

修正を加えたせん断法による氷着強度試験の検討

Study on the-bond strength between pavement surfaces and ice crust by the modified shearing method

北海学園大学工学部 ○学生員 安藤 翔 (Sho Ando)
 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 村井宏美 (Hiromi Murai)

1. はじめに

室内試験における凍結抑制舗装の試験方法の1つとして、氷着引張試験¹⁾が用いられている。筆者らは、実路の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(以下、氷着せん断試験と略称)^{2),3)}を試みてきた。

今回は、せん断荷重が氷着面に一様に作用するように修正した試験方法について検討した。

2. 本研究で用いた供試体の概要

本研究では、写真-1 から写真-3 に示すように、密粒度舗装、密粒度-G、排水性舗装、排水性-G、機能性 SMA、SMA-Gを用いた。

密粒度-G、排水性-G、SMA-G は母体舗装にグルーピング溝(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)を充填したグルーピング系凍結抑制舗装である。



写真-1 密粒度舗装(左)、密粒度-G(右)



写真-2 排水性舗装(左)、排水性-G(右)



写真-3 機能性 SMA(左)、SMA-G(右)

3. 氷着引張試験による凍結抑制効果の検討

せん断法による試験法の検討にあたって、同様の供試体を用いて、氷着引張試験を行った。

3.1 試験方法

氷着引張試験は、舗装性能評価法別冊に基づいて実施した¹⁾。試験手順は、鋼製治具の試験面に接着した不織布に25gの水を含ませ、治具を設置し4時間養生させた。次に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。その後、引張試験機(写真-4)で治具を引き抜き、そのときの最大引張荷重を読み取った。図-1 および図-2 に氷着引張試験の概要を、表-1 に試験条件を示した。

本試験では、図-3 に示すように、各供試体において4箇所で行った。グルーピング系凍結抑制舗装は、治具の設置する位置により結果に影響があると考えられるため、凍結抑制材と治具との設置面積を統一した。

式(1)に示すように、測定された最大引張荷重と治具の面積を除して算出した値を、氷着引張試験における氷着強度とした。

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

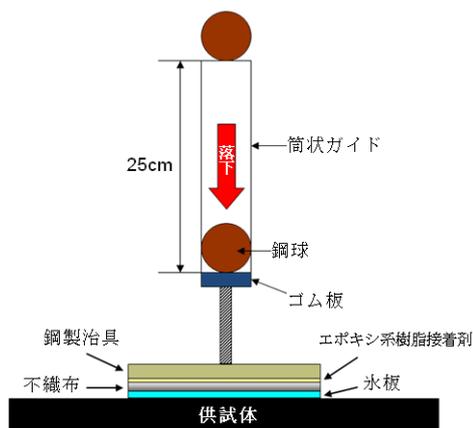


図-1 鋼球の落下方法

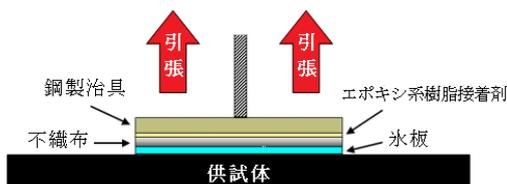


図-2 治具の引き抜き方法

表-1 試験条件

| | |
|------------|--|
| 試験供試体 | 密粒度, 密粒度-G, 排水性, 排水性-G, 機能性 SMA, SMA-G |
| 試験温度 | -5℃ |
| 引張強度 | 13.0mm/min |
| 不織布の含水量 | 25g |
| 養生温度, 養生時間 | -5℃, 4時間 |
| 鋼球の重さ | 420±10g |

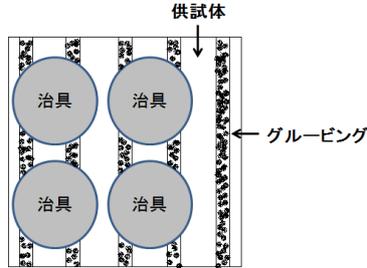


写真-4 建研式接着剥離試験器 図-3 治具の設置状況

3.2 試験結果と考察

図-4 に氷着引張試験の試験結果を示した。粗面系舗装およびグルーピング系凍結抑制舗装の氷着強度は密粒度舗装の半分以下で、非常に小さい値となった。粗面系舗装の氷着強度が密粒度舗装よりも小さい値を示した要因として、舗装表面のテクスチャの粗さにより氷の接着面積が減少したためと考えられる。

