

コンクリート舗装における 断熱工法の導入事例および性能評価について

函館開発建設部 函館道路事務所 第1工務課

○石垣 春季

山崎 周

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

一般国道227号北斗市本郷地区において、舗装の劣化に伴いアスファルト舗装よりも高耐久なコンクリート舗装による打換え工事を実施した。

本工事の施工に際し、路盤層下に断熱材を設置する断熱工法を実施し、温度計測等により断熱工法の性能確認を行ったため、施工の実施状況および計測結果について報告する。

キーワード：コンクリート舗装、断熱工法、LCC

1. はじめに

一般国道227号北斗市本郷地区では既設アスファルト（以下A s）舗装の修繕として、コンクリート（以下C o）舗装による舗装打替え工事を令和4年度に実施している。

一般的にA s舗装による修繕に比べC o舗装は、高耐久となるが、高コストであり、また施工期間が長くなることから補修工事への適用性が低く、採択されづらい補修工法となっている。

コスト及び施工期間が増加する要因としては、コンクリートの養生期間が必要である点や、既設A s舗装の路盤構成ではC o舗装の置換厚を満足せず、既設路盤層よりさらに下面を掘り込む必要が生じてしまう点が挙げられる。

そこで、本現場では凍上抑制層を断熱性の高い材料に置き換え、凍上抑制層の掘削土量を削減する「断熱工法」を導入することで、施工コスト及び工事期間の削減を図った。

また、断熱工法の施工後の性能調査として、舗装体温度測定、FWD調査を実施し、断熱工法におけるC o舗装が要求される性能を十分に発揮できているか確認した。

2. 断熱工法の導入

(1)断熱工法導入箇所の概要

一般国道227号は函館市から檜山郡江差町に至る全長69.8kmの一般国道である。

本工事の実施箇所である北斗市本郷地区は、舗装の劣化損傷により、舗裝修繕が必要な区間であり、C o舗装の現場適用性が高いことから、A s舗装からC o舗装による打換え工事を実施することとなった。

A s舗装の凍上を抑制するための置換厚は、理論最大

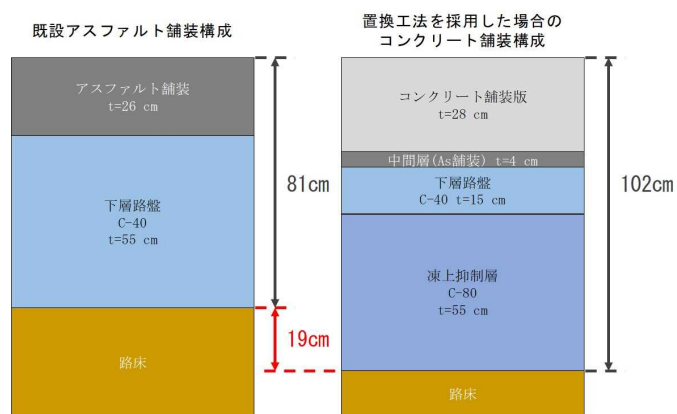


図-1 舗装断面

凍結深さに対し置換率70%を乗じた値とすることとなっているのに対し、C o舗装は理論最大凍結深さに対し置換率100%の値を採用することとなっている¹⁾。

したがって、既設A s舗装からC o舗装への打換えを行なう場合、既設路盤構成では置換厚を満足しない場合がある。本現場でC o舗装による置換工法を実施する場合、凍上抑制層の不足を補うため、図-1に示すように凍上抑制層を含む既設舗装最下面から19cm掘削する必要がある。

そこで、凍上抑制層の掘削土量を削減することが可能な断熱工法に着目し、施工コスト及び工事期間の削減を図った。

(2)舗装断面検討

断熱工法を用いたC o舗装の舗装構成を決定するにあたり、断熱材の耐力および断熱性能をそれぞれ評価した。

a)断熱材の耐力

断熱材自体の損傷及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、(1)、

(2)式による断熱材の交通荷重に対する耐力照査を行った²⁾。

照査条件および照査結果を表-1に示す。

照査の結果、下層路盤下に断熱材を配置した際の荷重応力が、断熱材の許容応力度を超えないことを確認した。

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

σ_z : 断熱材の許容応力度 (kN/m²)

