

炭素繊維を用いたロードヒーティング工法の研究開発

奥田 広行¹ 久保 光²

¹福井県工業技術センター 建設技術研究部 (〒910-0102 福井県福井市河合鷺塚町61字北稲田10)

²福井県嶺南振興局小浜土木事務所 (〒917-0241 福井県小浜市遠敷1丁目101)

道路の雪対策において、路面の融雪や凍結防止にはロードヒーティング工法が有効とされている。そこで本研究では、福井県の産業技術である繊維を活用した融雪・凍結防止技術として、炭素繊維シートを用いたロードヒーティング工法の開発を行った。面状発熱体の実用的な性能として、交流200Vでの発熱量 $250\text{W}/\text{m}^2$ 以上を満足するか否かを室内試験にて確認した。その結果、炭素繊維シート(混綿不織布)のほとんどで、発熱量 $250\text{W}/\text{m}^2$ 以上が得られることを確認した。また、炭素繊維を用いたロードヒーティング工法の施工性と効果を確認する現場試験を行った結果、舗設施工性を満足していることや交流200Vにて発熱量 $250\text{W}/\text{m}^2$ 以上得られること等を確認した。

キーワード 炭素繊維シート ロードヒーティング 凍結防止

1. はじめに

道路の雪対策は、除雪対策、凍結防止対策、防雪対策および情報対策に大別される。このうち、消・融雪施設は、除雪対策および凍結防止対策として運用されており、機械除雪や散布車による凍結防止剤散布など移動作業による対策手法とは異なり、流雪溝と同様に固定施設による対策手法に分類される。

ロードヒーティング工法は、無散水融雪施設の一つであり、「道路の融雪及び凍結防止のため路面に熱供給を行う施設」のことである。無散水融雪施設は、路面に散水することなく融雪・凍結防止対策を図れることから、歩行者の利便性や快適性を確保できる冬期バリアフリー対策として適用されるようになってきている。従来の電熱方式によるロードヒーティング工法は、特殊な舗装材の下部に放熱管を埋設し、線状発熱体によって路面の融雪・凍結防止を図るため、路面まで熱が伝わりにくいことや路面均一に熱が伝わりにくいなどの課題がある。

そこで本研究では、炭素繊維シートを通常の舗装材の内部に敷設することにより、路面まで熱を伝わりやすくすることや、面状に発熱させることで路面均一に熱が伝わり溶けむらが無くなることにより省力化も期待できる融雪・凍結防止技術の開発を目的とした。

2. 室内試験¹⁾²⁾

2.1 炭素繊維材料

工場で、生産可能な最低目付量を想定し炭素繊維80%・ポリアミド20%・目付量 $80\text{g}/\text{m}^2$ の炭素繊維シート(混綿不織布)を選定した。

2.2 引張接着試験

引張接着試験は、炭素繊維シートと舗装の密着性を評価するため行った。試験方法は道路橋床版防水便覧³⁾に準拠した。供試体作製は、マーシャル安定度試験に使用する内径101.6mm円筒形で高さ63.5mmの供試体を締固めることのできるモールドを使用した。引張接着強度は次式により算出した。

引張接着強度(N/mm^2)=最大荷重(N)/接着面積(mm^2)

引張接着強度の合否判定は、道路橋床版防水便覧¹⁾を参考に $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ とした。

図-1は、引張接着試験結果を示す。いずれの供試体の引張接着強度も合否判定値の $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ より大きかった。このことから、あらかじめ炭素繊維シートに乳剤を塗布することにより、アスファルト混合物と炭素繊維シートの密着性が確保できることが分かった。

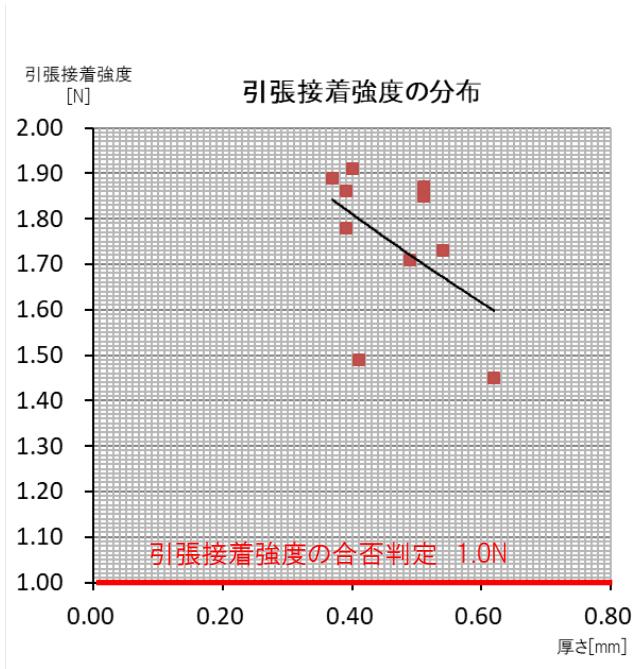


図-1 引張接着試験結果

2. 3 導電加熱試験

北陸地方では、融雪に必要とされる発熱量の目安として、 $250\text{W}/\text{m}^2$ 以上が採用されている。また、福井県内のロードヒーティング工法の多くは、商用電力として供給されている交流 200V の電圧にて運用されている。

