

アスファルト舗装補修における保存雪散布方法等による 交通開放時間短縮に向けた検討

(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 土木技術部 非会員 ○荒川 涼
(株)ネクスコ・メンテナンス新潟 保全部 非会員 大倉孝雄
長岡技術科学大学 技学研究院 機械系 非会員 杉原幸信

1. はじめに

近年進む地球温暖化に伴い日本の平均気温は上昇傾向にある。地域の大半が積雪寒冷特別地域に該当する新潟県においても、越後山脈を起因とするフェーン現象の影響も加わり夏季の日中は高温下に晒される。この気温上昇傾向が道路舗装に与える影響の一つとして、アスファルト舗装補修時における交通開放温度到達までの養生時間の長時間化が挙げられる。そもそも、夏季に実施する舗装補修作業では合材温度が下がりにくく、仕上げ転圧後から交通開放可能となる目標温度までの養生時間を多く要してきた。ここで、アスファルト舗装補修時（表層切削オーバーレイ工）の施工工程ごとの温度管理目安を図-1に示す。一般的にアスファルト舗装の交通開放温度は50℃以下となっていることが多い（舗装施工便覧等）が、求められる規格が高い高速道路では交通開放温度40℃以下が標準とされており、交通開放温度到達までに更に時間を要することが課題となっている。このような課題に対して、養生時間を短縮して早期に交通開放するための一手段として、噴霧水による舗装冷却などの既存技術¹⁾がある一方で、著者らは積雪寒冷特別地域ならではの豊富な雪資源を利用し、養生時に保存雪を散布（以下、「雪冷却」）するといった方法で、養生時間を大幅に短縮できる可能性について検討してきた。

ここで、本手法を実装するためには「①どのような気象条件下で雪冷却が有効か、どれだけの散布量が必要かの算出」、「②雪冷却時の舗装路面温度及び内部温度の挙動把握」、「③雪冷却による舗装の品質確保性の確認」、「④雪の保存・運搬方法、現場での散布方法等の施工方法」といった種々の課題を解決する必要がある。本報告では①②の課題に関連し、作成した解析モデル（熱伝導解析）でどのような気象条件下で雪冷却のような強制的な冷却が必要なのかの検討、及び、実際の舗装現場で測定した自然冷却での温度の下がり方と、解析モデルによる温度の下がり方を比較し、モデルの再現性を確認した結果を報告する。

ここで、本手法を実装するためには「①どのような気象条件下で雪冷却が有効か、どれだけの散布量が必要かの算出」、「②雪冷却時の舗装路面温度及び内部温度の挙動把握」、「③雪冷却による舗装の品質確保性の確認」、「④雪の保存・運搬方法、現場での散布方法等の施工方法」といった種々の課題を解決する必要がある。本報告では①②の課題に関連し、作成した解析モデル（熱伝導解析）でどのような気象条件下で雪冷却のような強制的な冷却が必要なのかの検討、及び、実際の舗装現場で測定した自然冷却での温度の下がり方と、解析モデルによる温度の下がり方を比較し、モデルの再現性を確認した結果を報告する。

2. 解析モデルによるシミュレーションについて

（1）解析モデル及びシミュレーション条件

アスファルト舗装体の温度低下挙動を再現するために解析モデルによる熱伝導解析を行った。本研究では熱流体解析ソフト Cradle CFD 2023.1 Student Edition のSTREAMを用いた。再現するシーンは敷き均し後の自然冷却過程である。解析モデルの概要を図-2に示す。解析領域は300cm×300cm×300cmの立方体とし、領域下部に表層（4cm）、基層（6cm）、上層路盤（20cm）のモデルを作成した。

