凍結抑制舗装のせん断法による氷着強度試験の検討

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

北海学園大学工学部　○学生員　水口達也　（Tatsuya Mizuguchi）
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

冬期道路管理手法の一つとして，舗装の面から凍結抑制効果を補助する研究・開発が進められてきた．凍結抑制舗装は路面の初期凍結の遅延や，雪氷の付着を弱め除雪作業を効率的にするなどの長所がある．

これまで，繰返し走行試験による路面露出率とすべり摩擦係数での凍結抑制効果の評価や，氷着引張試験による氷着引張強度を評価方法として試みてきた [1)2)]．しかし，定量的な評価方法として課題もある．

そこで新たな評価方法として，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た．（以降，氷着せん断試験と略称する．）

2. 試験方法

氷着せん断試験に用いた一面せん断試験機 [3)]は，図-1に示すように試験供試体と氷板の境界面がせん断面に一致させる．次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氷着面積で除して氷着せん断強度を求める．式(1)に氷着せん断強度を求める計算式を示した．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，氷着せん断強度の計算式を式(1)に，一面せん断試験機と供試体を設置した状態を写真-1 および写真-2 に示した．

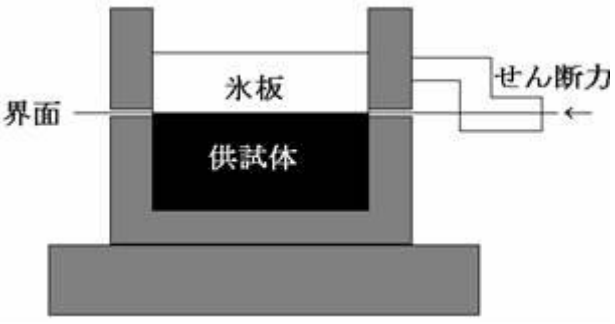

図 1 一面せん断試験機の模式図

$$氷着せん断強度(MPa) = \frac{せん断力（N）}{氷着面積（mm^2）} \quad 式(1)$$

写真-1 一面せん断試験機

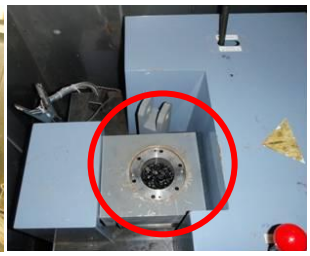

写真-2 供試体セット後

3. 氷着せん断試験の概要

3. 1 本試験で用いた供試体

表-1 に 4 種類の供試体の概要を示した．G9 は母体舗装に密粒度舗装を用いているものであり，GP は母体舗装に排水性舗装を用いているものである． 写真-3 に G9 を，写真-4 に GP の供試体を示した．

試験に使用し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．まず，供試体をモールドの中へ入れ，石膏で隙間をふさぎ，固定する．写真-5 および写真-6 に石膏で充填した状況を示した．その後，供試体を－5℃の恒温室で 6 時間以上養生した．

表-1 各舗装供試体の概要

凍結抑制舗装	G9	GP
母体舗装種別	密粒度舗装	排水性舗装
グルービング幅・深さ	幅 ：9 mm， 深さ 10 mm	
凍結抑制材（グルービングに充填）	ゴムチップをウレタン樹脂で結合させた混合物	
比較用の舗装	密粒度舗装， 排水性舗装	

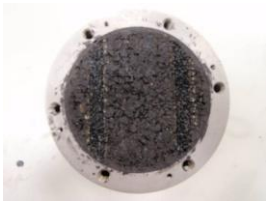

写真-3 G9

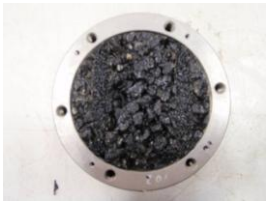

写真-4 GP

写真-5 石膏で充填する前 (供試体裏側)

写真-6 石膏で充填後 (供試体裏側)

3．2 氷板の作製

氷板は-5℃で 6 時間以上養生した供試体の上に作製する．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，10mm と設定した．供試体の直径は 10cm であるが，氷板の直径を変えることにより氷着せん断強度に違いが発生するのかを検討するために，10cm と 8cm の 2 種類を用いた．

厚さ 10mm の氷板を作る際に撒く水量は，直径 10cm で 87g，直径 8cm で 56g である．水は 6 回にわけて，前に撒いた水が完全に凍った時点で次の水を撒くという方法で行った．なお，使用した水は水道水である．

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．また，排水性舗装と GP に関しては先に霧吹きで水を撒き，氷膜作製後に水を撒く方法を用いた．