そこで本研究では、面状発熱体の性能として、交流 200V での発熱量 $250\text{W}/\text{m}^2$ 以上が得られるかを、複数の炭素繊維シートを対象に室内試験にて確認することとした。

図-2は、目標抵抗値と測定抵抗値の関係を示す。炭素繊維とポリアミドの混合割合（重量比）によって発熱量に変化が見られたが、ほとんどで目標抵抗値を下回る結果が得られ、発熱量 $250\text{W}/\text{m}^2$ 以上が得られることを確認できた。

この結果を基に、実用的観点から、工場での生産可能な最低目付量を想定し、炭素繊維 80% ・ポリアミド 20% ・目付量 $80\text{g}/\text{m}^2$ の混綿不織布を選定した。

写真-1は、伝熱状況を示す。導電（加熱）を開始して約5分後にシートが発熱を開始した。導電（加熱）を開始して約15分後に路面が均一に発熱した。導電（加熱）を開始して約30分後に供試体全体が発熱することを確認できた。

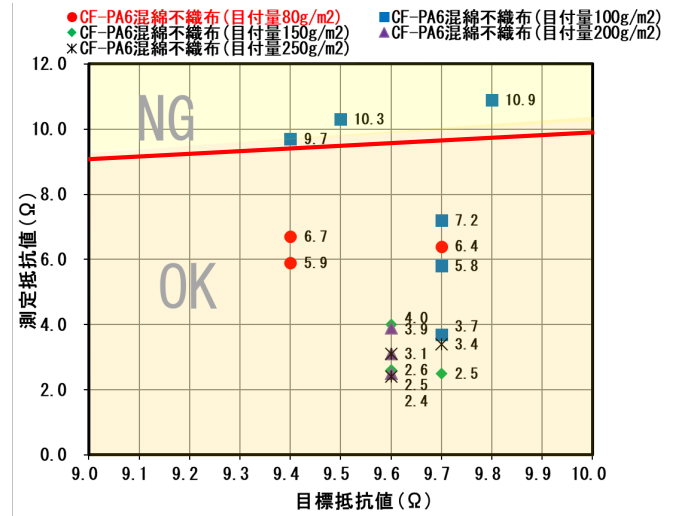


図-2 目標抵抗値と測定抵抗値との関係

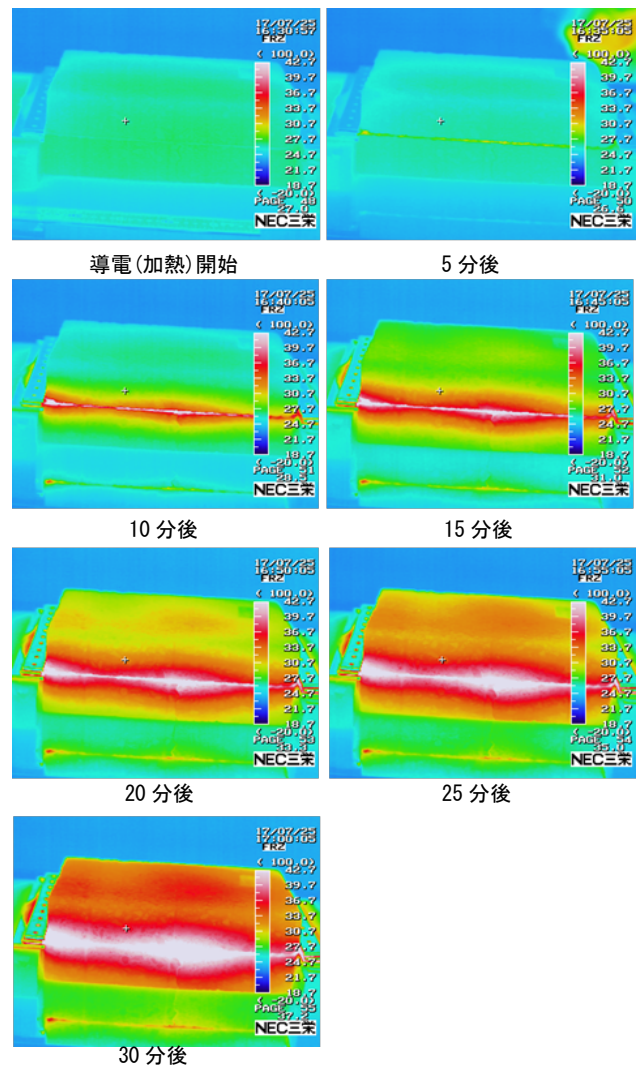


写真-1 伝熱状況

3. 現場試験⁴⁾

3. 1 施工試験概要

図-3は、試験区の舗装構成を示す。アスファルト舗装である基層と表層の間に炭素繊維シートを挟み込んで施工するサンドイッチ工法とした。また、基層と路盤の間にシート防水を行い雨水等の浸透による対地絶縁抵抗の低下を防ぐようにした。試験区の大きさは3.5m×5.5mとした。炭素繊維シートは、炭素繊維80%・ポリアミド20%・目付量80g/m²の混綿不織布を使用した。