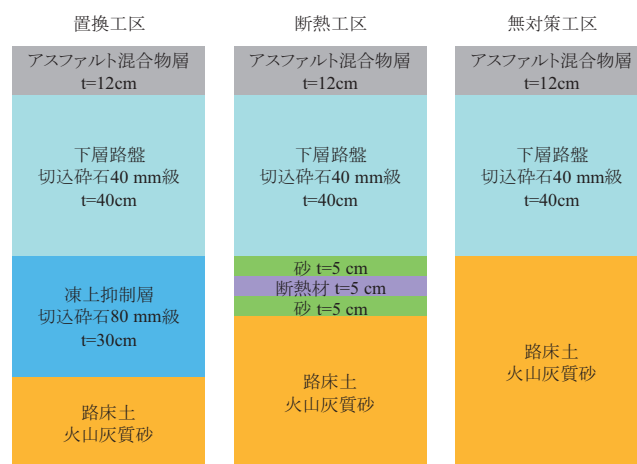


図-1 舗装定規図

表-2 調査項目

調査項目	評価項目	使用機器	測定回数	測定点数
凍結深さ測定	最大凍結深さ	メチレンブルー凍結深度計	6回/年	1点
凍上量調査	最大凍上量	レベル	6回/年	25点
支持力調査	$D_0$ たわみ量	FWD測定車	20~25回/年	5点

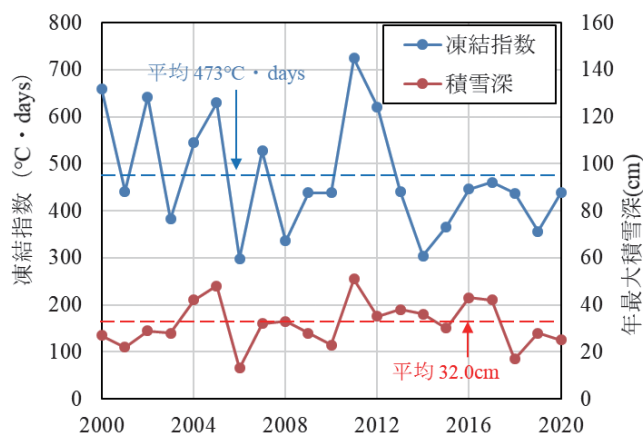


図-2 凍結指数・年最大積雪深

用中の国道と同様に路面が露出する環境を維持した。

#### 4. 2 最大凍結深さ

調査結果を図-3に示す。置換工区の最大凍結深さがいずれの年度においても最も大きくなっている。これは、凍上抑制層に用いられている切込砕石の含水比が路床土と比較して低いこと、および熱伝導率が高いことなどが影響し、凍結が入りやすかったためと考える。なお、調査を行った5年間の内2019年度までは置換工区の置換厚82cmを超える値は観測されなかったが、2020年度では路床土層まで凍結が到達した結果となった。

無対策工区では、2019年度を除き路床土上面の位置する52cmより深くまで凍結が入り、路床土が凍結したと考えられる結果となっている。

一方、断熱工区の断熱材埋設深さは図-1に示すとおり57~62cmであるが、この工区の最大凍結深さはいずれの年度も断熱材埋設深さまでで収まっており、路床土に凍結が到達していない結果となった。

#### 4. 3 最大凍上量

調査結果を図-4に示す。無対策工区では、凍結が路床まで達している2016年度、2017年度、および2020年度に10mmを超える凍上量が観測された。一方、置換工区および断熱工区は、路床まで凍結した2020年度を含むいずれの年度においても、最大凍上量は数mm程度であった。また、置換工区と断熱工区の最大凍上量の差はいずれの年度においても1mm以内となっており、両工区は同程度の凍上抑制効果が得られていることが示唆される結果となった。

#### 4. 4 たわみ量

FWD測定車を用いて、舗装体の支持力評価を行った。図-5に各年度の融解期において $D_0$ たわみ量が最大となった調査日の値を整理した。なお、いずれの年度においても融解期において $D_0$ たわみ量が最大となるのは3月上~中旬であった。

$D_0$ たわみ量は計測2年目の2017年度までは各工区の値に顕著な差は見られなかったが、計測3年目以降は無対策工区の $D_0$ たわみ量が他の工区と比べて大きくなっている。2020年度の計測においては無対策工区の値が他の2工区と比較して100 $\mu\text{m}$ 以上大きな値となり、明らかな支持力低下が示唆される結果となった。この支持力低下の要因として、無対策工区では頻繁に路床まで凍結が入り、10mm以上の凍上が発生してい