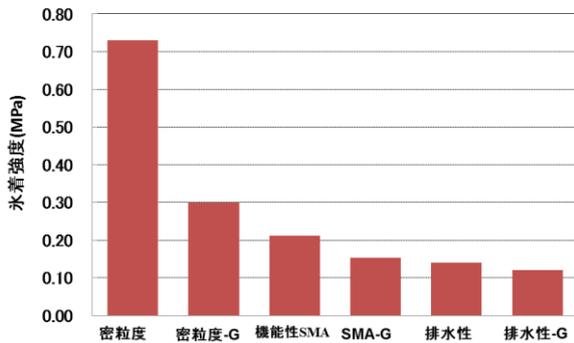


図-4 氷着引張試験結果

4. せん断法による凍結抑制効果の検討

これまでのせん断試験法は、荷重が側面からのみ作用していたため、氷板内破壊や塑性変形が発生して再現性に課題があった。本研究では、それを解決するために、側面からのせん断荷重が氷着面に一様に作用するせん断試験法について検討した。

4.1 鉛直荷重を加えた氷着せん断試験

(1) 試験方法

現場における交通荷重を再現するため、図-5 に示すように、土木材料試験装置(写真-5)を用いて、鋼製治具上に鉛直荷重を一様に作用させるためにゴム板を載せ、その上から加圧板を通して、輪荷重相当の鉛直荷重を複数回加えた。次に、図-6 に示すように、一面せん断試

験機⁴⁾(写真-6)を用いて、試験供試体と氷板との境界面をせん断面に一致させた後に、側面から水平方向にせん断荷重を加え、氷板が剥離する際の最大せん断荷重を測定した。試験条件を表-2 に示した。なお、本試験で使用した供試体は、すべて新設舗装を想定したものを用いた。

式(2)に示すように、測定された最大せん断荷重を氷着面積で除して算出した値をこの試験の氷着強度とする。

$$\text{氷着強度(MPa)} = \frac{\text{最大せん断荷重 (N)}}{\text{氷着面積 (mm}^2\text{)}} \quad \text{式(2)}$$

(2) 治具の氷着方法

以前の研究では、厚さ 10mm の氷板を作製して試験を実施したが、氷板内破壊や塑性変形が発生したため、正確な氷着せん断強度を求めることができなかった。そのため、本試験では氷板に代わり、厚さ 5mm の鋼製板の試験面に厚さ 5mm の不織布をエポキシ系樹脂接着剤で接着した鋼製治具を用いた。また、鋼製治具の直径を 80mm とした。

作製手順は、まず、鋼製治具の試験面に接着した不織布に水を含ませる。このときに含ませる水の量は、25g とした。次に、図-7 に示すように、-5℃で6時間以上養生させた供試体の表面を霧吹きで散水して、薄い氷膜を作る。その後、供試体の上にモールドを設置し、薄い氷膜の上に鋼製治具を載せ4時間養生させた。

