

雪散布によるアスファルト舗装補修工事の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	機械系	非会員	杉原幸信
長岡技術科学大学	機械系	非会員	上村靖司
長岡技術科学大学	環境社会基盤系	会員	高橋 修
長岡技術科学大学	機械工学分野	非会員	山田佳汰
長岡技術科学大学	機械工学分野	非会員	葵木優斗

1. はじめに

近年、深刻化する地球温暖化の影響に伴い、地域の大半が積雪寒冷地域に該当する新潟県でも夏期はフェーン現象の影響も加わり、日中の外気温が高温になる。ここで、道路のアスファルト舗装補修において、外気温の上昇傾向により、一つの問題が生じる。それは、アスファルト舗装補修の最終の施工工程（図-1）となる交通開放温度到達までの養生時間が高温環境下では長時間化してしまうことである。尚且つ、一般的にはアスファルト舗装補修の交通開放温度は50℃程度が標準とされているが、求められる規格が高い高速道路においては40℃程度とさらに厳しく規定されている。

この問題に対して、養生時間を短縮するための既存手法として、転圧後に水を噴霧する方法がある。一方で、筆者らは豪雪地帯の新潟県ならではのクリーンなエネルギーである雪を転圧後に路面に散布することで、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。

本報告では、屋外にて供試体実験を行い、雪散布による冷却効果を確認した結果及び、雪による強制冷却がアスファルト舗装のバインダーの品質に与える影響を確認した結果を報告する。

なお、将来的に散布に使用する雪は、関越自動車道の越後川口SA等に隣接する高速道路用雪捨て場を集積される大量の除排雪を活用したいと考えている（図-2）。

2. 供試体を用いた冷却実験

アスファルト舗装補修後の初期わだちの発生を防ぐためには、舗装内部も含め、適切な温度まで十分に温度低下させる養生が必要である。一方で、現

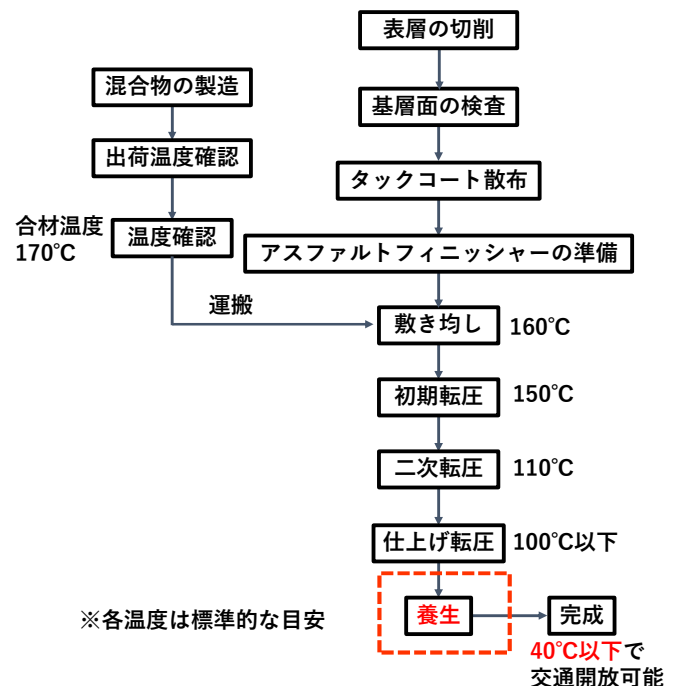


図-1 高速道路におけるアスファルト舗装補修（表層切削オーバーレイ）の施工工程及び標準的な管理温度



図-2 雪捨て場に除排雪が集積されている状況（関越自動車道 越後川口SAの雪捨て場）

場では交通開放の可否を判断する交通開放温度の測定は舗装表面で行われている。今回提案する、雪散布による手法で表面を急速に冷却した場合、表面温度が早期に 40°C に到達していても、内部の温度が十分に下がりきっていない可能性が危惧される。そのため、本実験では表面温度とともに舗装内部まで十分に冷却されているかを確認することを目的とした温度測定治具を作成し、養生中のアスファルト混合物供試体内部の温度測定を実施した。

2-1. アスファルト混合物供試体の作成

アスファルト混合物の種別は主に積雪寒冷地の表層補修で使用される、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。300mm×300mm×50mm の型枠に作成した温度測定治具を設置し、アスファルト混合物を敷設し供試体を作成した。型枠に温度測定治具を設置した状況を図-3 に示す。

