

グルーピング系凍結抑制舗装のすべり抵抗と 氷板破碎に関する工学的特性

田中俊輔¹・武市靖²・増山幸衛³

¹学生会員 工修 北海学園大学大学院 工学研究科建設工学専攻
(〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1-1)

E-mail : 8309101s@edu.hgu.jp

²正会員 博(工) 北海学園大学教授 工学部社会環境工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1-1)

³正会員 博(工) 世紀東急工業株式会社 技術研究所 (〒329-4304 栃木県下都賀郡岩舟町静和2081-2)

凍結抑制舗装は冬期の路面管理を舗装面から補う工法として数多く施工されてきた。しかし、その性能や機能に関する評価方法は定性的なものが多く、十分に確立されていない。凍結抑制舗装の定量的評価方法を明らかにするには、凍結抑制機能の工学的な特性を把握する必要がある。本研究では以上のような観点から、グルーピング系凍結抑制舗装を用いて、現場で実際に用いられている凍結抑制効果の評価方法である路面露出率と路面のすべり摩擦係数との関係を明らかにした。さらに、路面露出のメカニズムを知るために、氷板路面供試体での静的および動的載荷試験と FEM 解析による比較検証を行い、凍結抑制舗装による氷板の破碎挙動とその特性について検討した。

Key Words : *grooving type anti-freezing pavements, skid resistance, bare pavement ratio, properties of ice crust fracture*

1. はじめに

凍結抑制舗装は、冬期の路面管理を舗装面から補う工法のひとつである。我が国では1970年代後半から凍結抑制舗装の施工が行われるようになり、その後、技術の開発も進み、数多くの施工実績を有するようになった¹⁾。

グルーピング溝に凍結抑制材を充填したグルーピング系凍結抑制舗装も、たわみ効果による物理的作用と氷点降下による化学的作用の複合作用を持つ舗装として開発された舗装であり、多くの施工事例がある²⁾。

しかし、凍結抑制舗装の性能や機能に関する評価方法は定性的要素を含んだものも多く、いまだ十分に確立されていない現状にある^{1) 3)}。

凍結抑制舗装の定量的評価方法の体系化を図ることは重要であるが、本研究ではまず凍結抑制機能の効果発現のパターンやメカニズムを知るために、氷板・氷膜路面における室内実験と理論解析による検証を行った。試験路面としては、凍結防止剤を添加せず物理的作用による凍結抑制効果のみを与えたグルーピング系凍結抑制舗装を用いた。

現場において一般に、凍結抑制効果の目安として用いられている路面露出率と路面のすべり摩擦係数との関係を明らかにするために、室内凍結路面走行試験装置を用いて繰返し走行試験と制動試験を行った。さらに、路面

露出を助長するたわみ効果による氷板の破碎特性を明らかにするために、静的載荷試験および動的載荷試験を行い、FEM 解析による検討を行った。

2. 試験舗装

本研究で用いたグルーピング系凍結抑制舗装は、グルーピング部分に廃スタッドレスタイヤなどのゴムチップをウレタン樹脂で結合し、凍結防止剤(CMA)を添加した主材料からなる凍結抑制材を充填したものである。従って、たわみ効果による物理的作用と氷点降下による化学的作用の複合作用を有している。

しかし本研究では、複合作用による効果発現のメカニズムを調べることは、物理的作用と化学的作用が混在して明確な検討が困難であると考え、基本的な凍結抑制効果としての物理的作用のみを有した試験舗装を用いた。試験舗装の種類は、密粒度舗装に幅9mm・深さ10mmのグルーピングを60mm間隔で施したタイプ(G-9と略称)と排水性舗装にG-9と同様のグルーピングを施したタイプ(G-Pと略称)の2種類を用いた。

試験舗装の概要を表-1に、各試験舗装の断面図と舗装表面を図-1、写真-1、写真-2にそれぞれ示した。なお、比較舗装としては密粒度舗装と空隙率20%の排水性舗装を用いた。

表-1 試験舗装の概要

タイプ	G-9	G-P
母体舗装	密粒度舗装	排水性舗装
グルーピング幅・深さ・間隔	9mm・10mm・60mm	
凍結抑制材	ゴムチップ、ウレタン樹脂	

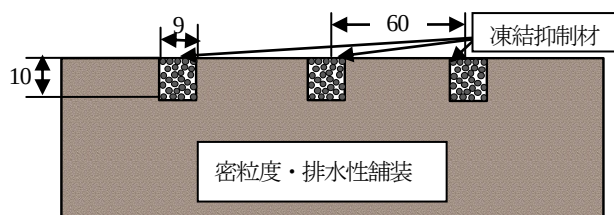


図-1 グルーピング系凍結抑制舗装の断面図 (単位: mm)