3．3 試験条件

試験は恒温室にて行った．表-2 に試験条件を示した．変位速度は，速いと界面以外での氷板内破壊が起きやすく，遅いと塑性変形が起きやすいため氷着せん断強度を求めることができない．また，試験結果のばらつきを抑制することができると考えられる．以上のことから，本試験では最適な変位速度を設定することから始めた．

氷着せん断強度は供試体表面と氷板の付着力のことであり，舗装と氷板の界面付近で剥離させることで求まる．そして，様々な凍結抑制舗装で氷着せん断強度を比較することにより凍結抑制効果を評価できると考えた．よって，変位速度を設定するための条件は凍結抑制舗装と氷板の界面で剥離することである．

変位速度を設定する際の条件とした供試体は密粒度舗装と G9 である．氷板直径 10cm，氷板厚さ 10mm の条件で行った．また，グルービングが施してある供試体については，図-2 に示すようにせん断方向とグルービングが平行になるようにした．

本試験では，0.5，0.1，0.05，0.03，0.01mm/min，の変位速度で試みた．その結果，0.5，0.1，0.05mm/min では氷板内での破壊が多く見られた．また，0.01mm/min では塑性変形が起こりやすい．以上の結果に基づいて変位速度を 0.03mm/min と定めた．

試験後の各供試体の様子を写真-7～10 に示した．

表-2 試験条件

試験温度	-5℃
氷板厚さ	10 mm
氷板直径	8，10cm
変位速度	0.03 mm/min

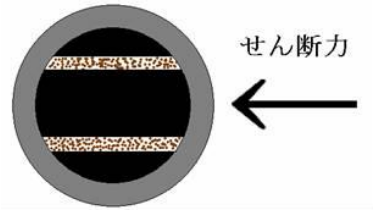

図-2　せん断方向の図

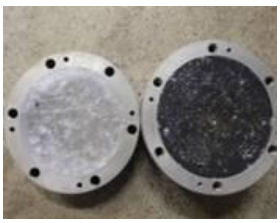

写真-7 界面で剥離

写真-8 氷板内破壊

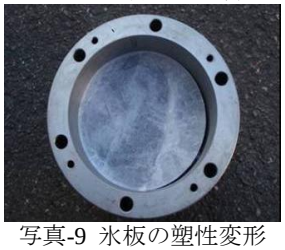

写真-9 氷板の塑性変形

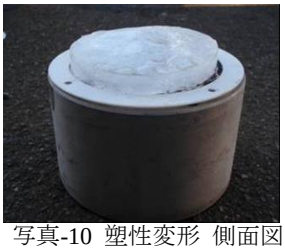

写真-10 塑性変形 側面図

3．4 試験結果と考察

氷板直径 8cm と 10cm での氷着せん断試験の結果を図-3 に，試験後の各供試体の写真を写真-11～14 に示した．これより，氷板直径 10cm に関しては密粒度舗装と G9 で氷着せん断強度に差が現れなかった．同様に排水性舗装と GP も差はほとんどなかった．また，密粒度舗装と排水性舗装を比較すると，排水性舗装の方が大きい値を示した．

氷板直径 8cm に関しても，密粒度舗装と G9，排水性舗装と GP でそれぞれ氷着せん断強度に差はなかった．排水性舗装の氷着せん断強度は密粒度舗装よりやや小さい値を示した．

今回の試験では，グルービングを施していても凍結抑制効果はあまり得られない結果となった．また，写真-13 および写真-14 より，母体舗装に排水性舗装を用いている供試体は，舗装表面にある空隙に氷が根付いたため付着強度が強固になり凍結抑制効果が得られなかったと考えられる．

