

凍結抑制舗装の性能向上に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：道路技術研究グループ（舗装）

研究担当者：久保和幸、寺田 剛、川上篤史

【要旨】

冬期路面对策の一手法として、多種多様な凍結抑制舗装が開発されているが、路面凍結抑制や除雪圧雪補助または路面に付着した圧雪を剥がす効果等は限られた場所や条件でしか発揮されないこともあり、効果の持続性や耐久性にも課題がある。そこで、本研究では、既存の凍結抑制舗装の凍結抑制効果、持続性、耐久性等の整理を行うとともに、室内及び現場で凍結抑制効果の確認試験を実施し、凍結抑制舗装の改良や新しい技術の検討を行った。また、凍結抑制効果を適切に評価できる試験法と効率的に発揮できる適用条件の検討を行った。その結果、冬期路面对策や凍結抑制機能を効率的で効果的に発揮できる凍結抑制舗装の改良や新しい技術の開発を行うことができた。また、凍結抑制舗装の効果を適切に評価できる試験法と効率的に発揮できる適用条件を提案した。

キーワード：凍結抑制舗装、適用条件、評価法、氷板ホイールトラッキング試験、氷着引張試験

1. まえがき

冬期道路の安全・円滑な交通確保のために冬期路面管理が重要な課題となっている。冬期路面对策としては、凍結防止剤の散布、機械による除雪、消雪パイプや路面ヒータなどの道路融雪等が行われているが、最近はより一層安全な交通確保の要望が高くなっているため、凍結防止剤の散布量の増加など冬期路面对策に関わる費用が年々増加している。冬期道路の安全・円滑な交通確保のためには、舗装技術においても冬期路面对策を行う必要がある。

舗装技術においては、冬期路面对策の一手法として、多種多様な凍結抑制舗装が開発されているが、路面凍結抑制や除雪圧雪補助または路面に付着した圧雪を剥がす効果等は限られた場所や条件でしか発揮されていないこともあり、効果の持続性や耐久性にも課題がある。そこで、凍結防止剤以外で冬期路面对策や凍結抑制機能を効率的で効果的に発揮できる凍結抑制舗装の改良や新しい技術の開発が必要である。

本研究では、既存凍結抑制舗装の現状調査として凍結抑制効果、持続性、耐久性等の調査・整理を行うとともに、室内及び現場で凍結抑制効果の確認試験を実施し、凍結抑制舗装の改良や新しい技術の検討を行った。また、凍結抑制効果を適切に評価できる試験法の検討と効率的に発揮できる適用条件を行った。

2. 既存凍結抑制舗装の現状調査

施工実績、凍結抑制効果、持続性、耐久性、評価法等の整理を行うことを目的に、既存の凍結抑制舗装(物

理系 6 種類、物理化学系 2 種類、化学系 6 種類) について、メーカーアンケート及び現地で凍結抑制効果の確認を実施した。

(1) 施工実績

施工実績として物理系の施工数は 597 件、施工面積は 1126 km²、化学系の施工数は 127 件、施工面積は 198 km²、物理化学系の施工数は 7 件、施工面積は 20 km²であり、圧倒的に物理系の施工実績が多かった。

(2) 凍結抑制効果

各メーカーが凍結抑制効果として共通して評価を行っている試験は、氷板の剥がれやすさを評価する氷着引張試験だけであったので、その結果を比較すると、物理系の平均が 0.31MPa、物理化学系の平均が 0.35MPa、化学系の平均が 0.32MPa とほぼ同じ値で、密度度アスファルト舗装の 0.78MPa と比べ半分以下と効果が高い結果であった。

(3) 持続性と耐久性の確認

既存凍結抑制舗装の持続性と耐久性を確認する目的で、現地で舗装の状態、凍結抑制添加剤状況、路面露出率(目視)、雪氷の付着力(スコップ)を調査し凍結抑制効果を確認した。調査を行った既存凍結抑制舗装は、化学系 3 箇所、物理系 6 箇所である。調査を表 1 に示す。化学系及び物理系とも施工後 9 年以上経っているのに効果がある箇所もあったが、施工後 4～5 年しか経っていないのに凍結抑制効果がない箇所があり、効果の持続性や耐久性に課題があることが明らかになった。

(4) 評価法

凍結抑制効果を評価する試験方法として実施されていたのは、2社が氷板ホイールトラッキング試験（以下、氷板WT試験という）、1社がスコップによる圧雪除去試験であり、各メーカーが凍結抑制効果として共通して評価を行っている試験は、氷板の剥がれやすさを評価する氷着引張試験だけであった。よって、凍結抑制舗装の効果を適切に評価できる試験法を見出す必要があることが分かった。

表-1 現地での持続性と耐久性の確認結果

種類	番号	施工後の年数	舗装の状態	凍結抑制添加剤状況	路面露出率	効果	付着力	効果	効果の総合評価
化学系	1	9年	○	残っている	露出なし	×	効果は認められず	×	×
	2	9年	○	残っている	露出なし	×	わだち部の圧雪の付着力は密粒舗装より弱い	○	○
	3	4年	○	残っている	露出なし	×	密粒舗装との差異はない	×	×
物理系	1	10年	○	残っている	露出なし	×	わだち部の圧雪の付着力は密粒舗装より弱い	○	○
	2	7年	○	残っている	露出70% 密粒も70%	×	密粒舗装との差異はない	×	×
	3	12年	○	残っている	露出なし	×	わだち部の圧雪の付着力は密粒舗装より弱い	○	○
	4	9年	△	表面は残っていない、内部は残っている	露出40%	○	凍結抑制効果が認められる	○	●
	5	4年	○	残っている	露出なし	×	わだち部の圧雪の付着力は密粒舗装より弱い	○	○
	6	5年	×	殆ど残っていない	露出なし	×	密粒舗装との差異はない	×	×

注：舗装の状態：路面のわだち掘れ量、ひび割れ率、骨材飛散率状況から「○」、「△」、「×」で評価
 効果：効果がある「○」、ない「×」、効果が発揮されていると推測「△」
 総合評価：路面露出率と付着力より総合的に判断

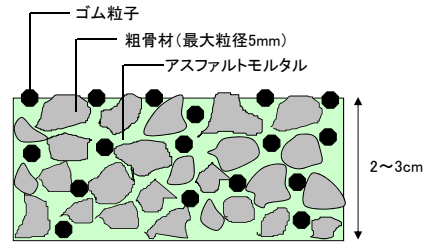


図-1 薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装の概念図

3.1.2 粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装^{1)、2)}

粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装の概念図を図-2に示す。本工法は、砕石マスタック舗装を用いて表面を粗面にするとともに、舗装表面にもゴム粒子を散布接着させることにより、凍結抑制効果を高めた物理系凍結抑制舗装である^{1)、2)}。

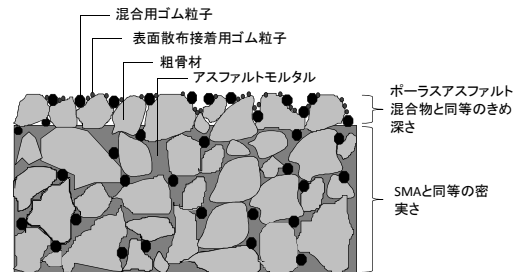


図-2 粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装の概念図

3. 新しい凍結抑制舗装の開発

平成22年度から24年度に「凍結抑制舗装技術の開発に関する共同研究」を実施し、冬期路面对策や凍結抑制機能を効率的で効果的に発揮できる凍結抑制舗装を開発した。(独)土木研究所と共同研究を実施した会社及び開発した凍結抑制舗装の種類を表-2に示す。

