

# 断熱材を活用したコンクリート舗装修繕工法の 設計・施工マニュアル(案)

令和4年12月

積雪寒冷地における道路舗装の  
長寿命化と予防保全に関する検討委員会

## 1 章 総則

### 1.1 適用範囲

断熱材を活用したコンクリート舗装修繕工法的设计・施工マニュアル(案) (以下、本マニュアルという) は、既設舗装の修繕工事において、凍上対策として断熱工法を用いてコンクリート舗装に打換える場合に適用する。

#### 【解説】

本マニュアルは、積雪寒冷地におけるコンクリート舗装による修繕工法の普及を目的として、既設舗装をコンクリート舗装へ打ち換える際に断熱工法を用いる場合の設計・施工時の留意点等について示すものである。断熱工法は、置換工法と比較して舗装掘削深さを抑制可能な技術であり、コスト縮減・工期短縮が期待される。本マニュアルでは、交通条件、気象条件、維持管理条件(除雪条件)に応じて断熱材を設置するにあたり必要な技術的事項を示した。

### 1.2 本マニュアルの構成

本マニュアルは、設計、施工、および経済比較の各章で構成される。

#### 【解説】

本マニュアルは、断熱工法を用いてコンクリート舗装を構築する際の設計手法を示した「設計」、施工時における留意事項を示した「施工」、既設舗装の打換えに伴うライフサイクルコストの計算手法例を示した「経済比較」の各章から構成される。

## 2章 設計

### 2.1 一般

凍上対策として断熱工法を用いる場合には、断熱材の交通荷重に対する耐力の照査、および断熱性能の照査を行い、断熱材の材質、厚さ、設置深さを適切に設定する必要がある。

#### 【解説】

コンクリート舗装においては、わずかな凍上であってもコンクリート舗装版と路盤の間に隙間が生じ、交通荷重によりコンクリート舗装版下面に生じる引張応力が大幅に増大し、舗装寿命が大きく低下することから、設計期間内に想定される最大凍結深さまで非凍上性の材料で構成することとなっている。一方、アスファルト舗装は変形追従性を有し、2~3 cm程度の凍上ではひび割れが生じないことが確認されており、設計期間内に想定される最大凍結深さの70%まで非凍上性の材料で構成する設計となっている。このため、既設アスファルトをコンクリート舗装で打ち換えようとした場合、置換厚が不足する可能性がある。置換工法で新たに凍上対策を行う場合、既設路盤・路床を掘削し、路床土を入れ換える必要が生じ、設計期間内に想定される凍結深さが大きい場合、路床土入れ換えのための掘削深さが大きくなり、初期コストの増加、工期の増大、供用中の交通への影響が懸念される。このため、断熱工法を用いて凍結が入る深さを抑制し、既設路盤・路床を生かした凍上対策が有効となる場合がある。

断熱工法の設計にあたっては、断熱材の交通荷重に対する耐力の照査、および断熱性能の照査を行う。さらに、施工時における断熱材の損傷を防ぐこと、および断熱材より上層の品質を確保する観点から舗装各層の材料や厚さを検討する。また、最終的に他の舗装種別および他の工法との経済比較を行った上、断熱工法の採否を決定する。設計手順は図-1に示すフロー図のとおりである。

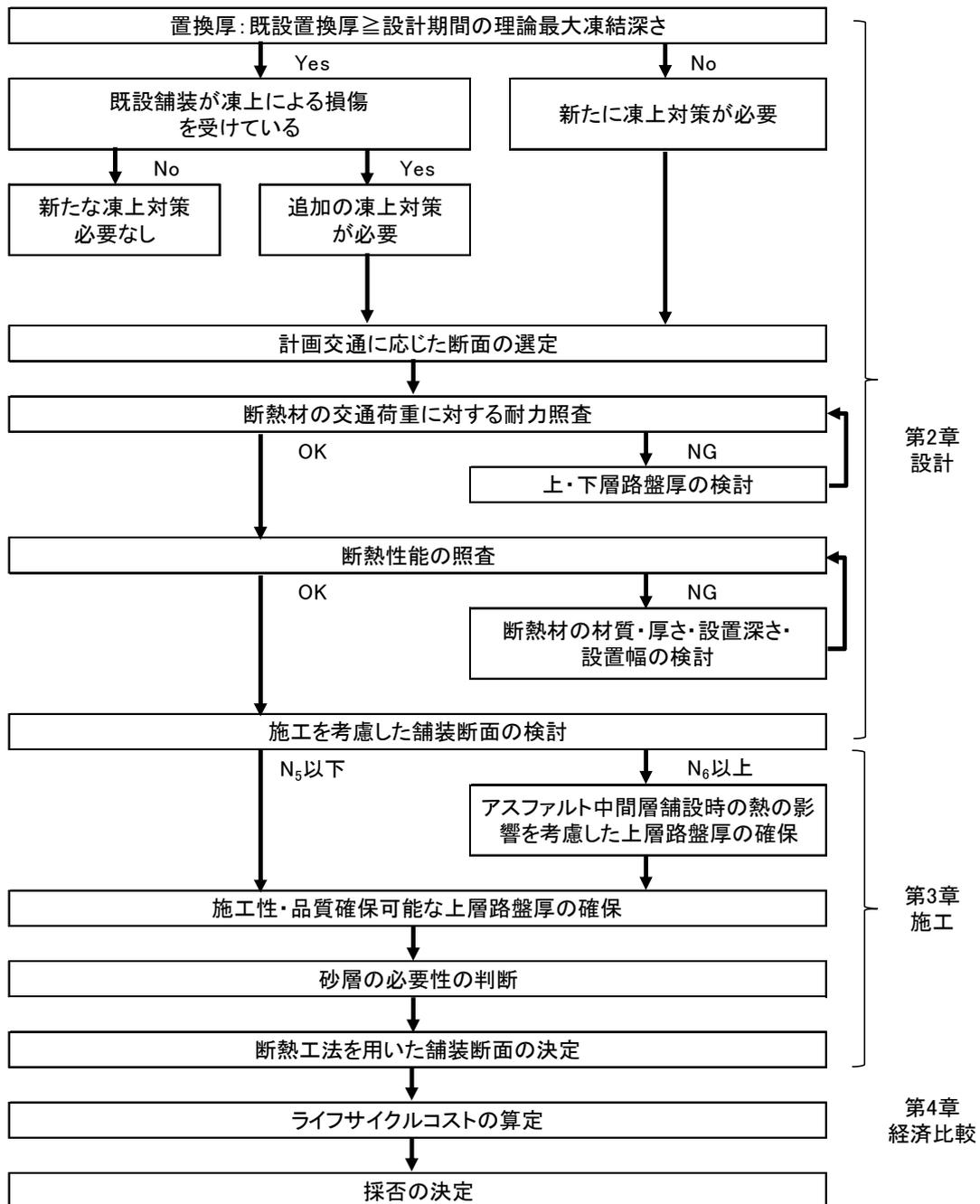


図-1 断熱材を活用したコンクリート舗装修繕工法の設計フロー図

## 2.2 交通荷重に対する照査

断熱材自体の損傷および断熱材に起因する路面の沈下、不陸、コンクリート版の破損を生じさせないため、断熱材の交通荷重に対する耐力照査を行う必要がある。

### 【解説】

路面の沈下、不陸、コンクリート版の破損を生じさせないため、断熱材の交通荷重に対する耐力照査<sup>1)</sup>を行う。耐力照査は式(1)および式(2)により行う。

$$\sigma_z > \sigma_{z_1} + \sigma_{z_2} \quad (1)$$

ここに、

- $\sigma_z$  : 断熱材の許容応力度 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_{z_1}$  : 断熱材上面での上載物荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_{z_2}$  : 断熱材上面での活荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$$\sigma_{z_2} = \frac{P(1+i)}{(B+2h \tan \theta)(L+2h \tan \theta)} \quad (2)$$