発電機は、45KVA(電圧200/220V 定格電流118A 出力36Kw)を用いた。バインダは、接着強度を高めるためと均一な接着を得るために軟化点の高い特殊乳剤を用いた。電極(銅バー)の間隔は5.2mとし、長さは3.3mとした。また、表層工事等により電極(銅バー)と炭素繊維の接触不良を防ぐため炭素繊維に巻付けることとした(写真-2)。

ロードヒーティングの効果を確認するため対照区を設け、熱画像診断装置(NEC三栄株式会社製:TH9100PMW)により伝熱効果を確認した。

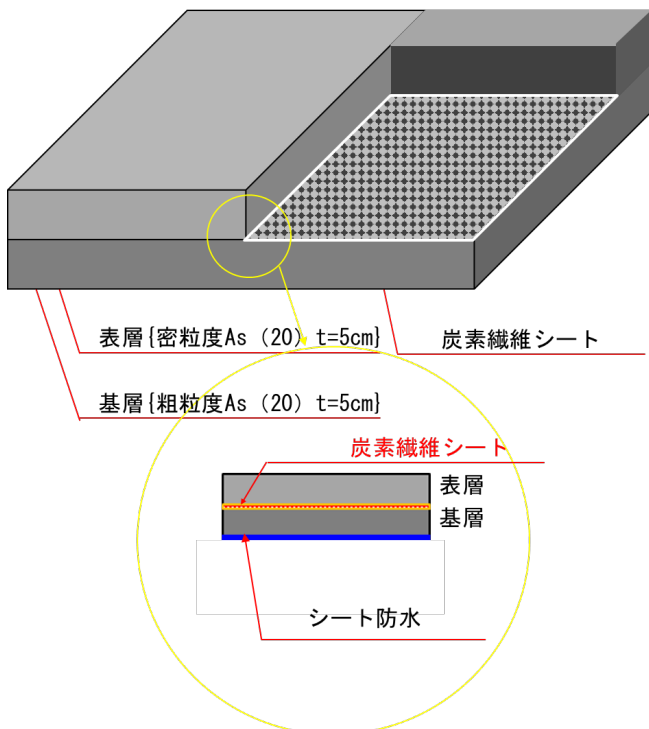


図-3 試験区の舗装構成



写真-2 電極(銅バー)の巻付け状況

3. 2 試験結果及び考察

写真-3は、試験施工箇所完成状況を示す。写真-4は、熱画像診断装置による伝熱効果を示す。対照区と炭素繊維区を比較すると炭素繊維区の方が温度が面的に10°C程度高くなっていることがわかる。このことから、炭素繊維シートに巻き込んで設置した電極(銅バー)から炭素繊維シートに通電し面的に温度が上昇したと考えられる。また、正常な温度上昇が確認されたことから表層の締固めによる接触不良はなかったと考えられる。バインダの施工については、炭素繊維シートにも浸透していたことから接着力に問題ないと考えられるが、外気温にも影響されるため施工条件に注意する必要がある。試験区の抵抗測定および通電加熱試験の結果、発熱量は567W/m²であったことから目標とする250W/m²以上を大きく上回った。しかしながら、電気代コストを考慮すると300W/m²程度が望ましいことから実用化に向けて、電極(銅バー)の設置間隔を広くすることや炭素繊維シートの炭素繊維とポリアミドの割合を変えるなど検討する余地がある。



