

機能性 SMA のせん断法による氷着強度試験の検討

Study on the-bond strength between functional sma pavement surfaces and ice crust by a shearing method

北海学園大学工学部 ○学生員 中村拓也 (Takuya Nakamura)
 北海学園大学大学院 学生員 田中俊輔 (Shunsuke Tanaka)
 北海学園大学工学部 正会員 武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)
 世紀東急工業株式会社 正会員 岩岡宏美 (Hiromi Iwaoka)

1. はじめに

室内試験における凍結抑制舗装の抑制効果は、氷着引張試験¹⁾等により評価されてきた。

また筆者らは、交通荷重や除雪機械による路面からの雪氷剥離を想定した評価方法として、せん断法で凍結抑制舗装と氷板との境界面における氷着強度を測定することにより、凍結抑制効果を評価する方法を試みてきた(以下、氷着せん断試験と略称)²⁾。

本研究では新たに鉛直荷重を加えたせん断法による凍結抑制効果の新たな評価方法を検討した。

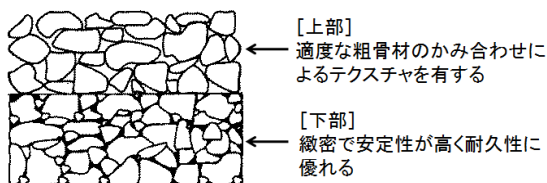
2. 本研究で用いた供試体の概要³⁾

本研究では機能性 SMA と SMA-G を用いた。

機能性 SMA は上部が排水性舗装と同程度のテクスチャを有し、耐久性に優れている舗装である。図-1 に断面図を示す。

SMA-G は機能性 SMA にグルーピング溝(幅：9mm, 深さ：10mm)を施し、そこに凍結抑制材(ゴムチップをウレタン樹脂で結合させた混合物)を充填したものである。

また、比較舗装として密粒度舗装を用いた。

図-1 機能性 SMA の断面図³⁾

3. 氷着引張試験による凍結抑制効果の検討

建研式接着剥離試験器を使用して、グルーピング系凍結抑制舗装の氷着引張強度を測定し、凍結抑制効果の検討を実施した。

3.1 試験概要

氷着引張試験は、舗装性能評価法別冊に準じて実施した¹⁾。

試験手順は、図-2 に示すように、鋼製治具の試験面に接着した不織布に水を含ませた。この時に含ませる水量は、25g とした。次に治具を設置し 4 時間養生させた。その後、420±10g の鋼球を高さ 25cm の位置から筒状の

ガイドを通して 10 回落下させ衝撃を与えた。落下させた後、試験機治具を引き抜き、そのときの最大荷重を読み取った。本試験の試験条件を表-1 に示す。

今回は、各供試体において 4 箇所試験を実施した。凍結抑制材が舗装に施されている供試体は治具の設置位置により結果に大きな影響があると考えられるため、凍結抑制材と治具との接地面積を統一した。図-3 に治具設置状況、写真-1 に実際にグルーピングの施されている供試体に治具を設置した状況を示す。

測定された引張荷重と治具の面積から式(1)より氷着引張強度を算出した。また、引張試験機と試験の状況を写真-2 に示す。

$$\text{氷着引張強度(MPa)} = \frac{\text{引張荷重 (N)}}{\text{治具面積 (mm}^2\text{)}} \quad \text{式(1)}$$

表-1 試験条件

試験供試体	密粒度, 機能性 SMA, SMA-G
試験温度	-5℃
引張速度	13.0mm/min
不織布の含水量	25g
冷却温度(養生時間)	-5℃ (4 時間)
鋼球の重さ	420±10g