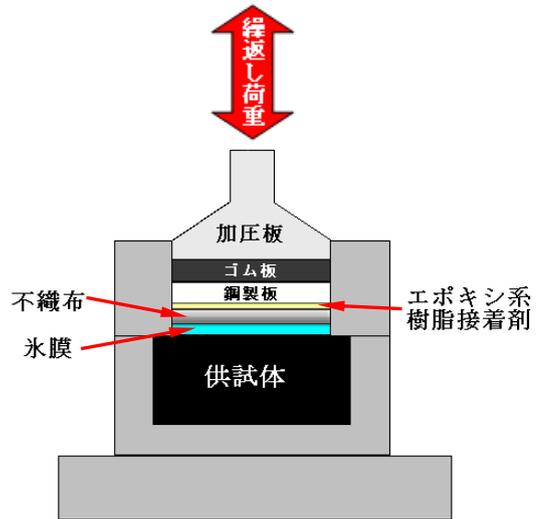


図-5 鉛直荷重載荷の模式図

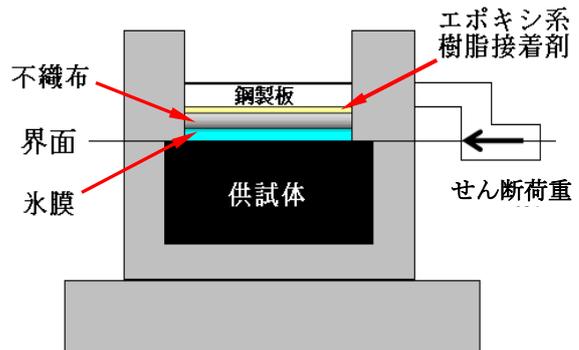


図-6 一面せん断試験の模式図

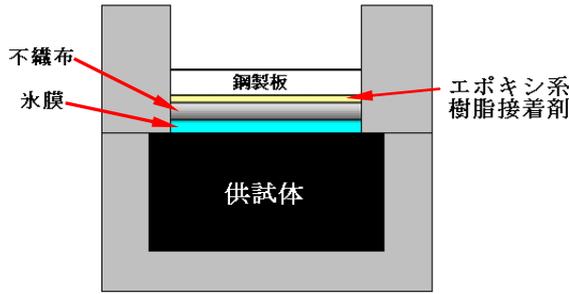


図-7 試験供試体の模式図

表-2 試験条件

| | |
|------------|--|
| 試験供試体 | 密粒度, 密粒度-G, 排水性, 排水性-G, 機能性 SMA, SMA-G |
| 試験温度 | -5°C |
| 不織布の含水量 | 25g |
| 鋼製治具の厚さ | 10mm |
| 鋼製治具の直径 | 80mm |
| 養生温度, 養生時間 | -5°C, 4 時間 |
| 鉛直荷重(接地圧) | 3.2kN (0.63MPa) |
| 載荷速度 | 0.5Hz |
| 載荷回数 | 10,30,50 回 |
| 変位速度 | 0.03mm/min |



写真-5 土木材料試験装置(左), 荷重載荷時の状態(右)



写真-6 一面せん断試験機(左), 供試体の設置状況(右)

4.2 試験結果と考察

図-8 に試験結果を示した。密粒度舗装の氷着強度は、各載荷回数でほぼ同じ値を示したが、他の5種類の舗装では、載荷回数が増加するにつれて値が減少する傾向が見られた。載荷回数50回での密粒度舗装と他の5種類の舗装の氷着強度を比較すると、他の5種類の舗装は密粒度舗装よりも小さい値を示した。特に、排水性-Gは密粒度舗装の半分以下の値と示しており、舗装が持つ排水機能が有効に働いたため、値が低くなったと考えられる。

母体舗装よりもそれらを母体とするグルーピング系凍結抑制舗装の方が氷着強度の値が低くなっている。これは、凍結抑制材を充填した部分では、鉛直荷重とたわみ特性による氷板の破碎およびゴム材と氷との付着力低減の効果に起因している。

図-9 と図-10 に各載荷回数における変位と荷重の関係を示した。密粒度舗装では、載荷回数の増加に伴い、剥離時の最大荷重と変位に大きな違いは見られなかったが、密粒度-Gでは載荷回数の増加に伴い、剥離時の最大荷重が低減し、変位が増加する傾向が見られた。