σ_{z1} : 断熱材上面での上載物荷重 (kN/m²)

σ_{z2} : 断熱材上面での活荷重 (kN/m²)

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

P : 輪荷重 (kN)

B : 車輪輪体幅 (m)

L : 車輪接地長 (m)

h : 路面から評価面までの深さ (m)

θ : 舗装部の分散角 (°)

i : 衝撃係数

b) 断熱材の断熱性能

凍上による舗装版の損傷の恐れを回避するため、当該現場の舗装断面モデルにおいて、熱伝導解析によるシミュレーションを実施し、断熱材の断熱性能を評価した。

熱伝導解析には2次元熱伝導解析ソフトウェアG-HEAT/2Dを用いた³⁾。

解析結果を図-2に示す。図-2のように、断熱材を路肩側へ25cm広げることで、舗装版下に0℃線が入ることを回避でき、C o 舗装版下での凍上を抑制することができる。

(2) 置換工法との比較

当現場における断熱工法を用いたC o 舗装の断面構成を図-3に示す。

置換工法を用いた場合、既設舗装の掘削深さは102 cmとなり、断熱工法を用いた場合切削深さは62 cmとなり、掘削深さを40cm削減することができることが分かった。

ここで、令和3年度に施工した置換工法を用いたコンクリート舗装工事と、令和4年度に施工した断熱工法を用いた舗装工事の施工費および施工期間の比較を行った結果を表-2に示す。

置換工法と比較して断熱工法は、施工費が約7%縮減され、施工期間は19日間短縮される結果となった。この結果から、既設アスファルト舗装をコンクリート舗装へ更新する場合における凍上対策として、掘削深さに40 cm程度の差がある場合では、断熱工法が有利となることが分かった。

(3) 断熱材の敷設状況

断熱材の敷設状況を写真-1に示す。

表-1 交通荷重に対する耐力照査

断熱材の許容応力度: σ_z		180kN/m ²
上載物荷重: σ_{z1}		11.34kN/m ²
計算条件	コンクリート舗装版層密度	23.0kN/m ³
	コンクリート舗装版層厚	28cm
	アスファルト混合物層密度	22.5kN/m ²
	アスファルト混合物層厚	4cm
	上層路盤密度	20.0kN/m ³
	上層路盤厚	20cm
交通荷重: σ_{z2}		68.06kN/m ²
計算条件	輪荷重: P	100kN
	車輪輪体幅: B	0.5m
	車輪接地長: L	0.2m
	表下面までの深さ: h	0.52m
	舗装部分散角: θ	45°
	衝撃係数: i	0.3
$\sigma_{z1} + \sigma_{z2}$		79.42kN/m ²
判定【OK】		180kN/m ² > 79.42kN/m ²

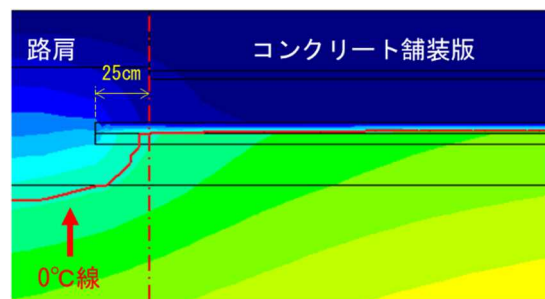


図-2 熱伝導解析結果

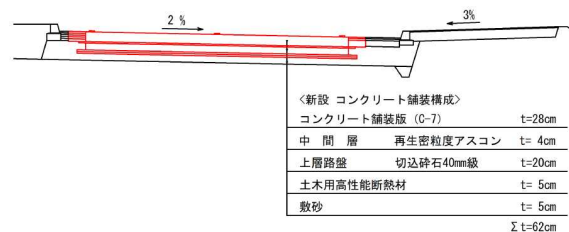


図-3 断熱工法を用いたコンクリート舗装構成

表-2 各工法による施工費と施工期間の比較

	置換工法	断熱工法	備考
施工コスト	1	0.93	置換工法を1とした場合
施工期間	-	-19日	置換工法を基準とした場合



写真-1 断熱材敷設状況

3. 性能調査概要

断熱材の不陸整正のため、敷砂を敷設後、断熱材を人力で敷設している。

断熱工法の断熱性能及び舗装構造性能の確認のため、「舗装体温度測定」、「FWD調査」をそれぞれ実施した。調査内容及び調査位置を図-4に示す。

(1) 舗装体温度測定

本現場のC o 舗装の路盤層及び路床に熱電体温度計を埋設し、舗装体の温度測定を実施した。(写真-2、図-5)