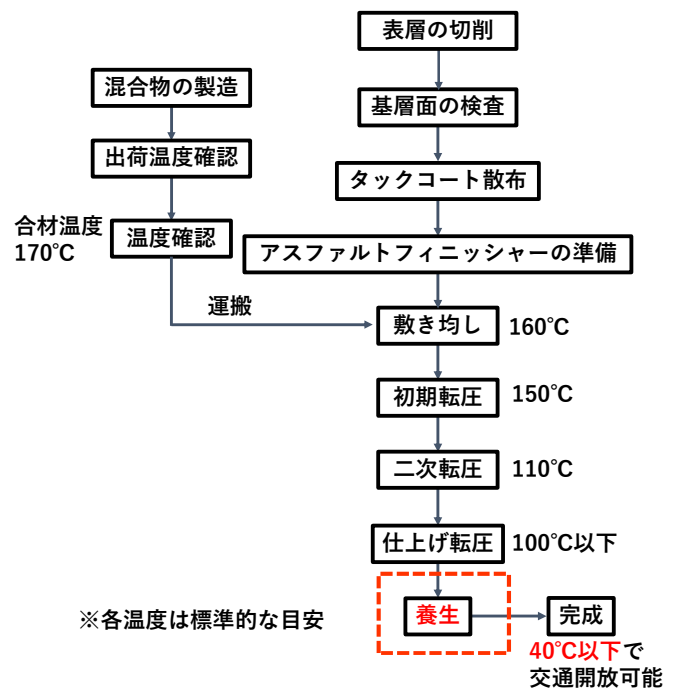


図-1 As 舗装補修（表層切削OL工）の施工工程

また、表層の中心部に表層切削オーバーレイ工の敷き均し後の過程をイメージし 100cm×100cm×4cm の範囲に 160℃のアスファルト領域を設定し解析を開始した。詳細なシミュレーション条件を表-1 に示す。今回のシミュレーションの気象条件は8月の新潟県を想定した。天候は晴れ・曇りの2パターンとし、それぞれ日射量と気温を設定した。日射量は NEDO 日射量データベース閲覧システム²⁾より新潟県のデータを参照した。晴れの場合は日射量 800W/m² で気温 35℃とした。曇りの場合は日射量 400W/m² で気温 30℃とした。さらに与える風速を 0.2, 2.0, 4.0m/s のパターンとして、晴れと曇りの気象条件と組み合わせた計 6 ケースでシミュレーションを行った。

(2) 熱伝導解析結果

敷き均しから 480 分経過した時点の表基層の深さごとの温度解析結果を図-3 に示す。解析結果から今回の解析条件下では気温が下がりづらい日中の条件下では、自然冷却では交通開放温度である 40℃まで路面温度が下がりきらない結果となった。また、いずれの気象条件においても、舗装内部温度より路面温度の方が高い結果となった。これは、アスファルト混合物は日射吸収率が高いため、直接、日射に接する路面付近の温度が低下しにくいと考えられる。また、風速が高いほど、路面温度、内部温度ともに冷えやすい結果となった。