表-2 開発した凍結抑制舗装

番号	開発した新たな凍結抑制舗装	共同研究相手
A	薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装	大林道路(株)
B	粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装	
C	ゴムチップ入り凍結抑制舗装	大成ロテック(株) 大林道路(株)
D	歩道用薄層化学系凍結抑制舗装	大成ロテック(株)
E	薄層圧入ゴム入り凍結抑制舗装	(株)NIPPO
F	粗面系舗装	凍結抑制舗装研究会
G	撥水舗装	
H	蓄熱舗装	

3.1 開発した凍結抑制舗装の特徴

3.1.1 薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装^{1)、3)}

薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装（以下、薄層型凍結抑制舗装）の概念図を図-1に示す。本工法は、従来工法のルビット舗装（4～5cm）より2～3cmの薄層にするとともに、ゴム粒子は工業用ゴム端材を有効利用することで低コスト化した物理系凍結抑制舗装である。

3.1.3 ゴムチップ入り凍結抑制舗装

ゴムチップ入り凍結抑制舗装の概念図を図-3に示す。本工法は、写真-1に示す従来工法のルビットゴムよりも低温時に軟らかく粒径が大きなゴムチップ（廃スタッドレスゴム）を使用することで、雪氷の剥離や破碎効果が高めた舗装である。

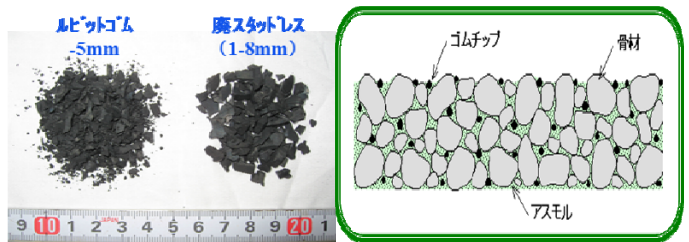


写真-1 ルビットゴムと廃スタッドレスゴム

図-3 凍結抑制舗装概念図

3.1.4 歩道用薄層化学系凍結抑制舗装^{4)、5)}

化学系の凍結抑制材をアスファルト混合物に添加することで、その空隙から溶出した塩分により、路面に雪氷が固着するのを防ぐもので、スコップ等による人力除雪でも、路面が容易に露出させることで歩行の

安全性が確保できる化学系凍結抑制舗装である^{4)、5)}。従来、車道に使用していた化学系凍結抑制舗装を歩道や駐車場に利用するもので、薄層化にすることで低コスト化したものである。

3.1.5 薄層圧入ゴム入り凍結抑制舗装

薄層圧入ゴム入り凍結抑制舗装は、従来の圧入ゴム入り凍結抑制舗装と同等の凍結抑制効果を保ちつつ、舗装厚を従来の50mmから25mmへと薄層化することにより低コスト化した物理系凍結抑制舗装である。ゴム骨材は従来品の標準粒径(舗装厚50mm用)に対して、小粒径(舗装厚40mm)用、極小粒径(舗装厚40mm)がある。



写真-2 ゴム骨材の外観

写真-2にゴム骨材の外観を示す。

3.1.6 粗面系舗装⁶⁾

ポーラスアスファルト混合物の空隙を23%と大きくすることで舗装表面を粗面化し、路面上の氷膜を車両の通行により摩耗させ、すべり抵抗性の早期回復を図る凍結抑制舗装がある。写真-3に表面状態を示す。表面に水が滞水しないことから、再氷結時も路面に氷板が出来にくいという効果もある⁶⁾。



写真-3 粗面系舗装の表面

ある。写真-3に表面状態を示す。表面に水が滞水しないことから、再氷結時も路面に氷板が出来にくいという効果もある⁶⁾。

3.1.6 撥水舗装⁶⁾

舗装表面に撥水材を塗布することによって、雪氷の付着を抑制し、交通荷重による圧雪のはく離や除雪作業の効率化を期待した舗装である。路面の水が写真-4に示すとおり撥水され球状になることで、気温低下時も路面と氷板が氷着し難くなる効果が期待できる。



写真-4 撥水舗装の表面

3.1.7 蓄熱舗装⁶⁾

マイクロカプセル状の蓄熱材をセメントミルクに混入した半たわみ性舗装や保水性舗装タイプの舗装である。蓄熱材の蓄熱効果により路面温度低下を遅延させ

ることで路面凍結の遅延・抑制を期待できる。

3.2 混合物性状

混合物性状として耐流動性を評価するホイールトラッキング試験と摩耗性及び物理系凍結抑制舗装ではゴム骨材が飛散しないか確認するためラベリング試験並びに湿潤路面におけるすべり抵抗性を実施した。なお、Cのゴムチップ入り凍結抑制舗装はゴム骨材の量を2種類(3%:C-1、5%:C-2)、Eの薄層圧入ゴム入り凍結抑制舗装はゴムの骨材の種類を2種類(小粒径:E-1、極小粒径:E-2)を開発しているため、その試料も試験した。

3.2.1 耐流動性

開発した凍結抑制舗装のホイールトラッキング試験結果を図-4に示す。この結果、粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装及びEの層圧入ゴム入り凍結抑制舗装は動的安定度が2000回/mm以上と大きいため重交通道路にも使用が可能である。それ以外は、密粒アスコンと同程度以上であり、N5交通道路に使用可能である。

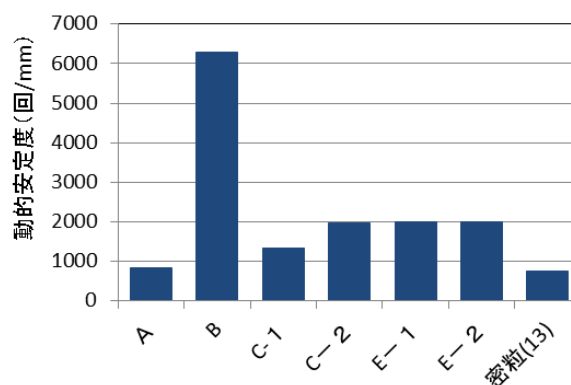


図-4 ホイールトラッキング試験結果

3.2.1 耐摩耗性

開発した凍結抑制舗装のラベリング試験結果を図-5に示す。この結果、すべての凍結抑制舗装とも密粒アスコンと同程度以下であり、耐摩耗性は問題ない結果であった。また、物理系凍結抑制舗装のうちEの層圧入ゴム入り凍結抑制舗装以外は、ゴム骨材の飛散が少し確認されたが問題ない結果であった。

3.2.1 すべり抵抗性

開発した凍結抑制舗装のBPN試験結果を図-6に示す。この結果、密粒アスコンより低い値のものもあるが、すべての凍結抑制舗装ともBPN70以上あり、すべり抵抗性は問題ない結果であった。