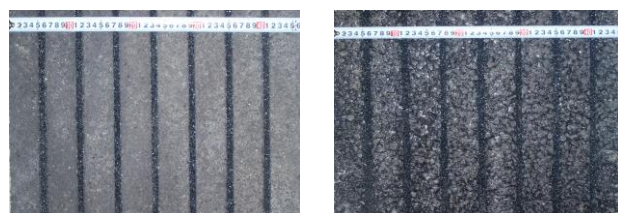


写真-1 G-9 の舗装表面

写真-2 G-P の舗装表面

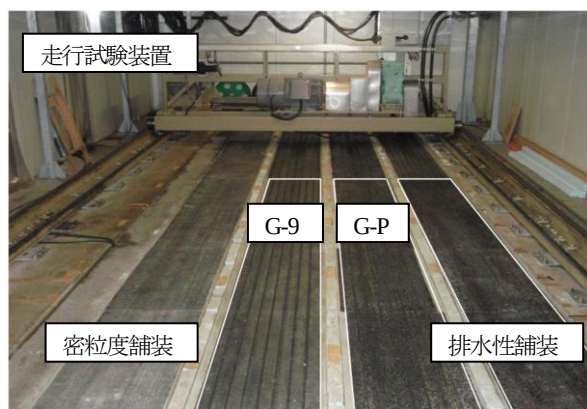


写真-3 走行試験装置と試験路面

3. 凍結抑制効果の検証

凍結抑制効果は、本来すべりに対する評価でなければならぬものの、直接計測することが困難なことから、路面露出率によって評価されているのが現状である。そのため、路面露出率による評価の可能性について検討した後、凍結抑制効果についての検証を行った。

3. 1 路面露出率とすべり摩擦係数との関係

写真-3 に示した室内凍結路面走行試験装置（走行試験装置と略称）は、バス型の第5輪によるトルク測定のすべり抵抗車とほぼ同様の仕組みを持っている。恒温室内温度は-20℃から+60℃まで、最大走行速度は繰返し走行試験で5km/h、制動試験で10km/h、最大輪荷重は5kNまで設定が可能である。

この装置を用いて、路面露出率とすべり摩擦係数の関係を明らかにするノモグラフを作成するために、恒温室



写真-4 氷板路面作製作業の状況

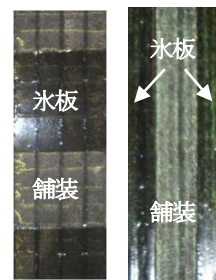


写真-5 作製した路面

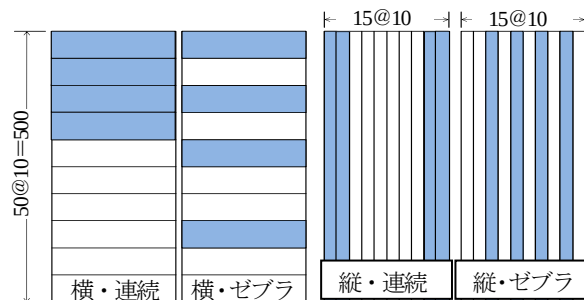


図-2 60%路面露出時路面露出パターン (単位: mm)

表-2 制動試験の試験条件

路面温度	-5℃
接地圧 (輪荷重)	0.196MPa (5kN)
走行速度	10km/h
使用タイヤ	スタッドレスタイヤ 規格 165/80R13 83Q

内に設置された走行レーンの各舗装に人為的に路面を露出させた氷板路面を作製し、制動試験を行った。なお、氷板は、路面のテクスチャが現れない程度の厚さにした。

(1) 氷板路面の作製と試験条件

氷板路面は、ガムテープで路面をマスキングした後、0℃の水を散布して作製した。路面露出率は0, 20, 40, 60, 80%とした。4つの路面露出パターンを以下に示した。

- ①横断方向に連続的に路面を露出（横・連続と略称）
- ②横断方向にゼブラ状に路面を露出（横・ゼブラと略称）
- ③縦断方向に連続的に路面を露出（縦・連続と略称）
- ④縦断方向にゼブラ状に路面を露出（縦・ゼブラと略称）

実際の凍結抑制舗装表面は、不均一に路面が露出すると思われるが、再現が困難なため、縦断・横断方向のゼブラによる評価を行った。同時に、連続して露出した場合との差も確認した。路面温度は-5℃に設定し、全てが乾き氷板になるまで十分に養生した。氷板路面の作製においては、氷板で被覆された部分は試験舗装のテクスチャの違いが氷板面に現れないようにした。これは、厳しい条件を想定して、露出した部分の試験舗装表面性状のすべり抵抗を知るためである。

写真-4と写真-5に氷板路面作製作業の様子と作製後の路面状況を示した。図-2に一例として60%路面露出時の路面露出パターンを、表-2に試験条件をそれぞれ示した。

(2) 制動試験によるすべり摩擦係数の算出

制動試験は、タイヤを路面に接地させ、タイヤの回転を完全に固定した状態（スリップ率 100%）で走行試験装置を走行させた時にタイヤを固定するのに要したタイヤトルクを測定し、すべり摩擦係数を（1）式によって算出するものである⁴⁾。

$$\mu = \frac{M_t}{r \times F} \quad (1)$$

ここに、 μ ：すべり摩擦係数、 M_t ：タイヤトルク (Nm)、 r ：タイヤ半径 (m)、 F ：荷重 (N) である。

(3) 試験結果による考察

ゼブラ状と連続路面露出による試験結果を、母体舗装が密粒度舗装の場合を図-3 に、排水性舗装の場合を図-4 に示した。これより、路面露出率は同じであっても、路面露出状況によってすべり摩擦係数が異なることが確認できた。従って、単に路面露出率によって評価をすることはできないが、露出パターンを特定することができれば可能であると考えられる。

各ゼブラによる結果をノモグラフとして図-5 に、その近似式を表-3 にそれぞれ示した。これより、舗装ごとに、またゼブラが縦断方向か横断方向かによって路面露出率とすべり摩擦係数の関係が異なることが確認できた。