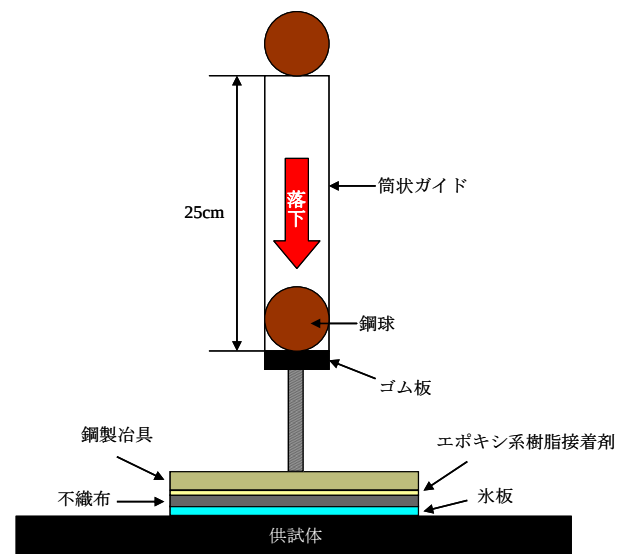


図-2 氷着引張試験の模式図



写真-1 SMA-G

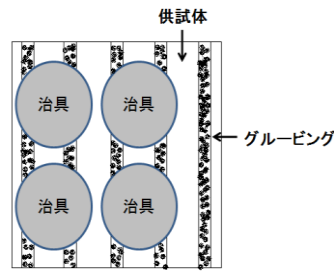
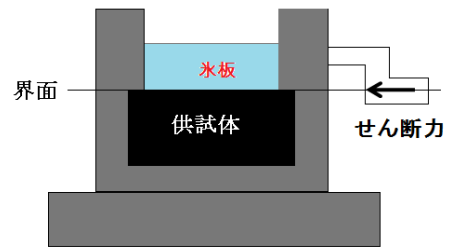
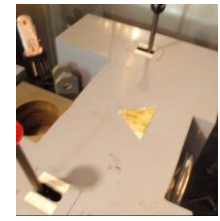


図-3 治具の設置状況



写真-2 試験の状況

(左：鋼球落下作業，右：治具の引き抜き作業)

図-5 一面せん断試験機の模式図⁴⁾写真-3 一面せん断試験機
(左：正面写真，右：平面写真)

$$\text{氷着せん断強度(MPa)} = \frac{\text{せん断力 (N)}}{\text{氷着面積 (mm}^2\text{)}} \quad \text{式(2)}$$

3.2 試験結果と考察

結果を図-4に示す。2種類の舗装と密粒度舗装の氷着引張強度を比較した。2種類とも氷着引張強度が密粒度舗装の半分以下の値となり、本試験では凍結抑制効果を発揮したと考えられる。

機能性 SMA の氷着強度は、比較の密粒度舗装と比較して小さい値を示した要因として、機能性 SMA は、表面のテクスチャの粗さにより氷の接着面積が減少し、付着力が低下したためと考えられる。

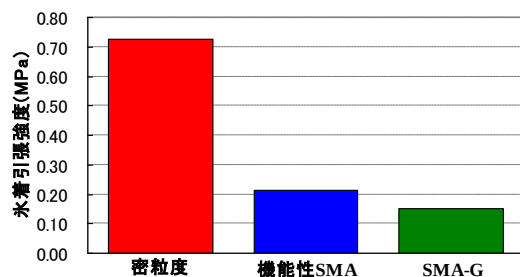


図-4 氷着引張試験

4. 氷着せん断試験による凍結抑制効果の検討

氷着引張試験で得られた氷着引張強度に基づき、せん断法による凍結抑制効果の新たな評価方法を比較検討した。

4.1 試験方法

氷着せん断試験に用いた一面せん断試験機⁴⁾の模式図を図-5に示す。試験は、試験供試体と氷板の境界面にせん断面に一致させたのちに、水平方向にせん断力を加え、氷板が剥離する際の最大せん断力を測定するものである。この値を氷着面積で除して氷着せん断強度を求めた。式(2)に氷着せん断強度を求める計算式を示す。なお、氷着せん断強度が小さいほど氷が剥離しやすいということを表している。また、一面せん断試験機を写真-3に示した。

4.2 本試験で用いた供試体

試験に使用したのは機能性 SMA と SMA-G であり、表面性状は写真-4 と写真-5 に示すとおりである。なお、本試験では各試験条件に対してすべて同じ供試体で試験を行った。

供試体はマーシャル試験用供試体と同じ寸法のものである。



写真-4 機能性 SMA



写真-5 SMA-G

4.3 氷板の作製と試験条件

氷板は-5℃で6時間以上養生した供試体の上に作製した。氷板の厚さは、せん断力が作用した時に氷板が破壊しない厚さを考慮して10mmと設定し、氷板直径は80mmとした。

氷板に気泡ができてしまうと、その部分が壊れやすくなってしまうため、水を撒く際に容量3cc程度のスポイトを用い、空気が入らないよう静かに撒いた。

表-2に試験条件を示す。

表-2 試験条件

試験温度	-5℃
氷板厚さ	10mm
氷板直径	80mm
変位速度	0.03mm/min

4. 試験結果と考察

試験後の供試体の写真を写真-6 と写真-7 に示す。ほとんどの供試体で氷板の塑性変形が発生した。塑性変形したものでは、正確な氷板の付着強度を求めることはできず、凍結抑制効果を評価することはできない。

氷の塑性変形が発生した理由として、機能性 SMA の供試体上部は多孔質で空隙が多い。そのため、空隙に溜まる水量が多くなり、そこにより強固な氷が根付いたため、剥離しにくくなったと考えられる。