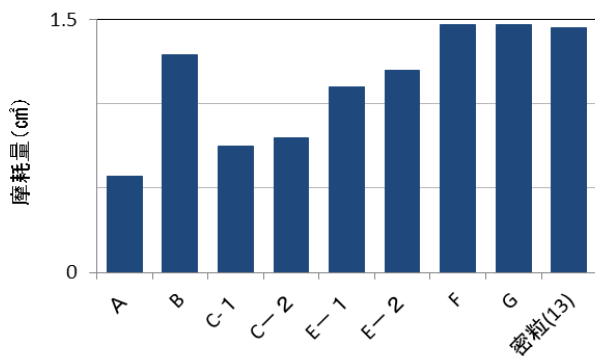


図-5 ラベリング試験結果

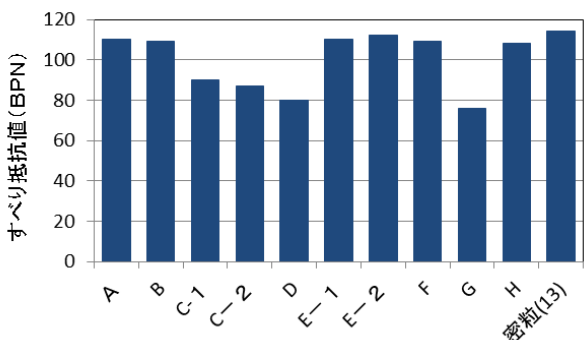


図-6 BPN試験結果

3.3 凍結抑制効果

凍結抑制効果の評価試験として、凍結抑制舗装の路面と雪氷の接着強度を調べる氷着引張試験と交通荷重により氷板が破碎し剥がれる状態をシミュレートした氷板ホイールトラッキング (WT) 試験により確認した。

3.3.1 氷着引張試験結果

氷着引張試験の結果を図-7に示す。その結果、Gの撥水舗装が0.03MPaと一番良い結果であり、それ以外の凍結抑制舗装も0.2MPaと密粒アスコンより小さく凍結抑制効果が十分ある結果であった。

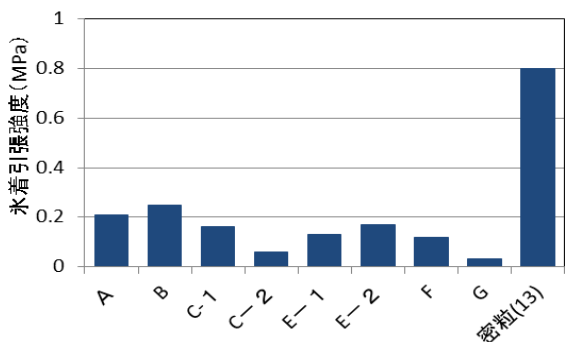


図-7 氷着引張試験結果

3.3.2 氷板WT試験着引張試験結果

氷板WT試験結果を図-8に示す。その結果、Fの粗

面系舗装とGの撥水舗装は、密粒アスコンよりひび割れ率が少ない結果となった。これはFの粗面系舗装は表面が粗く、Gの撥水舗装はポーラスアスファルト舗装の上に撥水材を塗布しているため、骨材と骨材の間に氷が食い込んでしまい、ひび割れ率が小さくなったものと思われる。これ以外の凍結抑制舗装は、密粒アスコンより大きな値となっているため、凍結抑制効果が十分ある結果があることが分かった。

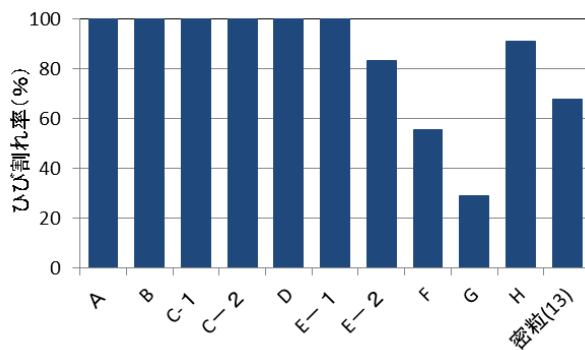


図-8 氷板WT試験結果

3.4 施工性及び供用性

開発した凍結抑制舗装の施工性及び供用性を確認するため表-3に示す箇所で行った試験施工を行った。以下にそれぞれの結果を示す。

表-3 試験施工箇所

番号	開発した新たな凍結抑制舗装	試験施工	供用年数
A	薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装	橋梁(香川県)435m ²	3年
		橋梁(香川県)1313m ²	3年
		国道377号(香川県)3250m ²	3年
B	粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装	構内道路(新潟市)70m ²	3年
		横断歩道部(函館市)63m ²	2年
		国道8号(魚津市)882m ²	1年
C	ゴムチップ入り凍結抑制舗装	構内道路(鴻巣市)207m ²	2年
		工場構内道路(深谷市)67.5m ²	6ヶ月
D	歩道用薄層化学系凍結抑制舗装	構内敷地(妙高市)126m ²	3年
E	薄層圧入ゴム入り凍結抑制舗装	構内道路(大宮市)271m ²	2年
F	粗面系舗装	工場構内道路(奥州市) 75m ²	3年
G	撥水舗装		
H	蓄熱舗装		

3.4.1 薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装

施工状況を写真-5に、圧雪時の状況を写真-6に示す。凍結抑制効果があることが分かる。供用後3年経過してもわだち掘れ等の損傷もなく、舗装表面にゴム粒子が存在しており、舗装としても良好な供用状況であった。



写真-5 施工状況

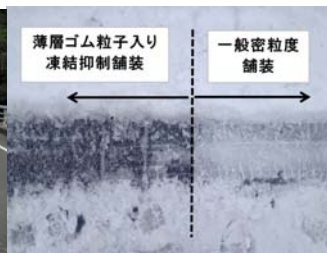


写真-6 凍結抑制効果

3.4.2 粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装

国道8号での施工状況を写真-7に、舗装表面性状を写真-8に、氷板時の状況を写真-9に示す。凍結抑制効果があることが分かる。写真-10に横断歩道での舗装完了状況を示す。両箇所ともわだち掘れ等の損傷もなく、舗装表面にゴム粒子が存在しており、舗装としても良好な供用状況であった。



写真-7 施工状況

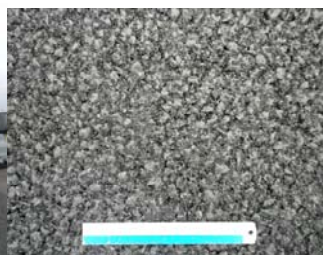


写真-8 舗装表面性状

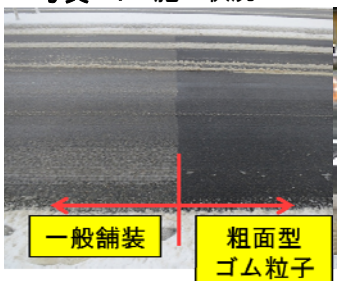


写真-9 凍結抑制効果



写真-10 舗装完了状況

3.4.3 ゴムチップを用いた凍結抑制効果の高い物理系凍結抑制舗装

施工後の状況を写真-11に、舗装表面性状を写真-12に示す。施工性は、目標とする締固め度（締固め度：100～101%）、が得られ、混合物の引きずりもなく仕上がりも良好であった。供用6ヶ月後だが供用性及びすべり抵抗値もRSN0.45と良好な結果が得られ、舗装周辺へのゴムチップの飛散はほぼ確認されなかった。



写真-4 施工状況



写真-12 表面状態

3.4.4 歩道用薄層化学系凍結抑制舗装

施工状況を写真-13に示す。締固め度は97.9～99.0%となり、目標とした空隙率4～6%が確保できた。また、混合物の引きずり等もなく、施工性は良好であった。



写真-13 施工状況

また、施工4ヶ月に、スコップを用いた人力除雪のし易さをアンケートにより評価した。その結果、通常舗装（比較用細粒）は雪氷が路面に固着しているため、容易に除雪することができなかつたのに対し、凍結抑制舗装はすべての人が除雪し易いと評価し除雪補助効果が確認できた。スコップ除雪状況を写真-14に示す。



