

歩道用凍結抑制弾性舗装の実道への適用に向けて

小野田光之* 倉持智明** 檜野 誠*** 森嶋洋幸**** 稗田 満*****

1. はじめに

積雪寒冷地における冬季の交差点や駅周辺等の歩道部で路面凍結が発生すると、路面のすべり摩擦係数が著しく小さくなり、歩行者のスリップ事故が発生しやすくなる。実際に近年、積雪寒冷地では冬季歩道におけるスリップ事故で救急搬送されるケースが増加している¹⁾。また、事故に至らなくとも、歩道での歩行は著しく困難となる。

そこで、歩道利用者の安全性や快適性を向上させるため、除雪機による歩道除雪や各種凍結路面対策が実施されているが、除雪機による歩道除雪は作業効率が悪いこと、その他の対策についても効果やコストの面で様々な課題があることから、より低コストで合理的な凍結抑制工法の開発が望まれている。

このようなニーズに対して(財)土木研究センターでは、民間会社5社と共同開発を行った車道用凍結抑制舗装(廃タイヤを用いた弾性舗装)の、歩道への適用について検討を行った。現在、車道用凍結抑制舗装は通常の舗装より高額であるが、車道用凍結抑制舗装を歩道舗装に適用する場合、耐久性性能は車道舗装より低く抑えることができ、コスト低減を図ることが可能である。また適用箇所も歩道全体ではなく、近年のバリアフリー化を踏まえたすり付け勾配箇所(横断歩道隣接部分など)や坂道などの縦断勾配がきつい箇所、さらにバス停留所など車両からの乗降時に歩道利用者がすべりやすい箇所に適用することで、経済的な効果を得ることができる。

以下では、車道用凍結抑制舗装を歩道へ適用するため、各種試験により性能確認、評価した結果を述べる。

2. 凍結抑制舗装の概要

本舗装は写真-1に示すように、廃タイヤをひじき状にしたゴムチップを配合したプレキャストタ

イプの弾性舗装版であり、その凍結抑制効果は弾性舗装版の持つ特性(低熱伝導性、弾性変形、保水性)に基づくものである。すなわち弾性舗装版は、一般的なアスファルト舗装に比べて熱伝導率が低く、外気温の低下に対して路面温度(舗装内温度)が低下しにくい。また、アスファルト舗装表面に氷板が形成される気象条件下でも弾性舗装版では薄い氷膜程度にとどまり、歩道利用者の重さで弾性舗装版が変形することで氷膜が破壊され、舗装表面の露出が期待できる。

さらに、弾性舗装版の空隙内に凍結防止溶液を保水させることで弾性変形が生じて、溶液が舗装表面に染み出し、より大きな凍結抑制効果を発揮する。凍結防止剤の使用の有無については現場での管理方法に合わせて選択することで合理的な歩道管理が可能となる。



写真-1 歩道用凍結抑制弾性舗装版
(左: ひじき状ゴムチップ、右: 弾性舗装版)

3. 歩道舗装の要求性能

歩道舗装に求められる基本的な性能として、つまづかない平坦性とスリップしないすべり抵抗性があるが、これらの他にも歩きやすさやバリアフリーの観点から求められる性能もある²⁾。

歩道における平坦性については段差を発生させないことが非常に重要であり、弾性舗装版については供用中に剥がれや反りによる段差を発生しないようにする必要がある。また、すべり抵抗性については、湿潤時はもとより凍結が生じても必要なすべり摩擦抵抗を確保することが重要である。

バリアフリーの面では歩きやすさや衝撃吸収性や透水性などが求められるが、歩道用凍結抑制弾性舗装はこれらの性能を具備している。

For an application to the in-service road of freeze restraint elastic pavement for the sidewalk

4. 性能実験

4.1 接着性

4.1.1 接着剤種の検討

歩道舗装に対する要求性能は、車道舗装に求められる仕様水準ほど高度なものではない。このためコスト低減を図ることが可能である。その一つとして、弾性舗装版とアスファルト舗装の接着に用いる接着剤の見直しを検討した。

接着剤の選定を目的とした接着性試験においては、車道での実績を踏まえ、安価な材料としていくつかの樹脂を選定し、室内せん断試験による相対評価を実施した。

せん断試験結果を図-1に示す。なお、接着剤の養生時間は24時間とし、試験温度20℃と-10℃において試験を実施した。この結果より価格、性能の両面から樹脂Aを選定した。

