

非塩化物系凍結抑制材料とリサイクル弾性骨材を併用した 環境に優しい物理化学系凍結抑制舗装

尾崎風香^{*1} 坂下晃一^{*2} 芝本直己^{*3} 五伝木一^{*1}

1. はじめに

我が国の寒冷地域は国土面積の約60%を占めており、北陸地方の全域もそこに含まれる。冬期は積雪および路面の凍結による車両事故の危険があり、冬期の路面管理に対する重要度は高いものとなっている。

凍結抑制舗装とは、寒冷期における道路交通の安全確保や路面管理コストの低減を目的に、山間部や、トンネル付近、橋梁部などの凍結が起きやすい箇所に採用される舗装技術である。凍結抑制舗装は、物理系、化学系、物理化学系、粗面系の4系統に大別され、様々な技術が開発されている²⁾。これまで、化学系凍結抑制舗装の添加材料は、塩化ナトリウムや塩化カルシウムなどの塩化物系材料が広く用いられていたが、塩化物系の成分が溶出した場合、周囲の道路構造物やRC床版の鉄筋、通行車両の金属腐食を招く恐れがある。

そこで筆者らは、非塩化物系凍結抑制材料を用いることで、金属腐食の懸念がない凍結抑制舗装技術を開発した。また、リサイクル材である弾性骨材を併用することで舗装に物理系作用を付与し、本工法を物理化学系凍結抑制舗装とした。(図-1)

本報文では、化学系材料の金属腐食実験および実道を含めた本工法の凍結抑制効果の検証結果について報告する。



図-1 本工法の概念図(断面)

2. 非塩化物系凍結抑制材料の特長



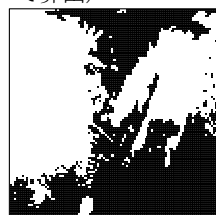
本工法で用いる環境に優しい非塩化物系凍結抑制材料の外観は白色の粉末(図-1 中段)で、主な特長は表-1に示すとおりである。

本材料が金属を腐食させないことを確認するため、(地独)北海道立総合研究機構による凍結防止剤の腐食試験³⁾を参考に、表-2に示す方法で金属腐食実験を行った。評価値は、各サイクル終了時の錆の面積率とした。

表-1 非塩化物系凍結抑制材料の特長

特長	作用
非塩化物系	金属腐食を誘発しない
凝固点が低い	氷点降下作用を有する
水に溶ける	供用中に効果を発揮する
熱に強い	アスファルト合材の製造時に機能が損なわれない
粉末状	アスファルト合材の製造時の混合性および敷きならし時の作業性を損ねない

表-2 金属腐食実験の試験方法

項目	内容
試験片	100×100×3mm 鉄板 (JIS G 3101 SS400)
試験水準	(1) 蒸留水 (比較) (2) 塩化ナトリウム 2%溶液 (3) 非塩化物系材料 2%溶液 (本工法で使用)
試験方法 (水浸状況)	対象の水溶液に 24 時間水浸したのち引き上げ、大気中に 24 時間静置することを 1 サイクルとし、鉄板全体に錆が発生するまで繰り返す 
試験温度	室温 23±3℃
評価方法	錆の面積率 (画像処理にて算出)  元写真: 蒸留水2サイクル後  処理後: 黒い%割合48.3%

*1 鹿島道路株式会社 技術研究所 (TEL 042-483-0541)

*2 北海道 後志総合振興局 小樽建設管理部 共和出張所 (TEL 0135-62-1818)

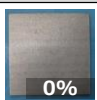


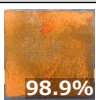


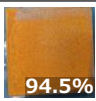





*3 鹿島道路株式会社 北海道支店 (TEL 011-699-7744)