今回の結果からシミュレーション上では、夏季の

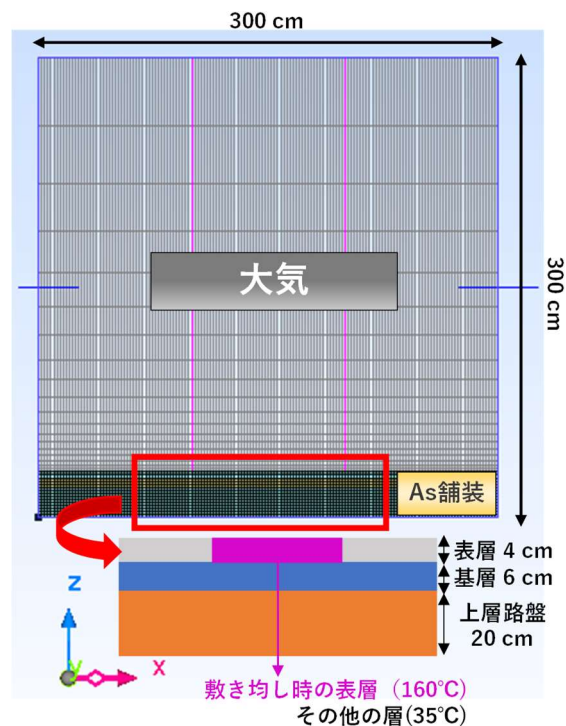


図-2 解析モデルの概要

表-1 解析条件・パラメーター一覧

Cradle CFD V2023.1 (STREAM) 非定常解析	
解析領域	300 × 300 × 300 cm ³
メッシュ分割数	150 × 150 × 34 = 765000
乱流モデル	標準k-εモデル
日射	800 or 400 W/m ²
雰囲気温度	35 or 30 °C
初期条件	敷き均し時の表層: 160℃ その他の層: 35℃
強制対流	風速 v [m/s]: 0.2 or 2 or 4
解析時間	480分(8時間)
計算結果出力	10分毎
拡散反射率 ³⁾	アスファルト: 0.1
吸収率 ³⁾	アスファルト: 0.9
輻射率 ³⁾	アスファルト: 0.9

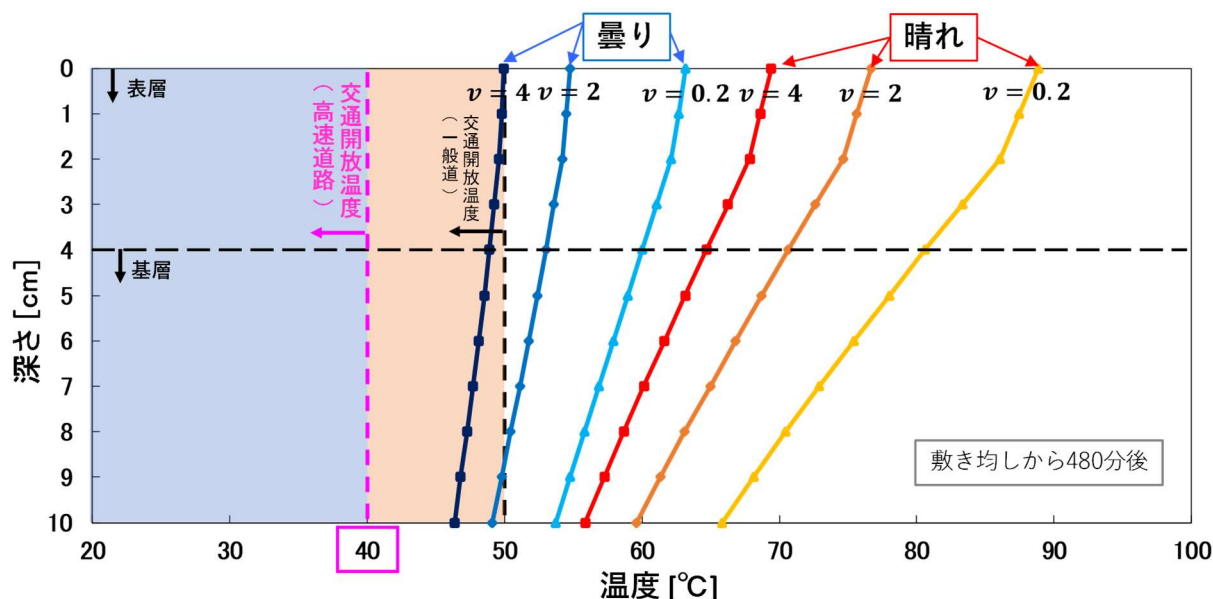


図-3 熱伝導解析結果（敷き均しから 480 分経過した時点の各深さの温度）

アスファルト舗装補修において、天候が曇りであっても気温が 30℃を超えていれば、自然冷却のみでは交通開放可能温度である 40℃以下の条件を達成することは難しく、外部から何かしらの冷却促進が不可欠であることが確認できた。