これにより、冬期間に 0℃以下となった深さを計測することで、断熱材の敷設効果を検証することができる。

(2) FWD調査

車載式FWD装置(写真-3)を用いて、C o 舗装中央の荷重位置直下のたわみ量(D_0)を計測し、舗装体の支持力を計測する。

また、C o 舗装目地部の健全度を評価するため、図-6に示すように目地縁部でたわみ量を計測し、荷重を落としたコンクリート舗装版の荷重位置直下のたわみ量と、荷重位置から 30cm 離れた荷重を落としていない側のC o 舗装版のたわみ量を計測し、(3)式により荷重伝達率を求める⁴⁾。

$$E_{ff} = D_{30} \div \{(D_0 + D_{30}) \div 2\} \times 100\% \quad (3)$$

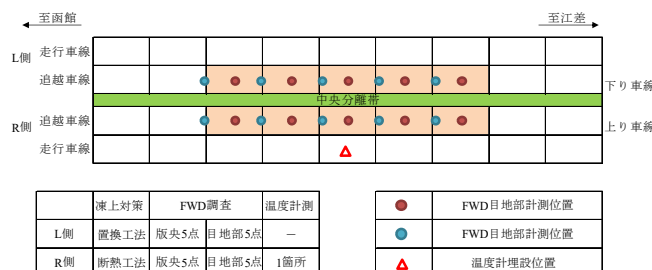


図-4 調査内容及び調査位置



写真-2 熱電対温度計設置状況

E_{ff} : 荷重伝達率

D_0 : 荷重点直下のたわみ量

D_{30} : 荷重点直下から 30cm の位置のたわみ量

調査は図-6 に示すようにC o 舗装施工区間内の舗装版 5 スパンを対象とし、令和 4 年度に断熱工法にて施工した区間 (R側車線) と、比較対象として、令和 3 年度に置換工法にて施工したC o 舗装区間 (L側車線) の 2 区間を調査した。

両区間の荷重伝達率を比較することにより、断熱工法におけるC o 舗装の荷重伝達機能が正常に作用しているかを検証することができる。



図-5 熱電対温度計設置深さ



写真-3 FWD調査状況

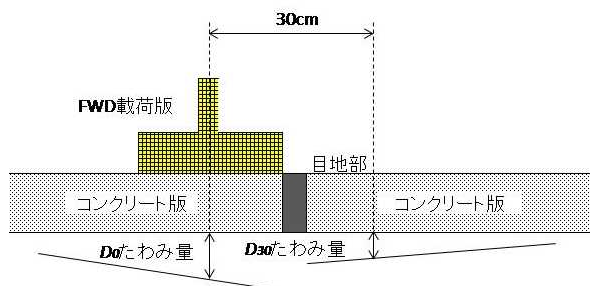


図-6 荷重伝達率の計測⁴⁾

4. 調査結果

(1) 舗装体温度測定結果

温度計測結果を図-7 に示す。断熱材上面の-520mm 以浅では、冬期間に 0℃以下の温度が計測されており、凍結が入ったと判断される。一方、断熱材下面以深では、冬期間も 0℃以上の温度を示しており、断熱材下面以深での凍結は起こっていないと判断される。

最も凍結が厳しかったと判断される令和4年1月31日14時の深さ方向の温度分布を図-8 に示す。-370mm では-6.9℃、断熱材上面では-5.8℃が観測されている。一方、断熱材下面以深での-62cm では+4.8℃、路床深さは+6℃以上と凍上の恐れのないことが確認でき、断熱材による断熱効果が想定通り発揮されているものと思われる。