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)
- $\theta$  : 舗装部の荷重分散角 (°)
- $i$  : 衝撃係数

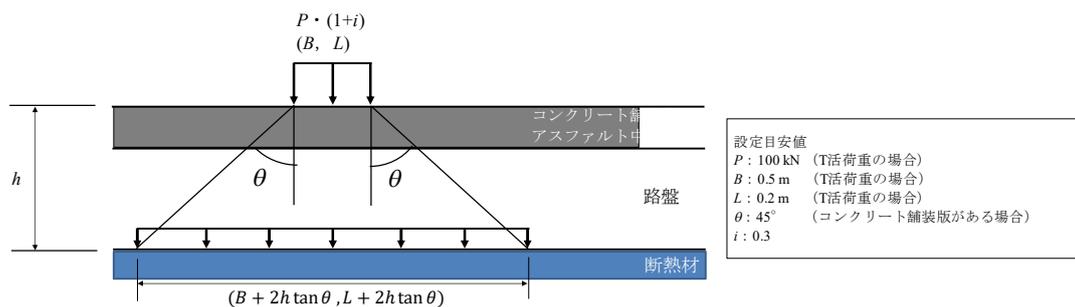


図-2 活荷重モデル図

式(1)の条件を満たすことで断熱材は十分な耐力を有すると判断される。なお、条件を満たさない場合は、断熱材の設置深さまたは、使用する断熱材を変更する。

具体的な照査の事例を付録に示したので、必要に応じて参照すること。

## 2.3 断熱性能の照査

断熱工法の適用にあたっては、必要な断熱性能が得られるよう断熱材の材質、厚さ、埋設深さ、設置幅を決定する必要がある。

### 【解説】

断熱材の材質、厚さ、および埋設深さについては、設計期間に凍上性を有する路床まで凍結が侵入することがないよう修繕箇所の気象条件に応じて設定する必要がある。

断熱材の設置幅については、対象箇所の気象条件、環境条件に応じて、決定する必要がある。積雪が多く、厳冬期に除雪後の雪が路肩に堆雪される路線においては、路肩部は雪の断熱効果によって舗装体への凍結の侵入が抑制されることから、路面が露出する車輛走行部であるコンクリート舗装版の幅に断熱材を配置することで有効な効果が得られる。一方、少雪地域や、除雪により路肩の雪が取り除かれ厳冬期においても路肩部の路面が露出する箇所においては、路肩側からコンクリート舗装部の断熱材の下側へ凍結が進入することが想定される。図-3 に示すように断熱材を配置しない路肩アスファルト舗装部において凍結が路床まで達し、コンクリート舗装版下の路床方向へ凍結が回り込むと、コンクリート舗装版の路肩側が凍上により持ち上げられる。この条件下において交通荷重がかかるとコンクリート舗装版下面にはたらく引張応力が通常時よりも増大し、写真-1 に示すような縦断方向のひび割れの発生要因となる。このような厳冬期に路肩の路面が露出する路線においては、コンクリート舗装版の幅よりも広く断熱材を配置することで有効な凍上対策をとることができる。

断熱性能の照査にあたっては、熱伝導解析等を用いて照査する方法と、試験施工により照査する方法がある。試験施工により照査する場合は、気象条件の影響を考慮するため単年度では必要な検証が十分に行えないため複数年度にわたって調査・検証を実施するとよい。

具体的な照査の事例を付録に示したので、必要に応じて参照すること。

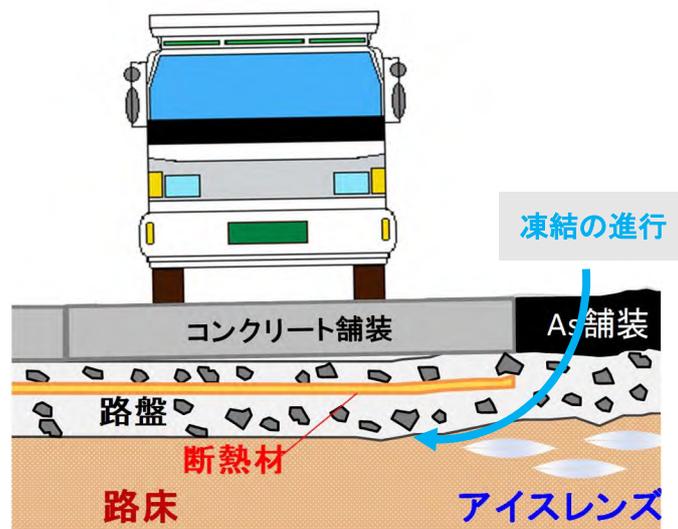


図-3 路肩側から路床へ凍結が進行したことによるコンクリート舗装版の持ち上がり例



写真-1 縦断ひび割れの例

#### 2.4 路盤厚

断熱材および敷き砂の厚さは上層路盤厚に含める。

##### 【解説】

試験施工の結果、断熱材および敷き砂層を上層路盤内に設けた断面においても、設計上必要な路盤厚を確保した舗装断面と同等程度の支持力が得られることから、断熱材および敷き砂の厚さは上層路盤厚に含めることとする。

試験施工箇所におけるFWD計測結果を付録に示す。

## 3章 施工

### 3.1 一般

凍上対策として断熱工法を用いる場合には、施工時における断熱材の損傷の防止、および断熱材上層の品質を確保する観点から断熱材の設置方法を事前に検討する必要がある。

#### 【解説】

計画交通量  $N_6$  以上の路線においては、アスファルト中間層を設ける必要があるためアスファルト混合物舗設時の断熱材への熱の影響を考慮の上、舗装断面を決定する。また、断熱材より上層の施工および品質（締固め度）への影響を考慮して、舗装断面を決定する。さらに、断熱材設置面の不陸による断熱材の損傷、および断熱材への粗粒材等の食い込みによる損傷が懸念される場合には、敷砂による砂層の設置を検討する。

### 3.2 アスファルト中間層舗設時の熱の影響を考慮した上層路盤厚の確保

アスファルト中間層を設ける断面においては、アスファルト混合物舗設時に加熱アスファルト混合物の熱により断熱材が変質しないよう適切な深さに断熱材を設置する必要がある。

#### 【解説】

舗装設計便覧の設計法により舗装構造を決定する場合、計画交通量が  $N_6$ 、 $N_7$  交通においてはアスファルト中間層を設ける必要がある。この場合、加熱アスファルト混合物舗設時に断熱材が変質しないよう、熱の影響を受けない適切な深さに断熱材を設置する。断熱材に応じて耐熱温度が異なるため、使用する断熱材による検証が必要である。

なお、試験施工による検証の結果、アスファルト中間層に密粒度アスコン 13F（ストレートアスファルトベース）を用いる条件において、断熱材上面とアスファルト中間層の間に 10 cm 以上の切込碎石（40 mm 級）の下層路盤層を設けることで、アスファルト中間層舗設時に断熱材の上面温度が  $70^{\circ}\text{C}$  以下となることが確認されている。

### 3.3 施工性・品質確保が可能な上層路盤厚の確保

断熱材の上面は平滑であるため、断熱材の直上の層を施工する時に材料のすべり等が生じ、適切に締固めできない懸念がある。このため、断熱材直上層の必要な層厚を確保する対策が必要である。

