

凍結防止剤性能評価のための氷着強度試験手法に関する検討

The test method of a bond strength between ice and pavement for the performance estimate of anti-icing chemicals

北海学園大学工学部 ○学生員 長谷川 幸一 (Koichi Hasegawa)
 北海学園大学大学院 学生員 伊藤 孝浩 (Takahiro Ito)
 北海学園大学工学部 正員 武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)

1. はじめに

スタッドレスタイヤの使用が定着したことで、雪氷路面が磨かれた硬圧雪路面が以前のスパイクタイヤが使用されていた頃と比較して顕在化し、交通安全面や走行速度の大幅な低下が問題となっている。路面管理においては、硬圧雪と路面の強固な付着により除雪時にグレーダのブレードが破損するなど今なお冬期交通および路面管理上の大きな問題となっている。また、路面管理対策として用いられてきたロードヒーティングはランニングコストの増加により、除雪と凍結防止剤（以下、薬剤と呼ぶ）の散布による路面管理が主流となりつつある。

薬剤の使用量は 1990 年を境にして増加しており、薬剤散布は凍結路面対策として今後重要な役割を担うことになる。現在用いられている凍結防止剤の大半は NaCl や CaCl_2 などの塩化物であり、塩害が懸念されている。塩害が発生しない CMA も一部で使用されているが、NaCl に比べ、コストの高さからその使用は少量にとどまっている。

このような状況のなか、現在さまざまな薬剤が開発されているが、その性能を評価する手法が完全には整備されていないのが現状である。

本研究は、凍結防止剤散布による雪氷の剥離効果に着目し、評価する手段として、凍結抑制舗装の氷着強度試験¹⁾²⁾を適用可能であるかを検討し、性能を評価するものである。

2. 試験概要

2.1 概要

氷着強度試験を行うために、図-1 に示す建研式引張試験装置を用いた。試験方法としては、まず、図-2 に示す冶具に不織布を接着剤で貼り付ける。次に、水または薬剤の水溶液を不織布に飽和するまで染み込ませ、盤面に設置する。以上のものを恒温室に移して氷着させた後、試験装置を用いて剥離させた。氷着強度は、引張荷重の最大値より算出し、氷着強度の低いものほど性能の高い薬剤として評価した。実際の試験の様子を写真-1 に示した。