写真-14 スコップ除雪状況

3.4.5 薄層圧入ゴム入り凍結抑制舗装

極小粒径ゴム骨材は人力にて散布（1.0kg（56個）/㎡）し、圧入はコンバインドローラ（4t）とハンドガイドローラを用いた。写真-15に示すようにゴム骨材が小さく散布個数が多いため均等な散布が難しく、ゴム骨材が近接した箇所では、舗装終了後の車両通過時にゴム骨材の飛散が発生した。



写真-15 散布状況

3.6.4 粗面系舗装、撥水舗装、蓄熱舗装の試験施工

写真-16に施工後の状況を示す。施工13ヵ月後に凍結抑制効果として現場で氷着引張試験を実施した。氷着引張試験の結果、粗面系舗装および撥水舗装は、氷着引張強度が低く凍結抑制効果が確認された、蓄熱舗装は氷着引張強度が高かった。蓄熱舗装が高くなった理由として、測定時の気温が-5℃であったため蓄熱されず効果が発揮されなかったものと思われる。



写真-16 施工後の状況

4. 凍結抑制舗装の効果を適切に評価できる試験法の検討

はじめに、既存試験方法で凍結抑制舗装の効果を適切に評価できるか検討を行った⁷⁾。次に、タイヤの蹴り出し効果を再現できる回転ラベリング試験機を用いた凍結抑制舗装の評価法の検討を行った。

4.1 既存試験方法の妥当性の検討

4.1.1 試験方法

(1) 試験に用いた供試体

試験には、表-4に示す凍結抑制舗装12種類の供試体を使用した。

(2) 検討した試験方法

検討した4試験方法の試験条件を表-5~表-7に、詳細な方法を以下に示す。

1) 氷着引張強度試験

氷着引張強度試験は、「舗装性能評価法別冊（日本道路協会）1-5」に基づき実施した。試験は、供試体の表面に引張治具（鋼製治具に不織布を貼り付けたもの）を氷着させ、養生完了後に鋼球を10回落下させた後、建研式引張試験機により引張荷重を測定した。氷着引張強度試験の概要図を図-9に示す。

表-4 試験に用いた供試体

凍結抑制舗装分類	供試体	母体混合物	凍結抑制の方法	添加ゴムの大きさ	添加ゴムの量
物理系	A-1	ギャップ型	ゴム粒子混入	5mm以下	2.5%
	A-2	ハイブリッド型	ゴム粒子混入・表面散布	混入:5mm以下 表面散布:3mm	混入:2.0% 表面散布:300g/m ²
	B-1	密粒タイプ	ゴム粒子混入	1~5mm	3%
	B-2	密粒タイプ	ゴム粒子混入	1~5mm	5%
	B-3	密粒タイプ	ゴム粒子混入	1~8mm	3%
	B-4	密粒タイプ	ゴム粒子混入	1~8mm	5%
	C-1	密粒タイプ	ゴム骨材圧入	幅12×長さ14mm	1kg/m ²
	C-2	密粒タイプ	ゴム骨材圧入	幅16×長さ18mm	1.4kg/m ²
	C-3	密粒タイプ	ゴム骨材圧入	幅20×長さ22mm	1.8kg/m ²
粗面系	D-1	ポーラス	表面のキマ深さ	-	-
粗面撥水系	D-2	ポーラス	表面のキマ深さ+撥水剤	-	-
密粒撥水系	D-3	密粒タイプ	撥水剤	-	-

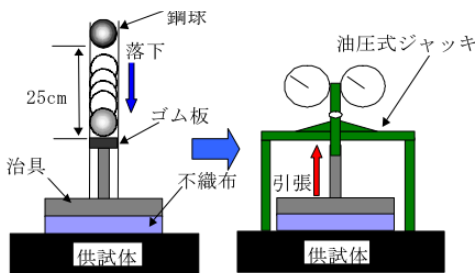


図-9 氷着引張強度試験

2) 氷板WT試験A

氷板WT試験Aは、東本⁸⁾らが提案した方法である。供試体の表面に厚さ1.5mmの氷板（12cm×26cm）を作製し、-5℃の恒温室内で車輪（ソリッドタイヤ）を10分間走行させて、氷板の破碎状況からひび割れ率を算出する。氷板WT試験Aでの氷板作製方法を図-10に示す。ひび割れ率の算出は、図-11に示す例のようにひび割れが見られるマス目を数え（ひび割れ後、氷板

が除去され、路面が完全に現れたものもカウントする）、ひび割れが見られたマスの数からひび割れ率を(式-1)に従い算出する。

$$\text{ひび割れ率 (\%)} = \frac{\text{ひび割れが見られたマス数}}{\text{全マス数 (78)}} \times 100 \dots (\text{式-1})$$

表-5 氷着引張強度試験の試験条件

項目	条件	
供試体養生	使用する水	水道水
	不織布の含水量	コンクリート平板での氷着引張強度が0.9±0.1MPaになる水量
	養生温度	-5±1℃
	氷着時間	4時間以上
	氷着時の載荷応力	4kPa
鋼球落下	鋼球質量(標準)	420±10g
	落下高さ	25cm
	落下回数	10回
引張試験	引張速度	13mm/分

表-6 雪氷の剥がれやすさ確認試験の試験条件

項目	試験条件	
氷板作製	素材	氷:水道水 = 150g:100g
	氷板の大きさ	φ15cm×厚さ1mm程度
	養生時間	5時間
	養生温度	-3℃
試験	砕氷転圧回数	20回
	スコップを入れる回数	5回
	スコップの材質・形状	鋼製、角形
	スコップを入れる方向	1方向
試験温度	-3℃	

表-7 氷板WT試験AとBの試験条件

項目	条件		
	氷板WT試験A	氷板WT試験B	
試験方法	氷板WT試験A	氷板WT試験B	
氷板作製	素材	氷:水道水=1:0.7	水道水
	氷板転圧荷重	136N	-
	氷板転圧回数	10往復	-
	養生温度	-5±1℃	-5±1℃
	養生時間	30分	2時間
	氷板の大きさ	縦26×横12cm	縦37×横37cm
試験	氷板の厚さ	1.5mm	1.0mm
	輪荷重	686N±10N	686N±10N
	試験温度	-5℃	-5℃
	走行時間	10分	30分
	走行速度	42回±1回/分	42回±1回/分
	試験面積	230mm×50mm ソリッドタイヤ往復	370×370mm トラバース走行
	試験輪寸法	ソリッドタイヤ幅50mm×厚さ15mm	ソリッドタイヤ幅50mm×厚さ15mm

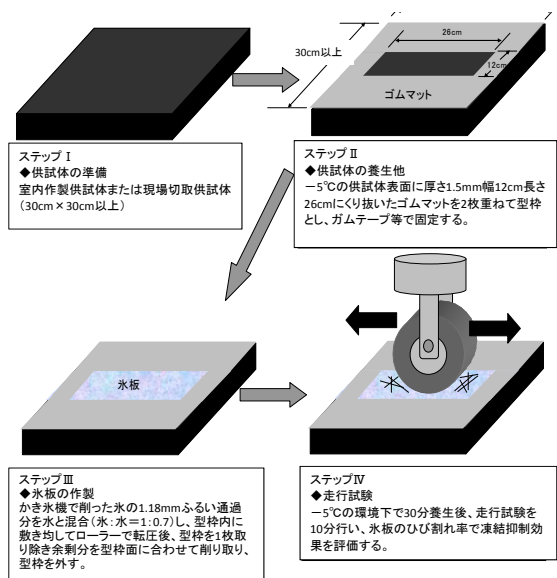


図-10 氷板WT試験Aでの氷板作製方法

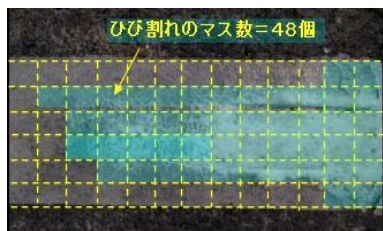


図-11 算出例(ひび割れ率 62%)