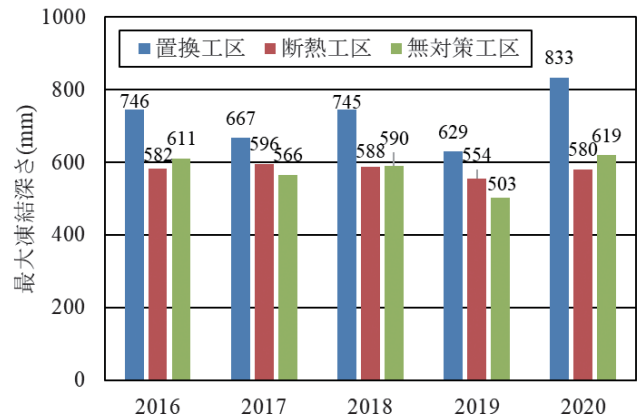


図-3 最大凍結深さ

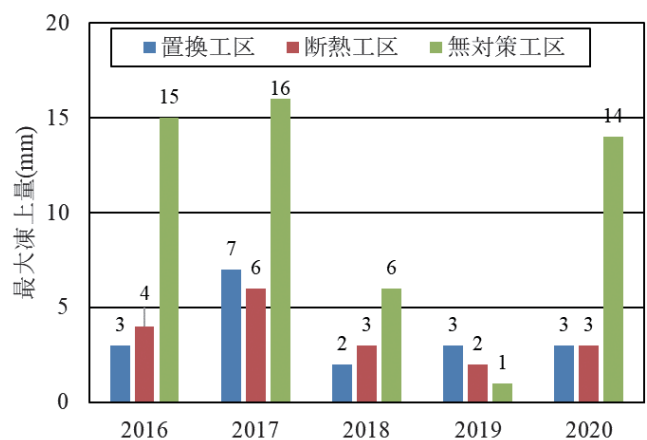


図-4 最大凍上量

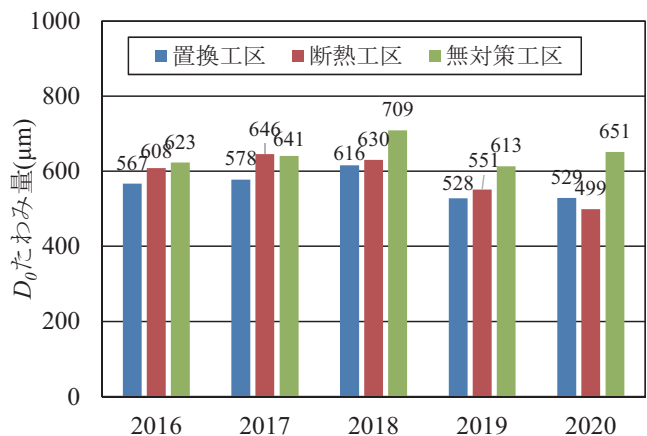


図-5  $D_0$ たわみ量

ることから、路床が凍結融解作用を受けたことによる影響が考えられる。

一方、置換工区と断熱工区の値には計測5年目の2020年度においても顕著な差は現れなかったことから、断熱工区は置換工区と同程度の支持力が得られると考える。

## 5. まとめ

アスファルト舗装において断熱工法を用いた試験施工を行い5ヶ年の追跡調査を行った結果、以下の知見が得られた。

- ・凍結深さ測定の結果、断熱工法を用いることにより路床への凍結の侵入を抑制していることを確認した。
- ・凍上量測定の結果、断熱工区は置換工区と同程度の凍上抑制効果が得られることが明らかとなった。
- ・融解期におけるFWDによる支持力調査の結果、断熱工区の $D_0$ たわみ量は置換工区の $D_0$ たわみ量と同程度の値であり、断熱材工法を用いた条件においても通常の置換工法を用いた場合と同程度の支持力が得られていることを確認した。

以上より、アスファルト舗装における断熱工法の凍上抑制対策としての適用性が確認された。

断熱工法は特に不足する置換厚が大きい場合において、よりコスト縮減効果が期待できる。なお、不足する置換厚さが小さい場合は、置換工法のほうが有利となる場合があるため、コスト比較の上、対策工法を選定する必要がある。

今後は、断熱工法の実用化に向け設計および施工に関する留意点をまとめたマニュアルの作成を行って行く予定である。

## 参考文献

- 1) 石川達也、川端伸一郎、亀山修一、安倍隆二、小野丘：舗装構造の疲労寿命に及ぼす粒状路盤の凍結融解の影響とその評価，土木学会論文集E1（舗装工学）、Vol.67、No.3、pp.109-116、2011.
- 2) 安倍隆二、田高淳、久保裕一：積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の厳冬期および融解期のひずみ特性、土木学会舗装工学論文集、第14巻、pp.147-154、2009.
- 3) 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.
- 4) 土木学会：舗装工学ライブラリー6 積雪寒冷地の舗装、pp.30-32、2011.
- 5) 発泡スチロール土木工法開発機構：EPS工法－発泡スチロール（EPS）を用いた超軽量盛土工法、pp.89-93、1993.
- 6) 北海道開発局：道路設計要領、第2集道路付帯施設、p.参19、2020.



上野 千草  
UENO Chigusa

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
寒地道路保全チーム  
研究員  
技術士(建設)



松本 第佑  
MATSUMOTO Daisuke

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
寒地道路保全チーム  
研究員



丸山 記美雄  
MARUYAMA Kimio

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
寒地道路保全チーム  
上席研究員  
博士(工学)  
技術士(建設)