#### 【解説】

断熱材の直上層に粒状材料を施工する場合、断熱材上面が平滑なため、粒状材料の層厚が薄い場合は、転圧時にすべり等が生じ、適切な仕上面あるいは締固め度が得られない懸念がある。

試験施工による検証の結果、断熱材直上層に切込砕石（40 mm 級）の粒状材料の層を設けた場合、層厚が 15 cm 以下の条件においては必要な締固め度が得られたが、写真-2 に示すとおり転圧方向に対し垂直方向に材料のすべりに起因されると考えられる筋状の割れが転圧面に確認された。一方、層厚が 20 cm の場合においてはこのような状況は確認されなかった。このことから、断熱材の直上に切込砕石 40 mm 級などの粒状材料の層を設ける場合においては 20 cm 程度の層厚を確保する必要がある。

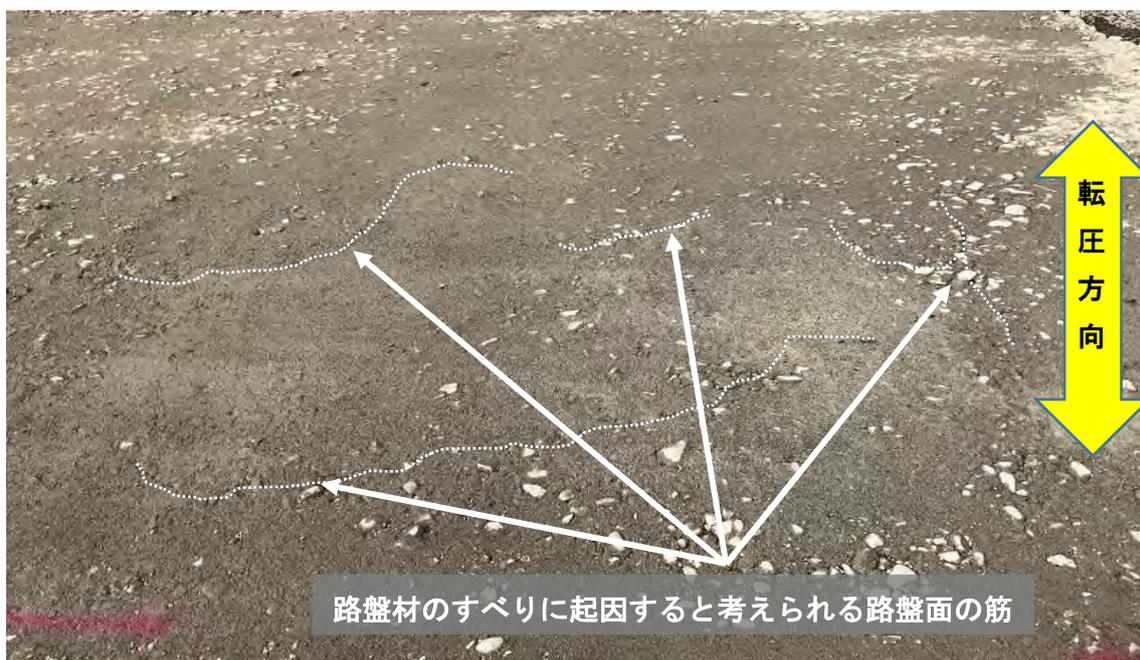


写真-2 路盤状況 (路盤厚 t=15cm)

### 3.4 砂層の有無の判断

施工時および供用時における断熱材の損傷を防ぐため、必要に応じて断熱材の下面、上面に砂層を設ける。

#### 【解説】

断熱材は板状であり、たわみ追従性が低いことから設置面に不陸があると、施工時および供用時の荷重により、断熱材が割れるなどの損傷の要因となる。また、断熱材に面する層の材料が断熱材に食い込み損傷の要因となる可能性がある。

断熱材下層に粒径の粗い材料を用いる場合で、不陸整正を行っても十分に平坦に仕上げることが難しい場合には、厚さ 5 cm の砂層を設ける。

また、断熱材上層に粒径の粗い材料を用いる場合において、材料の食い込みによる断熱材への貫入、もしくは損傷が懸念される場合には、断熱材上面に厚さ 5 cm の砂層を設ける。

## 4章 経済比較

### 4.1 一般

舗装種別の選定にあたっては、既設舗装の補修履歴をもとに、各舗装のライフサイクルコストを算出する。

#### 【解説】

舗装設計にあたっては、交通条件、基盤条件、環境条件、走行性、維持管理、経済性（ライフサイクルコスト）等を考慮し、舗装（アスファルト舗装／コンクリート舗装等）の比較検討のうえ、舗装の種類・構成を決定し、設計するものとする（国土交通省設計業務等共通仕様書）とされている。ここでは、経済性（ライフサイクルコスト）の検討手法について解説する。

### 4.2 ライフサイクルコストの算出

ライフサイクルコストは、アスファルト舗装およびコンクリート舗装の各々について初期コストおよび維持管理コストを適切に計上して算出する必要がある。

#### 【解説】

ライフサイクルコストは、アスファルト舗装およびコンクリート舗装の各々について初期コストおよび維持管理コストを適切に計上して算出する。対象個所の舗装維持修繕工事の履歴を調査し、アスファルト舗装においては、切削オーバーレイ工事等の間隔を把握の上、維持管理コストを計上する。なお、積雪寒冷地におけるコンクリート舗装の耐用年数は明らかとなっていないが、一般国道 231 号石狩市浜益区・増毛町雄冬、一般国道 229 号神恵内村の適切な凍上対策が実施されたコンクリート舗装では、供用後 30～40 年経過後も大きな損傷が生じていないことから 40 年間は修繕の必要がないと仮定することが可能と考える。また、コンクリート舗装の凍上対策については置換工法および断熱工法の 2 種類について比較を行うことが望ましい。

経済比較の具体的な照査の事例を付録に示したので、必要に応じて参照すること。

## 付録 設計事例および断熱効果検証手法

### 1. 一般

既設舗装をコンクリート舗装で打ち換える場合において、凍上対策として、断熱工法の適用を検討した場合の設計事例について概説する。

#### 【解説】

既設舗装の打換えにあたり断熱工法を用いたコンクリート舗装について検討する場合、既設舗装の掘削深さが小さいほど、コスト抑制につながる。このため、各種照査項目を全て満たした上で、断熱材設置深さが最も浅くなる断面を選定する。

### 2. 設計事例（事例 1）

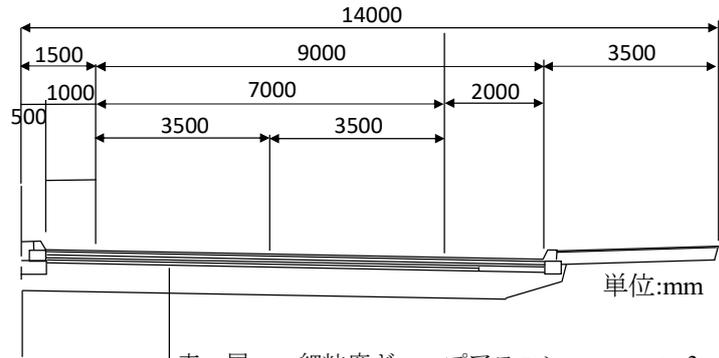
冬期間の路肩の露出が少ない条件における設計事例を以下に示す。

#### 【解説】

以下に、積雪寒冷地の設計事例 ㉒を示す。

#### （事例 1）

既設舗装断面	: 図-4 に示すとおり
既設舗装置換厚	: 84 cm
20 年確率理論最大凍結深さ	: 130 cm
交通区分	: N <sub>6</sub>
道路設計要領によるコンクリート舗装の舗装構成	: コンクリート舗装版厚 28 cm、アスファルト中間層 4 cm
断熱材	: 押出法ポリスチレンフォーム断熱材(XPS) 2 種 bA 熱伝導率 0.034 W/(m・K)以下 圧縮強度 360 kN/m <sup>2</sup> 以上 許容圧縮応力度 180 kN/m <sup>2</sup> 以上 ※圧縮強度の 1/2 耐熱温度 70 °C 厚さ 50 mm、幅 1,000 mm、長さ 2,000 mm
冬期間の路肩の露出	: 少ない



