

保存雪散布冷却による交通開放時間の短縮効果とアスファルト性状への影響に関する研究

交通工学研究室 24328181 鮫名日和

1. はじめに

わが国の高速道路は、物流や人の移動を支える重要な社会基盤であり、経済・文化活動のみならず日常生活においても不可欠な役割を担っている。その一方で、高度経済成長期以降に集中的に整備された高速道路網は、供用開始から長期間が経過し、多くの区間で老朽化が進行している。特に、供用開始から30年以上を経過した路線の増加に加え、近年の大型車交通量の増大や車両総重量の増加、さらには気候変動に伴う過酷な道路環境により、舗装を含む道路構造物の劣化が顕在化している。このような背景から、現在、全国的に計画的な補修・更新工事が実施されている。

一般に、アスファルト舗装の補修工事では、敷均しおよび転圧後、舗設層の温度が十分に低下するまで養生を行い、その後に交通開放を行う。要求水準の高い高速道路においては、交通開放時の路面温度は40℃以下とすることが標準とされている。しかし、夏季においては、この養生工程が施工時間および車線規制時間を延長させる大きな要因となっている。特に積雪地域では、降雪のない夏季に補修工事が集中する傾向にあるが、高温条件下では舗装体の温度低下に多大な時間を要することが課題となっている。

近年は地球温暖化の進行に伴い、夏季の高温状態が常態化しつつある。黒色の路面は熱吸収率が高く熱影響を受けやすいため、補修工事後の温度低下が停滞し、養生が長時間化する状況が散見される。したがって、夏季の舗装補修における養生工程の効率化は、極めて重要な検討課題である。

一方、積雪地域では、冬季の除雪作業によって大量の雪が道路脇やサービスエリアの空地等に堆積し、その排雪処理に多大な費用と労力を要している。この雪を夏季まで保存し、冷却資源として有効活用する取り組みは、雪国特有の資源循環の観点からも注目されている。

本研究では、保存雪を舗装補修の養生工程に活用することで、夏季の高温条件下における舗装体温度の低下を促進できる可能性に着目した。具体的には、保存雪の散布による冷却が交通開放時間の短縮にどの程度有効であるかを定量的に検証するとともに、急冷がアスファルト混合物の物性に及ぼす影響を評価した。本研究の成果は、施工効率の向上と舗装の品質確保を両立させる上で、極めて重要な意義を持つものである。

2. 雪散布冷却によるアスコン層の温度低下効果の検証

2.1 実験の目的

舗設後の早期開放においてアスファルトコンクリート層（以下、アスコン層）の流動変形等を防止するためには、舗設後速やかにアスコン層を適切な温度まで低下させて養生することが重要である。しかし、現状の施工管理においては、交通開放の可否を判断する指標には表面温度を主に用いており、アスコン層内部の温度状態は考慮していない。本研究で検討した保存雪の散布による冷却方法では、アスコン層表面のみを急速に冷却することになるので、表面温度が交通開放基準である 40°C に到達していても、アスコン層内部は高温状態である可能性があり、これがアスコン層の早期劣化を招く要因となることが懸念される。

アスコン層の施工後の養生過程を模擬した条件下において、冷却条件の違いがアスコン層内部の温度変化に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、アスコン層表面および内部の温度を測定する実験を行った。すなわち、いくつかの冷却条件下でアスコン層内部の温度を測定し、冷却方法の違いが交通開放判断の温度まで低下する間の内部挙動をモニタリングして、保存雪の散布による冷却方法の効果を定量的に評価した。

2.2 検証用供試体

本研究では、舗装体が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て、熱電対を用いたアスコン内部の温度測定が可能な供試体を3枚作製し、冷却条件別温度測定試験を実施した。本研究で使用した熱電対および、これを供試体内部の所定位置に固定するための温度測定治具の概要を図-1に示す。熱電対と温度測定治具は、あらかじめ敷き均し前に供試体型枠内へ設置・固定し、骨材とアスファルトバインダーの本練り後にアスファルト混合物で埋設することで、施工後の舗装体内部温度を連続的に計測できる構造とした。ホイールトラッキング試験の供試体と同一寸法の型枠に温度測定治具を固定した状況を写真-2に示す。

