

凍結抑制舗装の凍結抑制効果の持続性の検討

鈴木 秀輔¹・加納 孝志¹・丸山 暉彦²

¹正会員 大成ロテック(株) 技術研究所 (〒365 埼玉県鴻巣市大字上谷1456)

²正会員 工博 長岡技術科学大学教授 環境・建設系 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡1603-1)

凍結抑制舗装は、冬季の交通安全確保を目的に、寒冷地において数多く採用されている。しかし、近年、塩化物系の凍結抑制舗装において、その効果の持続性に関して効果が予定より短期に低下することがあるとの意見が聞かれるようになってきた。昨年度の舗装工学論文集において、凍結抑制機能の持続性に関わる要因として、空隙率に着目し、配合設計法の提案を行った。ここでは、この配合設計方法を基に製造した混合物により実施した凍結抑制効果の持続性に関する検討結果を報告する。

Key Words : deicing pavements, lasting deicing properties

1. 本研究の目的

昨年度の舗装工学論文集では、粉体・塩化物系凍結抑制舗装を取り上げ、「凍結抑制効果の持続性を考慮した配合設計手法」を提案した。

本研究では、当該凍結抑制舗装について、凍結抑制効果の持続性の検討を目的に提案した配合設計手法で求めた最適アスファルト量の混合物を用いて、締固め度と、①単位時間・面積当たりの塩分溶出量、②塩分溶出継続時間、③未溶出(残留)塩分量の舗装表面からの深さ方向の分布状況、の関係の確認を実施した。

なお、①単位時間・面積当たりの塩分溶出量は凍結抑制効果の程度を、②塩分溶出継続時間は凍結抑制機能の持続性を、③残留塩分量は凍結抑制機能に関わる混合物中の塩の分布を確認することを目的としている。

2. 使用材料

(1) 凍結抑制材料

本検討では、凍結抑制材料として、表-1に示す粉体・塩化物系凍結抑制材を用いた。

表-1 凍結抑制材の概要

外観	パウダー状		
性状	真比重	2.25~2.35	
	単位体積質量	0.93~0.99	
	粒度	7μm目	通過質量百分率
		150μm	90%以上
		75μm	75~90%
	PH	8.0~8.5	
	水分含有量(%)	0.5以下	
塩分含有量(%)	55±10		
主な成分	塩化ナトリウム、二酸化珪素、炭酸カルシウム、酸化マグネシウム、酸化第二鉄		

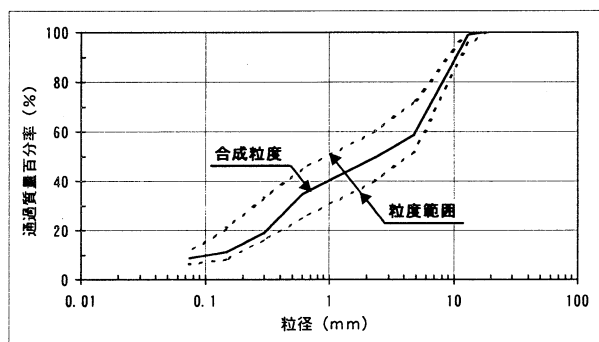
(2) アスファルト混合物

検討に当たっては、積雪寒冷地で使用実績の多い、密粒度アスファルト混合物(13F)を用いた。

骨材の粒度曲線を図-1に示す。

なお、アスファルト量は、昨年度の舗装工学論文集で提案した手法で求めた5.5%とした。また、凍結抑制材の添加量は、混合物に対して7%である。

以下に、当該配合設計手法の基本的な考え方、概要を示す。



図－１ 骨材合成粒度

a) 配合設計方法の基本的な考え方

凍結抑制効果の発現・持続性が、空隙率に影響されることが現地調査等から明らかになったことから、施工直後から4～6%の空隙を持ち、しかも長期にわたりこの値を保持できる配合とすることが望ましいと考えた。

b) 最適アスファルト量の決定

マーシャル突固め回数を75回とし、通常のアスファルト舗装要綱に示されたマーシャル安定度試験に対する基準値の共通範囲（安定度、フロー等）の中央値と下限値の平均を最適アスファルト量とすることで、空隙の保持能力の大きな混合物を製造することが可能であることが確認できた。