排水性舗装を母体とした横・ゼブラにおいては、線形近似の R^2 値が大きく、他は指数近似の R^2 値が大きくなり、

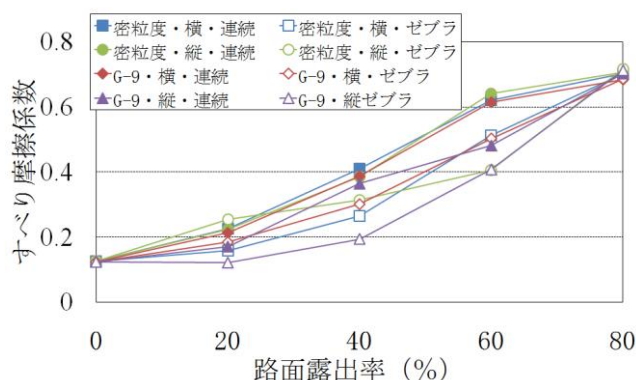


図-3 密粒度と G-9 のすべり摩擦係数と路面露出率の関係

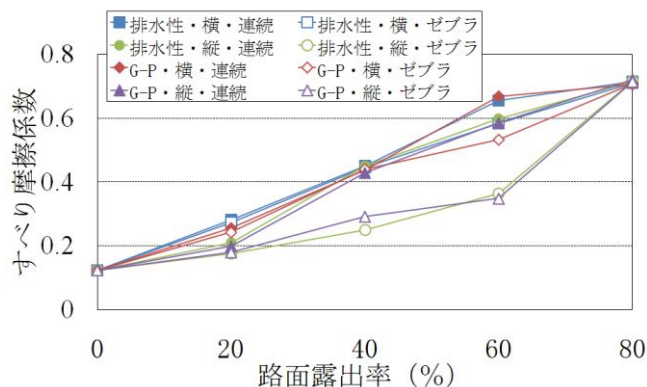


図-4 排水性と G-P のすべり摩擦係数と路面露出率の関係

路面露出率に対するすべり摩擦係数の上昇特性が異なる。

3. 2 凍結抑制効果の検証

氷板・氷膜路面のテクスチャは、氷の厚さにより母体舗装のテクスチャの影響を受け、氷板・氷膜のすべり摩擦係数や交通荷重による消耗・剥離状態が異なる。

そこで、各舗装に厚さ 1.0mm の氷板と 0.5mm の氷膜⁵⁾を作製して繰返し走行試験を行った後、路面露出率を算出した。写真-6 に例として排水性舗装に 0.5mm 氷膜を作製した後の路面状況を示した。

(1) 路面露出率による凍結抑制効果の検証

a) 路面露出率の算定⁶⁾

路面露出率は、一般的に路面状況をデジタルカメラで 2 値化した画像解析により（2）式で表わすことができる。

$$\text{路面露出率 (\%)} = \frac{\text{路面露出面積}}{\text{解析画像全体の面積}} \times 100 \quad (2)$$

氷板・氷膜は薄く透明であるため、2 値化することが困難である。そこで図-6 のように、走行回数ごとに路面に透明なラミネートシートを敷き、氷板の剥離箇所を油性のホワイトマーカで塗りつぶし撮影する手法を用いた。

解析画像は、確実にタイヤが走行している部分を用い、寸法は縦 300pixel×横 145pixel とした。また、路面露出率の値は 3 箇所の値を平均したものをを用いた。

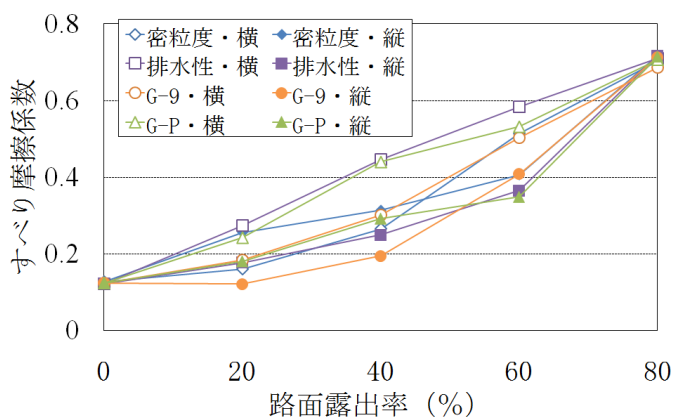


図-5 各ゼブラによるすべり摩擦係数と路面露出率の関係

表-3 ノモグラフの近似式

舗装・露出	近似式	R^2 値
密粒度・横	$y=0.114e^{0.023x}$	0.978
密粒度・縦	$y=0.142e^{0.020x}$	0.957
排水性・横	$y=0.007x+0.130$	0.997
排水性・縦	$y=0.115e^{0.021x}$	0.978
G-9・横	$y=0.123e^{0.022x}$	0.995
G-9・縦	$y=0.094e^{0.024x}$	0.921
G-P・横	$y=0.007x+0.118$	0.991
G-P・縦	$y=0.120e^{0.021x}$	0.971

b) 試験条件

氷板・氷膜路面は氷厚が、密粒度舗装に対して 1.0mm および 0.5mm になるように水を散布した。走行速度は 5km/h、走行回数は 50, 100, 500, 1000 回とした。その他の条件は制動試験と同様である。

c) 試験結果による考察

図-7 に 0.5mm 氷膜路面時、図-8 に 1.0mm 氷板路面時の路面露出率を示した。氷膜路面は通常初冬期や融解期に発生しやすく、氷板路面は濡れた圧雪や濡れ粒雪路面が凍結した場合に出現する。グルーピング系凍結抑制舗装は、凍結抑制材部分を中心に露出が見られ、G-P が最も高い路面露出率を示し、G-9 も密粒度舗装と比べて高い路面露出率を示した。これは、凍結抑制材部分のたわみ効果によって氷が剥離したと考えられる。特に G-P は、凍結抑制材部分の路面露出をきっかけに、舗装面まで露出しており、氷膜路面時には排水性舗装の約 3 倍の路面露出率となった。密粒度舗装は氷膜路面の 1000 回走行時でも、極めて小さい露出しか見られなかった。