3. 現地測定結果と解析結果の比較

(1) 路面温度の現地測定について

実際に高速道路本線上の舗装補修現場にて、仕上げ転圧後からの路面温度の推移を測定した。本現場で使用した混合物は密粒度アスファルト混合物（タイプ B(寒冷地域用)、最大粒径 13mm）である。測定日時は 2024 年 9 月 11 日の 15:00~16:00、地点は北陸自動車道（柏崎 IC-西山 IC）の 402.7KP 付近で、測定時の気象条件は晴れで平均外気温は 33.3℃であった。測定方法は熱電対（図-4）と接触型のデジタル温度計（図-5）を用いた。熱電対による測定は黒木⁴⁾の代表的な温度測定を参考にし、図-4 のように路面に絶縁テープで熱電対測定部を貼り付け、測定を行った。測定値は 3 箇所の平均とした。



図-4 熱電対による路面温度測定状況

(2) 路面温度の現地測定について

9 月 11 日の温度測定結果を図-6 に示す。当日は気温が高く、日射量も大きかったことから自然冷却速度は遅く、測定を実施した約 45 分間ではマイナス 5℃程度の温度低下のみであった。また、補修箇所周囲の既設路面で測定を行ったところ、路面温度は 40℃を超えている状況であった。

ここで、9 月 11 日の実測データをもとに本シミュレーションの再現性を検証するため、気象条件を近づけて熱伝導解析を行った。日射量は



図-5 防水型デジタル温度計
（佐藤計量器製作所）

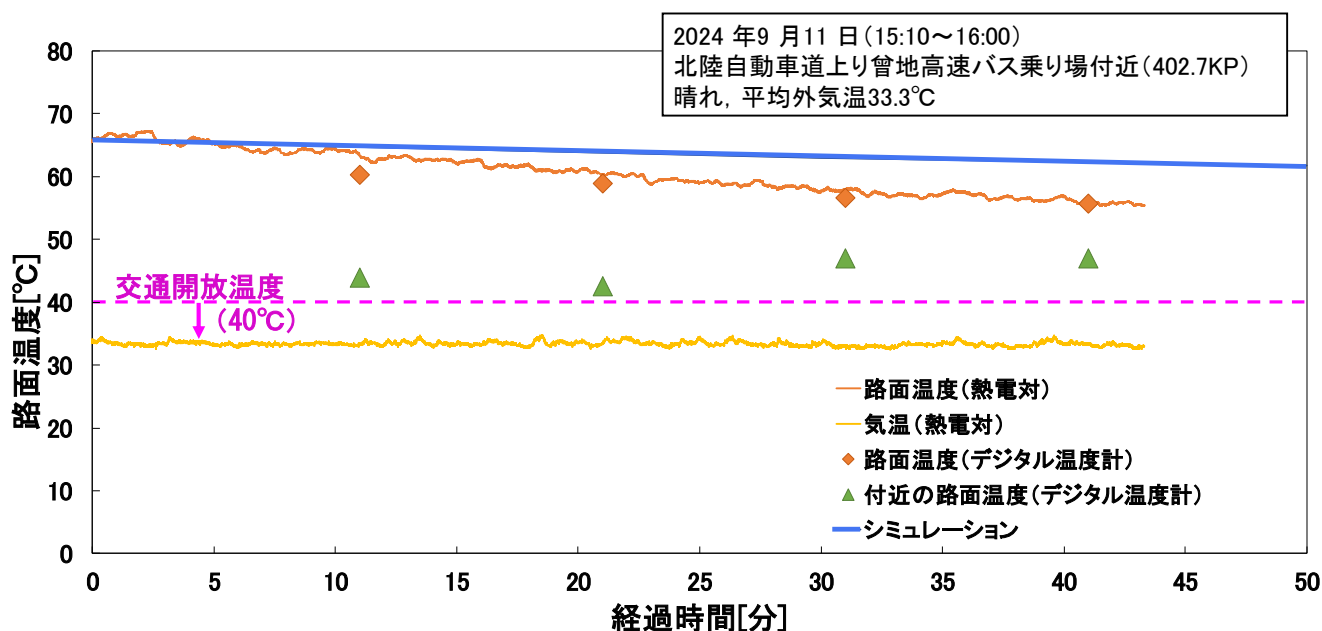


図-6 路面温度 実測とシミュレーション結果の比較

NEDO 日射量データベース閲覧システムより新潟県柏崎市のデータを参考にし、400W/m²とした。気温は平均外気温の33.3℃を用いた。風速に関しては、気象庁による9月11日の新潟県の風速を参照し、2m/sとした。シミュレーション結果を前頁の図-6中に示す。シミュレーションでは開始時の路面温度を、実測値の温度と合わせ解析を行った。シミュレーション結果と実測値を比較すると、概ね温度低下の推移を再現できているが、実測よりも解析では冷却速度が遅い結果となった。これは、高速道路本線上の舗装現場は車線規制内での作業であり、真横を通行車両が頻繁に通過し、断続的に強い風が吹くため、より熱交換が促されているためと考えられる。

4. おわりに

今回、アスファルト舗装補修における保存雪を用いた雪冷却実装の第一段階として、新潟県の夏季の気象条件下を想定し、自然冷却による敷き均し後のアスファルト舗装の温度変化を熱伝導解析で再現を行った。また、実際に舗装補修現場にて、路面の温度変化を測定し、解析モデルと比較することで以下の結果を得た。

