

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

鈴木 秀輔¹・古財 武久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)

粉末タイプの塩化物系凍結抑制舗装は、塩化物の氷点降下を利用して、塩化物が舗装表面に溶出することによって路面の凍結を抑制するものであり、我が国において1985年頃から試みられ、スパイクタイヤの使用禁止後、冬期の交通安全を目的に数多く採用されている。しかし、ところによっては凍結抑制効果が早期に消失してしまうなど、効果の持続性に懐疑的な意見が聞かれるようになっている。

本研究では、凍結抑制効果の持続性に着目し、持続性の向上に関する検討結果を報告するとともに、凍結抑制効果の評価方法についての検討結果も併せて報告する。

Key Words: deicing pavements, test method for mixture design

1. 本研究の目的および概要

塩化物系の凍結抑制舗装は、混合物中に添加された凍結抑制材に含まれる塩化物の溶出に伴う氷点降下により、路面の凍結を抑制するものである。効果の持続を期待する場合、塩化物の溶出が、一時に起こらず、長期にわたって継続することが望ましい。

本研究では、粉末タイプの塩化物系凍結抑制材の効果の持続性の向上を目的に、密粒度アスファルト混合物(13F)をはじめ、既存の混合物4種を取り上げ、凍結抑制材の凍結抑制効果の持続がもっとも期待できる混合物種類の検討を実施するとともに、凍結抑制効果の持続性を考慮した配合設計法の検討を実施した。また、本研究に先立ち実施した凍結抑制効果を判断するための評価手法の検討結果も併せて報告する。

また、本研究では、凍結抑制効果が長期にわたり継続している箇所および早期に消失した箇所の現地調査を実施し、凍結抑制効果の持続性に係わる要因を検討した。この結果によると、適切な空隙率の保持が凍結抑制効果の発現および持続性に良い影響を及ぼすと考えられた。

そこで、凍結抑制効果をできる限り長期にわたって持続させるために、初期に適切な空隙率を有し、

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
		150 μ m	90%以上
		75 μ m	75～90%
	P H	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		

供用中の空隙率の減少が少ない混合物の適用を検討した。すなわち、凍結抑制効果の持続に適する配合設計手法の検討を、空隙率に着目し実施した。

検討にあたっては、粉末タイプの塩化物系の凍結抑制材の適用実績の多い、密粒度アスファルト混合物(13F)、密粒度ギャップアスファルト混合物(13F)、細粒度アスファルト混合物(13F)および細粒度ギャップアスファルト混合物(13F)の4種によりマーシャルおよびジャイレトリコンパクタによる締固めを実施し空隙率の減少を確認した。

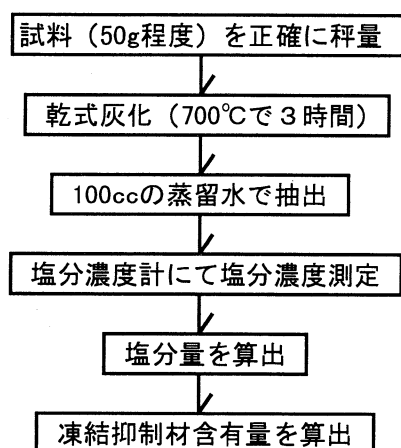


図-1 燃焼法による凍結抑制材の算出フロー

なお、本研究に用いた粉末タイプの塩化物系凍結抑制材の概要を表-1に示す。当該凍結抑制材は、フィラーの一部として混合物に添加して使用する。標準的な添加量は、混合物に対して7重量%である。

2. 評価手法の検討

凍結抑制効果の持続性の検討を実施するのに先立ち、凍結抑制舗装の凍結抑制効果の確認手法を検討した。以下に効果の確認手法の概略を示す。

（1）現地調査に関わる確認手法

a) 硝酸銀溶液による塩分溶出の有無の確認

塩化物系の凍結抑制舗装は、塩分が溶出することにより効果が発現する。そこで、簡便な評価方法として硝酸銀溶液が塩分と反応して白濁することを利用して塩分溶出の有無を確認するものである。

現地では、舗装表面に硝酸銀溶液を滴下させ、白濁の有無により定性的に評価している。

b) カンタブによる塩分溶出量の定量評価

コンクリート中の塩分量を測定する「カンタブ」（株）小野田製）を用いて、塩分溶出量を定量的に評価しようとするものである。試験方法は以下のとおりである。

- ①路面上にφ150mm、高さ50mmの円筒を設置し、蒸留水を200cc注ぐ。
- ②2時間経過後、カンタブに示された値より添付された換算表により塩分濃度を求める。
- ③計算により、面積あたりの塩分溶出量を求める。

（2）室内における確認手法

a) 燃焼法による凍結抑制材含有量測定手法¹⁾

表-2 凍結抑制材含有量測定試験結果（%）

設計含有量 ^{注1}	回収量 ^{注2}	平均値
2.5	2.4	2.3
	2.2	
	2.2	
3.7	3.5	3.4
	3.4	
	3.3	
5.0	5.2	4.8
	4.7	
	4.6	
6.2	6.3	6.0
	5.9	
	5.8	