金属腐食実験の結果を表-3に示す。蒸留水および塩化ナトリウム水溶液は1サイクル終了時点で錆の発生がみられ、その後早々に鉄板全体に錆が広がった。対して、本工法で用いる非塩化物系凍結抑制材料の溶液は40サイクル経過後も錆の発生がなく、健全な状態を保っていた。したがって、本材料を混入した舗装の表面から成分が溶出した場合でも、沿道構造物の金属腐食を招くことはないといえる。

3. 凍結抑制効果の室内試験結果

本工法の凍結抑制効果を室内で評価するため、氷着引張試験を実施した。試験の概要を表-4に、試験結果を図-2に示す。凍結抑制舗装2水準の氷着引張強度は、通常の

表-3 金属腐食実験の結果

水溶液	試験前	1サイクル	2サイクル	15サイクル	40サイクル
蒸留水	 0%	 25.9%	 48.3%	 98.9%	—
塩化ナトリウム 2% 溶液	 0%	 88.2%	 94.5%	数字は錆の面積比	
【本工法】 非塩化物系材料 2% 溶液	 0%	 0%	 0%	 0%	 0%

※水溶液に24時間浸漬、大気中に24時間放置を1サイクルとし、繰り返した

表-4 氷着引張試験の概要

項目	条件
試験片	300×300×50mm ホイールトラッキング試験用供試体
試験水準	(1) 密粒 13F (比較) (2) 物理系凍結抑制舗装 (弾性材料のみを添加した混合物) (3) 物理化学系凍結抑制舗装 (本工法) (弾性材料、非塩化物系凍結抑制材料を 双方添加した混合物)
試験温度	-2°C, -5°C, -8°C
試験方法	舗装性能評価法 別冊 (平成 20 年 3 月) 氷着引張強度試験方法に準拠
目標値	氷着引張強度 0.5MPa 以下 (-5°C 環境下)

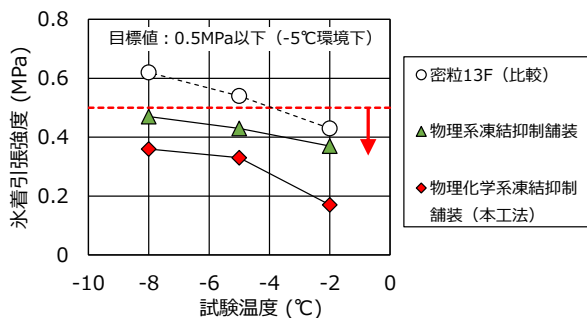


図-2 試験温度と氷着引張強度の関係

舗装である密粒13Fの氷着引張強度より小さく、すべての試験温度において目標値である0.5MPa以下を満足した。加えて、物理系と化学系を併用した本工法の場合は、物理系よりも氷着引張強度が小さく、特に-2°C環境下における凍結抑制効果が高いことがわかった。

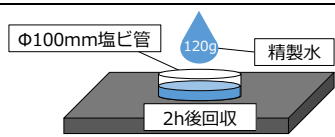
4. 凍結抑制効果の持続性に関する試験結果

本工法の凍結抑制効果は、添加材料の溶出や散逸によって徐々に失われる可能性がある。そこで、効果の持続性の確認を目的として、既往の文献⁴⁾を参考に化学成分の溶出試験を実施した。表-5に示す方法で溶出試験を繰り返し、面積あたりの析出量と、同一箇所での氷着引張強度の経時変化を調べた。

試験の結果を図-3に示す。水浸回数を経るごとに析出量は減少し、氷着引張強度が大きくなったことから、化学材料による凍結抑制効果が低下したことがわかる。

ここで、車両走行による路面の摩耗を模擬してショットブラスト処理を施した結果、グラフ右端に示すとおり、析出量および氷着引張強度の回復が認められた。実道においては、車両の走行による舗装面の摩耗によって効果の持続および回復が期待できるものと考えられる。