表層	細粒度ギャップアスコン	t= 3cm
旧表層	細粒度ギャップアスコン	t= 4cm
中間層	粗粒度アスコン	t= 5cm
基層	粗粒度アスコン	t= 5cm
上層路盤	アスファルト安定処理	t= 6cm
上層路盤	アスファルト安定処理	t= 6cm
下層路盤	切込碎石40mm級	t=55cm

図-4 既設アスファルト舗装定規図

①アスファルト中間層舗設時の熱の影響より決まる最小上層路盤厚さ

交通区分 N<sub>6</sub> よりアスファルト中間層を設ける必要がある。このため、断熱材とアスファルト層の間に上層路盤を設ける必要がある。

断熱材の上面が、断熱材の耐熱温度以下となるよう上層路盤厚を決定する。予備室内試験より、断熱材の上面温度が耐熱温度以下となる条件を検証した結果、上層路盤の層厚が 10 cm 以上必要となった。

②上層路盤の施工性・品質確保

断熱材の上に上層路盤を設けるため、上層路盤の施工性・品質（締固め度）確保の観点から、層厚を決定する必要がある。本事例では予備試験より上層路盤の層厚が 20 cm 以上必要となった。

③交通荷重に対する照査

断熱材の交通荷重に対する照査を行う。耐力照査に用いる条件は表-1 に示すとおりである。これを式(2)に代入し、式(1)の条件を満たす条件を求める。本事例では、上層路盤厚 20cm の条件で式(1)の条件を満たしたことから、路盤層内の上から 20cm の深さに断熱材を敷設した図-5 の断面にて以下の検証を行う。

<照査結果>

断熱材の許容圧縮応力度  $\sigma_z$  : 180 (kN/m<sup>2</sup>)

断熱材上面での上載物荷重  $\sigma_{z_1}$  :  $23.0 \times 0.28 + 23.5 \times 0.04 + 20.0 \times 0.2 = 11.38$  (kN/m<sup>2</sup>)

断熱材上面での活荷重  $\sigma_{z_2} : \frac{P(1+i)}{(B+2h \tan \theta)(L+2h \tan \theta)}$

$$= \{100 \times (1+0.3)\} / \{(0.5+2 \times 0.52 \times \tan 45^\circ) \times (0.2+2 \times 0.52 \times \tan 45^\circ)\} = 68.08 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_{z_1} + \sigma_{z_2} = 11.38 + 68.08 = 79.46 \text{ (kN/m}^2\text{)} < 180 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$\sigma_z > \sigma_{z_1} + \sigma_{z_2}$  となり、本条件で断熱材は十分な耐力を有する。

表-1 耐力照査

断熱材の許容応力度: $\sigma_z$		180 kN/m <sup>2</sup>
断熱材上面での上載物荷重: $\sigma_{z_1}$		11.38 kN/m <sup>2</sup>
計算条件	コンクリート舗装版密度	23.0 kN/m <sup>3</sup>
	コンクリート舗装版厚	0.28 m
	アスファルト中間層密度	23.5 kN/m <sup>3</sup>
	アスファルト中間層厚	0.04 m
	路盤密度	20.0 kN/m <sup>3</sup>
	路盤厚	0.20 m
断熱材上面での活荷重: $\sigma_{z_2}$		68.08 kN/m <sup>2</sup>
計算条件	輪荷重: $P$	100 kN
	車輪輪体幅: $B$	0.5 m
	車輪接地長: $L$	0.2 m
	路面から評価面までの深さ: $h$	0.28 + 0.04 + 0.20 = 0.52 m
	舗装部の荷重分散角: $\theta$	45°
	衝撃係数: $i$	0.3
$\sigma_{z_1} + \sigma_{z_2}$		79.46 kN/m <sup>2</sup>
判定		$\sigma_z > \sigma_{z_1} + \sigma_{z_2}$ 【OK】

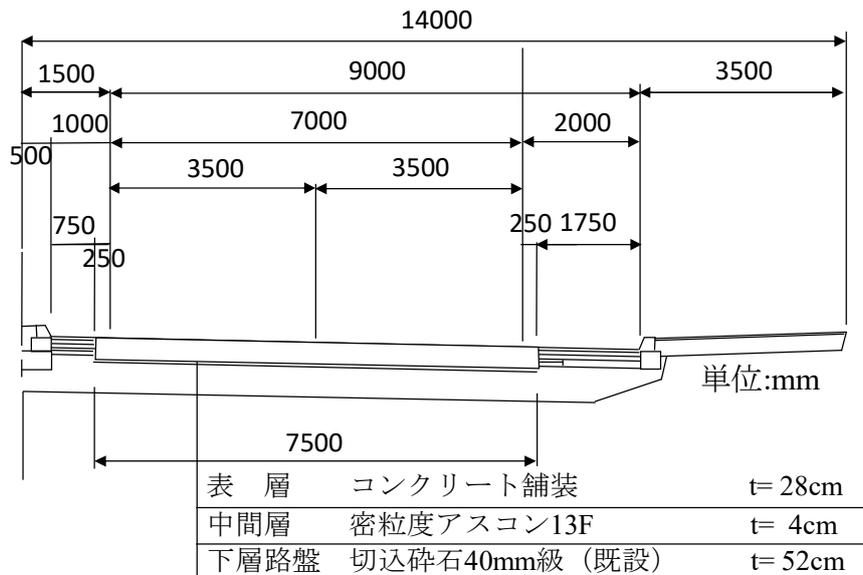


図-5 舗装断面

#### ④断熱性能の照査

断熱性能の照査を解析で行う場合には、熱伝導解析が有効となる。市販の熱伝導解析ソフトウェア<sup>3)</sup>にて、**図-5**に示す断面をモデル化した事例を以下に示す。

照査に用いた各材料の熱定数<sup>4)</sup>は**表-2**に示すとおりであり、モデルは地表面から5mの深さまでとしている。熱伝導解析にはモデル上・下面の温度を設定する必要があり、本事例では上面にあたる路面温度を近傍 AMeDAS の外気温<sup>5)</sup>を代用し、下面温度（地中5mの深さ）の温度は、**表-3**に示す既往の温度計測事例<sup>6)</sup>より季節変動が少ないことから、設計対象箇所にもっとも近い観測点の平均地中温度を固定値として採用している。

気象条件については、過去20年間で最も凍結指数の大きい年度の冬期間の外気温データ<sup>5)</sup>を路面温度として入力し、0℃線の深さを1時間毎に求め、最も0℃線が深くまで達した時間帯において評価を行った。なお、本事例で対象とした地域は冬期間の積雪量が多く、厳冬期に路肩が堆雪により覆われている箇所であるため、路肩側からの凍結の回り込みについての検証は実施していない。