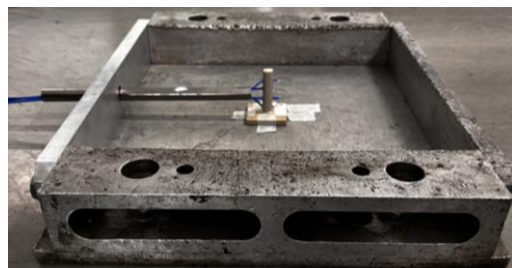
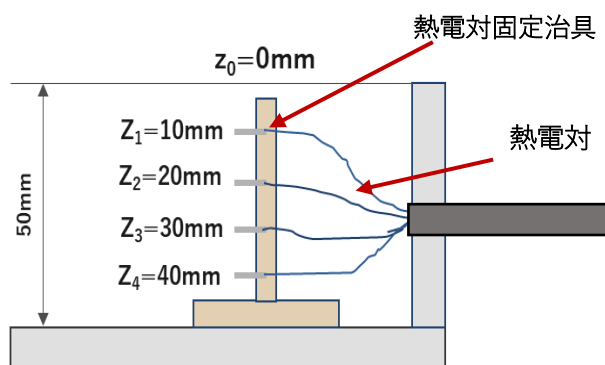


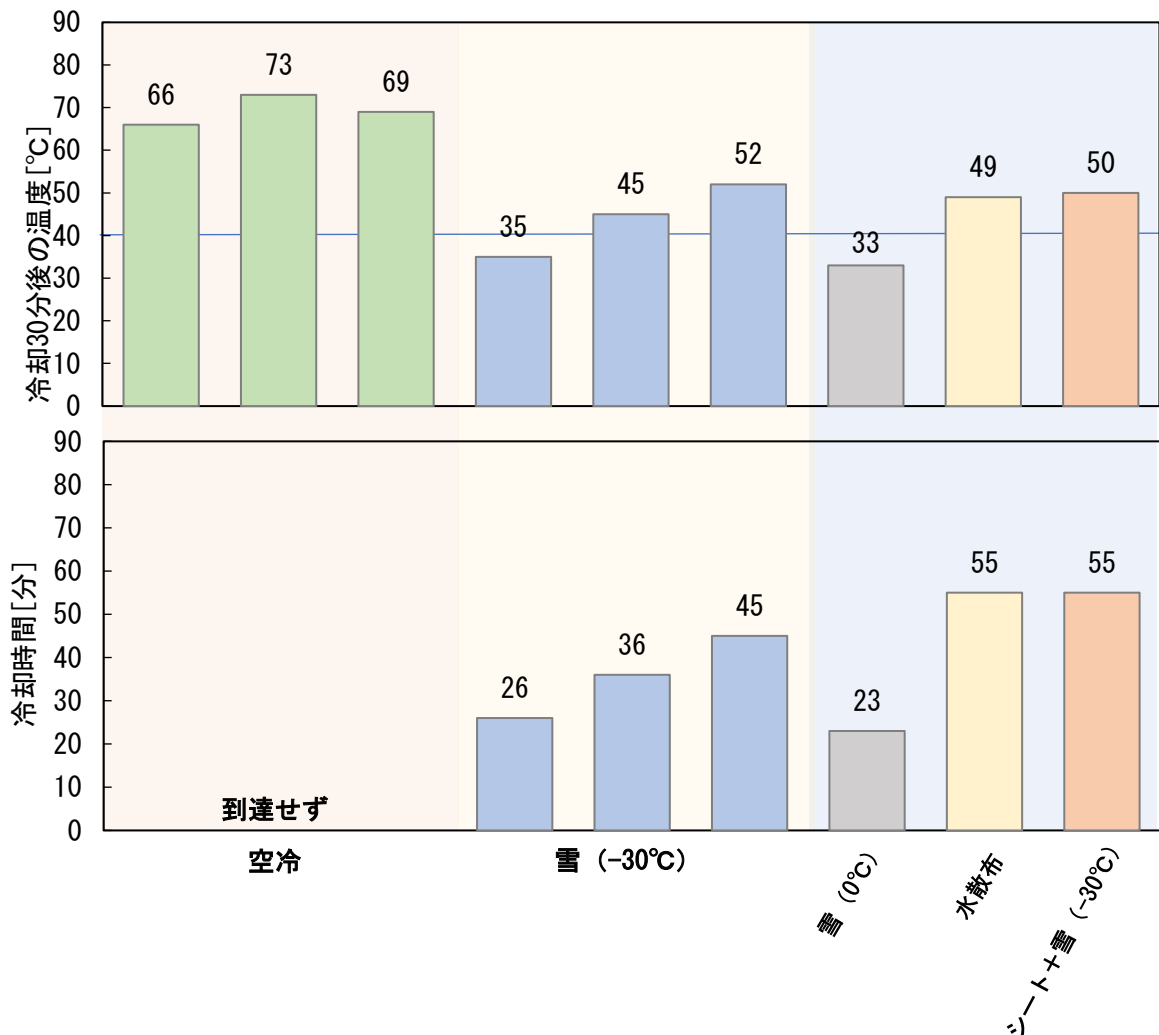
図-1 温度測定治具と熱電対

写真-2 供試体型枠に温度測定治具を固定した様子

2.3 冷却条件と実験結果

本研究では、積雪地域における夏季シーズンのアスファルト舗装補修工事を対象とし、舗設したアスコン層の養生時間短縮を目的として、雪冷熱エネルギーを活用したアスコン層の冷却手法について検討した。3日間にわたって、自然冷却、雪冷却、雪+シート冷却、水散布冷却の条件に対する温度低下効果の実験を行い、供試体の表面および内部の温度変化や日射量を測定した。

実験全体を取りまとめた結果として、冷却開始 30 分後における内部温度の比較、および内部温度が交通解放温度まで低下するまでに要した時間の比較を図-3 に示す。雪冷却は、水散布冷却や自然冷却と比較して極めて高い冷却効果を有している。特に、自然冷却の条件では交通開放温度に到達しなかったのに対し、雪冷却は最短 22.5 分で交通開放温度に到達している。本実験によって、雪散布による冷却方法はアスコン層の養生時間を大幅に短縮できることが明らかとなり、夏季における舗装補修工事において有効な方法であることが確認された。