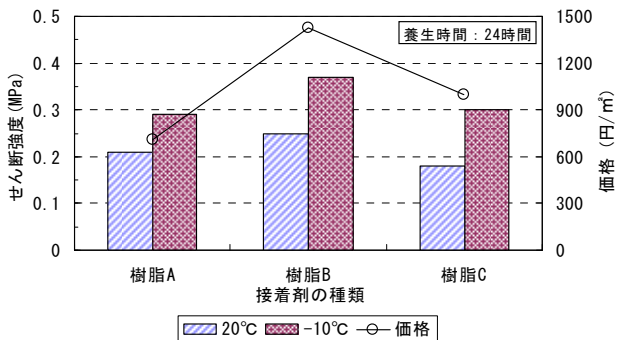


図-1 室内せん断試験結果

4.1.2 路面すべり測定車を用いた接着性試験

通常、接着性の評価試験は、室内せん断試験や建研式引張試験により実施されるが、歩行時や自転車の制動時に発生する弾性舗装版と下層アスファルト舗装との界面のせん断破壊現象（以下、界面せん断破壊）を再現した評価が困難である。そのため、上記の室内せん断試験で選定した接着剤について、路面のすべり摩擦抵抗を考慮したせん断試験により歩道への適用性を検討した。なお、試験には現道において舗装のすべり摩擦抵抗を測定する路面すべり測定車（以下、測定車）を使用した。

試験条件を表-1、試験方法の概略を図-2に示す。これは、屋外において既設舗装に接着させた弾性舗装版上で測定車の試験タイヤ（第5輪）を一定荷重載荷状態でブレーキをかけて、測定車を低速で発進させるものである。測定車が動き出した際

表-1 試験条件

弾性舗装版のサイズ	接着剤	養生時間	載荷荷重	路面状態	気温	路面温度
小：15×30×2cm	樹脂A	3時間	1.4kN	乾燥	29~31℃	32~40℃
中：22.5×30×2cm			1.6kN			
大：30×30×2cm			3.9kN			

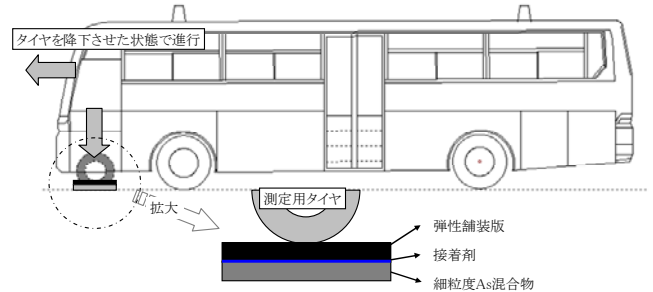
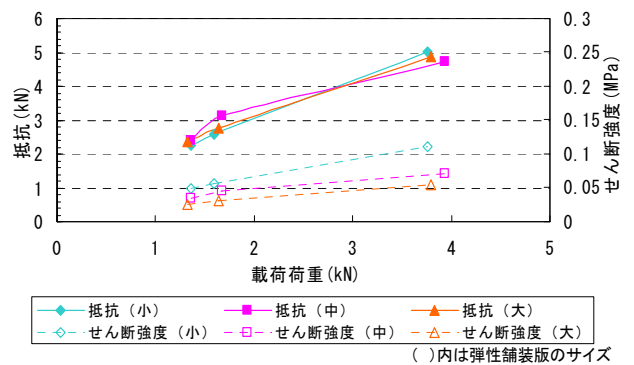


図-2 測定方法概略図

に発生する水平方向の抵抗力和上載荷重との関係や、界面せん断破壊の有無などから界面の接着力の評価を行う。

試験結果を図-3、試験タイヤの接地状況を写真-2に示す。路面は乾燥状態で試験を実施しており、すべり摩擦抵抗が最も高い状態であったことや、実道での早期供用を想定して養生時間を3時間程度と短くしたにもかかわらず、全ての実験ケースで界面せん断破壊が生じる前に弾性舗装版上でタイヤのすべりが生じた。これより、5kN程度の抵抗力が弾性舗装版表面に作用しても界面せん断破壊は起こらず、歩行者や自転車利用者等の荷重を考慮した場合にも十分な接着性を有しているといえる。



(注) せん断破壊を起こしていないため、強度は図中の値以上と推測される

図-3 すべり測定車を用いた接着性試験結果



写真-2 試験タイヤ接地状況 (30×30×2cm)

土研センター

4.1.3 屋外曝露試験

弾性舗装版は、ゴムチップを主材料としていることから熱環境による膨張収縮をする。そのため、弾性舗装版の端部においては下層の既設舗装との間で接着不良を起こし、剥がれてしまうことが懸念される。そこで、アスファルト舗装と接着させた供試体を用いて2007年7月から2008年2月まで屋外曝露試験を実施し、膨張量と反り量を継続的に計測した。なお、膨張量とは供試体の縦横方向(4辺)の平均変位量であり、反り量とは供試体端部(4箇所)の高さ方向の平均変位量である。計測結果を図-4に、屋外曝露試験状況を写真-3に示す。