2.2 試験条件

試験条件を表-1 に示し、使用した 7 種の薬剤の成分は表-2 に示した。基盤面として用いたタイルとそのテクスチャーの拡大図を写真-2 に示した。

冶具に接着する布は試験時に伸張すると氷着強度を正確に測定できないため、ある程度の強度が必要であり、また、吸水性もあることが望ましい。本研究では以上の

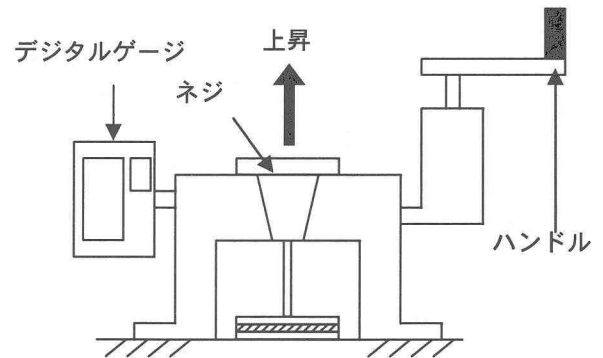


図-1 建研式引張試験装置

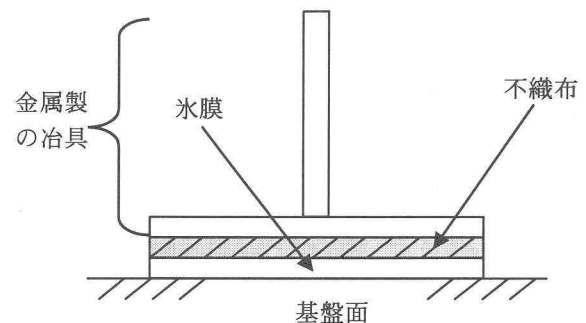


図-2 試験に用いたディスク

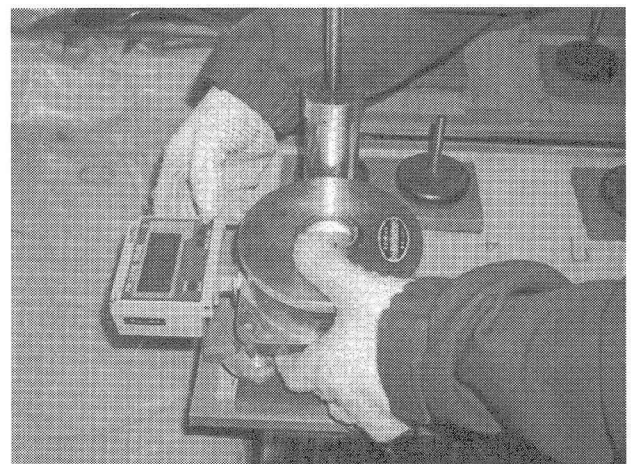


写真-1 試験の様子

条件を満たした引張強度が縦 11.8kN・横 17.6kN のニードルパンチ加工の不織布を採用した。不織布の接着に使う接着剤は、布と治具が剥離しない十分な強度をもつエポキシ系樹脂接着剤を用いた。

治具を氷着させる基盤面は、現場への適用等を考慮した場合アスファルトの供試体が望ましいが、粘弾性体であるため試験時の引張荷重により変形する可能性が高く、試験の繰り返しによる性状の変化が予想される。そのため、繰り返しの試験によって性状がほとんど変化しないと予想されるコンクリート版、ガラス版、珪器質タイルから氷着強度試験を行うのに最も適切な基盤面を検討することとした。

その結果、珪器質タイルでの測定値のばらつきがこの中で最も小さい結果が得られたため、本研究における基盤面には珪器質タイルを使用した。

表一 試験条件

使用薬剤	NaCl, CaCl ₂ , CMA100, CMA40 塩化物系, 酢酸系 I, 酢酸系 II
使用した水	イオン交換水
設置前の水溶液およびタイルの温度	2.0°C
試験時間	-5°Cの恒温室に設置後4時間
ディスクの直径	70mm
不織布	ニードルパンチ加工の厚さ5mmのもの
使用タイル	吸水率3.21%の珪器質無釉のもの
変位速度	6mm/分

表二 使用薬剤の成分表 (%)

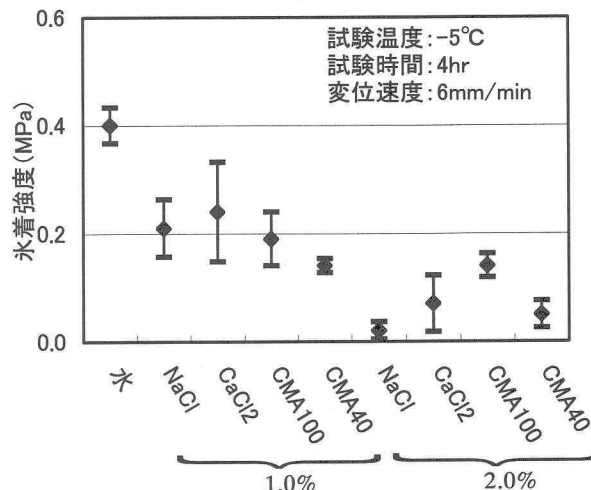
	塩化ナトリウム	塩化カルシウム	塩化マグネシウム	酢酸ナトリウム	CMA
NaCl	100				
CaCl ₂		100			
CMA100					100
CMA40	60				40
塩化物系	57.4		39.1	2.6	
酢酸系 I				50	50
酢酸系 II	60				40

2.3 予備試験

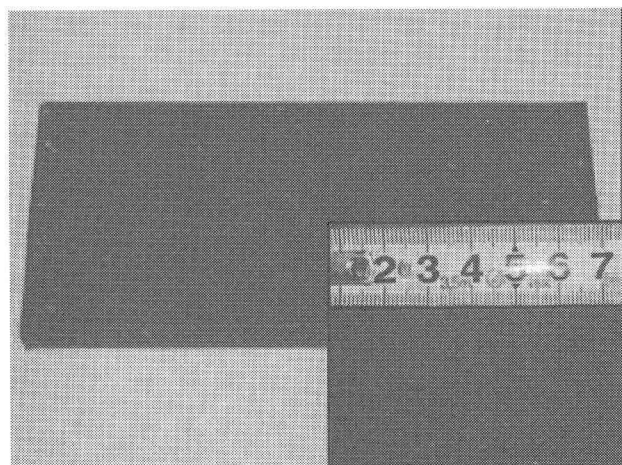
薬剤の氷着強度試験手法の検討において、まず、各薬剤の氷着強度の差が、より顕著に表れる薬剤の質量パーセント濃度を検証することとした。その方法としては、水と NaCl, CaCl₂, CMA100, CMA40 の質量パーセント濃度 1.0%および 2.0%の水溶液の氷着強度をそれぞれ比較した。5 個の標本より得られた氷着強度の平均値と標準偏差を図一3 に示した。ここで、黒点は平均値、上下のバーは標準偏差を表している。