上：冷却 30 分後の内部温度，下：交通解放温度に到達するまでの冷却時間

図-3 実験結果の総合的な比較

3. 雪散布がアスファルトバインダーに及ぼす影響

3.1 実験の背景と目的

雪冷却は積雪地域における夏季アスファルト舗装補修工事において、養生時間を短縮する有効な手段となり得ることが示された。一方で、このような雪散布による強制的かつ急速な冷却が、舗設直後のアスコンの性状や耐久性に及ぼす影響については、これまで検討された実績が見当たらない。

そこで、本省では雪散布による強制冷却がアスコンの物性やその他挙動に与える影響を明らかにすることを目的に、強制冷却前後におけるアスファルトバインダーの性状変化を評価した。

3.2 冷却実験の概要

実験では、日本国内で標準的なストレートアスファルト 60/80 を、薄膜加熱劣化試験と同じ条件である厚さ 3.2 mm を円形容器に採取した。この供試体を 90°C に加熱後、表面温度が 80°C に達した時点で「約-30°C の雪を投入する強制冷却」と「室温での自然冷却」の 2 パターンで冷却を行い、表面温度が 40°C に低下するまでを 1 サイクルと定義した。実際の現場は 1 回のみ施工であるが本実験では影響をより明確にするため、あえてこのサイクルを同一供試体に対して 10 回繰り返して負荷を与えた。