写真-3 屋外曝露試験状況

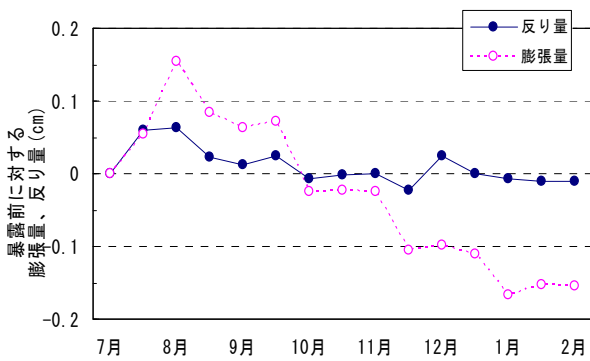


図-4 屋外曝露試験結果

弾性舗装版は夏季(7月~9月)に膨張傾向を示し、冬季(12月~2月)に収縮傾向を示しているが、その割合は0.5%程度(供試体幅30cmに対して変形量0.15cm程度)である。試験結果では目視でも明らかな剥がれは確認できず、膨張収縮による剥がれの面では問題ないことが確認できた。

4.2 すべり抵抗性

4.2.1 湿潤時

歩道では歩行者や自転車、車椅子が対象であり、車道に比べて通過速度が低速になる。また、摩耗作用も大きく軽減される。そのため歩道の要求性能に合わせて対策法を設定することが可能となる。そこで、すべり止め材の種類や使用の有無、さらにバイнда性状等についても検討し、弾性舗装版を用いてすべり抵抗性を確認した。

弾性舗装版のすべり摩擦抵抗の評価は、車道の摩擦測定に用いるDFテスター(測定速度5~80km/h程度)により行った。その結果を図-5に

示す。歩道では一般にすべり摩擦係数が0.2以下の場合には危険であり、0.5以上の場合には安全である。さらに、勾配部では少なくとも0.4以上であることが望ましいとされている³⁾。DFテスターでは歩行速度を想定した摩擦測定は行っていないが、歩行速度(図中の赤い斜線部分)程度の低い速度の場合、すべり止め材があれば高い摩擦係数が得られ、すべり止め材がない場合でも0.4程度以上の摩擦係数を確保できるものと推定される。

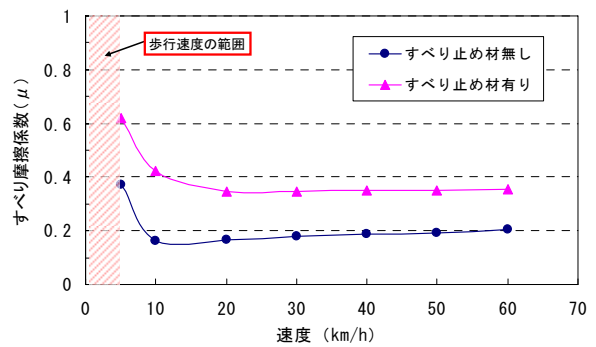


図-5 すべり抵抗性試験結果(湿潤)

4.2.2 凍結時

車道用凍結抑制舗装を用いた実道試験施工では、凍結防止溶液を含水させることで氷板・氷膜の形成を抑制し、高いすべり摩擦係数が得られた。また、凍結防止溶液を含水させない場合でも低熱伝導性や弾性変形の性能から発生した薄い氷膜を破壊し、アスファルト舗装よりも高いすべり摩擦係数が得られた⁴⁾。歩道用凍結抑制弾性舗装についてもこの効果を確認するため、室内で凍結状態を再現し、DFテスターを用いて凍結時におけるすべり摩擦抵抗を測定した。

測定方法は湿潤、凍結状態ともに0.8²/m²の水(0.8mmの氷膜に相当)を散布し、湿潤は散水後すぐに、凍結は目視、指触で凍結状態と判断したときに試験を実施している。

すべり摩擦係数の値は3回の測定値の平均値としているが、凍結防止剤を散布しない凍結路面の場合、測定回数によって路面状態が変化するため、1回目のデータを用いた。

凍結防止剤の有無によるすべり摩擦係数の比較結果を表-2、図-6に示す。-5℃の場合を見ると、5km/h、60km/hともに凍結防止剤無しでは湿潤状態と比較してすべり摩擦係数が低下しているが、凍結防止剤有りでは同程度のすべり摩擦係数であることがわかる。