結果より、薬剤の濃度が濃くなるに従い、全体的に氷着強度が小さくなる傾向がみられた。また、1.0%に比べ 2.0%のほうが薬剤ごとの性能の差が明瞭である。以上より、質量パーセント濃度 2.0%にて薬剤の性能評価を行うものとした。

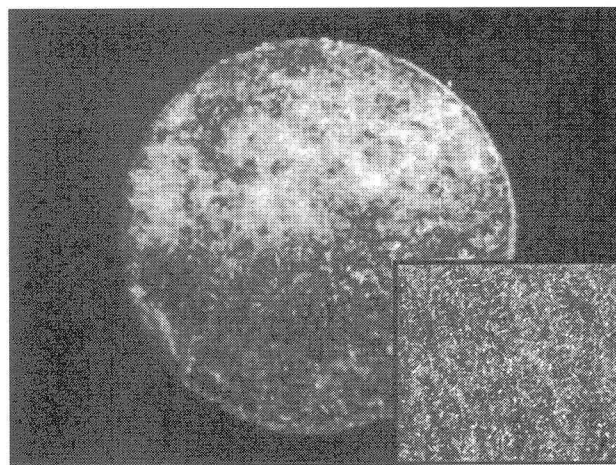
試験後の剥離面として、写真一3 には水の剥離面と試験前の不織布の拡大図、写真一4 には NaCl の剥離面を示しており、二つの写真からも、NaCl の剥離面のほうがつつるつつになっていることが確認でき、水と NaCl の剥離状況には明らかな違いがあることがわかる。



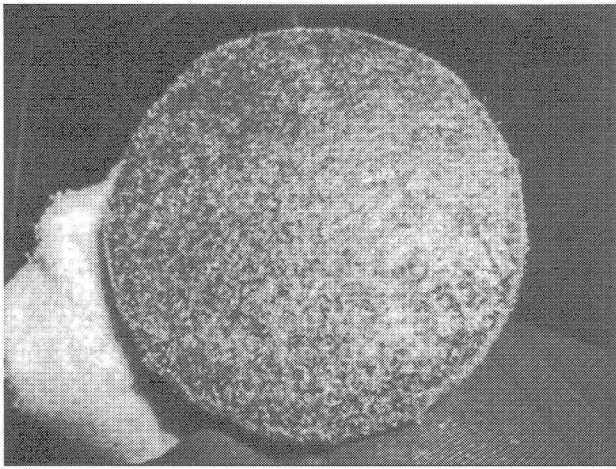
図一3 薬剤濃度の増加による氷着強度の比較



写真一2 使用した珪器質タイル



写真一3 水の剥離面

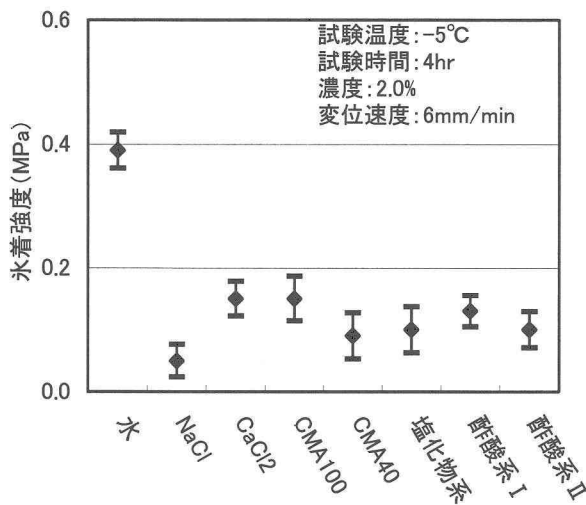


写真—4 NaClの剥離面

3. 試験結果と考察

3.1 試験結果

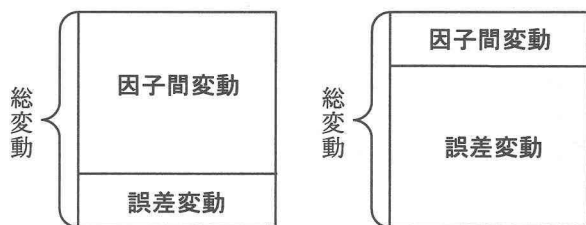
本試験では 7 種の薬剤を質量パーセント濃度 2.0%にて行った。薬剤ごとに 15 個の標本より得られた氷着強度の平均値と標準偏差を結果として図—4 に示した。黒点は平均値、上下のバーは標準偏差を表している。



