凍結抑制舗装の問題点と評価について

Application of Pavement for Prevention of Freezing and Deicing

稲垣 竜興*

Tatsuoki Inagaki

1. はじめに

スパイクタイヤの使用が規制されて以降の積雪寒冷地域における冬季の交通安全対策として、舗装による路面の凍結対策が大きくクローズアップされてきている。

最も効果が大きいとされているのは、舗装路面の温度を凍結温度以上に保つ路面ヒーティングによる方法であるが、イニシャル、ランニングともコストが高く、広く普及するに至っていない。

次善の対策として、多くの凍結抑制舗装工法が提案されているが、何れの工法も何らかの問題点を持っていると言える。

ここでは、現在提案されている凍結抑制舗装の問題点とその評価方法について示す。

2. 路面の凍結対策の現況

路面の凍結は、車両によって踏み固められた雪が低温のため路面に凍りついたものや、一度融解した雪が温度低下によって再び凍結したもの、降雨などによる路面上の水分が温度低下により凍結したものなどがある。

さらに、最近では積雪寒冷地域におけるスパイクタイヤの粉塵公害問題から、平成2年6月27日に「スパイクタイヤ粉塵の防止に関する法律」が公布

され、平成3年4月1日以降指定地域でのスパイクタイヤの使用が禁止されてきた。こういった状況からスタッドレスタイヤ使用者が増加し、冬期間の路面状況は従来のアイスバーンとは異質の、いわゆる「ミラーバーン」(除雪直後の鏡面化した氷結路面)や「つるつる路面」あるいは交通渋滞の激しい街路や交差点部分では「こぶ氷路面」といわれる新たなすべり易い路面が出現してきており、交通事故や交通渋滞が頻発してきている。

こういったことから路面の滑り止め対策の一環としての凍結抑制あるいは融雪舗装に期待が集まってきており、効果的な工法の提案が急務となってきた。以下に一般的な凍結抑制舗装についての概要を示した。

(1) 凍結対策の概要

積雪寒冷地における道路の路面凍結防止対策工法は、現段階で表-1の通りである。

これらの内わが国では、除雪対策として一般的に機械による除雪が多く用いられている。また、路面のすべりおよび早期の融雪対策としては砂の散布が行われており、凍結防止には薬剤の散布が一般的である。しかし、これらの工法は一般に維持管理が煩雑で、また薬剤散布では道路構造物や沿道環境への塩害が懸念される。

* 世紀東急工業株式会社技術部

表－１ 路面凍結防止工法

工法の分類	使用目的	特 徴	課 題
機械による除雪除雪車、グレーダ	除 雪	積雪量の多い場合も対応できる。	凍結防止効果はない。
薬剤散布 塩化ナトリウム 塩化カルシウム 塩化マグネシウム 尿素 CMA	凍結防止	<ul style="list-style-type: none"> • ある程度の積雪には対応できる。融雪を目的とした場合大量の薬剤散布が必要で、不経済。 • 路面温度－20℃程度迄は薬剤、散布量の選択で対応が可能。 • 除雪作業が容易になる。 	薬剤として塩化物が用いられることから、定期的に大量に散布される地域では塩害の発生があり、問題となっている。
細骨材（焼砂）	滑り止め 雪解早期	単独または薬剤と併用し効果あり。主に坂道で使用。	雪解け時に路肩、排水樹の砂回収が必要。
消雪パイプによる散水	融 雪 凍結防止	<ul style="list-style-type: none"> • 気温が極端に低くない所では有効。 • 温泉水、加温水、塩水の場合は極低温でも効果あり 	地下水散布の場合は地盤沈下の可能性があり、要注意。
ロードヒーティング	融 雪 凍結防止	融雪、凍結防止効果の信頼性は高い。時間当たり降雪量の多い場合は限界あり	他と比べ経済性に問題がある。
蓄熱舗装	融 雪 凍結防止	<ul style="list-style-type: none"> • ロードヒーティング と同等の効果が期待できる。 • 熱源が太陽熱または地熱であるためランニングコストが低い 	熱源が太陽光および地熱であることから熱の持続性がある。
凍結抑制舗装	凍結防止	<ul style="list-style-type: none"> • 維持管理が容易である。 • 極低温では効果が少ない 	凍結抑制効果の持続性、舗装の耐久性に問題がある。