このことから母体舗装に排水性舗装を用いているものは氷板ができにくいが，一度氷板ができてしまうと剥離しにくくなると考えられる．

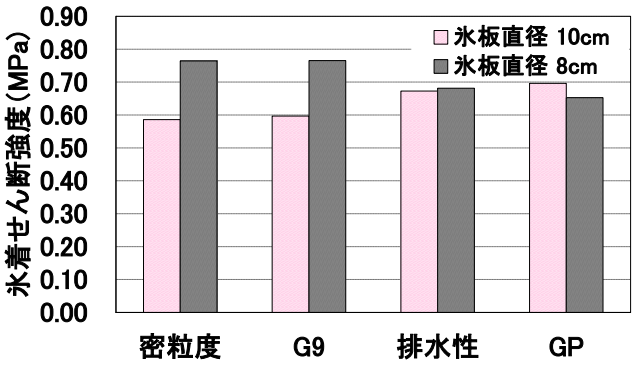

図-3 各供試体の氷着せん断試験結果

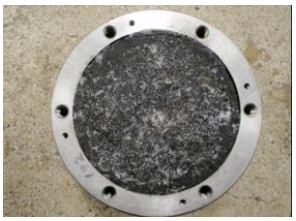
写真-11 密粒度舗装

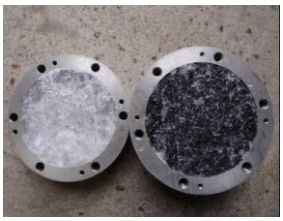
写真-12　G9

写真-13 排水性舗装

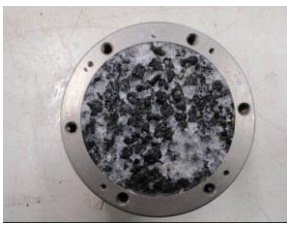
写真-14　GP

4. 凍結抑制効果の比較検討

本試験では，氷板ができてしまうと剥離しにくくなるという排水性舗装の性質を現している．そこで，繰返し走行試験の試験結果に基づき，氷着引張試験と氷着せん断試験を比較検討することで凍結抑制効果を評価することを試みた．

4. 1 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，グルービ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行った．

(1) 試験方法

氷着引張試験を行うにあたり，国土交通省建築研究所式の引張試験機を用い，規定に沿った方法で行った[1)]．鋼製治具の試験面に接着した不織布に水を含ませる．含ませる水量は，25g とした．治具を設置し 4 時間養生させ，鋼球を落下させる．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る．得られた引張荷重と治具の面積から式(2)より氷着引張強度を算出する．また，引張試験機と試験の様子を写真-15 に示した．

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

写真-15　試験の様子

(2) 試験条件

氷着引張試験方法に関する既往の検討結果に基づいた試験条件を表-3 に示した．試験温度は-3℃～-6℃，冷却時間を 4 時間にすると，変動係数が最も低い．また，引張速度を 13.0 mm/min にすることで試験時のばらつきが少ないとされている[1)]．また，各供試体で 3 箇所からデータを得た．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，図-4 に治具設置状況，写真-16 および写真-17 に実際にグルービングの施されている供試体に治具を設置した状況を示した．

表-3　試験条件

試験供試体	密粒度，G9，GP，排水性
試験温度	-5℃
引張速度	13.0 mm/min
不織布の含水量	25g
冷却温度（養生時間）	-5℃　(4 時間)

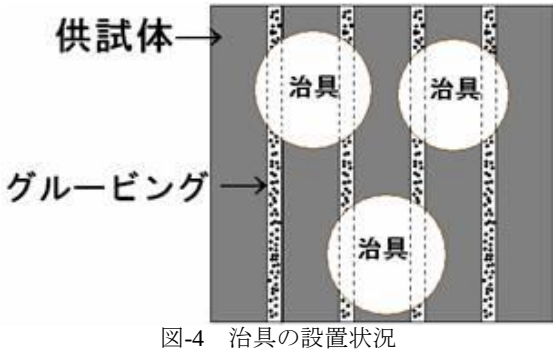

図-4　治具の設置状況

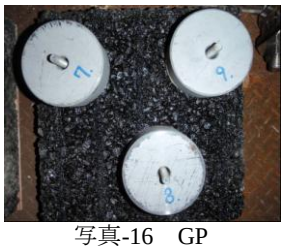
写真-16　GP

写真-17　G9

(3) 試験結果と考察

氷着引張試験の結果を図-5 に示した．密粒度舗装と他の 3 種の氷着引張強度を比較すると全てが半分以下の値となった．また，凍結抑制舗装の母体が密粒舗装系の G9 と排水性系の GP を比較しても大きな差となった．

この結果より，本試験ではグルービングが凍結抑制効果を発揮したといえる．また，排水性系は氷板付着面積が少ないため，この結果になったと考えられる．

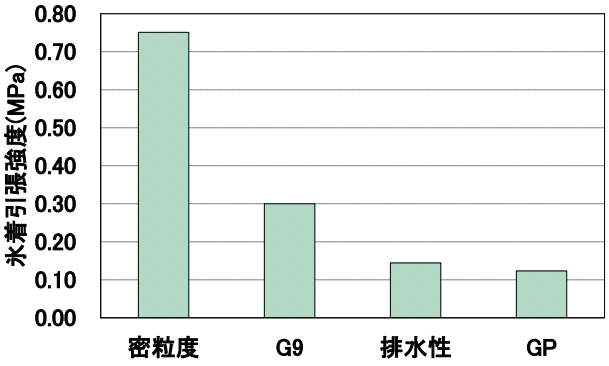

図-5　氷着引張試験

4. 2 繰返し走行試験 [2)4)]