表-5 溶出試験の概要

項目	条件
試験片	物理化学系凍結抑制舗装 (本工法) 300×300×50mm 平板供試体
溶出方法	 供試体表面に水膜を張り、化学系材料の成分を水中に溶出させる。
溶出条件	Φ100mm 塩び管に高さ 10mm (120g) の水を静置し、2時間後に採取
水溶液の濃度測定方法	ガスクロマトグラフィ法による
単位析出量の計算方法	溶液の濃度 (mg/L) ÷ 水浸面積 (m ²)
試験温度	室温 23±3°C
効果持続性の評価方法	同一箇所での氷着引張強度との関係を把握する

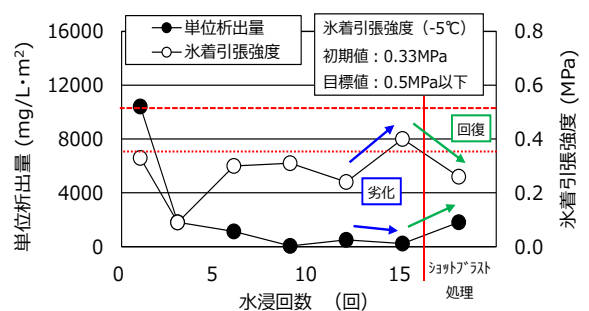


図-3 溶出試験と氷着引張試験の結果

5. 実道での施工事例

室内試験結果を踏まえ、本工法の施工性と凍結抑制効果を北海道倶知安町の実道にて検証した。施工の概要を表-6に示す。施工した混合物は、本工法による凍結抑制舗装と、比較対象として、通常の舗装である密粒13Fの2種類とした。施工後、冬期凍結抑制効果および越冬後の路面性状の確認を目的として、逐次追跡調査を実施した。

なお、当該箇所は国内外から観光客が多く訪れ往来する箇所であり、冬期は降雪量も多いことから、日常的に除雪や凍結抑制剤の散布などの管理がなされている箇所である（写真-1）。

5. 1. 施工結果

合材プラントでの各種添加材料の投入状況を写真-2に、出荷混合物の基本性状を表-7に示す。本工法は、混合物に添加材料を投入する一工程が増えるだけで、施工方法や機械編成は通常の舗装と同様である。本工法の施工性は通常の密粒13Fと変わりなく、基本性状および氷着引張試験による凍結抑制効果も目標を満足する結果であった。

表-6 実道施工の概要

工事名	蘭越ニセコ倶知安線防災安全B（交安）工事（電線共同溝）2・3工区（補正）
発注者	北海道後志総合振興局
施工場所	北海道虻田郡倶知安町山田地内
施工規模	延長 50m × 幅員 3.5m × 2 混合物=350m ² (t=50mm)
混合物種別	密粒 13F（比較），凍結抑制舗装（本工法）
施工日	2019年9月25日
追跡調査	冬期：2019年12月～2020年1月 随時 越冬後：2020年7月，9月



写真-1 施工箇所の冬期路面管理状況



写真-2 合材プラントでの添加材料投入状況
(左：化学系材料投入状況，右：弾性材料投入状況)

5. 2. 冬期の凍結抑制効果

冬期の凍結抑制効果を確認するため、表-8に示す日程で、路面の観察を行った。本報告では、密粒13F工区と凍結抑制工区の路面露出程度の差がみられた時点の写真を抜粋して報告する。

2019年11月15日8時10分撮影の両工区の路面の状況を写真-3に示す。早朝の除雪車による除雪作業から数時間が経過し、車両の走行によってタイヤ走行位置の雪がやや融けている状況である。通常の密粒13F工区は路面が圧雪状態となり白く見えるのに対し、凍結抑制工区は雪が融けて路面が黒く露出していることが確認できた。

2019年12月25日10時08分撮影の凍結抑制工区の路面の状況を写真-4に示す。対向車線の既設舗装および路肩は50mm程度の圧雪がみられるが、写真中央の凍結抑制舗装工区は路面が露出しており、凍結抑制効果が認められた。