熱伝導解析の結果が**図-6**に示すように得られる。断熱材深さで0℃線が抑えられる結果が得られることを確認し、0℃線が断熱材よりも下方になった場合は、断熱材の種類、厚さ、設置深さを再検討することとなる。本事例では**図-5**の断面で0℃線が断熱材の埋設深さ以内に抑えられる結果が得られたことから以下の検討に進んだ。

表-2 各材料の熱定数<sup>4)</sup>

材料名	乾燥密度	含水比	熱伝導率	熱容量	融解潜熱
	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	w (%)	$\lambda$ (W/m・K)	$Q$ ×10 <sup>6</sup> (J/m <sup>3</sup> ・K)	L ×10 <sup>6</sup> (J/m <sup>3</sup> )
コンクリート	2.30	—	0.938	2.009	0.0
アスファルト混合物	2.35	—	1.448	1.875	0.0
切込砕石	2.00	7.0	2.132	1.737	33.5
砂	1.65	15.0	1.969	1.951	82.9
断熱材 (EXP)	-	—	0.033	0.045	0.0
A曲線細粒度	1.20	50.0	1.574	2.738	200.9

表-3 地中温度<sup>6)</sup>

	網走	旭川	札幌	帯広	釧路	根室	浦河	函館
期間最大値(℃)	9.4	11.0	10.5	10.6	9.0	9.0	10.9	12.6
期間最低値(℃)	7.6	7.8	7.0	7.1	7.0	6.6	7.5	9.1
最大値-最低値(℃)	1.8	3.2	3.5	3.5	2.0	2.4	3.4	3.5
期間平均値(℃)	8.5	9.3	8.9	8.7	8.0	7.8	9.4	10.9

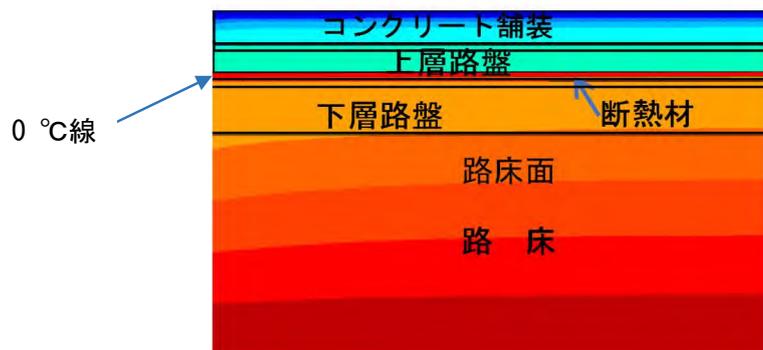


図-6 熱伝導解析結果

#### ⑤経済比較

経済比較を行うため、既設舗装のアスファルト混合物層を①20年確率理論最大凍結深さである130cmまで非凍上性の材料で置き換え、コンクリート舗装で打換えた条件、②断熱工法を用いてコンクリート舗装に打換えた条件、③アスファルト舗装にてアスファルト混合物層全層打換えた場合、および④アスファルト舗装の表層の切削オーバーレイを行う条件の工事費を算出した。本事例で使用するライフサイクルコストの算出条件は以下に示すとおりである。

#### <算出条件>

既設舗装修繕工事間隔	: 約10年（切削オーバーレイ）
車線数	: 2車線（幅員：3.5m×2車線=7.0m）
対象延長	: 200m
工事費計算	: 2020年度単価・直接工事費ベース

初期コスト（工事費）の算出例を図-7に示す。コンクリート舗装で打換える場合、②の断熱工法は①の置換工法と比較してコストが約3割抑制される結果となっている。一方、コンクリート舗装とアスファルト舗装で打換えた場合を比較すると、②の断熱工法は、③のアスファルト舗装打換えと比較して約5.5割のコスト増となっている。

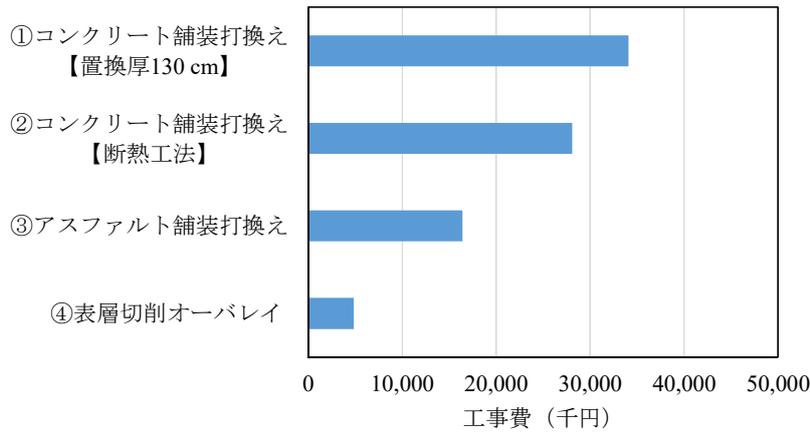


図-7 初期コスト（工事費）の算出例

次に、ライフサイクルコスト（工事費＋維持管理費）の算出例を図-8 に示す。当該箇所の既設舗装修繕工事間隔は約 10 年であることから、アスファルト舗装については 10 年間隔で④切削オーバーレイ費用を計上した。コンクリート舗装については、コンクリート舗装は供用後 30～40 年程度経過しても良好な供用性状を維持していることが報告されていることから、40 年間修繕工事を要しない条件とした。この結果、②断熱工法を用いたコンクリート舗装のライフサイクルコストが、30 年後にアスファルト舗装のそれを下回る結果となり、この条件下では、②の舗装構成が採用となる。

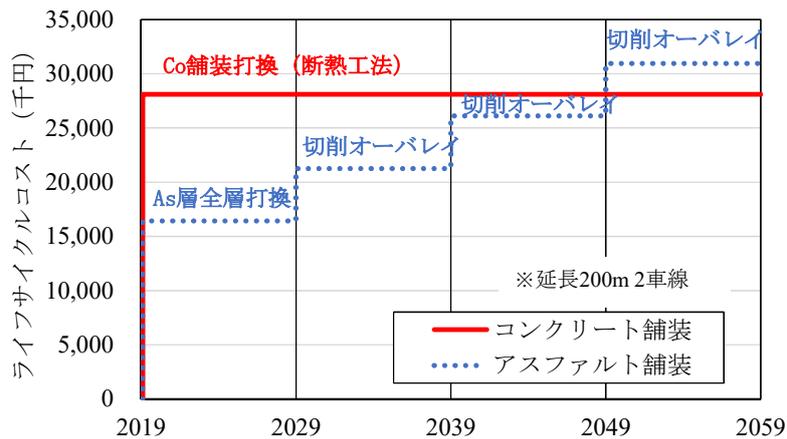


図-8 ライフサイクルコスト（工事費＋維持管理費）の算出例

⑥断熱性能の現場検証

断熱性能の検証を試験施工で実施する場合には、熱電対温度計を用いた計測法が有効となる。試験舗装を設け、深さ別の舗装体温度を計測した事例を以下に示す。

図-9 は図-5 に示した断面を試験的に施工した工区に（以下、断熱工区）と図-10 に示すCo舗装断面を施工した工区（以下、比較工区）において、3冬期間の舗装体温度を計測し、最も深くまで0°C線が浸入した時刻の温度分布を整理したものである。

比較工区では最大-100cm以上の深さまで0°C線が浸入しているが、断熱工区では3ヶ年も断熱材を配置した深さより深くはプラス温度であり、必要な断熱性能が得られていると判断できる。