3) 氷板WT試験B

氷板WT試験Bは、小栗⁹⁾らが提案した方法である。供試体の表面全体に、厚さ1mmの氷板を作製し、試験温度-5℃の恒温室内で車輪(ソリッドタイヤ)を30分間トラバース走行させて、氷板が破碎した面積からひび割れ率を算出する。氷板WT試験Bでの氷板作製方法を図-12に示す。氷板のひび割れ率は、氷板が破碎し白くなった箇所を破碎箇所として、試験後の供試体表面をデジタルカメラで撮影し、その画像を2値化した解析画像により、画像全体のピクセル数に対する破碎箇所(白)のピクセル数の百分率で(式-2)に従い算出する

$$\text{ひび割れ率(\%)} = \frac{\text{白のピクセル数}}{\text{全体のピクセル数}} \times 100 \dots (\text{式-2})$$

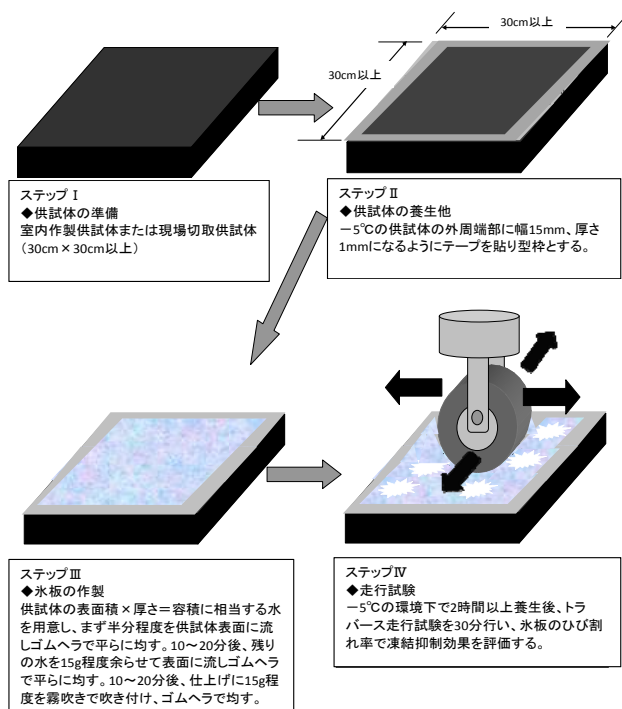


図-12 氷板WT試験Bでの氷板作製方法

4) 雪氷の剥がれやすさ確認試験

雪氷の剥がれやすさ確認試験は、稲本¹⁰⁾らが提案した方法である。供試体に氷着した雪氷を、鋼製のスコ

ップを用いて一定の力で剥がした時の剥がれやすさで評価した。雪氷の剥がれやすさ確認試験での氷板作製方法を写真-17に、氷板作製完成時の状況例を写真-18に、試験状況を写真-19に示す。評価方法は、形成した雪氷をスコップで剥がした後、雪氷が全面剥がれる場合：○、雪氷が半分以上の面で剥がれる場合：△、雪氷が半分以上の面で氷着しており剥がれない：×の3段階で判定し評価する。

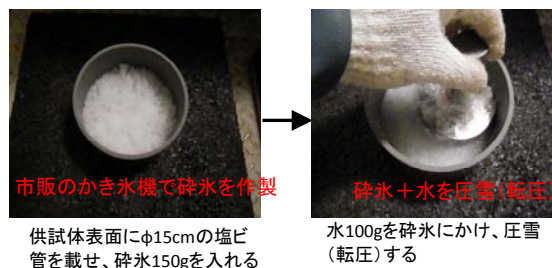


写真-17 剥がれやすさ確認試験での氷板作製方法



写真-19 氷板完成状況 写真-20 試験状況

4.1.2 試験結果

結果は各供試体3個の平均値で示している。

(1) 氷着引張試験結果

氷着引張試験の結果を図-13に示す。変動係数は0.06～0.34の範囲である。この結果、すべての供試体において比較材として試験したポーラスアスファルト混合物(13)の氷着引張強度の0.8MPaを大きく下回っており、凍結抑制効果は確認できる。また、ポーラスタイプのD-1とD-2を比較すると撥水剤を塗布したD-2のほうが小さな氷着引張強度を示したことから、撥水剤による凍結抑制効果が確認できた。

氷着引張試験は、舗装表面に鋼球を落とすことで作用する応力集中により氷板破壊を発生することを再現している試験であるが、鋼球を落下させた場合の衝撃荷重は、実際の道路における輪荷重と比べた場合、荷重(接地圧)および荷重の作用の仕方が異なっているため、供試体の種類により氷板破壊のメカニズムを適切に再現していないように考えられる。しかし、凍結抑制舗装によって、差は出ているため相対的な評価は可能と考えられる。

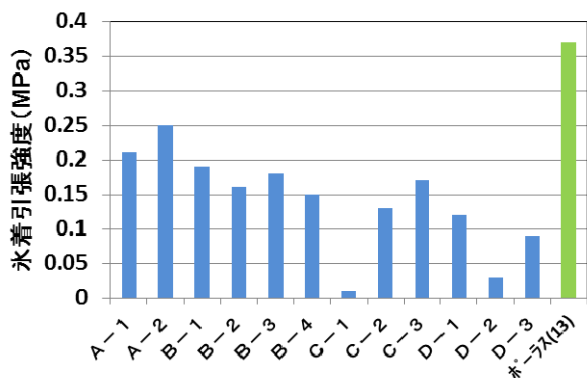


図-13 氷着引張試験結果

(2) 氷板WT試験Aの結果

氷板WT試験Aの結果を図-14に示す。変動係数は0.02~0.24の範囲である。この結果、すべての供試体において、比較材のポーラスアスファルト混合物(13)に比べ大きなひび割れ率を示しており、凍結抑制効果を有しているとの評価となった。氷板の破壊状況をみると、物理系のA-1~C-3の9種類は、写真-21に示すように車輪走行部分以外の氷板が浮き上がって剥がれる状態となっているが、車輪走行部分は白く割れる程度で圧雪状態であった。本試験の走行車輪は駆動していない(牽引)ため、蹴り出し効果が無く走行部分が圧雪になったと考えられる。

氷板WT試験Aにおける氷板の作製方法は、氷の質量を統一せず供試体表面からの厚さで規定している。したがって、図-15のように粗面系の凍結抑制舗装の場合、氷板を作製する際に空隙に雪氷が入り込み、その部分の氷板が厚くなる。この状況は実際の路面の状況を再現しているものであり、物理系のA-1~C-3に比べ粗面系のD-1およびD-2のひび割れ率が小さくなっているのは妥当な評価と考えられる。しかし、車輪走行部は圧雪状態であるため、実際の自動車と同じように駆動輪で試験できるような方法を考えると、より適切な評価ができると思われる。