(2) すべり摩擦係数による凍結抑制効果の検証

図-9 に氷膜路面で 1000 回繰返し走行させた時の路面露出率とすべり摩擦係数を、図-10 に氷板路面で 1000 回繰返し走行させた時の路面露出率とすべり摩擦係数をそれぞれ示した。

すべり摩擦係数は、全ての条件下で G-P が最も高い値を示し、G-9 も密粒度舗装より高い値を示した。密粒度舗装と G-9 は、ノモグラフによる算出結果とほぼ同様な路面露出率とすべり摩擦係数の関係が確認された。

しかし、排水性舗装と G-P はノモグラフによる算出結果よりも大きなすべり摩擦係数を示し、特に 0.5mm 氷膜路面時にその傾向が顕著に確認された。これは、ノモグラフ作成のための試験は、路面テクスチャの違いが影響しない程度の氷板を作製したのに対して、特に氷膜路面は写真-6 でも分かるように、路面のテクスチャが現れており、試験結果に影響したと考えられる。

これらの結果から、グルーピング系凍結抑制舗装は、母体となる舗装に比べて凍結抑制効果があり、従って凍結抑制効果が高いといわれている排水性舗装⁷⁾に対しても効果的であることが確認された。

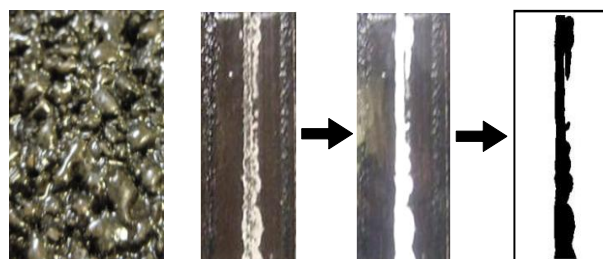


写真-6 氷膜路面

図-6 氷板路面の露出率算出例

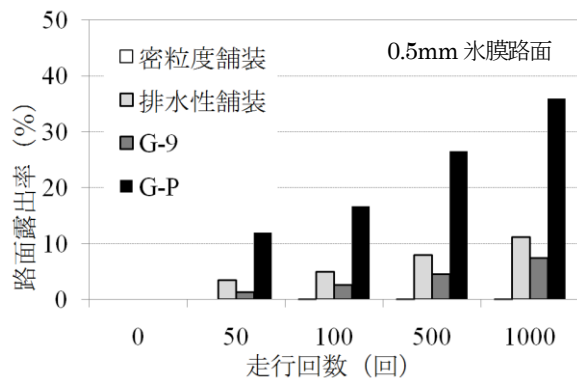


図-7 氷膜路面時の路面露出率

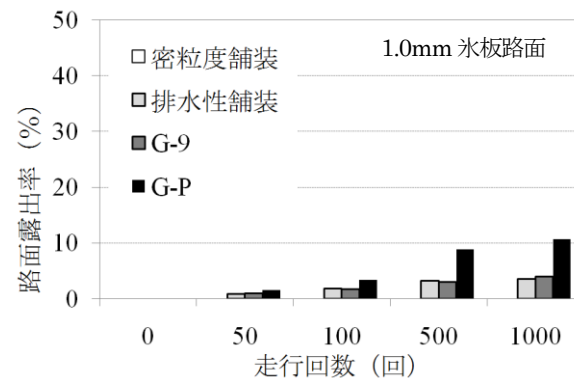


図-8 氷板路面時の路面露出率

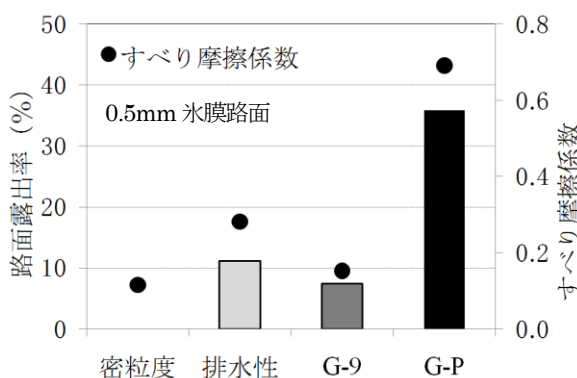


図-9 1000 回走行時の氷膜路面露出率とすべり摩擦係数

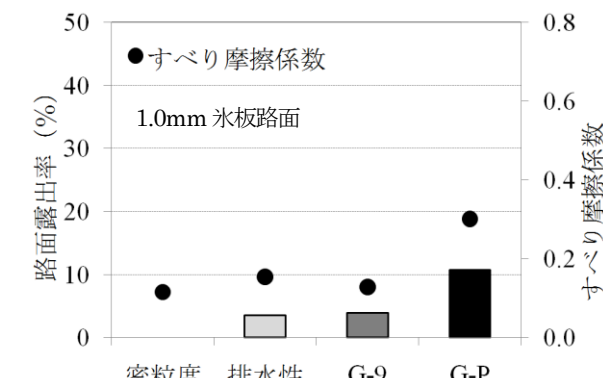


図-10 1000 回走行時の氷板路面露出率とすべり摩擦係数

4. 凍結抑制メカニズムの検討

グルーピング系凍結抑制舗装の凍結抑制メカニズムを明らかにするために、静的・動的载荷試験を行った。特に、荷重の伝播状況や氷板の破碎特性、载荷回数に対する氷板の破壊挙動、凍結抑制材部分の応力変化について検討した。