2-2. 実験方法

冷却性能は、深さ 40mm の位置で交通開放温度と同等の 40°C に到達するまでの時間によって評価した。供試体は完成後に再度、乾燥炉にて 100°C まで加熱した後、自然冷却により表面温度が 80°C まで低下したタイミングを冷却開始条件とした。本実験では供試体を 3 つ用意し、それぞれの養生方法を (a) 自然冷却, (b) 雪冷却, (c) 水冷却の 3 条件で比較した。今回、実験に使用した模擬雪はかき氷機で水を砕いたものを -30°C の冷凍庫で 24 時間以上保存して凍らせ、さらにこれをサラサラになるまで砕いたものを使用した。冷凍庫内の雪の温度は表面付近が -30°C 付近で密度は 310 kg/cm^3 であった。雪散布時の雪温は約 -30°C で散布する雪厚は約 7.5 cm （体積換算 75 L/m^2 ，質量換算約 23 kg/m^2 ）となるように散布した。

実験は 2025 年 8 月下旬に長岡技術科学大学の屋外で実施した（図-4）。実験当日は平均気温 32°C ，平均日射量 459 W/m^2 であった。

2-3. 冷却実験結果

実験による温度測定結果を図-5 に示す。

(a) 自然冷却では、2 時間経過後も表面温度、内部温度ともに交通開放温度 40°C に到達せず、夏期の高温条件下での自然冷却では、速やかな交通開放は難しいことが確認できた。

(b) 雪冷却では散布直後の急激な温度低下に加え、深さ 40mm での温度が約 26 分と早期に 40°C に到達した。

(c) 水冷却は約 23°C の水道水を用い、1 回あたり約 4 L を 10 分間隔で 7 回（総量約 28 L）散水した。結果は自然冷却よりも冷却が促進され、温度低下開始直後の冷却速度が向上した。ただし、交通開放温度 40°C 到達までには約 55 分と一定の時間を要した。ここで、深さ 40mm の温度が 40°C に到達するまでの時間を比較すると、自然冷却では 2 時間以上、水冷却では約 55 分、雪冷却では約 26 分であり、雪冷却により大幅な時間短縮効果が得られることが確認できた。また、雪冷却では舗装内部（深さ 40mm）でも約 20°C 程度まで温度を下げる冷却効果が確認できた。