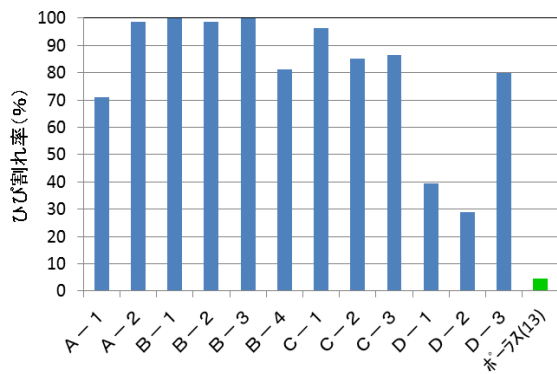


図-14 氷板WT試験Aの試験結果

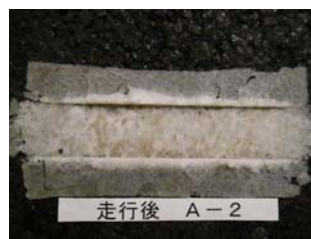


写真-21 氷板の破壊状況

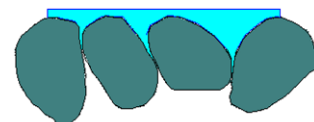


図-15 粗面系の氷板形成状況

(3) 氷板WT試験B

氷板WT試験Bの結果を図-16に示す。変動係数は0.08~1.41の範囲である。この結果、C-1~C-3は、ひび割れ率が大きく凍結抑制効果が良い結果となった。C-1~C-3以外の供試体にほとんどひび割れは発生しておらず、凍結抑制効果がほとんどないと評価された。

C-1~C-3のようにゴム骨材や表面の凹凸が1mm以上ある凍結抑制舗装は、氷板WT試験Bでもひび割れ率が大きくなり、凍結抑制効果の評価に用いることができる。しかし、凹凸1mm以下の凍結抑制舗装は、氷板WT試験Bにおける氷板の作製方法が氷板の体積に相当する水を投入して作製するため、表面の凹凸まで水が入り込み、固着が強くなり、差が出づらいためと思われる。氷板の厚さを薄くすることや走行荷重を増やすなど試験条件を変えるなど検討が必要である。また、粗面系を評価する場合、氷板作製用の水がすべて浸透してしまい、氷板を形成できないため、今回は空隙を砕氷と水で充填し氷板を形成し試験を行ったが、粗面系の評価については、氷板の作製方法を検討する必要がある。

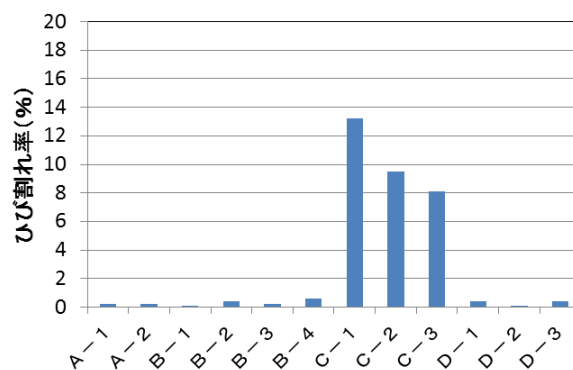


図-16 氷板WT試験Bの試験結果

(4) 雪氷の剥がれやすさ確認試験結果

雪氷の剥がれやすさ確認試験結果を図-17に示す。なお、雪氷の剥がれやすさの評価結果である「○・△・×」をそれぞれ評点「3・2・1」として、各供試体3回の合計点を評点とした。試験の結果、評点が一番高かったのは、密粒撥水系のD-3で、物理系の中ではB-1、B-3及びD-3が高い評点となり雪氷が良く剥がれた結

果であった。密粒撥水系のD-3が粗面撥水系のD-2より剥がれやすい結果となった原因は、D-2は粗面系であるため空隙部分に雪氷が入り込み剥がれにくい状態になったのに対し、D-3は密粒であるため供試体の表面全体に撥水剤が塗布されていることが、撥水剤の効果が大きく発揮された結果と考えられる。しかし、同じ物理系の中でも差が見られた原因は、凍結抑制効果の有無が原因ではなく、次で述べる雪氷の作製方法が原因と考えられる。

雪氷の剥がれやすさ確認試験は、雪氷を作製して雪氷と供試体表面との界面にスコップを入れて剥がす力が定量ではなく、走行の影響も再現していない。また、砕氷を敷き均した後、一定量の水を投入するが、氷着状態はその水の投入具合が大きく影響し、水量が多い部分は氷着状態が強く、水量が少ない部分は氷着状態が弱いと考えられ評価に誤差が生じやすいものと考えられる。雪氷の剥がれやすさ確認試験は、化学系凍結抑制舗装に対して実績のある試験であるがため、今回の試験結果からも分かるように、凍結抑制効果の評価方法として、物理系や粗面系凍結抑制舗装の評価試験としての功績は少なく、さらなる検証が必要と考えられる。

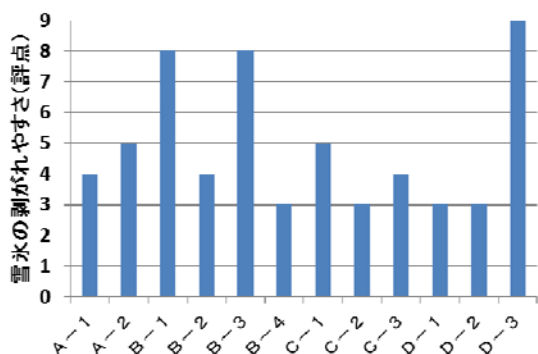


図-17 雪氷の剥がれやすさ確認試験の試験結果

4.2 新たな試験方法の検討

現実の路面における雪や凍結が自動車の走行でどうなるかを再現する新たな試験方法として、回転ラベリング試験機を用いた凍結抑制舗装の評価法の検討を行った。

4.2.1 試験方法

(1) 試験に用いた供試体

試験には、凍結抑制効果を有する開発中の凍結抑制舗装12種類及び比較用として凍結抑制舗装ではない2種類の計14種類を供試体として用いた。供試体の一覧を表-8に示す。

表-8 試験に用いた供試体

凍結抑制舗装分類	供試体	母体混合物	凍結抑制の方法	添加ゴムの大きさ	添加ゴムの量
物理系	A	密粒タイプ	ゴム粒子混入	5mm以下	2.5%
	B	粗面タイプ	ゴム粒子混入・表面散布	混入: 5mm以下 表面散布: 3mm	混入: 2.0% 表面散布: 300g/m ²
	C	密粒タイプ	ゴム粒子混入	1~5mm	3%
	D	密粒タイプ	ゴム粒子混入	1~5mm	5%
	E	密粒タイプ	ゴム粒子混入	5mm以下	2.5%
	F	密粒タイプ	ゴム骨材圧入	幅12×長さ14mm	1kg/m ²
	G	密粒タイプ	ゴム骨材圧入	幅16×長さ18mm	1.4kg/m ²
	H	密粒タイプ	ゴム骨材圧入	幅20×長さ22mm	1.8kg/m ²
蓄熱舗装	I	半たわみ性	蓄熱材混入	—	—
粗面系	J	粗面タイプ	表面のキズ深さ	—	—
粗面撥水系	K	粗面タイプ	表面のキズ深さ+撥水剤	—	—
化学系	L	密粒タイプ	添加剤混入	—	—
比較用	M	密粒タイプ	密粒度5mm	—	—
	N	粗面タイプ	粗面型	—	—

(2) 氷板回転ラベリング試験

タイヤの蹴り出し効果を再現できる方法として、回転ラベリング試験機を用いて試験を行った。その試験条件を表-9に示す。それ以外の条件は以下の条件で試験を行った。氷板回転ラベリング試験状況を写真-22に示す。