表-2 すべり抵抗性試験結果（凍結）

路面状態	すべり摩擦係数 (μ)		試験温度	備考
	5km/h	60km/h		
乾燥	1.0以上	1.0以上	-5°C	
湿潤	0.53	0.41	-5°C	
	0.62	0.35	25°C	
凍結A	0.37	0.26	-5°C	凍結防止剤無し
	0.33	0.17	-3°C	
	0.28	0.22	-1°C	
凍結B	0.53	0.41	-5°C	凍結防止剤有り
	0.43	0.42	-3°C	
	0.35	0.35	-1°C	

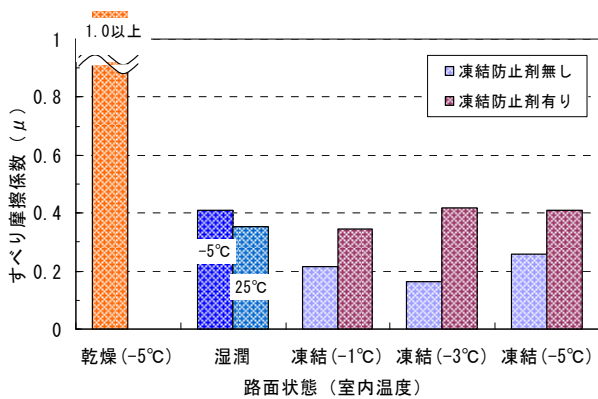


図-6 すべり抵抗性試験結果（凍結、60km/h）

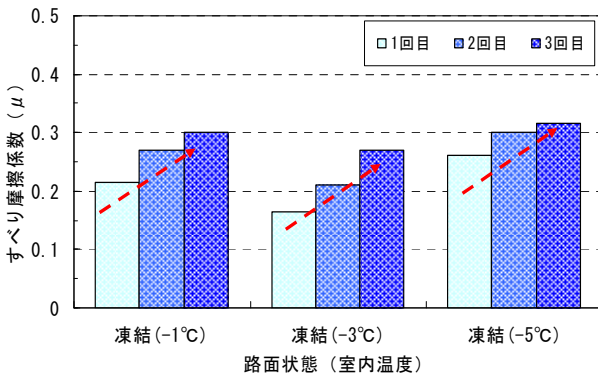


図-7 凍結防止剤無しのすべり抵抗性試験結果 (60km/h)

また、凍結防止剤無しの場合の3回の測定結果

を図-7に、弾性舗装版の路面状態を写真-4に示す。凍結防止剤を含ませなくても数回の測定で路面状態が氷膜から湿潤に変化して、すべり摩擦係数が向上する傾向にある。現実には写真-4のような凍結路面が形成されづらく、形成されたとしても歩行者の通行により薄い氷膜が破壊されるものと考えられる。

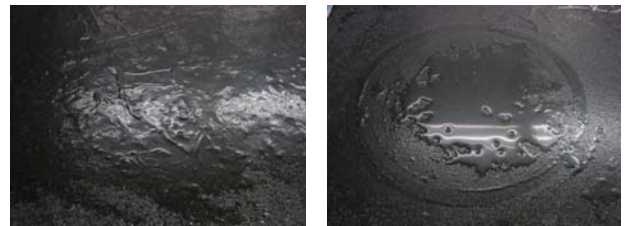


写真-4 路面状態（左：測定前，右：3回の測定後）

5. まとめ

今回、廃タイヤを用いた歩道用凍結抑制弾性舗装の実道への適用に向けて各種性能を検討した結果、良好な接着性、すべり抵抗性が確認された。今後は構内や実歩道レベルでの試験施工において凍結抑制効果や歩行性能について一般利用者や道路管理者の評価を求め、社会資本整備の一つとして貢献できることを望んでいる。

参考文献

- 1) 新谷、原、平森、浅野：凍結路面における歩行に関する実験的研究、第24回土木計画学研究発表会、2001
- 2) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年度版）、2006
- 3) 市原、小野田：路面のすべりとその対策、技術書院、1997
- 4) 佐々木、小野田、黒川：多孔質弾性材による凍結抑制舗装の検討、第19回北陸雪氷技術シンポジウム、2004

小野田光之*



財団法人土木研究センター道路研究部専門調査役
Mitsuyuki ONODA

倉持智明**



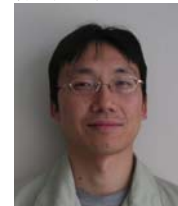
財団法人土木研究センター道路研究部主任研究員
Tomoaki KURAMOCHI

榎野 誠***



東亜道路工業株式会社技術研究所主任研究員
Makoto KASHINO

森嶋洋幸****



前田道路株式会社技術研究所研究員
Hiroyuki MORISHIMA

稗田 満*****



住友ゴム工業株式会社新事業開発室環境事業推進部長
Mitsuru HIEDA