注1：混合物製造時に添加した凍結抑制材量（%）

注2：燃焼法により求めた凍結抑制材量（%）

当該方法は、現地より採取した試料に含まれる塩分含有量を測定し、凍結抑制材の含有量を算出するものであり、効果の持続性の可能性を判断するのに有効な手法と考えられる。試験の概要を以下に示し、試験の流れを、図-1のフローに示す。

- 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。
- 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℃の恒温恒湿室に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。

なお、表-2に、密粒度アスファルト混合物（13F）により実施した測定精度確認のための凍結抑制材含有量測定試験結果を示すが、おおむね定量評価が可能という結果を得た。

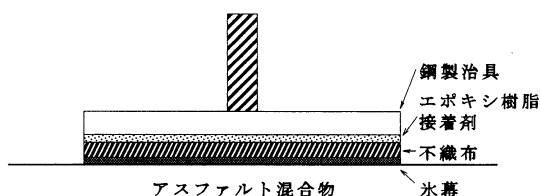
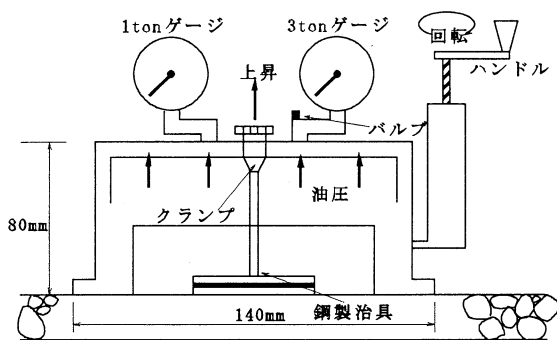


図-2 測定器の概要

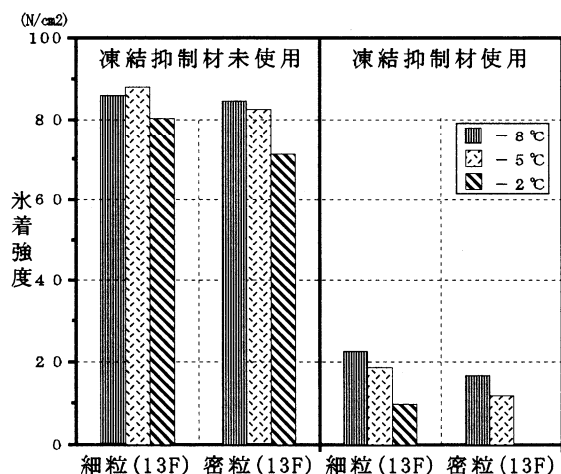


図-3 氷着強度測定結果の一例

b) 氷着強さによる凍結抑制効果の確認手法²⁾

ここでは、凍結抑制効果を室内で評価する手法の1つとして、氷着強さにより評価する方法を検討した。

評価に用いる測定装置は、取り扱いが容易で現場での使用も考慮して、持ち運びが容易にできるものを検討し、建研式引き抜き試験器の応用を試みた。

測定器の概略を図-2に示す。氷着強度の測定には、水平方向のせん断力により評価する方法も考えられるが、当該凍結抑制舗装の効果の発現が塩分の溶出による氷点降下によるため、垂直方向の引き抜きによっても凍結抑制効果の確認が可能と判断し、簡易な試験として当該試験方法を考案した。なお、氷着強さを正確に評価するためには、治具接地面全体を均一に氷着させる必要があることから、構成治具(図-2の下)氷着面には、繊維の強度、治具との接着性および保水能力等を含め良好と判断された

表-3 すべり抵抗 (BPN)による評価結果の一例

温度条件		-5℃	-3℃
凍結抑	0	20	17
制材添	80	28	40
加率	100	41	42

注) 凍結抑制材添加率は、石粉との置換え量

不織布(ニードルパンチ)を用いた。

当該測定装置による測定方法は、以下のとおり。なお、測定時の最大荷重を治具不織布面積で除した値を氷着強度として評価することとした。

- ①評価に用いる供試体(ホイールトラッキング供試体等)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転する。

図-3は、細粒度アスファルト混合物(13F)および密粒度アスファルト混合物(13F)により当該装置を用いて行った氷着強度測定結果を示したものである。氷着強度は温度が低いほど大きく、凍結抑制材を用いると数分の1に小さくなり、凍結抑制効果を定量的に評価できることが確認できた。

c) すべり抵抗による評価³⁾

この評価は、低温域におけるすべり抵抗値の変化で、凍結抑制材の凍結抑制効果を確認しようとするものである。試験はホイールトラッキング試験用供試体の表面を湿潤状態とし、所定の温度で養生して表面を凍結させ、この面のすべり抵抗値をポータブルスキッドレジスタンステストで評価するものである。表-3は、-3℃および-5℃における試験結果の一例(密粒度アスファルト混合物(13F))を示したものであるが、両温度における凍結抑制材無添加のBPNが20以下であるのに対して、凍結抑制材を石粉と80%置き換えて添加したものでは-3℃で、100%置き換えて添加したものでは-5℃および-3℃でBPNが40程度となっており凍結抑制効果が確認できた。