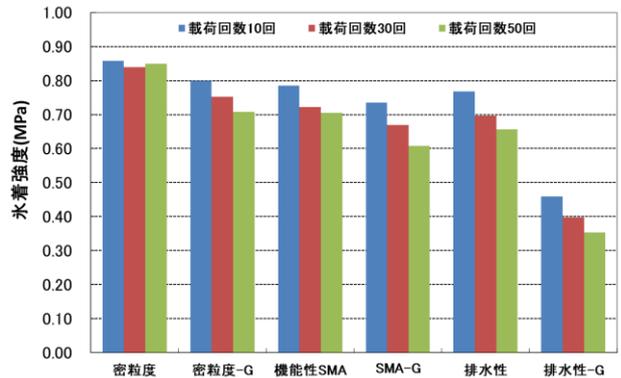


図-8 氷着せん断試験結果

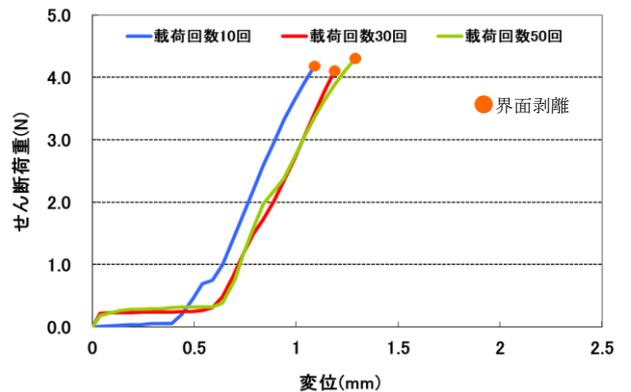


図-9 密粒度舗装の変位と荷重の関係

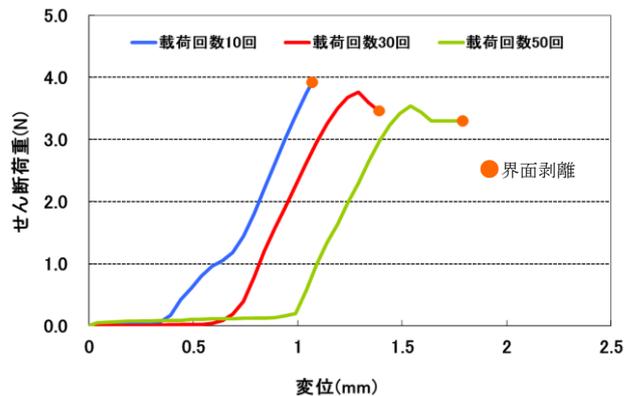


図-10 密粒度-Gの変位と荷重の関係

5. 各試験の比較検討

図-11 に、氷着引張試験と鉛直荷重 50 回載荷した後の氷着せん断試験の結果を示した。2 つの試験で得られた氷着強度を比較すると、密粒度舗装ではほとんど差が見られなかったが、粗面系舗装やグルーピング系凍結抑制舗装では有意な差が見られた。

(1) 荷重のかけ方による違い

氷着引張試験では、氷着面に対して治具の引き抜きによる引張方向のみの荷重が作用しているため、舗装表面のテクスチャの粗い供試体では氷着強度が非常に小さくなったと考えられる。

鉛直荷重を加えた氷着せん断試験(以下、氷着せん断試験と略称)では、氷着面に対して平行に一樣なせん断荷重を作用させるために、テクスチャの影響と剥離時の界面の抵抗が加わり氷着引張試験の氷着強度よりも大きくなったと考えられる。

(2) 供試体の氷着状況

氷着引張試験では、不織布に含ませた水が供試体の表面に流れ出ているため、不織布と供試体との氷着が十分ではないと考えられる。

氷着せん断試験では、写真-7 に示すように、不織布に含ませた水が舗装表面の凹部分に滞留し、氷が根付いているため、氷着引張試験よりも氷着していると考えられる。

(3) 界面における剥離状況

写真-8 に示すように、グルーピング系凍結抑制舗装の凍結抑制材を充填した部分では、氷の付着が少ないのが確認でき、母体舗装に比べて界面における氷板剥離が発生しやすいと考えられる。

以上の結果から、実路における凍結抑制効果による氷板の剥れやすさを評価する際には、実際の現場条件に近い氷着せん断試験の方が適していると考えられる。

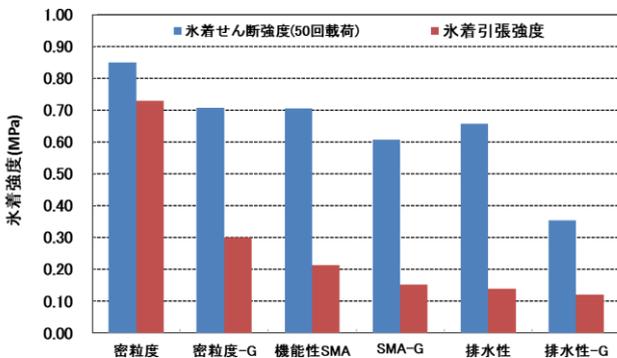
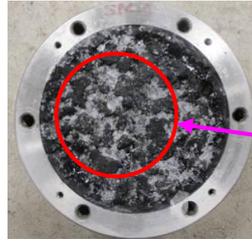
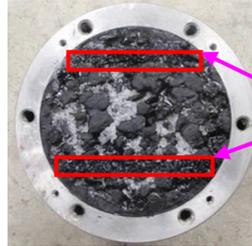


図-11 各試験結果の比較



氷が根付いた部分

写真-7 供試体の氷着状況



凍結抑制材を
充填した部分

写真-8 界面剥離した供試体

6. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 氷着せん断試験では、載荷回数を増加させると、粗面系舗装およびグルーピング系凍結抑制舗装の氷着強度は低減する傾向が見られ、再現性のある結果を得ることができた。
- 氷着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の載荷回数が 10 回よりも 30 回ないし 50 回の方が、供試体の違いによる凍結抑制効果を表現できたと考えられる。しかし、載荷回数における凍結抑制効果については今後も検討する必要があると考えられる。
- 氷着引張試験と氷着せん断試験を比較すると、前者の方が、氷着強度が小さくなる傾向が見られた。これは、荷重のかけ方による違いが大きく影響していると考えられ、実路における凍結抑制効果を評価する際には、氷着せん断試験の方が適していると考えられる。

7. おわりに

氷着せん断試験の結果から、凍結抑制効果が評価できたと考えられる。しかし、試験回数の少なさから十分な再現性が得られていないと思われるため、今後は、試験回数を増やし多くのデータを蓄積することで、再現性をより明らかにする必要があると考える。

【参考文献】

- 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
- 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
- 中村他：機能性 SMA 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 67 号
- 鈴木徹, 清水浩昭, 外城戸忠：一面せん断試験におけ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