表-9 試験条件

項目	試験条件
母体アスコン供試体の寸法	横上辺: 241mm 横下辺: 400mm 縦: 300mm 厚さ: 50mm
雪氷の寸法	同上
試験輪空気圧	320±10kPa
輪荷重	2000N
接地圧	0.45MPa
走行輪の数	2輪(同時走行)
走行速度	5km/h
試験温度	-5℃
走行回数	3000回
試験時間	137分
試験個数	3個/種類



写真-15 氷板回転ラベリング試験状況(試験終了後)

1) 氷の種類:

供試体上に氷板を形成。氷板の作製および氷板の厚さは、氷板WT試験Aと同様である。氷板作製状況を写真-16と図-18に示す。

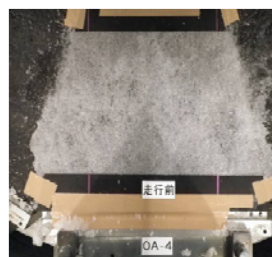


写真-16 氷板作製状況

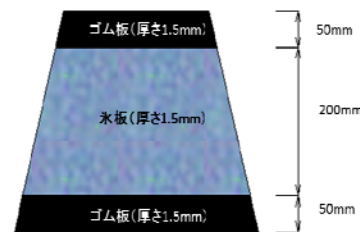


図-18 氷板作製状況

2) 試験項目

①氷板破壊率: ラベリング試験後に氷板が破砕した面積から氷板破壊率を算出した。氷板破壊率の算出は、氷板破壊が見られるマス目を数え(式-3)に従い算出する。算出例を写真-17に示す。

$$\text{氷板破壊率(\%)} = \frac{\text{氷板破壊が見られた数}}{\text{全マス数(110)}} \times 100 \dots(\text{式-3})$$

②すべり抵抗増減比：ラベリング試験前後の供試体雪氷上で振り子式スキットレジスタンステスターを用いて「舗装調査・試験法便覧S021-2」に準拠したすべり抵抗値を測定し、試験前に対して試験後の増加をすべり抵抗増減比として算出する。測定状況を写真-18に示す。

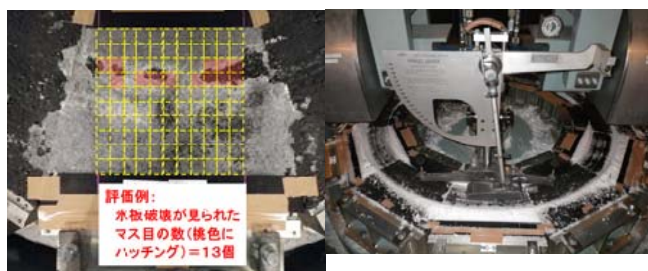


写真-17 氷板破壊率算出例 写真-18 BPN測定状況

4.2.2 試験結果

氷板における氷板破壊率測定結果を図-18に、すべり抵抗増減比の測定結果を図-19に示す。試験は各供試体3個で行い、その平均値を示した。変動係数は0.15～1.47の範囲であった。氷板破壊率の結果、比較の2種類と粗面系Jと粗面撥水系Kは氷板が破壊しなかったのに対し、物理系全てと蓄熱舗装I及び化学系Lの氷板が破壊した。化学系Lが90%以上と大きな破壊率を示したのは、供試体作製直後は塩分溶出が多いためと考えられる。

すべり抵抗増減比測定結果では、すべり抵抗増減比が1以上で氷板の破壊等で初期値よりすべり抵抗値が増加したことを意味し、1以下は、氷板が破壊しないか、氷板が少ししか破壊しないためタイヤ走行により氷板が滑りやすくなったものである。氷板破壊率が大きい凍結抑制舗装はすべり抵抗増減比も1以上となっており凍結抑制効果が高いと判断できる。

今回の試験結果において、凍結抑制効果があると思われる物理系全てと蓄熱舗装は氷板が破壊したのに対し、凍結抑制を行っていない比較の密粒度と粗面型は全く氷板が破壊されなかったのは妥当な凍結抑制効果を表わしており、氷板回転ラベリング試験は凍結抑制舗装の凍結抑制効果の評価方法として適用できるものと考えられる

4.2.3 相関の確認

凍結抑制舗装の効果を適切に評価できる試験法の検討を行うため、既存の試験方法とタイヤの蹴り出し効果を再現できる回転ラベリング試験機を用いた凍結抑制舗装の評価法の検討を行った。その結果から、仮

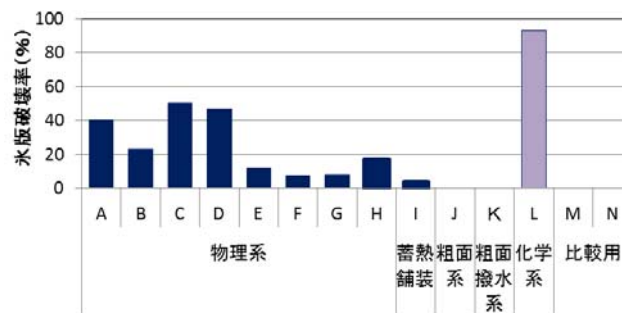


図-18 氷板破壊率測定結果

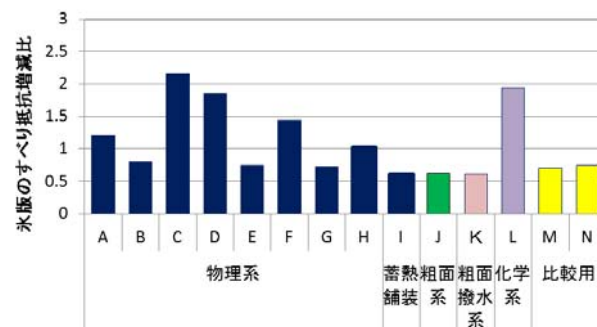


図-19 すべり抵抗増減比測定結果

に性能評価法⁵⁾に定められている氷着引張強度試験を正として他の試験法との相関、及び回転ラベリング試験を正として他の試験との相関を比較してまとめると以下のとおりである。各試験間の相関係数の結果を表-10に示す。なお、相関は試験に用いた供試体が同一のもののみを用いて行った。

(1) 氷着引張強度試験を正とした場合の相関

表-10から氷着引張強度試験と相関が高いのは、氷板WT試験Aと氷板回転ラベリング試験であった。

(2) 回転ラベリング試験を正とした場合の相関

表-10から回転ラベリング試験と相関が高いのは、氷着引張強度試験と氷板WT試験Aと雪氷の剥がれやすさ確認試験であった。

以上のことから、氷着引張強度試験と回転ラベリング試験の両方とも相関が高かったのは、氷板WT試験Aであり、これに氷着引張強度試験と回転ラベリング試験を加えた3つの試験法は相対評価は可能であると思われるため、凍結抑制舗装を評価する試験方法として有効と思われる。

表-10 各試験間の相関係数

試験方法	氷着引張強度試験	氷板WT試験A	氷板WT試験B	雪氷の剥がれやすさ確認試験	氷板回転ラベリング試験
仮に正とした試験方法					
氷着引張強度試験	—	0.59	0.05	0.29	0.4
氷板回転ラベリング試験	0.4	0.51	0.11	0.51	—

5. 適用条件の検討

凍結抑制舗装の凍結抑制効果を効率的に発揮できる適用条件の検討を行った。

各メーカー及び道路管理者の適用条件を調べたところ、これまでは、各メーカー等が凍結抑制舗装の種類と原理、機能と効果、一般的な適用箇所や用途を一方向的に紹介するのみで、評価項目や適用箇所の条件が統一されておらず、道路管理者からは適用条件が分かりづらく使用し難い状態であることが分かった。