この結果より、一面せん断試験では鉛直荷重がないと供試体の表面のテクスチャの粗さによる影響を強く受けてしまうという問題点があると考えられた。

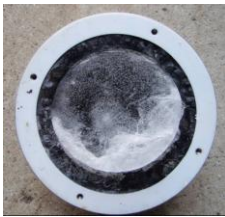


写真-6 氷板の塑性変形



写真-7 塑性変形側面図

5. 荷重を加えたせん断試験

この試験は、一面せん断試験で加えられるせん断荷重の他に輪荷重に相当する鉛直荷重を繰り返し载荷することによって、走行車両の輪荷重による鉛直荷重を考慮した試験方法である。鉛直荷重を加えることにより、実路をより再現した試験方法となっている。この試験をせん断法による凍結抑制効果の新たな評価方法として検討した。

5.1 試験方法

この試験では、一面せん断試験に用いる供試体(氷板路面の状態)を用いた。鉛直荷重は、マーシャル試験機(写真-8)を用いて図-6 で示すように、氷板形状を考慮して、氷板上に荷重を分散させるためにゴム板を載せ、その上から治具を通して輪荷重相当の予備荷重を複数回加えた。その後、一面せん断試験を行った。

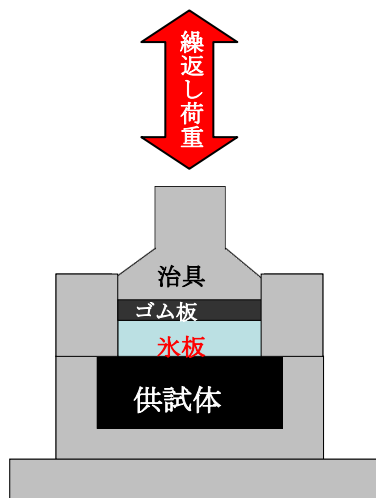


図-6 荷重载荷の模式図



写真-8 マーシャル試験機

5.2 試験条件

鉛直荷重は大型車相当の輪荷重である 0.63MPa、载荷速度は 50mm/min、鉛直荷重の载荷回数は 10, 20, 30 回の 3 種類とした。使用供試体は、一面せん断試験の時と同様のものを使用した。また、氷着引張試験と比較検討するために密粒度舗装でも試験を行った。その他の条件は 4.3 で述べた一面せん断試験と同様とした。

5.3 試験結果と考察

試験結果を図-7 に示した。密粒度舗装はすべて同じような値を示したが、機能性 SMA と SMA-G では鉛直荷重の载荷回数ごとに氷着せん断強度が変化した。2 種類とも载荷回数の増加に伴い氷着せん断強度は減少する傾向が見られた。载荷回数 30 回での密粒度舗装と他の 2 つを比較すると、密粒度舗装よりも 2 つとも低い値となった。また、SMA-G は密粒度舗装の半分近い値となっていることからグルーピングによる凍結抑制効果を得られたと考えられる。

この結果から、機能性 SMA と SMA-G は载荷回数 30 回までは凍結抑制効果が表れていると考えられる。

本研究では、荷重を加えたせん断試験により凍結抑制効果を評価する場合、鉛直荷重を载荷する回数が 30 回で凍結抑制効果が表現できていると考える。

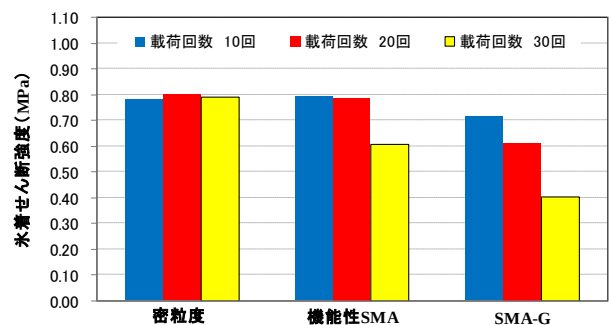


図-7 各供試体の氷着せん断試験結果

6. 各試験の比較検討

氷着引張試験と荷重を加えたせん断試験の载荷回数 30 回の結果を図-8 に示した。2 つの試験の氷着強度は、密粒度舗装では大きな違いはないが、機能性 SMA と SMA-G では大きな差が出た。これは、氷板の生成状態

に違いがあるためだと考えられる。氷着引張試験とせん断試験の試験時の氷板の生成状態を図-9 と図-10 に示した。両方の試験方法を比較すると、氷着引張試験は治具の不織布に水を含ませて氷板を生成するため舗装表面の凹部分による空隙に氷が根付くことはないが、せん断試験は舗装に直接スポイトで空気が入らないように水を撒いて氷板を生成するので空隙に氷が根付く点に違いがある。また、機能性 SMA の空隙に氷が根付いている状態を写真-9 から見る事ができる。