4. 1 载荷試験

凍結抑制舗装における荷重の伝播状況を解析するため、静的・動的载荷試験を行った。試験には、写真-7 に示したように恒温室を有する土木材料試験装置を用いた。恒温室内は-30℃～+60℃までの温度制御が可能である。

供試体には G-9 の 300mm×300mm×50mm のものを用い、マイクロ圧力計を埋め込んで応力を測定した。

(1) マイクロ圧力計の設置

使用したマイクロ圧力計はセンサー部の直径 6.5mm、厚さ 1.0mm で、容量は 1.0MPa である。

その設置箇所は供試体の①舗装表面、②凍結抑制材上部、③凍結抑制材下部の3箇所とした。図-11 にマイクロ圧力計の設置箇所と概観を示した。

(2) 静的载荷試験

a) 試験条件

表-4 に示した試験条件に基づき、乗用車荷重と大型車荷重の接地圧で試験を行った。供試体温度および試験温度は-5℃とし、供試体全体が一様になるように恒温室で1日養生した。供試体表面には、密粒度舗装に対して氷板厚さが 1.0mm になるように水を散布した。また、静的载荷試験による氷板の破碎特性を知るために、同様の試験を連続して 10 回繰り返し行った。

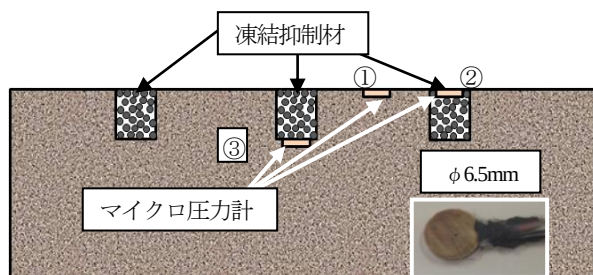


図-11 マイクロ圧力計の設置箇所と概観

表-4 载荷試験の試験条件

試験舗装	G-9
試験温度	-5℃
接地圧	0.196MPa (乗用車荷重) 0.630MPa (大型車荷重)
载荷板	φ18cm (底面が硬度 65 のゴム板である鋼製板)
路面状況	密粒度舗装に対して氷板厚さ 1.0mm の状態

b) 氷板破碎率の算定³⁾

氷板破碎率は、デジタルカメラで撮影した供試体の表面状況の画像データを2値化し、観測対象区間の画像全面のピクセル数に対する氷板破碎と判別分析法により判別したピクセル数の百分率で表した。

定義した氷板破碎率の算出式を(3)式に示した。

$$\text{氷板破碎率 (\%)} = \frac{\text{氷板破碎面積}}{\text{解析画像全体の面積}} \times 100 \quad (3)$$

c) 試験結果による考察

写真-8 に1回目と10回目の乗用車荷重载荷後の氷板破碎状況を、図-12 に乗用車と大型車荷重载荷時の応力推移を示した。1回目の試験で凍結抑制材部分を中心に氷板の破碎が確認され、試験回数の増加に伴い破碎は進行し、氷板破碎率も高くなった。また、1回目の5kN 载荷時に比べ、10回目载荷時の凍結抑制材上部の応力は1/2以下に低減した。これは、ゴムチップからなる凍結抑制材内の空隙を埋めている氷および上部の氷板が破碎したことによるものと考えられる。一方、凍結抑制材下部は、乗用車、大型車荷重ともに応力が極めて小さく、大きな変化も見られないことから、空隙を埋めている氷の破碎が凍結抑制材下部までは達していないと考えられる。

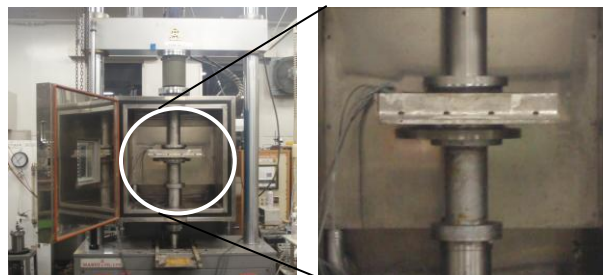
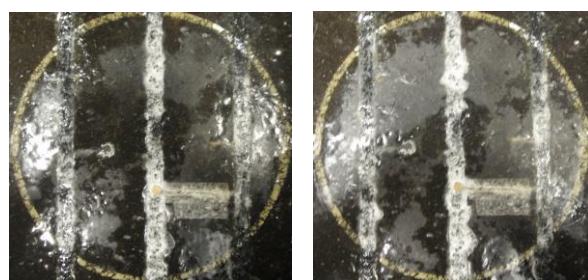