3. 検討内容

(1) 凍結抑制効果に関する検討

持続性の検討に先立ち、塩化物水溶液濃度と氷着温度の関係の把握を目的に実験を行った。

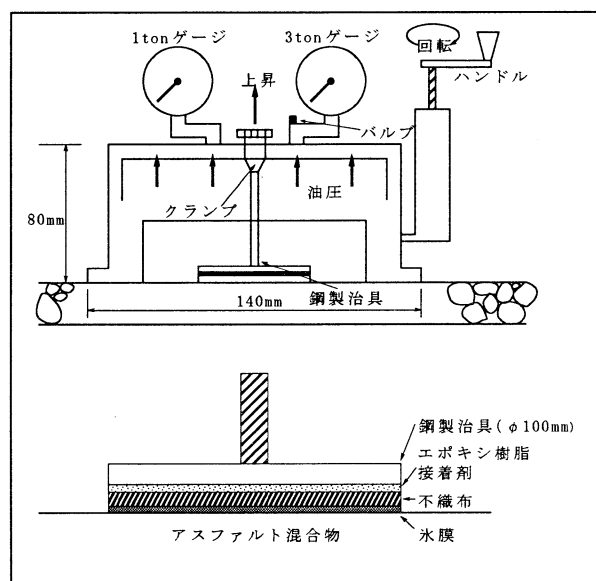
氷着強度を本実験では、表－2に示すように、塩分濃度を变化させた水溶液を用い、－1～10℃の条件で治具を氷着させ、図－2に示す測定装置で測した。氷着強度の測定方法の概略を以下に示す。

(氷着強度の測定方法)

- ①評価に用いる供試体（実際の路面に近づけるためホイールトラッキング供試体を利用）を、所定温度の恒温室内で養生する。
- ②供試体表面の温度が所定の温度となった時点で、不織布に水（塩分水溶液）を飽和させた治具を供試体表面に載せる。この際、水が治具不織布の直径以上に広がらないように注意する。
- ③4時間以上経過後、測定を実施する。なお、治具を上昇させる速度を一定とするために、ハンドルの回転速度を毎分60回転とした。なお、荷重が発生した時点でハンドルの回転抵抗が増加するが、極力一定速度でハンドルを回す。

表－2 試験条件

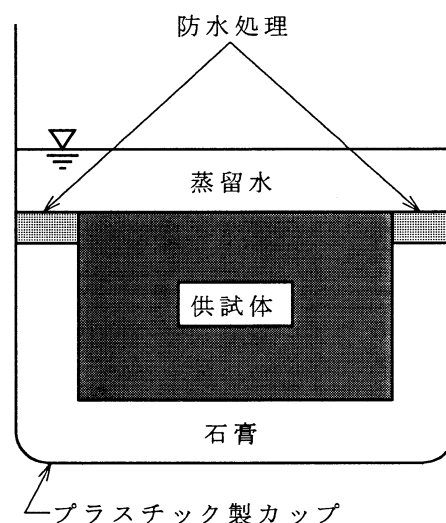
水溶液の濃度 (%)	試験温度 (℃)
3, 1, 0.5, 0.3, 0.1	-10, -7, -5, -3, -1



図－2 測定器の概要

表－3 供試体の締固め度

供試体 No.	締固め度 (%)	空隙率 (%)
1	100	4.3
2	97	6.5
3	95	8.8
4	93	10.7
5	90	13.3



図－3 試料のセット

④測定した荷重を、治具不織布の面積で除し、氷着強度とする。

(2) 締固め度と、単位時間・面積当たりの塩分溶出量の関係

締固め度を90%～100%の間で変化させた供試体（表－3参照）を用い、以下に示す塩分溶出量確認試験を実施した。

(塩分溶出量確認試験方法)

- 1) (1)と同様に、ホイールトラッキング試験用供試体を作製し、コアボーリングにより試料を採取する。
- 2) 図－3に示すように試料をプラスチック製カップにセットする。
- 3) 表面に蒸留水100ccを満し、8時間程度室温にて放置する。
- 4) 塩分が溶出した蒸留水をスポイトで採取し、塩分濃度計にて塩分濃度を計測する。
- 5) 試料上の蒸留水を廃棄し、16時間横倒しにした状態で乾燥させる。
- 6) 1)～5)を1サイクルとしこれを繰り返し実施する。