この結果から、界面での氷板の生成状態の影響で舗装と氷板の付着強度に大きな差が出ることが分かった。

実路による氷板の生成状態は、せん断試験の供試体とほぼ同じであり、実路の凍結抑制効果を評価する際は、せん断試験の方が適していると考えられる。

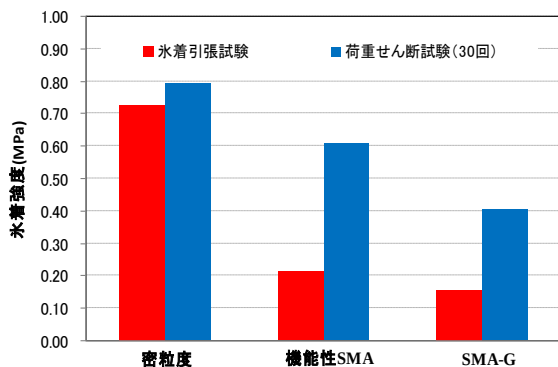


図-8 各試験結果比較グラフ

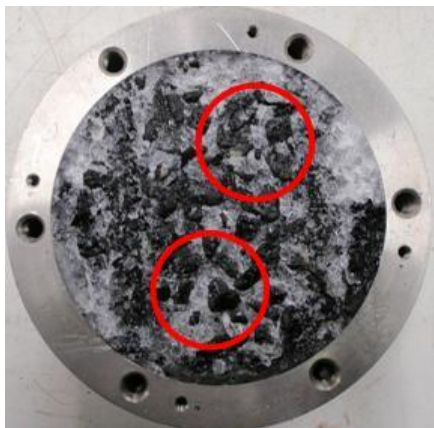


写真-9 界面剥離した機能性 SMA

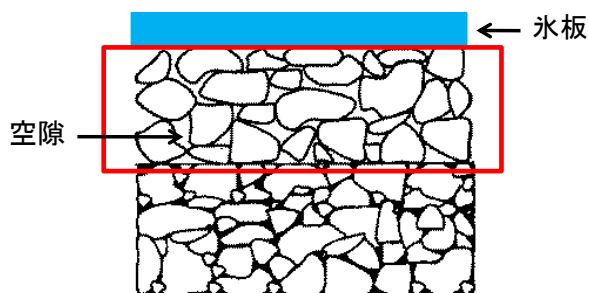


図-9 機能性 SMA における氷着引張試験の氷板の生成状態

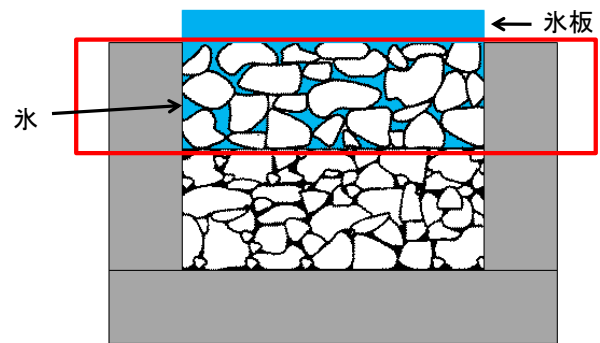


図-10 機能性 SMA におけるせん断試験の氷板の生成状態

6. まとめ

本研究で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 氷着引張試験において、機能性 SMA と SMA-G を密粒度舗装と比較すると、2 種類とも氷着引張強度がかなり低い値となった。
- 一面せん断試験では鉛直荷重がないと供試体の表面のテクスチャの粗さによる影響を強く受けてしまうという問題点がある。
- 荷重を加えたせん断試験では、物理的凍結抑制効果を表現していると考えられる。
- 荷重を加えたせん断試験による凍結抑制効果の評価において、本研究では鉛直荷重を載荷する回数が 30 回で凍結抑制効果が表現できていると考えられる。

7. おわりに

荷重を加えたせん断試験の結果から、凍結抑制効果が発揮されていると考えられるが、今回は試験回数が少なく十分な再現性が得られていないと考えている。そのため、今後試験回数を増やすなどして多くのデータを取り、再現性を明らかにする事も重要と考える。

今回、この試験方法を新たな凍結抑制効果を評価方法とする可能性を見出すことが出来たと考えているが、機能性 SMA、SMA-G と密粒度舗装でしか試験を行っていないため、今後排水性舗装などでも試験を行い、汎用性についての検討が必要であると思われる。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本道路協会：舗装性能評価法別冊 -必要に応じ定める性能指標の評価法編-, pp. 63-72
- 2) 水口他：凍結抑制舗装のせん断法による氷着強度試験の検討，土木学会北海道支部論文報告集第 66 号
- 3) 吉井昭博，田高淳，安部隆二：積雪寒冷地における開粒度舗装のすべり抵抗に関する検討，第 11 回北陸道路舗装会議技術報文集，B-14，2009
- 4) 鈴木徹，清水浩昭，外城戸忠：一面せん断試験による凍結抑制舗装の評価について，第 21 回日本道路会議論文集，pp. 506-507