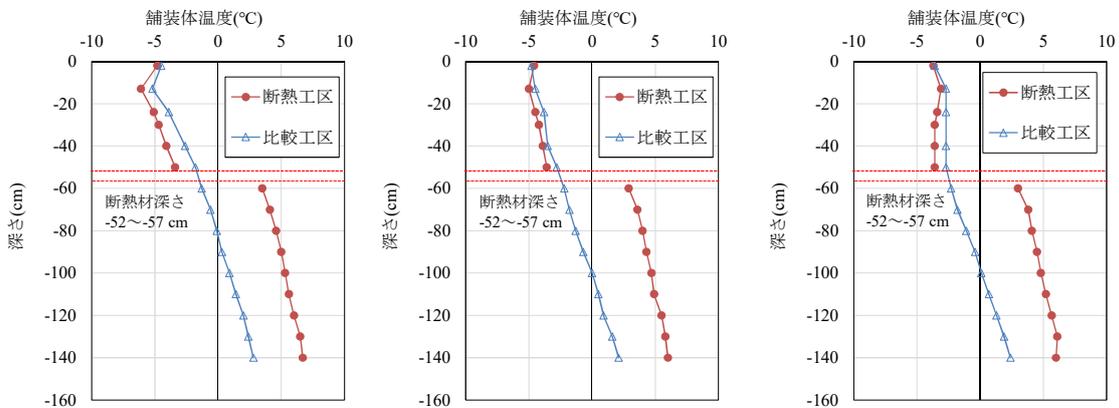


図-9 最大凍結深さ観測時の舗装体温度分布(左:2019年度、中央:2020年度、右:2021年度)

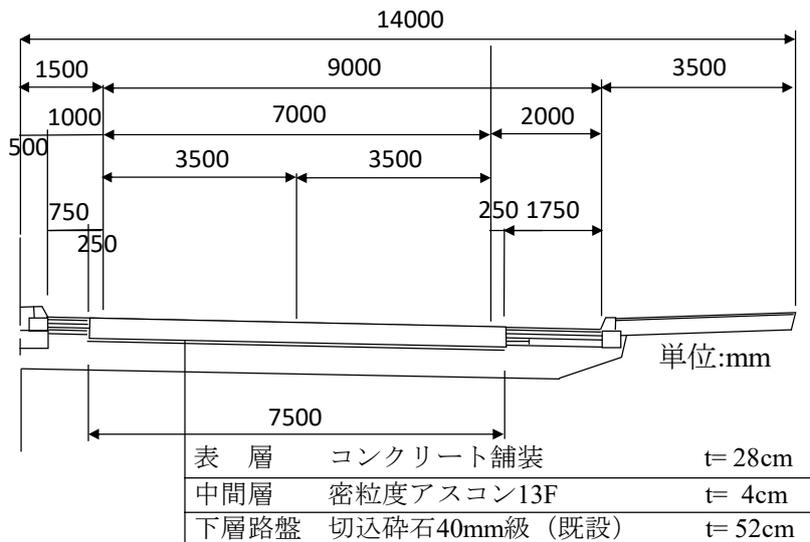


図-10 比較工区舗装断面

⑦支持力の現場検証

図-11 は断熱工区、および断熱工区において、FWD試験を実施しコンクリート舗装版版中央の  $D_0$  たわみ用を3ヶ年計測した結果を示す。断熱工区において経年的な支持力の低下が生じておらず、断熱工区と比較工区の  $D_0$  たわみ量に大きな差はない。このことから、路盤内に断熱層  $t=5\text{cm}$  および敷砂  $t=5\text{cm}$  を設けてもコンクリート舗装の支持力に大きな影響を与えないと判断される。

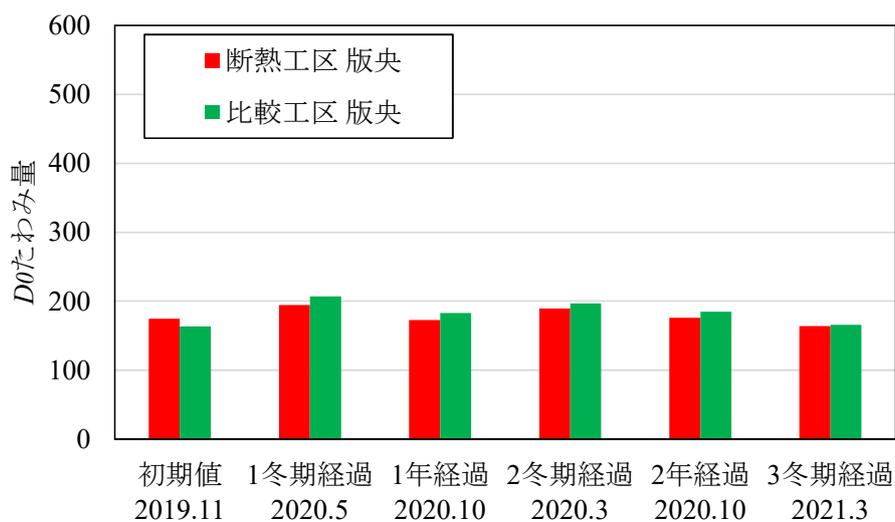


図-11  $D_0$  たわみ量

3 設計事例 (事例 2)  
 冬期間の路肩の露出が多い条件における設計事例を以下に示す。

【解説】

以下に、寒冷少雪地域の設計事例 7 を示す。

(事例 2)

- 既設舗装断面 : 図-12 に示すとおり
- 既設舗装置換厚 : 101 cm
- 20 年確率理論最大凍結深さ : 160 cm
- 交通区分 : N<sub>6</sub>
- 道路設計要領によるコンクリート舗装の舗装構成 : コンクリート舗装版厚 28 cm、アスファルト中間層 4 cm
- 断熱材 : 押出法ポリスチレンフォーム断熱材 (XPS) 2 種 bA  
 熱伝導率 0.034 W/(m・K)以下  
 圧縮強度 360 kN/m<sup>2</sup> 以上  
 許容圧縮応力度 180 kN/m<sup>2</sup> 以上 ※圧縮強度の 1/2  
 耐熱温度 70 ℃  
 厚さ 50 mm、幅 1,000 mm、長さ 2,000 mm
- 冬期間の路肩の露出 : 多い

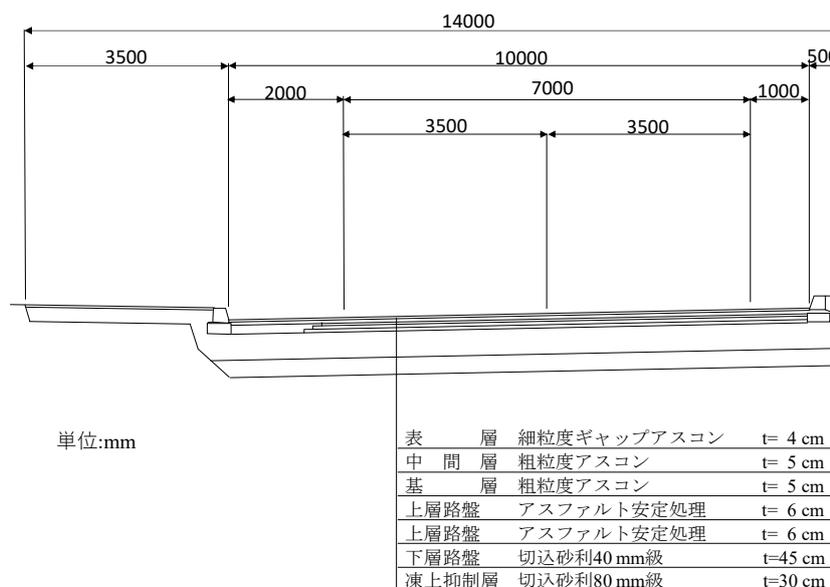


図-12 既設アスファルト舗装定規図

①アスファルト中間層舗設時の熱の影響より決まる最小上層路盤厚さ  
事例1と同条件。

②上層路盤の施工性・品質確保  
事例1と同条件。

③交通荷重に対する照査  
事例1と同条件。

④断熱性能の照査

本事例で対象とする地域は冬期間の積雪量が少なく、厳冬期においても路肩が露出している箇所であるため、路肩側からの凍結の回り込みについての検証を行った。

事例1と同様の手法で熱伝導解析を実施した結果、図-13に示すように断熱材を設置していない図中左側のアスファルト舗装下では、図中赤線の0℃線が路床まで達し、アスファルト舗装とコンクリート舗装の境界位置においても、コンクリート舗装版下の下層路盤および路床に0℃線が入っている。