(2) FWD調査結果

a) 舗装体支持力比較

C o 舗装版中央のD₀たわみ量を図-9 に示す。

C o 舗装版中央におけるD₀たわみ量は両工区とも同等の値を示しており、現時点において同等の支持力が得られていると判断できる。

b) 荷重伝達率比較

C o 舗装目地部の荷重伝達率を図-10 に示す。

荷重伝達率は両工区とも 80 %以上の値を示しており、現時点において荷重伝達機能が有効に作用していると判断できる。

5. まとめ

今回行った調査により、断熱材の断熱効果が十分に発揮されており、支持力についても問題なく得られていることが分かった。

断熱工法は掘削土量を削減することで、全体の施工コスト・工期削減を図ることのできる工法であるが、施工地域によっては断熱材の施工幅員が大きくなり、コスト増加となる場合が考えられるので、採用を検討する際は十分に注意すべきである。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領，第1集道路，p.1-5-3, p1-5-65, 2022.
- 2) 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, 1993.
- 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 土木学会：舗装工学ライブラリー2 FWDおよび小型FWD運用の手引き，p.56, 2002.

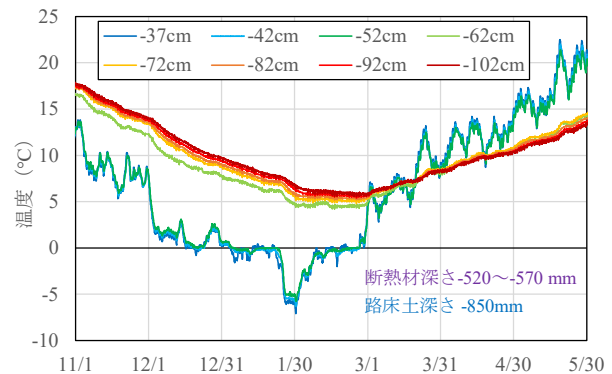


図-7 温度測定結果

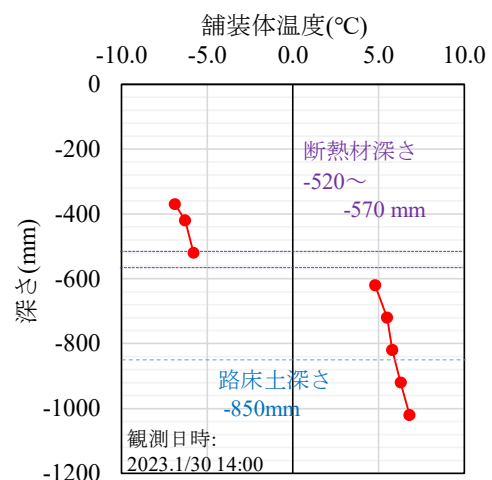


図-8 2023年1月31日14時の深さ方向の温度分布

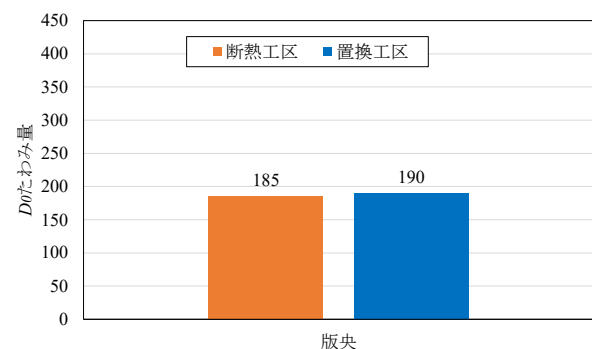


図-9 Co 舗装版中央のD₀たわみ量 (2022. 10. 28)

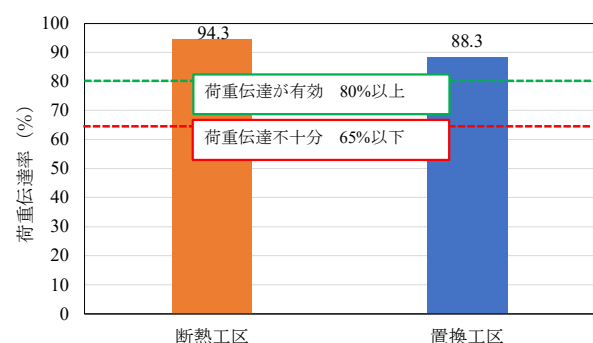


図-10 コンクリート舗装目地部の荷重伝達率 (2022. 10. 28)