(3) 締固め度と塩分溶出の継続時間

塩分溶出量確認試験を塩分の溶出が概ね消失するまで継続し、締固め度と塩分溶出の継続時間の関係を求めた。

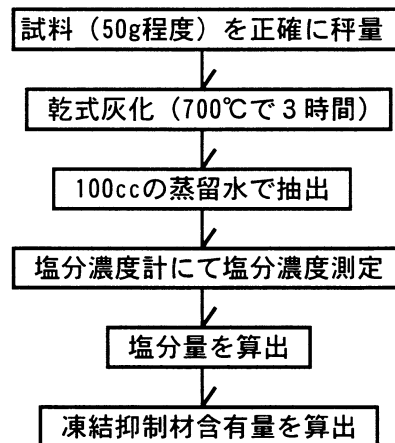
(4) 残留塩分量の舗装表面からの深さ方向の分布状況の確認

塩分溶出量確認試験を実施中の試料のうち、締固め度の異なる各1つを表面より深さ方向に約1cmの厚さでスライスし、上部3層の残留塩分量を測定した。なお、上部3層のみを試験に用いた理由は、供試体の厚さが4cmであり1cm厚さでカッティングしたため最下層の厚さが薄くなり、試験に供することが出来なかったことによる。

残留塩分の測定は、分割した試料を以下に示す燃焼法を応用した塩分量含有確認試験により行った。試験方法を以下に、試験のフローを図－4に示す。

(塩分含有量確認試験方法)

- ①試料を細かくほぐし、50g程度をるつぼ（100cc）に採取し、1/100gまで正確に秤量する。
- ②試料の入ったるつぼを700℃のマッフル炉（電気炉）に入れ、3時間燃焼させる。



図－4 燃焼法による凍結抑制材の算出フロー

- ③燃焼の終了した試料の入ったるつぼを室温まで冷却する。
- ④冷却した試料全量を、20℃の蒸留水約100cc（あらかじめ1/100gまで正確に秤量）に加え、20℃の恒湿恒温室に2時間静置し塩分を溶出させる。
- ⑤溶出液の塩分濃度を、塩分濃度測定器（ソルメイト-100、住友セメント社製）にて測定する。
なお、この塩分濃度測定器は、所定の試料容器に測定溶液を0.2ccほど入れ、測定部をこれに挿入することで、2分間ほどで塩分濃度を測定できるものである。
- ⑥①～⑤により求めた試料の塩分量と、試験成績表もしくはあらかじめ測定しておいた塩化物系の凍結抑制材の塩分含有量をもとに、試料中の凍結抑制材量を算出する。

4. 検討結果

(1) 凍結抑制効果に関する検討結果

塩分濃度と氷着強度の関係を、図－5に示す。

今回、試験を実施した領域（温度、塩分濃度）では、塩分濃度が高くなるに従い、氷着強度が小さくなり凍結抑制効果が高いことが確認された。しかし、塩分を含有しないものと比較すると、0.5%程度の濃度でも、－5℃で氷着強度が1/4程度と小さな値を示し、効果が確認できた。

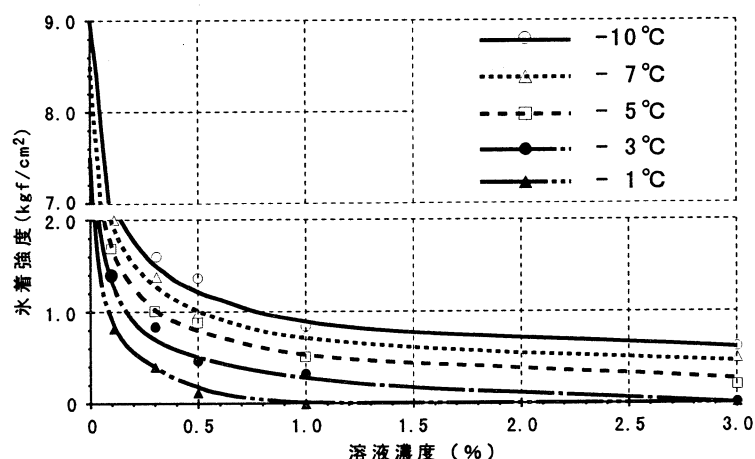


図-5 塩分濃度と氷着強度の関係

表-4 塩分溶出量測定結果

締固め度	10 サイクル	50 サイクル	100 サイクル	200 サイクル
100	7.64	3.82	2.55	2.55
97	6.37	5.10	2.55	2.55
95	7.46	6.37	3.82	2.55
93	7.46	7.64	3.82	2.55
90	6.37	8.92	3.82	2.55