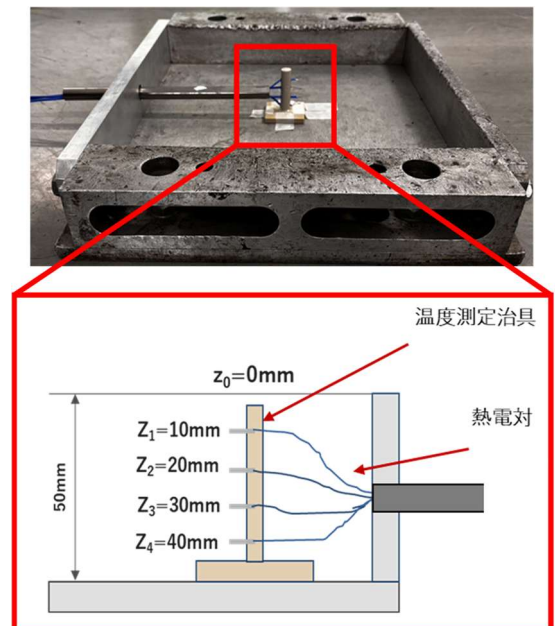


図-3 型枠内に設置した温度測定治具



図-4 供試体を用いた冷却実験の様子

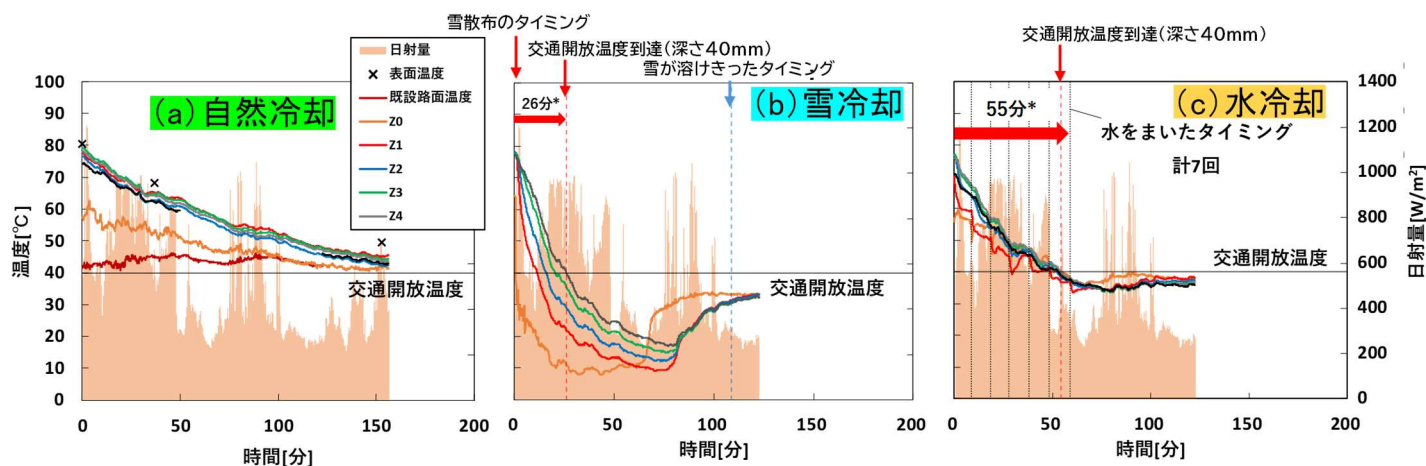


図-5 冷却実験での供試体内部温度の経時変化

3. 雪冷却がアスファルトバインダーの品質に及ぼす影響確認

上記の結果より、雪冷却手法は夏期のアスファルト舗装補修において、表層舗設後の養生時間を大幅に短縮する有効な手法となり得ることが示された。一方で、雪散布による強制的かつ急速な冷却手法が、アスコンの性状や耐久性に及ぼす影響については、これまで十分な検証がなされておらず、その影響は不明確である。そこで、今回は特にアスファルト混合物の製造に使用するバインダーに着目し、バインダー単体に雪による強制冷却を施し、針入度試験、成分分析および赤外分光分析により物性および化学的性状の変化を評価することで、雪冷却がアスファルトバインダーの性状に及ぼす影響を確認した。

3-1. 試験方法

試験項目は、a) 針入度試験、b) 組成分析試験および c) 赤外分光分析とした。評価試料として、90℃までの加熱と 40℃までの冷却を雪冷却により 10 回繰り返したアスファルトバインダーと、自然冷却により同様の温度履歴を 10 回繰り返したアスファルトバインダーを作成した（図-6）。なお、今回使用するアスファルトバインダーはストレートアスファルト（60/80）である。さらに、比較対象として加熱・冷却を行っていないオリジナルのアスファルトバインダーを用意した。



図-6 冷却中のアスファルトバインダー
（左：自然冷却，右：雪冷却）

加えて、赤外分光分析においては、繰り返しの再生により劣化が進行したアスファルトバインダーを用意した。各試験項目の概要及び目的を表-1 に示す。

表-1 試験項目の概要及び目的

評価項目	概 要
a) 針入度試験	標準条件で規定の針がアスファルト試料の中に垂直に貫入したときの深さを1/10mm単位で示す試験。針入度試験によりアスファルトの硬さを評価することができる。
b) 組成分析試験	アスファルトバインダーの劣化に伴う化学的変化を把握するため、組成分析試験を実施する。組成分析試験ではアスファルトを飽和分、芳香族分、レジジン分、アスファルテン分の4成分に分離し各成分の組成割合の変化により劣化度を評価する。
c) 赤外分光分析	赤外分光分析では、酸素含有官能基に由来する赤外吸収を測定することで材料の化学構造や劣化状態を評価できる。アスファルトの酸化劣化評価や成分変化の把握に用いられる分析である。

3-2. 試験結果

a) 針入度試験

針入度試験の結果を表-2 に示す。今回、全ての試料において針入度は規格値である 60～80（1/10mm）を下回る結果となった。また、加熱・冷却繰り返し工程を経た試料はオリジナル試料と比較して針入度が

若干低下する傾向が確認されたことから、加熱・冷却の繰り返しがアスファルトバインダーの硬化に影響を及ぼした可能性が示唆される。一方で、自然冷却と雪冷却の針入度を比較した結果、両者の間に明確な差は認められなかった。このことから本試験条件においては、冷却方法の違いによるアスファルトバインダーの物理的性状への影響は小さいことが示された。