写真-7 土木材料試験装置と载荷状況



1回目 破碎率 14.2%

10回目 破碎率 23.6%

写真-8 乗用車荷重载荷後の氷板破碎状況

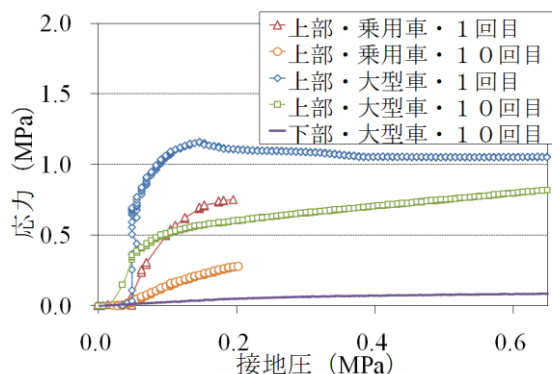


図-12 静的荷重載荷時の凍結抑制材部分の応力推移

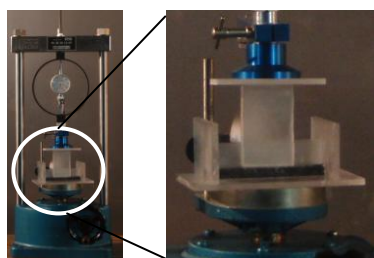


写真-9 凍結抑制材の物性試験の状況

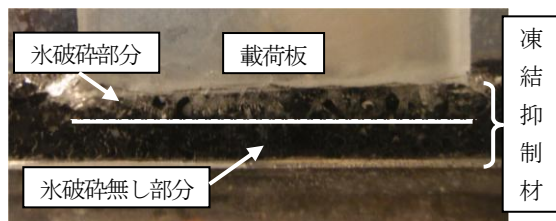


写真-10 接地圧 0.63MPa 以上になった時の氷破碎状況

(3) 動的載荷試験

動的載荷試験では、表-4 に示した静的載荷試験に基づき、応力制御のもとで載荷速度は 0.2Hz とした。

図-13 と図-14 は乗用車荷重と大型車荷重載荷時の載荷回数と応力との推移をそれぞれ示したものである。凍結抑制材上部の応力は、載荷回数が増加するにつれて減少していることから、凍結抑制材部分を中心として氷板の破碎が進んでいることが分かる。特に大型車荷重載荷時は、1 回載荷時から大きく応力が減少しており、氷板破碎の進行が早いと考えられる。

輪荷重が氷結した凍結抑制材部分に与えるダメージ効果を凍結抑制材上部と舗装表面との応力が一致した載荷回数を一つの目安として考えた。その回数は乗用車荷重で約 4000 回、大型車荷重では約 10 回であった。

従って、今回の試験条件では、輪荷重が凍結抑制材上部に形成された氷板や空隙を充填している氷を破碎するためのダメージ効果を比較すると大型車 1 台が乗用車の約 400 台に相当する。凍結抑制材下部は載荷回数の増加に伴い、乗用車荷重、大型車荷重ともに応力の増加は見られなかった。

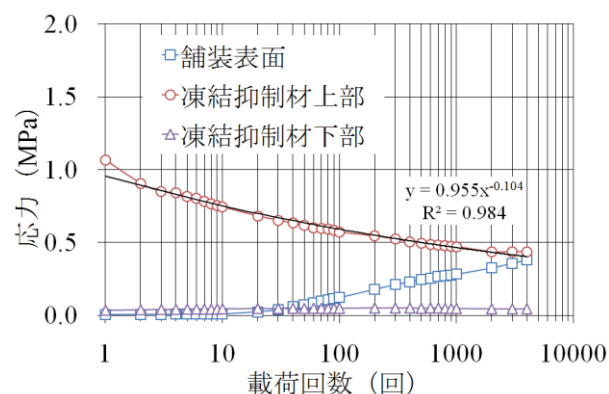


図-13 乗用車荷重載荷時の載荷回数と応力推移

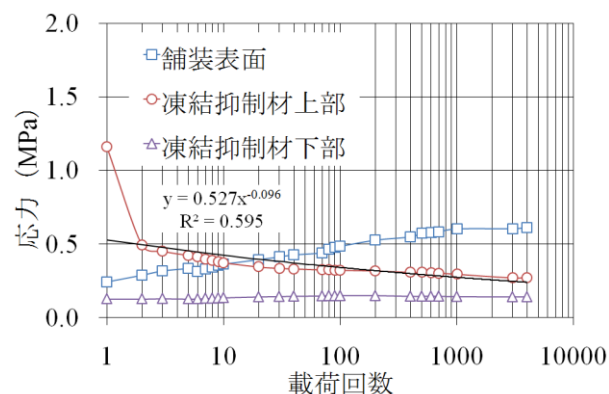


図-14 大型車荷重載荷時の載荷回数と応力推移

4. 2 凍結抑制材の物性試験

静的・動的載荷試験の結果によれば、氷板破碎は凍結抑制材下部まで達していないと考えられるが、実際に確認することは供試体では非常に難しい。

そこで、幅 9mm、長さ 300mm、深さ 10mm の透明なプラスチックモールドを作製し、そこに試験舗装と同じ条件となるように、深さ 10mm まで凍結抑制材の材料を充填した。そこに写真-9 に示したように一軸圧縮試験機を用いて荷重を載荷し、氷の破碎状況を確認した。

(1) 試験条件

試験温度は-5℃とし、凍結抑制材上部に 1.0mm の氷ができるように水を散布した。荷重の載荷速度は 0.1mm/min とし、載荷板は、底面寸法が縦 45mm×横 8.5mm のプラスチック製のものを作製し使用した。