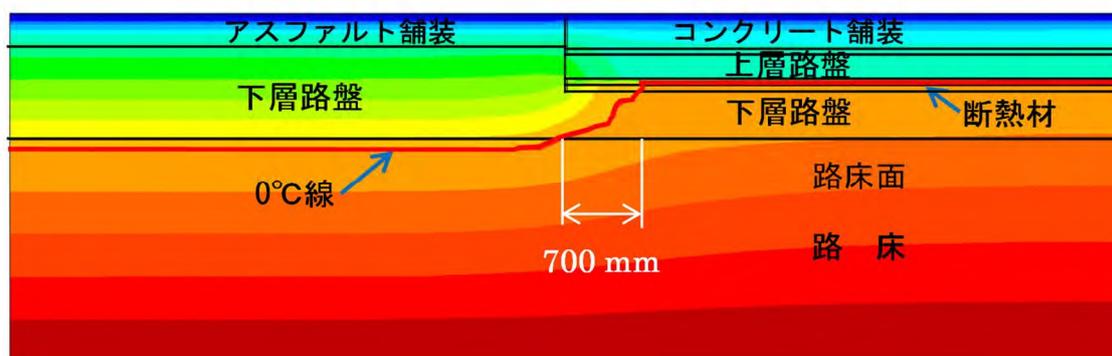


図-13 熱伝導解析結果(断熱材設置幅=コンクリート舗装版幅)

図-13における凍結の回り込み幅は約700 mmであることから、この幅以上に断熱材の設置幅を延伸し、再度熱伝導解析を行った。断熱材設置幅を変更した解析結果を図-14に示す。コンクリート舗装版下の下層路盤および路床内に0℃線が入っていないことから、断熱材を用いたコンクリート舗装の断面は図-15に示すとおりとなる。なお、本事例では断熱材の延伸幅は施工を考慮し、歩道側は集水桝前面までの1,000 mm、中央分離帯側は縁石基礎コンクリート前面までの710 mmとしている。

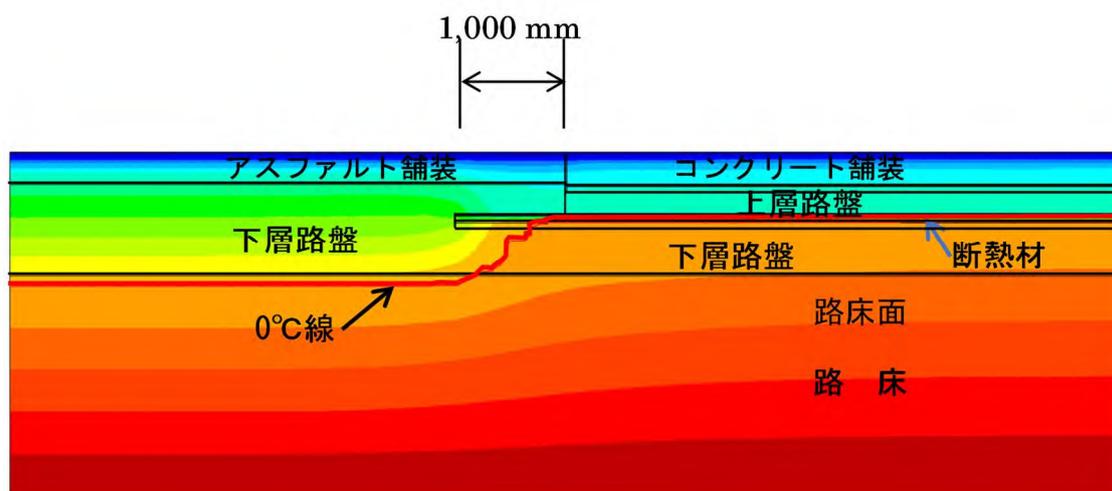


図-14 熱伝導解析結果(断熱材設置幅延伸)

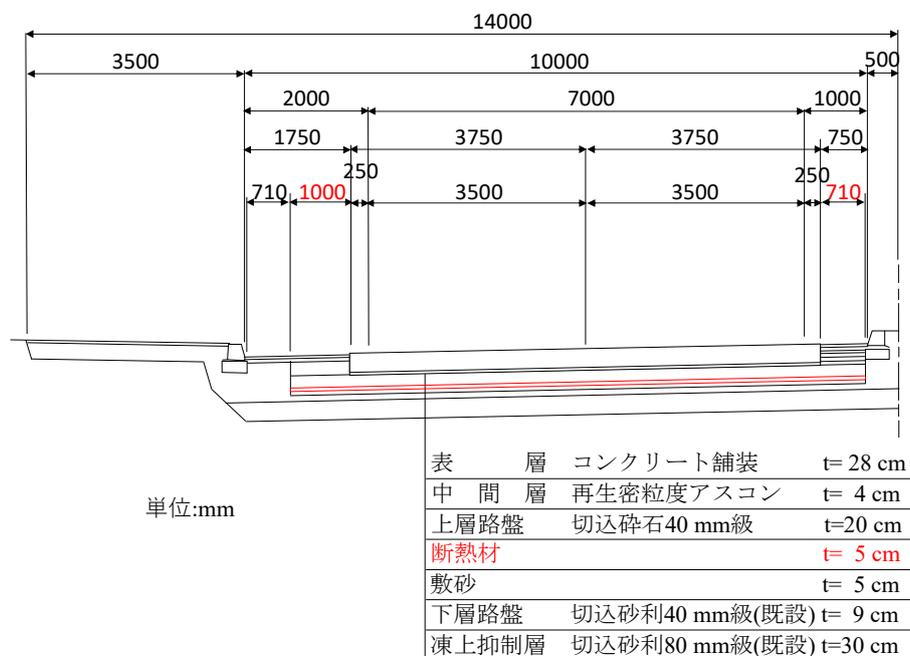


図-15 試験施工断面

⑤断熱性能の現場検証

断熱性能の検証を試験施工で実施する場合には、熱電対温度計を用いた計測法が有効となる。試験舗装を設け、深さ別の舗装体温度を計測した事例を以下に示す。

図-16は図-15に示した断面を試験的に施工した工区に（以下、断熱工区）と図-17に示すC0舗装断面を施工した工区（以下、比較工区）において、3冬期間の舗装体温度を計測し、最も深くまで0°C線が浸入した時刻の温度分布を整理したものである。

比較工区では最大-100cm以上の深さまで0°C線が浸入しているが、断熱工区では2ヶ年とも断熱材を配置した深さより深くはプラス温度であり、必要な断熱性能が得られていると判断できる。