表-7 出荷混合物の基本性状

評価項目	密粒 13F	凍結抑制	目標値	
安定度	kN	9.5	8.2	4.9 以上
動的安定度	回/mm	3000	1800	1500 以上
曲げ強度	MPa	10.3	10.1	—
破断ひずみ	mm/mm	4.6	5.8	—
すり減り量	cm ²	0.33	0.24	0.7 以下
氷着引張強度	MPa	0.61	0.41	0.5 以下

表-8 冬期路面観察時の気象データ等

調査日	2019.11.15	2019.12.25	2020.1.22.
時刻	8 : 10	10 : 08	8 : 30 ~ 12 : 55
積雪量	30mm	50mm	20 ~ 100mm
天気	曇り	曇り	曇りのち晴れ
外気温	-2℃	-2℃	-5 ~ -2℃



写真-3 2019年11月15日 8時10分撮影の路面



写真-4 2019年12月25日 10時08分撮影の路面

写真-5～写真-7は、両工区の同日の時間経過による路面状態の変化を観察したものである。写真-5に示す10時55分時点では両工区とも同程度の圧雪状態であったが、写真-6の11時40分時点では徐々に凍結抑制工区の方が路面の露出範囲が広がっていき、写真-7に示す12時55分時点においては凍結抑制工区のみ、両輪とも路面露出が確認できる。このことから、凍結抑制工区は比較対象である密粒13F工区に比べ、路面の圧雪状態から路面露出までの時間を短縮できていることがわかる。

また、このときの路面の雪を採取し成分分析を行ったところ、添加した化学系凍結抑制材料の成分が検出され、当該添加材料が効果を発揮していることも確認できた。

5. 3. 越冬後の路面性状

本工法の供用性を確認するため、越冬後の2020年7月に路面観察および路面性状測定を行った。施工箇所の状況を写真-8に、測定結果を表-9に示す。

路面の弾性材料は1年後も散逸しておらず、密粒13F、凍結抑制工区ともに問題なく健全な路面状態を維持していた。

6. おわりに

本工法は、金属腐食を招かない非塩化物系凍結抑制材料とリサイクル材料である弾性材料を併用した、環境に優しい物理化学系凍結抑制舗装技術である。2種類の材料をプラントミックスする工程が増えるだけで、施工方法や仕上がりは通常の舗装と同様である。冬期には凍結抑制効果を発揮し、沿道構造物の金属腐食は招かない。

本工法の特徴を踏まえると、ブラックアイスバーンが形成されるような路線で大いに効果が発揮できるものと考えられる。今後は施工事例をさらに増やすことで、寒冷地域の安全確保と管理コストの削減にも貢献したい。

参考文献

- 1) 国土交通省：積雪寒冷特別地域における道路交通の確保について
<https://www.mlit.go.jp/common/001265671.pdf>
(2021年10月確認)
- 2) 凍結抑制舗装技術研究会：凍結抑制舗装ポケットブック
<http://www.touketsu-giken.com/publication/pocketbook.pdf>
(2021年10月確認)
- 3) 片山ら：(地独)北海道立総合研究機構の分析依頼試験、表面技術, 64(9), 474-476, 2013
- 4) 青木ら：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学系凍結抑制舗装の開発, 第12回北陸道路会議, 2012



写真-5 2021年1月23日 10時55分撮影の路面



写真-6 2021年1月23日 11時40分撮影の路面



写真-7 2021年1月23日 12時55分撮影の路面



写真-8 施工直後と1年後の施工箇所

表-9 施工直後と1年後（越冬後）の路面性状

評価指標 \ 混合物種別		密粒 13F 工区	凍結抑制工区
IRI (mm/m)	施工直後	2.06	2.39
	1年後	2.09	2.15
わだち掘れ量 (mm)	施工直後	—	—
	1年後	なし	なし
きめ深さ (mm)	施工直後	0.54	0.49
	1年後	0.61	0.55
ひび割れ率 (%)	施工直後	0.0	0.0
	1年後	0.0	0.0
すべり抵抗性 BPN 値	施工直後	75	81
	1年後	89	81