(2) 試験結果

氷板は、乗用車荷重載荷時の接地圧に近い 0.2MPa 付近から載荷板のエッジ部分を中心に氷板破碎が見られ、0.4MPa 付近で中央部分にも破碎が確認された。しかし、写真-10 に示したように大型車載荷時の接地圧である 0.63MPa を超えても凍結抑制材下部に氷板の破碎は確認されなかったことから、静的・動的載荷試験における現象を確認することができた。

4. 3 P 法 FEM 解析

たわみ特性を有した G-9 に付着した氷板が、垂直応力によって破壊される挙動を FEM 解析プログラム—Stress Check⁸⁾—を用いて検討した。解析モデルは図-15 のように、AA'断面を 1 つの平面として 2 次元解析を行った。

(1) 材料条件

アスコン、コンクリート、氷板の弾性係数とポアソン比については、文献や既往研究の成果などから一般的数値を採用した^{9) 10) 11)}。凍結抑制材の弾性係数は、写真-11 に示すように、直径 30mm、高さ 60mm の供試体を作製し、常温の状態と供試体の空隙部に水を浸み込ませて -5℃ で凍らせた状態のものについて、一軸圧縮試験の測定結果に基づいて算出した。図-16 に示したように、応力—ひずみ曲線の割線勾配の算出結果から、常温では 1.3MPa ($\tan \theta_1$)、凍結させたものは 2.5MPa ($\tan \theta_2$) となったが、解析は氷板作製後の状態を仮定して行うので、2.5MPa を弾性係数として採用した。表-5 に材料条件を示した。



写真-11 凍結抑制材の供試体

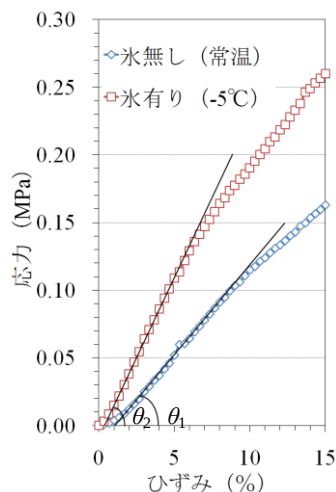


図-16 一軸圧縮試験の結果

表-5 材料条件

材料	弾性係数 (MPa)	ポアソン比
氷板	7900	0.33
凍結抑制材	2.5	0.49
アスコン	13000	0.35
コンクリート	30000	0.20

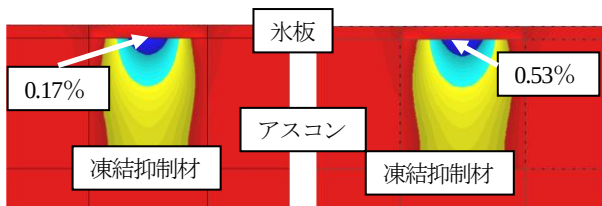


図-18 ひずみ分布（左：乗用車荷重、右：大型車荷重）

(2) 氷板の破壊条件

氷板破壊の有無は、解析によって得られる氷板と舗装の界面の氷板ひずみに着目して、Mlcolm Mellor および David M. Cole による研究成果¹²⁾に基づき判断した。図-17 に示したように、氷板のひずみが 0.05~0.5% に達した時に初期破壊 (Initial Yield Point) が発生し、0.7~1.2% に達した時に完全破壊 (Failure Strain) に至るとされており、その値を氷板破壊の基準値とした。

(3) 解析結果と載荷試験結果との比較

図-18 と図-19 は、乗用車荷重と大型車荷重載荷時の氷板下面のひずみと応力をそれぞれ示したものである。

乗用車荷重載荷時のひずみは 0.17% で氷板の破壊条件より推定すると初期破壊となり、大型車荷重載荷時のひずみは 0.53% で、初期破壊から完全破壊の範囲となった。この結果は、写真-8 で示した静的載荷試験 1 回載荷時の氷板破碎状況とほぼ一致する。応力は、静的載荷試験 1 回目と比較して、ほぼ一致した値を得ることができた。