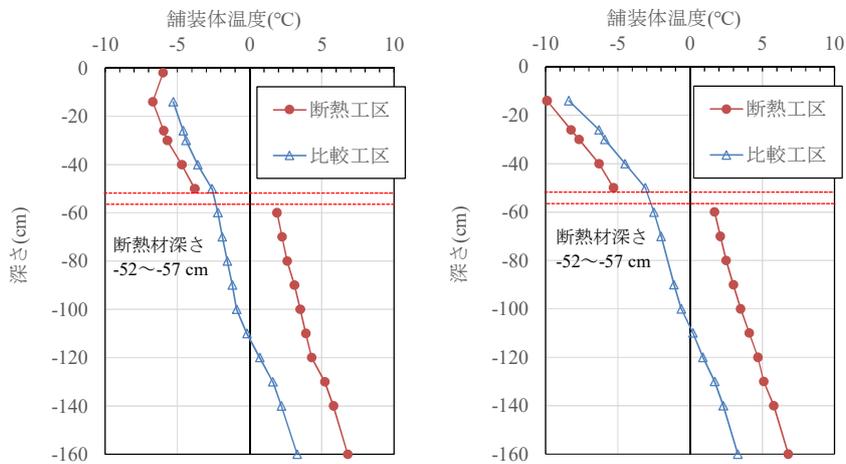


図-16 最大凍結深さ観測時の舗装体温度分布(左:2020年度、右:2021年度)

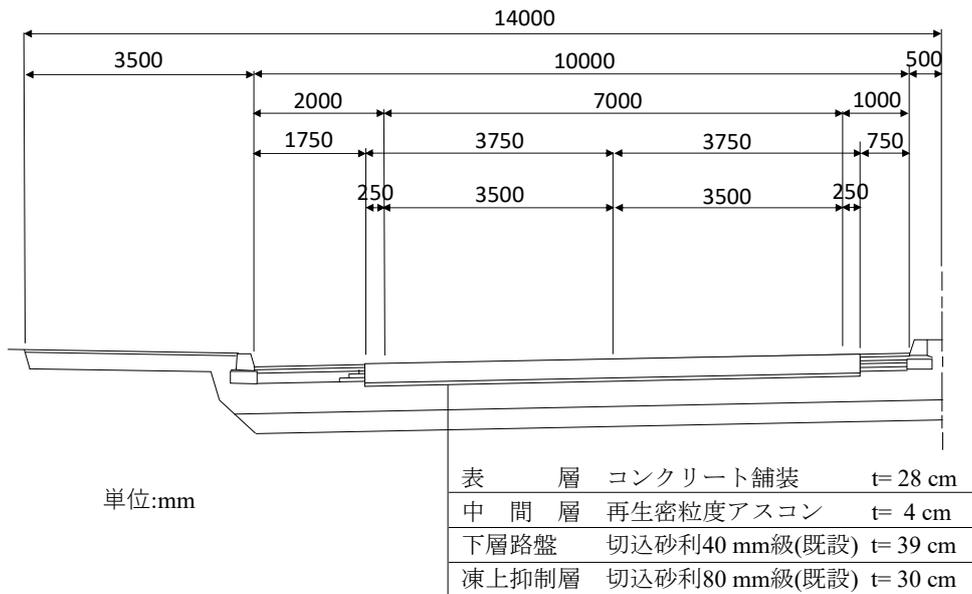


図-17 比較工区舗装断面

⑥支持力の現場検証

図-18 は断熱工区、および断熱工区において、FWD試験を実施したコンクリート舗装版中央の  $D_0$  たわみ用を2ヶ年計測した結果を示す。断熱工区において経年的な支持力の低下が生じておらず、断熱工区と比較工区の  $D_0$  たわみ量に大きな差はない。このことから、路盤内に断熱層  $t=5\text{cm}$  および敷砂  $t=5\text{cm}$  を設けてもコンクリート舗装の支持力に大きな影響を与えないと判断される。

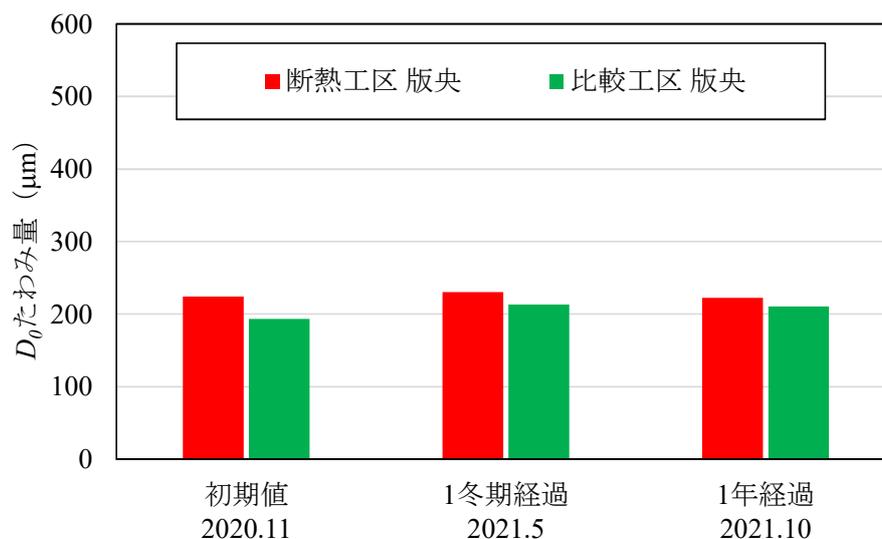


図-18  $D_0$ たわみ量

#### 4 試験施工による断熱効果検証手法

試験施工において検証を行う場合は、断熱材以深への凍結の侵入の有無、凍上の発生の有無を検証する。

##### ①埋設機器を用いた凍結深さの計測方法

凍結深さの計測は、メチレンブルー凍結深度計や、凍結を電気特性で判定する手法、および舗装体温度を計測する手法がある。

熱電対温度計を用いて凍結深さを検証する場合、計測期間において断熱材の深さ以深で0℃以下の値が確認されなければ、断熱効果が十分に得られたと評価できる。

##### ②凍上量計測

凍上量計測については、秋期の路面高さと凍上量が最大となることが想定される時期に路面高さをレベル測量にて計測し、その差より計測する手法が一般的である。

凍上量測定では秋期の路面高さと凍上量が最大となることが想定される時期に計測した路面高さの差で評価する。なお、凍上は均一に生じるとは限らないため、コンクリート舗装版上の横断方向および縦断方向の複数の点で高さ計測を行うとよい。また、北海道地域で凍上量が最大となる時期は2月下旬～3月上旬が一般的であるため、この時期に少なくとも2回以上計測を行うとよい。

##### ③その他留意事項

気象条件は年度によって大きく変動することから、上記の検証は最低3年程度実施することが望ましい。

## 参考文献

- 1) 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）を用いた超軽量盛り土工法－、理工図書、pp.41-42、p.83、pp.89-93
- 2) 上野千草、滝沢真吾、丸山記美雄、断熱工法を用いた既設アスファルト舗装のコンクリート舗装への打換え、第64回（2020年度）北海道開発技術研究発表会論文、管-27、2021.2
- 3) 地層科学研究所：2次元熱伝導解析ソフトウェアG-HEAT/2D
- 4) 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：寒冷地地盤工学、p. 48、2009.
- 5) 気象庁ホームページ：<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 6) 農林水産省：地中温度等に関する資料、農業気象資料、第3号、1982.
- 7) 岡本友斗、上野千草、斉藤直之：寒冷少雪地域における断熱工法を用いたコンクリート舗装の施工事例、第64回（2020年度）北海道開発技術研究発表会論文、管-24、2021.2