凍結抑制舗装の路面露出率を算出し，比較検討した．

(1)試験方法

本試験は，写真-18 に示した室内凍結路面走行装置を用いて実施した．氷板路面上を繰返し走行させることにより氷板を破壊する．その後，路面露出している部分を計測し，画像処理により路面露出率の算出式(3)を用いて算定した．

写真-18　室内凍結路面走行試験装置

$$\text{路面露出率}(\%)=\frac{\text{路面露出面積}}{\text{解析画像全体の面積}}\times 100 \qquad \text{式(3)}$$

(2)試験条件

凍結抑制舗装および密粒度舗装における氷板路面の試験条件を表-4 に示した．氷板路面の作製条件は，氷厚が密粒度舗装に対して 1.0 ㎜になるよう水を散布した．

表-4 試験条件

試験舗装	密粒度，G9，GP，排水性
路面温度	-5℃
接地圧	0.196MPa
走行回数	1000 回
氷板厚さ	1.0 ㎜
走行速度	5km/h

(3)試験結果

繰返し走行試験では，グルービングと排水性舗装のたわみ特性や路面テクスチャの効果が顕著に現れた．特に GP に関しては凍結抑制効果を発揮しているといえる．図-6 に 1000 回走行時の路面露出率を示した．

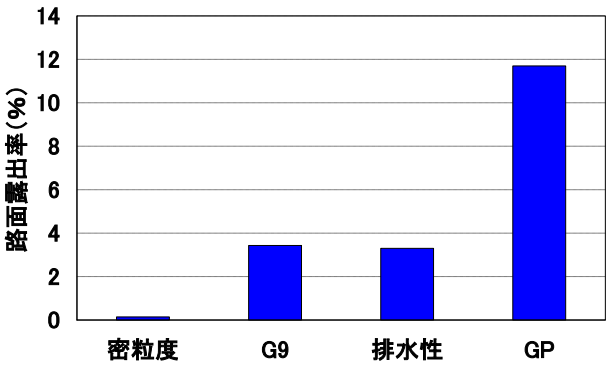

図-6　1000 回走行時の路面露出率

4. 3　各試験の比較検討

各試験の比較結果を図-7 に示した．氷着せん断試験に対し，氷着引張試験ではグルービングが施されているものおよび母体が排水性舗装では付着面積が低減するために，氷着強度が小さくなっている．

この結果から，氷着面積および界面における付着生成状態の影響で供試体と氷板の付着強度が大きく異なることが分かった．

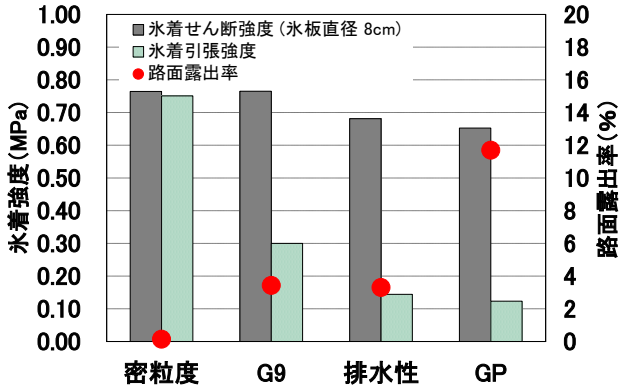

図-7　各試験結果比較グラフ

5. 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．

(a)本試験に基づくと，氷着せん断試験の変位速度は 0.03 ㎜/min が適当であるという結果が得られた．
(b)氷着せん断試験は，母体舗装が密粒舗装系のものと，排水性系のもので氷着せん断強度に若干の差がでた．
(c)氷着引張試験は，密粒系舗装と他の 3 種とで氷着引張強度に大きな違いが見られた．
(d)繰返し走行試験では，グルービングと排水性舗装のたわみ特性や路面テクスチャの効果が顕著に現れた．特に GP が効果を発揮した．

6. おわりに

氷着せん断試験と氷着引張試験では，付着強度の測定を行う仕組みに大きな違いがあるため，凍結抑制舗装の評価に違いが現れた．今後，試験方法の違いを考慮した評価方法の検討が必要である．

【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) 田中俊輔，武市靖，増山幸衛：グルービング系凍結抑制舗装のすべり抵抗と氷板破砕に関する工学的特性，土木学会舗装工学論文集 第 14 巻
3) 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
4) 鈴木裕哉，向井佑太，田中俊輔，武市靖：物理系凍結抑制舗装における氷結路面の露出および破砕特性　寒地技術論文・報告集 Vol. 25　pp288-292 2009.