表-5 水膜厚さの設定条件

条件 NO.	水膜厚さ mm	塩分濃度 (%)
1	0.1	2.5
2	0.3	0.8
3	0.5	0.5
4	0.7	0.4
5	1.0	0.3

注) 塩分濃度は2.55g/m²で算出

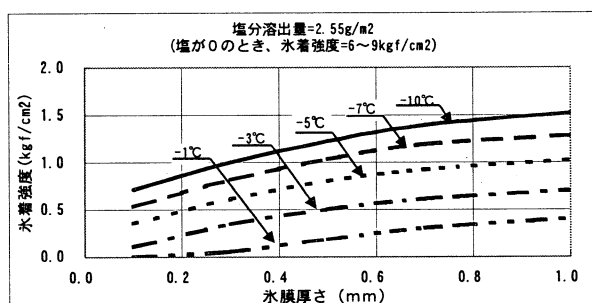


図-6 凍結抑制効果の推定

(2) 締固め度と、単位時間・面積当たりの塩分溶出量

締固め度を変化させた試料により実施した塩分溶出量試験結果を表-4に示す。なお、表中の数字は単位面積から8時間に溶出した塩分量を示したものである(g/m²)。

当該塩分溶出量測定結果をもとに、凍結抑制効果の検討を実施した。

1m²当たりの塩分溶出量を溶出試験200サイクル時の2.55gとし、水膜厚さを0.1~1.0mm(表-5)と仮定したときの氷着強度を先の塩分濃度ごとの氷着強度から推定した。図-6に推定した氷着強度の例を示す。

(3) 締固め度と、塩分溶出の継続時間

締固め度と塩分溶出の継続時間の関係を図-7に示す。なお、本図に示した累積溶出量は、蒸留水100ccに対する溶出塩分濃度を累積したものである。

図より、締固め度100%~90%では概ね300サイクル以上(毎日8時間、表面を水浸した状態で300日以上)塩分溶出が継続することが確認された。また、締固め度の低いものは一回の塩分溶出量は大きいものの締固め度の高いものに比べ早期に塩分溶出が停止することが確認された。このほか、最終的な累積塩分溶出量は、今回の実験に用いた試料(締固め度100~90%の範囲)では、概ね一致することが確認された。