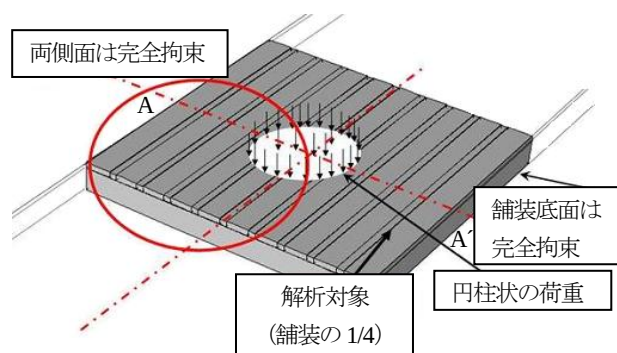


図-15 解析モデル

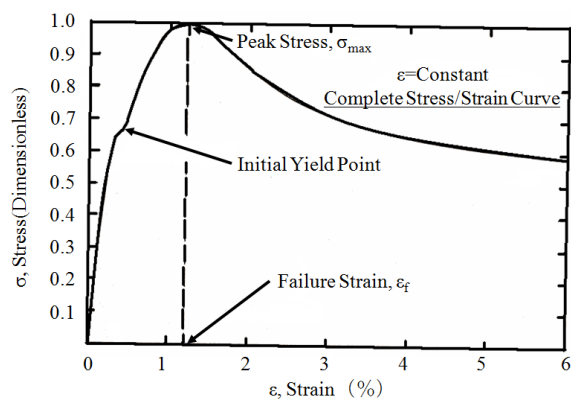


図-17 氷板の破壊過程¹²⁾

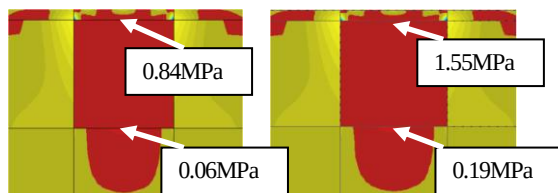


図-19 応力分布（左：乗用車荷重、右：大型車荷重）

5. おわりに

以下に、本研究で得られた知見を要約した。

- (a) 制動試験によると、路面露出率によって凍結抑制効果の評価を行うことは可能であるが、その関係は舗装の種類によって異なるため、舗装ごとにマスターカーブが必要となる。
- (b) 繰返し走行試験および制動試験より、グルーピング系凍結抑制舗装は、母体の舗装よりも高い凍結抑制効果を有していることが確認された。
- (c) 載荷試験および凍結抑制材の物性試験によると、車両が通過した場合、凍結した弾性体に大きなたわみが発生するのは表面に近い部分だけであり、下部は変形が極めて小さく、従って氷の破砕も極めて少ない。
- (d) 動的載荷試験により、凍結抑制材上部と舗装表面の応力が一致した載荷回数で凍結抑制材上の氷が破砕するためのダメージ効果を推測した。本試験条件下では大型車 1 台が乗用車約 400 台に相当し、輪荷重の違いによる評価方法の考え方を示すことができた。
- (e) FEM 解析による解析結果は、ひずみ分布、応力分布ともに、1 回目の静的載荷試験と、整合性のある値を得ることができ、実験結果の検証ができた。

今後、舗装の路面テクスチャの違いも考慮した路面露出率とすべり摩擦係数との関係を明確にし、氷板の破砕特性および輪荷重によるダメージ効果についても、輪荷重とひずみや応力との関係を試験方法や評価方法の観点などから検討を加えていく必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、多大なる協力を頂いた本道路研究室の修士課程 猪股賢大君をはじめ、卒業研究生の皆さんに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 凍結抑制舗装技術研究会：凍結抑制舗装ポケットブック，pp.1-3，2003.

- 2) 御滝毅，鈴木徹，藤木一雄：グルーピング溝を利用した凍結抑制舗装の検討について，第 8 回北陸道路舗装会議技術報文集，pp.203-206，2000.
- 3) 田中俊輔，小林拓也，武市靖，増山幸衛：グルーピング系凍結抑制舗装の物理的作用による氷板の破砕特性，土木学会北海道支部論文報告集，第 65 号，E-8，2008.
- 4) 武市靖，田近裕善：寒冷地舗装における路面テクスチャの違いが凍結抑制効果に与える影響，土木学会舗装工学論文集，第 8 巻，pp.43-53，2003.
- 5) 前野紀一，成田英器，西村浩一，成瀬廉二：道路雪氷の構造と新分類，低温科学 物理編，第 46 集，pp.119-133，北海道大学低温科学研究所，1988.
- 6) 田中俊輔，武市靖，増山幸衛：グルーピング系凍結抑制舗装の効果の評価に関する研究，第 63 回年次学術講演会講演概要集，V-076，2008.
- 7) 吉井昭博，田高淳，安倍隆二：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.
- 8) 菊地陽介，武市靖：理論解析によるグルーピング系舗装とゴムロール舗装の氷板剥離効果に関する検討，土木学会北海道支部論文報告集，第 64 号，E-15，2008.
- 9) 久保裕一，安倍隆二，宮葉斗夢：多層弾性理論を適用したアスファルト舗装の構造設計法と試験施工による構造評価の検討，第 47 回北海道開発局技術研究発表会，道-18，2004.
- 10) N.P.Lasca，S.D.Burns，W.A.Gajkowski：A Data Acquisition System for Testing the Mechanical Properties of Ice，Geotechnical Testing Journal，Vol3，No1，pp.3-7，1980.
- 11) 西澤辰男，村井貞規，国分修一：ゴム粒子混合型アスファルト混合物の雪氷剥離効果，土木学会論文集，No.585，V-38，pp.153-162，1998.
- 12) Malcome Melor，David M. Cole：DEFORMATION AND FAILURE OF ICE UNDER CONSTANT STRESS OR CONSTANT STRAIN-RATE，Cold Regions Science and Technology，pp.201-204，1981.

ENGINEERING PROPERTIES OF GROOVING-TYPE ANTI-FREEZING PAVEMENTS FOCUSED ON SKID RESISTANCE AND ICE CRUST FRACTURE

Shunsuke TANAKA, Kiyoshi TAKEICHI and Yukiei MASUYAMA

The performance and function of anti-freezing pavements (AFP), which have had many construction achievements, have not been always evaluated quantitatively. As for an establishment of quantitative evaluation methods of AFP, engineering properties of AFP are needed to be clarified. In this study, the relationships between the bare pavement ratio and the skid resistance co-efficient, using grooving-type AFP, are experimentally decided. In addition, for a grasp of the mechanism to generate a bare pavement, which is related to a bond destruction behavior of the ice crust formed on AFP, the static and dynamic loading tests are carried out using the ice crust covered AFP specimens and at the same time, their experimental results are verified by analytical results of FEM.