3.3 針入度試験

前節で作製したアスファルトバインダー供試体を用いて、針入度試験を実施した。冷却終了後の各供試体を再加熱して溶融し、針入度試験用カップに注入したうえで試験を行った。本試験には、冷却実験による供試体に加えて、比較対象として冷却実験を行っていないオリジナルのストアス 60/80 を含めた計 3 種類のアスファルト供試体を用意した。これにより、冷却条件および繰り返し冷却がアスファルトバインダーのコンシステンシーに及ぼす影響について評価した。

針入度試験の結果を表-4 に示す。冷却を繰り返した供試体はいずれも未処理のストアスと比較してわずかに針入度が低下し、硬化する傾向が見られた。しかし、自然冷却と雪散布冷却の平均値を比較すると、ともに 50 という数値であり、冷却方法の違いによる明確な差は認められなかった。

このことから、雪散布による急激な温度変化がアスファルトの物理的性状を損なうことはないと考えられる。

表-4 針入度試験の結果

項目		供試体種別		
		ストアス (60/80)	自然冷却	雪散布冷却
測定回数	1	50	51	51
	2	55	50	49
	3	53	50	51
平均		53	50	50

3.4 組成分析試験

冷却方法の違いがアスファルトバインダーに及ぼす影響を化学的に評価する目的で、それぞれの供試体を冷却養生する前後で組成分析試験を実施した。本試験では、我が国の石油学会が採用している4成分分析法に基づいて実施し、アスファルトを構成する各成分の組成割合について測定を行った。

組成分析試験の結果を表-5に示す。表-5より、各供試体のアスファルトバインダー組成は、数値に少しのばらつきは見られるものの、冷却養生を行っていないオリジナルのストアス60/80と比較しても大きな差は認められない。つまり、冷却養生の有無や冷却方法の違いによる組成割合の顕著な変化は確認されない。したがって、雪散布による強制的急速冷却は、アスファルトやアスコン層に化学的な影響を及ぼすことはないとは評価される。

表-5 組成分析試験結果

成分 供試体種別	飽和分 (%)	芳香族分 (%)	レジン分 (%)	アスファルテン分 (%)
ストアス60/80	3.4	56.6	21.9	18.0
自然冷却	3.1	59.1	21.7	16.2
雪散布冷却	3.8	57.4	21.3	17.5

3.5 赤外分光分析 (FTIR)

本研究では、冷却方法の違いによるアスファルトバインダー単体の化学的性状の変化や劣化状況を確認するもう一つの方法として、フーリエ変換赤外分光分析 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, 以下FTIR) を実施した。

FTIR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手法である。アスファルトの酸化劣化を評価する際には、特に波数 1700 cm^{-1} 付近に現れるカルボニル基 ($\text{C}=\text{O}$) の吸収ピークに着目する。アスファルトは酸化が進むほどこのカルボニル基が増加するため、 1700 cm^{-1} 付近の吸光度が高くなるという特性を持つ。一方で、波数 1600 cm^{-1} 付近に見られる炭素二重結合 ($\text{C}=\text{C}$) に起因する吸収は、劣化の前後で大きな変化が生じないことが知られている。そのため、この 1600 cm^{-1} 付近のピーク強度を基準とし、それに対する 1700 cm^{-1} 付近のピーク強度の比率をカルボニルインデックス (CI) として算出することで、劣化度を定量的に評価する。

FTIRの結果を表-6に示す。自然冷却供試体のCI値は0.19であり、雪散布冷却の供試体では0.27である。これら供試体の値は、劣化アスの値である0.84と比較して十分に低く、オリジナルのストアス60/80の0.23と同程度の範囲に収まった。