写真-3 試験施工箇所の完成状況

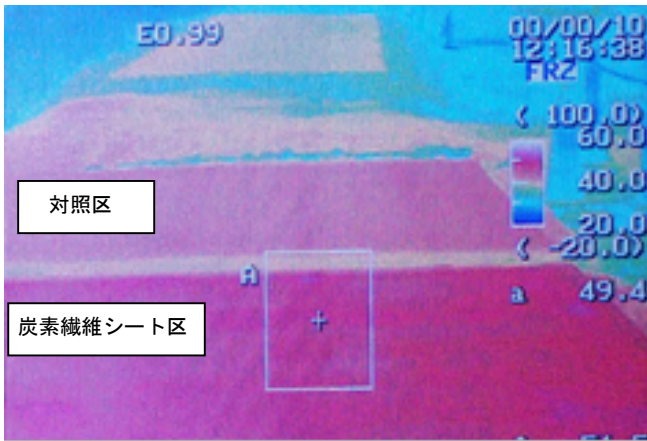


写真-4 熱画像診断装置による伝熱効果

4. 追跡調査

2021（令和3）年2月1日～2日に屋外融雪試験を行った。写真-5に試験開始前の状況を示す。炭素繊維シート区および対照区に対して、残雪を約5cmの厚さで人力により敷き均した。写真-6は、試験終了後の状況を示す。降雨により、対照区と炭素繊維シート区と比較するとあまり融雪効果の差がでなかったが、対照区の方が残雪があったことから炭素繊維シート区の方が融雪効果が高かったと考えられる。

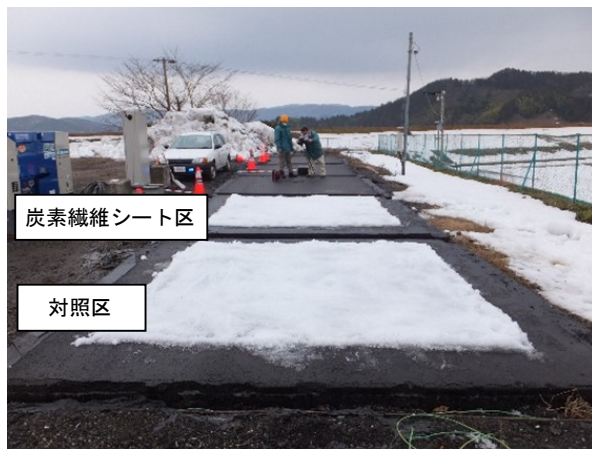


写真-5 試験開始前の状況

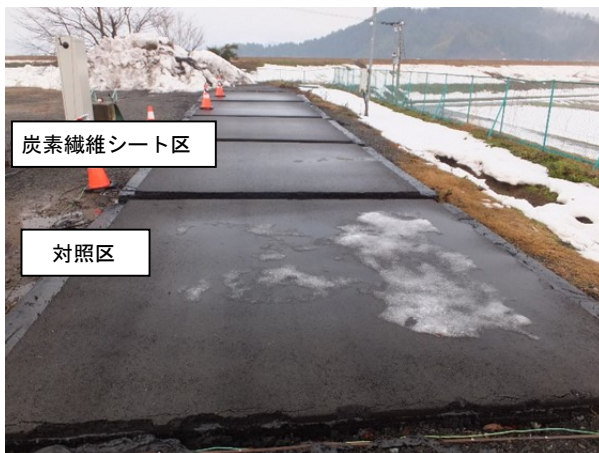


写真-6 試験終了後の状況

5. まとめ

炭素繊維シートを用いたロードヒーティング工法の施工性に関する屋外試験を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) 舗設施工性を満足した。
- (2) 交流200Vにて発熱量 250W/m^2 以上得られることを確認した。
- (3) 熱画像診断装置により面状に発熱していることを確認した。

今後、冬期におけるデータ計測の蓄積を行い、当研究の妥当性を検証する必要がある。

謝辞：本研究の実施にあたり、金井重要工業株式会社、株式会社辻広組、日広開発株式会社、株式会社スカルトにご協力いただいた。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 近藤泰光、林泰正、奥田広行、三田村文寛：「炭素繊維を用いたロードヒーティング工法の研究開発」，福井県工業技術センター研究報告書，No.34(2018),67-68
- 2) 近藤泰光、林泰正、奥田広行、三田村文寛：「炭素繊維を用いたロードヒーティング工法の研究開発（第2報）」，福井県工業技術センター研究報告書，No.35(2019),57-58
- 3) 日道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.
- 4) 近藤泰光、林泰正、奥田広行：「炭素繊維を用いたロードヒーティング工法の研究開発（第3報）」，福井県工業技術センター研究報告書，No.36(2020),80-81