ロードヒーティング、散水による消雪、蓄熱舗装は日常の維持管理が容易であるが、経済性や地盤沈下の問題から適用箇所の選定に配慮が必要となる。

凍結抑制舗装は、路面上での初期凍結の防止と雪氷の付着防止を目的とするものである。この工法は舗装自体では雪や氷を溶かすことはないことから、他の工法と比べて除雪効果や極低温での路面凍結防止性能は低くなる傾向があるが、適用地域の気象条件等を把握して使用すれば、維持管理の容易性から非常に有効なものである。

(2) 凍結抑制舗装の種類と分類

凍結抑制舗装は、その材料特性から大きく次の3つに分類できる。

① 塩化物系……塩化カルシウム、塩化ナトリウム等の塩化物および特殊な石粉、骨材、油等を混合

固化したものを骨材と同様にアスファルト混合物に添加し混合したものや、排水性舗装などの空隙率の大きな舗装の中に塩化物を散布充填したもの。

② 不凍液系……排水性舗装等の高い空隙を有する舗装の空隙の中に不凍液を浸透させたもので、浸透した不凍液が流出しないように特殊な添加剤でゲル化させたもの。

③ 弾 性 系……アスファルト混合物内に粒状ゴムを添加したもの、あるいは舗装表面に孔を開け、円柱形に整形したゴムを差し込んだもの、路面にグルーピングを行い、溝にウレタン樹脂を注入したもの、ゴムパイプを舗装に埋め込んだもの、さらに廃タイヤや人工のゴム板をコンクリート版に張りつけて敷ならしたもの。

などがある。これらを表－２に示す。

表－２ 凍結抑制舗装の種類と概要

添加材 区 分	商 品 名	主成分形状	原理および特徴	凍結 温度	備 考
塩 化 物 系	ベルグ リミット	塩化カルシウム 粒径0.1～5mmの 顆粒状骨材	・塩化物の水点降下機能 を利用。形態は２種 ①混合物中の塩化物が気 象条件により浸透圧や 毛細管現象で表面に溶 出 ②舗装の摩耗によって塩 化物が表面に出現 ・効果の持続性には限界 がある	－３℃ 程度ま で	塩化カルシウムの表面を 亜麻仁油でコーティング することによって塩化物 の溶出をコントロール
	マフィロン	塩化ナトリウム 塩化カルシウム 微粉末	・舗装の耐久性は、添加 剤を添加しないものと比 べ若干低下する。 ・融雪にも多少の効果は あるが、凍結抑制が基本 である。		塩化ナトリウム、塩化カ ルシウム等の無機塩に粘 土、石粉を混ぜたもの。
	ノンフリーズ	10mm以下の骨材 状	・降雪が路面に氷結しに くくなるので除雪作業が 容易になる。		特殊塩化物を特殊セメン トに混入固化後破砕した もの。 骨材として使用。
	岩塩	岩塩（塩化ナト リウム）			コストが安い。
弾 性 ゴ ム 系	ルビット	廃タイヤを急冷 粉碎したもので、粒状	・添加するゴム粒子にた わみ性を利用して舗装に 弾力性を付与。車両荷重 により舗装がたわみ、路 面の氷結層を破壊する。	０℃ で凍結するが荷重で氷を破壊	ゴムの弾力性と車両荷重 による物理的な凍結抑制 作用で、氷結層が厚い場 合や車両荷重が軽い場合 は効果少
	グルーピング ＋ウレタン	ウレタン系樹脂 幅６mmの溝 液状で注入	路面に溝を切り、その中 に弾力性材料を注入車両 荷重により路面の氷結層 を破壊する。		原理はルビットと同じで あるが、耐久性は今後の 検討が必要である。
	マジック サークル	柱状ゴム 直径５cm	舗装表面に孔を開け、こ こに柱状ゴムを敷設する。 原理はルビットと同じ。		ゴム材質はスタッドレス タイヤや目地材のものが ある。費用が高つく難 点有り
	ゴムパイプ/ 廃タイヤ ゴムマット等	ゴムパイプ/廃 タイヤ等	ゴムパイプは舗装にゴム パイプを埋め込むもの。 ゴムマットは平板に廃タ イヤを張付け路面に敷く。		耐久性や、夏期の走行性 に検討が必要である。
不凍 液系	ベック工法	開粒度舗装 プロピレングリ コールゲル化剤 液状で注入	排水性舗装等の開粒度舗 装の空隙に不凍液を浸透 、ゲル化した不凍液の作用 で氷結防止	－１０℃	ゲル化剤の種類により高 温タイプと常温タイプが ある