また、図-7のスペクトル比較によれば、長期供用された劣化アスファルトでは酸化劣化に伴うカルボニル基 ($\text{C}=\text{O}$) の生成により、波数 1700 cm^{-1} 付近に明瞭なピークが確認された。対照的に、ストアス60/80や自然冷却、雪散布冷却の試料では、この波数帯に顕著なピークは認められなかった。

表-6 各試料の CI 算出結果

供試体種別	$\Delta E_{C=C}$	$\Delta E_{C=O}$	CI
劣化アス	0.0062	0.0052	0.84
ストアス 60/80	0.0162	0.0037	0.23
自然冷却	0.0108	0.0020	0.19
雪散布冷却	0.0029	0.0008	0.27

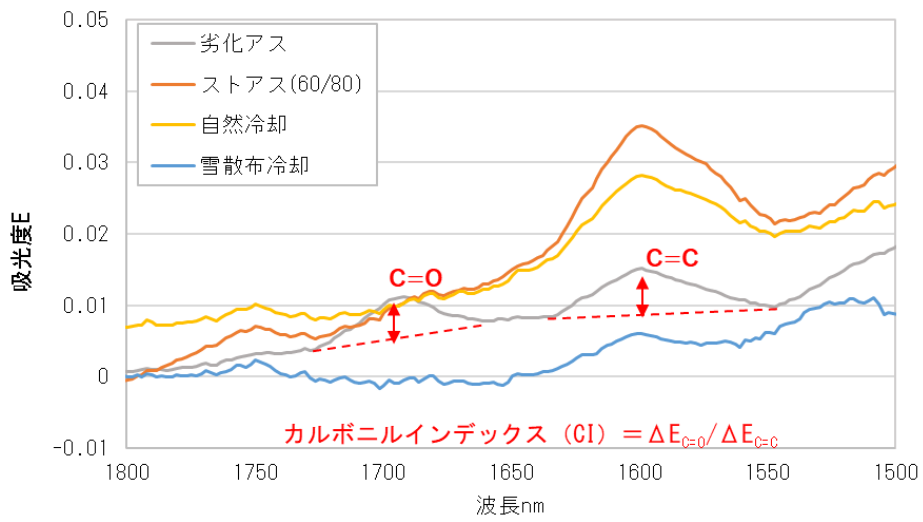


図-7 各試料の吸光度スペクトルの比較

4. 本研究の結論

本研究では、高速道路等のアスファルト舗装補修工事における早期交通開放を目指し、アスコン層の「雪冷却」の有効性と耐久性への影響を検討した。各種実験を通じて得られた知見を以下に示す。

- 1) アスコン層の内部温度測定の結果、雪散布による冷却は自然放置や水散布と比較して効率的に温度を低下させることが確認され、舗装の維持修繕工事において交通開放温度に到達するまでの時間を大幅に短縮できる可能性が示された。
- 2) 雪の温度による冷却効果の比較では、 0°C の雪のほうが -30°C の雪よりも短時間で温度を低下させることが明らかになった。これは 0°C の雪のほうが早く融解し、生じた融解水がアスコン層の表面を継続的に冷却するため、極低温の雪を使用しても必ずしも冷却効果が高まるわけではないことが示唆された。
- 3) 針入度試験の結果、雪散布による強制急速冷却はアスファルトバインダーのコンシステンシーに影響を及ぼさないことが確認された。
- 4) 組成分析試験および FTIR の結果からも、雪散布冷却がアスファルトバインダーに与える化学的な影響は認められなかった。
- 5) 以上から、道路舗装補修工事における雪散布による強制冷却は、アスコンの物性や耐久性に物理的・化学的な悪影響を及ぼすことなく、養生時間を短縮できる有効な手段であると判断できる。

雪散布冷却による急速な温度低下は、アスファルトバインダーに物理的・化学的影響を与えないことを確認した。しかし、アスコンの物性や供用性などのパフォーマンスへの影響は未検証である。今後は、冷却養生後に交通開放した場合、自然放置冷却と比べて塑性流動変形の進展にどの程度差が生じるかを定量的に評価する必要がある。