- ・熱伝導解析でアスファルト舗装の温度変化を再現したところ、日射量と気温が同じでも、風速が高いほど路面温度、内部温度ともに低下しやすいことが分かった。
- ・本シミュレーション条件下では気温及び日射の影響が強く表れる日中においては、補修後の路面温度が目標とする交通開放温度の40℃まで下がらないことが分かった。
- ・実際の舗装補修現場にて、路面の温度測定を行った結果、2024年9月11日、時間帯15:00~16:00、晴れで平均外気温33.3℃の条件下では、既設の路面温度でも40℃以上となっている状況であった。
- ・夏季のような気温が高く、日射量が多い気象条件の場合は、仕上げ転圧後の養生時間の長時間化対策として、舗装温度を強制的に冷却する必要があることが分かった。

将来的にも地球温暖化が進行し、高温・高日射の日数が更に増えることが予想される。施工時の気象条件が厳しい中でも、早期に交通開放を行うために、雪冷却の実装に向けての検討を進めていきたい。今後は、実際に雪冷却をイメージした熱伝導解析を行い、冷却効果の確認や必要散布量を算出する。また、冷却時の舗装路面と内部の温度変化を見るための温度測定方法の検討を進めるとともに、実際に供試体を作成し雪冷却を行い、ホイールトラッキング試験等で品質の低下に懸念がないか等を確認する取り組みを予定している。

なお、新潟県では保存雪を主に観光資源や雪室や雪冷房といったエネルギー資源（雪室や雪冷房）として活用（利雪）している事例が多々ある。本研究を通じて雪が持つ雪冷熱エネルギーを利用し舗装工事の効率化を図るとともに、高速道路における更なる保存雪の利雪範囲の拡大に繋がることを期待している。

REFERENCES

- 1) アスファルト舗装の養生時間短縮工法 舗装冷却工法, 株式会社 NIPPO
https://www.nippo-c.co.jp/tech_info/general/SG02053_g.html
- 2) NEDO 日射量データベース閲覧システム, 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
- 3) Rajib B.Mallick, Harvesting energy from asphalt pavements and reducing the heat island effect, International Journal of Sustainable Engineering
- 4) 黒木勝一, 熱物性 1989年3巻2号 p.94-101