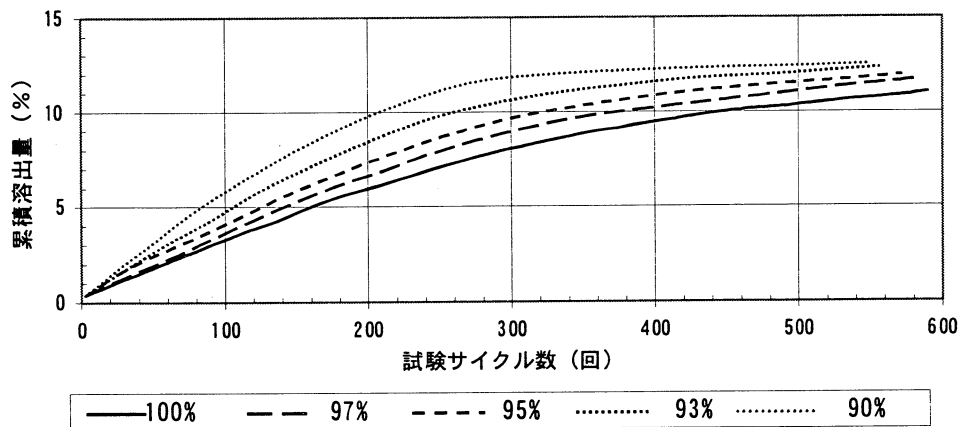


図-7 塩分溶出量確認試験結果

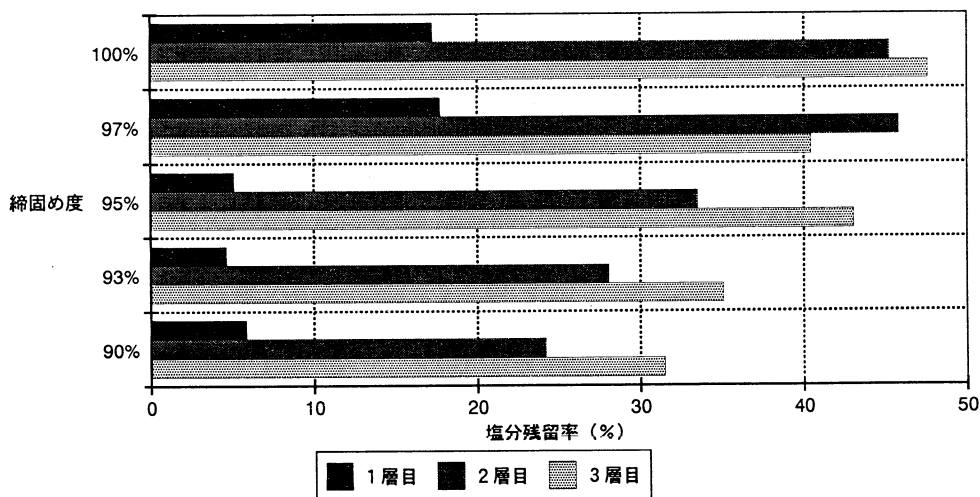


図-8 塩分の分布状況

5. まとめ

(4) 残留塩分量の舗装表面からの深さ方向の分布状況の確認

深さ方向の残留塩分の分布状況を図-8に示す。なお、ここで示す塩分残留率は、混合物中に含まれる塩分量を計算により求め、これを100とした時の残留塩分の割合を示している。

図は、塩分溶出用確認試験を250サイクル実施した試料のであるが、2～3cmの深さの試料でも残留塩分量が50%以下となっており、塩分が表面付近だけでなく、試料内部からも溶出していることが確認できた。

また、塩分溶出がほぼ終了したと思われる試料を前者と同様にカッティングし残留塩分量を測定した。その結果、全層で5～10%の残留塩分が確認され、凍結抑制機能に寄与しない塩分量が確認できた。

本検討により得られた知見を以下に示す。

(1) 塩化物水溶液濃度と氷着強度の関係

①塩化物水溶液濃度と氷着強度には相関があることを確認した。

②これらの関係から、各温度における当該凍結抑制舗装の凍結抑制効果の推定を氷着強度により実施した(図-6参照)。

(2) 締固め度と塩分溶出量および持続性の関係

①締固め度が小さくなるに従い、溶出塩分濃度が増加した。

②締固め度が小さくなるに従い、塩分溶出の継続期間が短くなった。

①深さ方向に残留塩分量を調べた結果、塩分の溶出は表面付近のみならず深さ3cm以上からも認められた。

6. おわりに

塩化物水溶液濃度と氷着強度には相関があり、温度ごとに凍結抑制効果が期待できる塩分濃度を把握することができた。また、昨年度の舗装工学論文集で提案した「凍結抑制効果の持続性を考慮した配合設計手法」により求めたアスファルト量の塩化物系凍結抑制混合物は、十分に締固めるほど、所定の凍結抑制効果を確保しその持続期間を長くできることが確認できた。これらをもとに、実施工を通した検討を実施し、より信頼性のある凍結抑制舗装を構築していく所存である。

参考文献

1) 鈴木秀輔、古財武久、丸山暉彦：凍結抑制舗装の凍

結抑制効果の持続性向上に関する研究、舗装工学論文集第2巻、1997. 12

2) 鈴木秀輔、武田 巖：凍結遅延舗装の塩分定量と効果の持続性、舗装、Vol. 27-11, pp. 23-27, 1992

3) 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回年次学術講演会講演概要集第5部, pp. 516-517, 1995

4) 武田 巖、原 勇策、鈴木秀輔：微粉末凍結遅延材入り混合物の適用性、舗装、Vol. 25-9, pp. 23-26, 1990

5) 島崎 勝、鈴木秀輔、野村健一郎：凍結抑制混合物の機能の持続性に関する検討、第21回日本道路会議一般論文集(B), pp. 526-527, 1995

STUDY ON OF LASTING DEICING PROPERTIES IN DEICING ASPHALT PAVEMENTS

Shusuke SUZUKI, Takashi KANO, Teruhiko MARUYAMA

The deiceing asphalt pavement is used to ensure traffic safety in winter. But, in recent year, the rapid decrease of the deicing capacity of a certain number of deicing pavements, as well as the short lasting deicing properties were met with skepticism. So, we suggested the deicing asphalt mixture design method and evaluation methods last year.

In the present study, we report the result of the study of lasting deicing properties in deicing asphalt mixture designed the suggested desing method.