そこで、実態調査及び凍結抑制舗装の試験法の検討等の結果から舗装の基本性状、凍結抑制性能、雪氷の種類、交通量、気象条件、適用場所など適用箇所の条件を統一し、利用箇所の条件や適用したい凍結抑制舗装の性能を明確にすることで、道路管理者が適用しやすいように適用条件の提案を行った。今回提案を行った適用条件を表-11に示す。

表-11 提案した適用条件

分類	項目	細目	記入内容	記入例	
定量評価	材料の基本性状	動的安定度	測定値	1500回/mm以上	
		摩耗量		1.2mm以下	
		カンタプロ損失率		20%以下	
	凍結抑制性能の性状値	氷着引張強度	氷着引張試験測定値	0.5MPa以下	
		ひび割れ率	氷板WT試験測定値	100%	
氷板破壊率 すべり抵抗増減比		氷板回転ラベリング試験測定値	80%以上 1以上		
定性評価	凍結抑制効果の持続性		持続年数	10年以上	
	舗装の耐久性		耐久年数	20年以上	
	コスト(材+工)		金額	〇〇円/㎡	
	雪氷の種類	圧雪		×	
		氷板	該当に○、×、△	○	
		氷膜		○	
	道路区分	車道	該当に○、×、△	○	
		歩道		×	
	交通条件	交通量	技術基準の値	1000台/日以下	
	気象条件	積雪厚さ			10cm以下
		平均最高気温	適用できる値		20℃以下
					-5℃以上
	場所条件	山間部		○	
		橋梁部	該当に○、×、△	○	
		坂道・急カーブ等		△	
		トンネルの前後		×	
	主な除雪方法	機械除雪		△	
		人力除雪	該当に○、×、△	○	
		融雪剤散布		○	
		除雪が困難		×	

利用方法としては、まず、凍結抑制舗装の各メーカーが、保有している凍結抑制舗装について、表-11に示す適用条件に対して、測定した結果や推奨する適用条件を記入する。次に、道路管理者が凍結抑制舗装を予定している道路の適用条件に照合して最適な凍結抑制舗装を選定する。

6. まとめ

本研究では、既存凍結抑制舗装の現状調査、凍結抑制舗装の改良や新しい技術の検討、凍結抑制効果を適切に評価できる試験法の検討及び凍結抑制効果を効率的に発揮できる適用条件検討を行った。結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 既存凍結抑制舗装の現状調査

既存凍結抑制舗装の持続性と耐久性を確認したところ、施工後4～5年しか経っていないのに凍結抑制効果がない箇所があり、効果の持続性や耐久性に課題があることが明らかになった。また、凍結抑制効果を評価する試験方法として、各メーカーが共通して評価を行っている試験は、氷板の剥がれやすさを評価する氷着引張試験だけであり、凍結抑制舗装の効果を適切に評価できる試験法を見いだす必要があることが分かった。

(2) 新しい凍結抑制舗装の開発

冬期路面对策や凍結抑制機能を効率的で効果的に発揮できる凍結抑制舗装として、以下に示す8種類の新しい凍結抑制舗装を開発した。

- ①薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装
- ②粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装
- ③ゴムチップを用いた凍結抑制効果の高い物理系凍結抑制舗装
- ④歩道用薄層化学系凍結抑制舗装
- ⑤薄層圧入ゴム入り凍結抑制舗装
- ⑥粗面系舗装
- ⑦撥水舗装
- ⑧蓄熱舗装

(3) 凍結抑制効果を適切に評価できる試験法の提案

凍結抑制舗装を適切に評価できる試験方法として、氷着引張試験、氷板WT試験及び回転ラベリング試験を提案した。

(4) 凍結抑制効果を効率的に発揮できる適用条件の提案

実態調査及び凍結抑制舗装の試験法の検討等の結果から舗装の基本性状、凍結抑制性能、雪氷の種類、交通量、気象条件、適用場所など適用箇所の条件を統一し、利用箇所の条件や適用したい凍結抑制舗装の性能を明確にすることで、道路管理者が適用しやすいように適用条件の提案を行った。

参考文献

- 1) 東本崇、鈴木徹、寺田剛、久保和幸：薄層型および粗面型ゴム粒子入り凍結抑制舗装の開発、第25回ゆきみらい研究発表会、ゆきみらい2013in秋田実行委

員会、2013. 2. 8

- 2) 東本崇、鈴木徹、寺田剛、久保和幸：ゴム粒子混入・散布接着型凍結抑制舗装の現地における凍結抑制性能の検証、第12回北陸道路舗装会議、2012. 6. 5
- 3) 東本崇、鈴木徹、寺田剛、久保和幸：薄層ゴム粒子入り凍結抑制舗装の施工事例、第29回日本道路会議、2011. 11
- 4) 青木政樹、島崎勝、寺田剛、川上篤史、久保和幸：人力除雪により路面を容易に露出することができる薄層化化学系凍結抑制舗装の開発、第25回ゆきみらい研究発表会、ゆきみらい2013in秋田実行委員会、2013. 2. 8
- 5) 青木政樹、島崎勝、寺田剛、川上篤史、久保和幸：人力除雪により路面を容易に露出することができる薄層化化学系凍結抑制舗装の開発、第12回北陸道路舗装会議、2012. 6. 5
- 6) 美馬孝之、鈴木徹、及川善孝、寺田剛、久保和幸：新たな凍結抑制舗装の開発、第25回ゆきみらい研究発表会、ゆきみらい2013in秋田実行委員会、2013. 2. 8
- 7) 寺田剛、久保和幸、鈴木徹、青木政樹、佐々木昌平、坂本寿信：凍結抑制舗装の評価法の検討、第25回ゆきみらい研究発表会、ゆきみらい2013in秋田実行委員会、2013. 2. 8
- 8) 東本崇、鈴木徹、船井俊幸：凍結抑制機能の付与を目的としたゴム粒子散布接着工法の開発、第 28 回日本道路会議 No. 32136、 2009. 10
- 9) 小栗直幸、稲本ひろ美：ゴム粒子を用いた物理系凍結抑制舗装の効果向上に関する一検討、第 28 回日本道路会議 No. 32135、 2009. 10
- 10) 稲本ひろ美、小栗直幸、湯川誠二郎：歩道用凍結抑制舗装の効果の持続性に関する検討、第 28 回日本道路、No. 32134、 2009. 10

A STUDY ON PERFORMANCE GAIN OF FREEZE RESTRAIN PAVEMENT

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2013

Research Team : Road Technology Research Group
(Pavement)

Author : KUBO Kazuyuki
TERADA Masaru
KAWAKAMI atushi

Abstract : This study on performance gain of freeze restrain pavement between 2010 from 2012.

The results are as follows.

- 1) Eight kinds of new freezing-prevention pavement were developed.
- 2) The ice arrival tensile test, the ice board WT examination, and the rotation labeling examination were proposed by making a freeze inhibiting effect into the test method which can be evaluated appropriately.
- 3) The applicable condition which can demonstrate a freeze inhibiting effect efficiently and a road administrator tends to apply was proposed.

Key words : Freeze restrain pavement, Applicable condition, Appraisal method, Ice board wheel tracking test, Ice arrival tensile test

Papers:

- 1) Terada, Kubo, Suzuki, Aoki, Sasaki, and Sakamoto: examination of the appraisal method of freezing-prevention pavement , pavement. Vol.49, No.3, 2014.3 (in Japanese)