3. 凍結抑制舗装の評価について

表－2に示すように、凍結抑制舗装は各種の工法が提案されてきており、さらに新たな開発が行われている。一方で、その評価方法が定まっておらず、工法採用に当たってどの程度の効果を期待すべきかが判定しにくい状況にある。従って、凍結抑制舗装の実用化のために、その機能を定量的に評価する方法がのぞまれている。

現在、一般的な物理的評価方法としては、建研式引き抜き試験器による路面との氷着程度を計るもの、北海道開発局提案のせん断による氷着力測定方法および北海学園大学武市先生提案の土質用一面せん断試験器の応用方法などがある。

これらのうち、上部から荷重をかけ、せん断試験を行う一面せん断試験方法が、最も現実の路面および挙動に近いものと考え、荷重、荷重速度および変移等を自動化した改良試験器によって、評価試験を行った。以下にその概要を示す。

(1) 実験概要

本実験に用いた凍結抑制舗装用の混合物は、細粒度ギャップアスファルト混合物(13F)に塩化物系添加剤を5%添加したもの(A)、特殊ギャップ型粒度のアスファルト混合物に廃タイヤを急冷粉碎したゴム粒子を3%混入したもの(B)および目標空隙率を18%の排水性舗装用アスファルト混合物(13)の空隙に不凍液などからなる凍結防止材を充填したもの(C)の3種類とした。

実験方法は、図－1に示す一面せん断試験器を用い、凍結抑制舗装と着氷層の境界面がせん断面に一

図－1 一面せん断試験の方法

致するようにして、垂直方向に荷重(N)を加えた状態で水平方向にせん断力(S)を加え、氷を押しはがす時の最大せん断力を着氷面積で除して得られるせん断応力を求めるものである。せん断応力が小さいほど着氷しづらいことを表している。なお、垂直方向に一定の荷重を加えることは、車両重量の影響を考慮しているものである。

ここでは0.3および6.4kgf/cm²の2水準で行った。その他試験条件は表－3に示す。

表－3 試験条件

項 目	条 件
供 試 体 寸 法	φ10 cm×5 cm
着 氷 層 寸 法	φ 6 cm×3 & 25 mm
垂 直 応 力	0.3, 6.4 kgf/cm ²
変 位 速 度	1/100 mm/min
試 験 温 度	－2, －5, －10℃

なお、供試体は供用後2ヶ月程度の車両走行を受けた路面を想定し、簡易回転ラベリング試験を実施したホイールトラッキング試験用の30×30×5 cmの形状のものからコアカッタにより切り出した。

簡易回転ラベリング試験は、供試体面が0℃の湿潤状態としタイヤ走行を実施した。タイヤはニューマチックの表面にスタッドレスタイヤの表面部を張りつけたもので接地圧3.7kgf/cm²、供試体の回転数60r.p.m、通過輪数11,720回とした。

(2) 実験結果と考察

着氷層の厚さ3 mmの時の一面せん断試験結果を図－2に、25 mmの時の結果を図－3に示す。

試験結果から以下のことが明らかになった。

- ① せん断応力は着氷層の厚さが薄いほど小さくなる傾向がある。
- ② せん断応力は試験温度が0℃に近づくほど小さくなる傾向を示した。
- ③ せん断応力は垂直応力が小さいほど小さくなる傾向を示した。なお、弾性力を付加したBのせん断応力が、垂直応力が大きくなるほど小さくならなかったのは拘束した着氷層に加えた垂直荷重の加え方に工夫が必要であると思われる。
- ④ せん断応力はBとCでそれほど顕著な差が見ら

図-2 一面せん断試験結果 (着水層の厚さ: 3mm)

図-3 一面せん断試験結果 (着水層の厚さ: 25mm)

れなかったが、A, B, Cの順で小さい傾向を示した。

4. あとがき

今回の測定値は供用後初期の状態を想定して求めた結果であり、それぞれの供試体の供用状態によってこれらの傾向も変化することが考えられる。したがって、凍結抑制舗装の耐久性を評価する上で、経年変化の合わせた供試体の作成方法など、今後の課題であるといえる。

今後、効果的な凍結抑制舗装を開発する上で、または凍結抑制舗装の機能を管理する上で、ここに示した様な定量的な試験評価方法が必要となることから、さらに試験条件や試験方法の改良を含めて提案していく必要がある。そういった意味で本報分が参考になれば幸いである。