図—4 濃度 2.0%での氷着強度の平均値

3.2 データの分散分析

分散分析とは、データの持っている変動を、因子や誤差などの要因成分に分けて因子の効果を検定する方法である³⁾。実験全体のデータのバラツキを総変動として図—5 のように考え、因子間変動と誤差変動を比べ因子間変動が大きいのであれば、総変動に与える影響が因子間変動のほうが大きいということになり、因子間には有意な差があるということになる。



図—5 実験全体データのバラツキの構造

一般的には 3 つ以上の平均値に差があるかを総合的に判定したいときなどに用いる。

本研究では各薬剤の氷着強度に有意な差があるかを検討するため、有意水準 5%で分散分析を行い、分析結果を表—3 に示した。表の分散比と F 境界値を比べ、分散比のほうが大きいならば、図—5 の左の状態となり試験結果には有意な差があるということである。また、P 値は、本当は平均値に差がない場合に偶然分析結果で差があると判定される確率を示しており、小さいほど分析の精度が高いという意味である。

分析を行うにあたり、水の氷着強度は薬剤の氷着強度と比較すると、差があるのは明白なので、水は分析から除外した。

分析結果より、薬剤と誤差の分散比は F 境界値より大きく、総合的に見ると氷着強度に有意な差があるといえる。

表—3 分散分析表

変動要因	変動	自由度	分散	分散比	P-値	F 境界値
凍結防止剤	0.116	6	0.01929	19.63	6.3E-15	2.19
誤差	0.096	98	0.00098			
合計	0.212	104				

3.3 母平均の差の区間推定

分散分析の結果だけでは、具体的にどの薬剤間に有意な差があるのか不明瞭であるので、次式より氷着強度の母平均の差を 95%信頼区間で推定し、薬剤同士の差を一对比較した。推定した区間が 0 を含んでいなければ 2 つの薬剤同士には有意な差があり、0 を含んでいれば有意な差がないということになる。

$$\left| \bar{x}_i - \bar{x}_j \right| \pm t(\phi_E, \alpha) \sqrt{\frac{2V_E}{n}}$$

\bar{x}_i, \bar{x}_j : それぞれの氷着強度の平均値

ϕ_E : 誤差の自由度

α : 有意水準

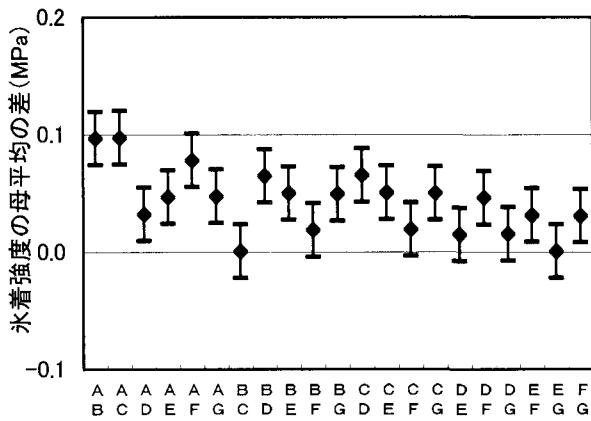
V_E : 誤差分散

n : 標本数

薬剤を表—4 に示したように、NaCl から順に A~G とおき、NaCl と CaCl₂ の差ならば AB と表記した。母平均の差を推定し、図—6 に示した。また、推定の結果より、差の有無を「*」を有意な差がある、「—」を有意な差が無いとしてまとめ、表—5 に示した。

表—4 一对比較のための記号表

NaCl						
AB	CaCl ₂					
AC	BC	CMA100				
AD	BD	CD	CMA40			
AE	BE	CE	DE	塩化物系		
AF	BF	CF	DF	EF	酢酸系 I	
AG	BG	CG	DG	EG	FG	酢酸系 II



図一6 氷着強度の母平均の差の推定区間

表一5 差の有無

NaCl						
*	CaCl ₂					
*	—	CMA100				
*	*	*	CMA40			
*	*	*	—	塩化物系		
*	—	—	*	*	酢酸系 I	
*	*	*	—	—	*	酢酸系 II