表-2 針入度試験の結果 (1/10mm)

		オリジナル	自然冷却	雪冷却
測定回数	1	50	51	51
	2	55	50	49
	3	53	50	51
平均		53	50	50

b) 組成分析試験

組成分析試験の結果を表-3 に示す。各試料のバインダー組成は、多少の数値のばらつきは認められるものの、加熱・冷却を行っていないオリジナルと比較して大きな差は見られなかった。また、加熱・冷却履歴の有無および冷却方法の違いによる顕著な変化は確認されなかったことから、本試験条件においては、冷却条件の差がアスファルトバインダーの化学的劣化に及ぼす影響は小さいことが示された。

表-3 組成分析試験の結果

	飽和分 (%)	芳香族分 (%)	レジン分 (%)	アスファルテン分 (%)
オリジナル	3.4	56.6	21.9	18.0
自然冷却	3.1	59.1	21.7	16.2
雪冷却	3.8	57.4	21.3	17.5

c) 赤外分光分析

冷却条件の異なる試料 2 種類、およびオリジナルのストアスと劣化アスの計 4 試料について、全反射測定法 (ATR 法) による赤外分光分析を実施した。測定された各波数における吸光度から式 (1) を用いて算出したカルボニルインデックス (CI) の結果を表-4 に示す。

表-4 各試料の CI 算出結果

	$\Delta E_{c=c}$	$\Delta E_{c=o}$	CI
劣化アス	0.0062	0.0052	0.84
オリジナル	0.0162	0.0037	0.23
自然冷却	0.0108	0.0020	0.19
雪冷却	0.0029	0.0008	0.27

$$CI = \Delta E_{c=o} / \Delta E_{c=c} = \frac{1700\text{cm}^{-1}\text{付近のピークの高さ}}{1600\text{cm}^{-1}\text{付近のピークの高さ}} \dots \text{式(1)}$$

加熱・冷却を行っていないオリジナルの CI は 0.23、劣化アスは 0.84 と著しく高く、CI が酸化劣化の指標として有効であることが確認できた。自然冷却 (CI=0.19) および雪冷却 (CI=0.27) はオリジナルと数値が同程度であり、劣化アスと比較して十分に低い値を示した。図-7 のスペクトルにおいても、劣化アスでは 1700cm^{-1} 付近にカルボニル基 (C=O) の明瞭なピークが確認されたが、自然冷却および雪冷却では顕著な増加は認められなかった。以上より、本試験条件では、冷却方法の違いによる酸化劣化の顕著な差は認められなかった。

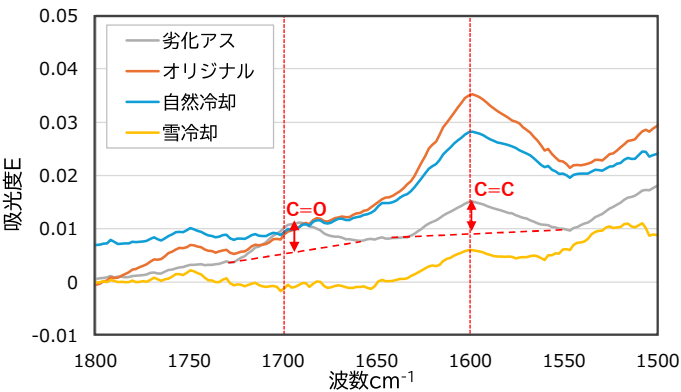


図-7 各試料の劣化度の評価結果

4. まとめ

本検討では供試体を用いた冷却実験により、雪冷却手法によりアスファルト層表面のみならず、アスコン内部 (深さ 4cm) を短時間で交通開放温度同等以下に冷却できる可能性が示された。これにより、アスコン層内部まで早期に温度を低下させることができ、養生時間の短縮に加えて、初期わだちの発生抑制にも寄与する可能性がある。

また、雪による急速冷却がアスファルトバインダーの物性および化学的性状に及ぼす影響は小さいことが確認できた。今後は、ホイールトラッキング試験を今回と同様に冷却条件 (自然冷却と雪冷却で比較) を変えて実施し、雪冷却がアスコンの耐久性へ与える影響を定量的に評価することを予定している。