3.4 考察

図一4、表一5 に示すように、NaCl は氷着強度が最も小さく、CaCl₂, CMA100, 酢酸系 I のグループ、CMA40, 塩化物系, 酢酸系 II のグループは有意な差はなく、ほぼ同等の氷着強度を示した。以上から氷着強度は大まかに CaCl₂, CMA100, 酢酸系 I のグループ、CMA40, 塩化物系, 酢酸系 II のグループ、NaCl の 3 組に分かれ、この順に氷着強度を低減する性能が高いといえる。

また、比較的氷着強度が小さい CMA40, 塩化物系, 酢酸系 B の 3 つの薬剤にはおよそ 6 割 NaCl が含まれている。このことから、NaCl は CMA100 や CaCl₂ に比べ薬剤の氷着強度を低減する性能に影響を与えていると考えられる。

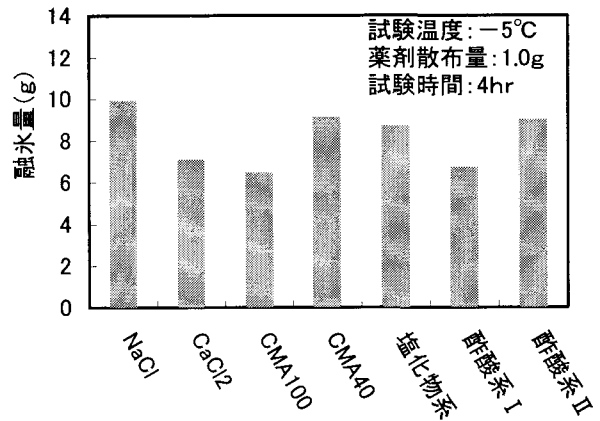
3.5 融氷試験との比較

SHRP⁴⁾によって提案されている薬剤の基本的な評価手法である融氷試験と、氷着強度の低減という力学的な効果を評価する氷着強度試験との間にどのような関係があるか比較検討した。融氷試験とは、氷供試体の表面に薬剤を一定量散布し、融水量で性能を評価する試験で、融水量が多いほど性能の高い薬剤として評価する。試験時間 4 時間の融水量⁵⁾を図一7 に示した。

融水量は大まかに CaCl₂, CMA100, 酢酸系 I のグループ、CMA40, 塩化物系, 酢酸系 II のグループ、NaCl の 3 組に分かれ、この順に性能が高いといえる。また、融水量は、氷着強度試験の結果と同じ順位を示している。

よって、氷着強度試験と融氷試験の結果には、氷着強度は融水量が増加するほど減少する関係があるといえる。

したがって、氷着強度試験を行うことで融水量の性能をある程度推測可能である。



図一7 試験時間 4 時間における融水量

4. まとめ

本研究の成果は以下の様にまとめられる。

- ・分散分析の結果より、今回試験に用いた薬剤の間に有意な差が見られた。このことは氷着強度試験は薬剤の性能を評価する方法として適用できる可能性を示している。
 - ・今回の薬剤では氷着強度を弱める性能はおおまかに CaCl₂, CMA100, 酢酸系 I のグループ、CMA40, 塩化物系, 酢酸系 II のグループ、NaCl の 3 組に分けられ、この順に効果が高い。
 - ・氷着試験と融氷試験には対応があり、融水量が大きい薬剤ほど氷着強度を低減する傾向がみられた。
 - ・氷着強度試験を行うことで融水量の順位をある程度推測可能である。
 - ・氷着強度試験は融氷試験に比べ試験が簡便で、薬剤の効果がほぼ収束している長時間での性能差ならば、ある程度代用が可能である。しかし、融氷試験は薬剤の速効性など詳細な評価が可能である。
- また今後の課題として
- ・不織布に氷を作るのではなく、直接基盤面に氷を作り剥離する試験方法の検討を行いたい。

謝辞

本研究の進行にあたり、(社)北海道開発技術センターの原文宏氏のご協力を賜った。ここに特記して感謝の意を表した。

参考文献

- 1)凍結抑制舗装技術研究会:凍結抑制舗装の評価手法に関する検討、舗装、37-8、2002
- 2)島崎勝、鈴木秀輔、野村健一郎:氷着強さ測定手法の考案およびその適用性に関する検討、土木学会第 50 回年次学術講演会概要集、p 516~517、1995
- 3)石川馨、米山高範:分散分析法入門、日科技連出版社、1985
- 4)Don M.Harriott, L.David Minsk, Kathryn L.Bine Brosseau, Lisa A.McNeil: Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers, SHRP-H-332, 1992
- 5)伊藤孝浩、山本紘大、片岡道宣、武市靖:凍結防止剤の簡便な性能評価手法に関する研究、寒地技術論文・報告集 vol.18、p 665~668、2002