3. 現地確認

凍結抑制効果が長期(6~9年)にわたり継続して

いる箇所、および早期（1～2年）に消失した箇所での現地確認のための調査を実施した。

（１）効果が長期にわたり継続している箇所の調査結果

効果が長期にわたり継続している箇所の調査によると、舗装表面で硝酸銀溶液等による白濁反応がみられ塩分の溶出が確認されたほか、カンタブによる塩分溶出の定量評価でも、塩分溶出が確認された。

また、コアを採取し、空隙率の測定を実施したが、おおむね4～6%の空隙を保持していることが確認された。

（２）効果が早期に消失した箇所での調査結果

効果が早期に消失した箇所での調査結果によると、以下の２種類のタイプに分類できることがわかった。

- ①交通量がし交通程度と比較的少ない箇所で、最初の年は、大きな効果が得られたものの翌年から効果がみられなくなったもの
- ②交通量がB交通以上と多く、供用開始後、数ヶ月で効果がみられなくなったもの

①、②とも舗装表面で硝酸銀溶液による白濁は見られず、塩分の溶出は認められなかった。

採取したコアの空隙率を測定したところ、①については、10%程度と大きな値を示した。これは配合時の空隙率を4%と仮定した場合、94%程度の締固め度となり、転圧不足が考えられる。また、②については、逆に2%程度と小さな値を示した。これは、交通荷重等により圧密されたためと考えられ、車輪走行位置で顕著に見られる。また、②の試料の側部に硝酸銀溶液を滴下したところ白濁が認められ、燃焼法による凍結抑制材の定量を行ったところ試料内部に塩分が残留していることが確認された。

以上のことから、図-4の効果消失のメカニズムに示すように、早期に凍結抑制効果が消失した理由として以下のことが考えられる。

- ①空隙率が大きい場合、雨水、降雪等で舗装内部まで水が進入し、塩分の全量が舗装内部から抜けてしまった。
- ②交通量が多く、空隙率が2%程度と小さい場合、舗装内部に塩分が存在しているにもかかわらず、舗装表面がシールされたと同様な状態となり、舗装内部の有効成分（塩分）が溶出せず、表面の塩分のみで効果が停止してしまう。

（３）凍結抑制効果の現地確認結果のまとめ

現地確認結果をまとめると以下ようになる。

- ・施工後8～9年経過しているにも係わらず、凍

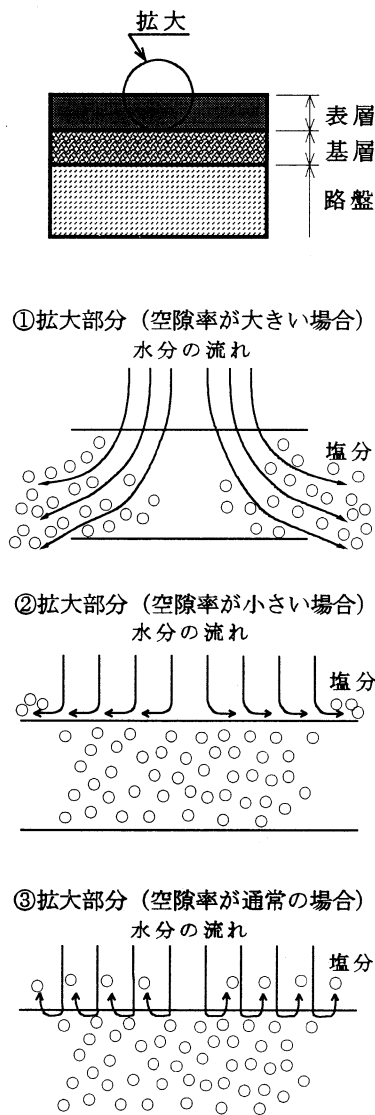


図-4 凍結抑制効果消失のメカニズム

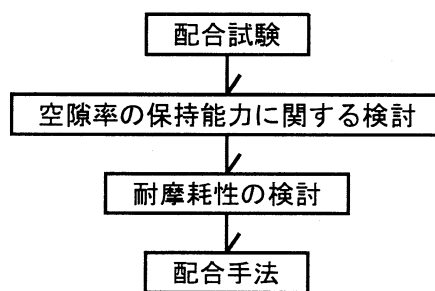


図-5 凍結抑制効果の持続性に関する検討フロー

結抑制効果が継続している試料では、空隙率が4～6%の値を示している。

- ・凍結抑制効果が当初大きく、しかも早期に消失した試料では、空隙率が10%近くと、大きな値を示し、施工時の転圧不足が考えられる。
- ・塩化物が試料内に多く残留しているにもかかわらず、早期に凍結抑制効果が消失した試料では、

表-4 配合試験結果

混合物の種類	通常OAC		4%OAC	
	50回	75回	50回	75回
密粒度 (13F)	6.2	6.0	6.0	5.8
密粒度G (13F)	5.4	5.1	5.0	4.8
細粒度 (13F)	8.3	8.2	7.8	7.5
細粒度G (13F)	6.6	6.2	6.4	6.0

表-5 試験条件

試験項目	条 件
マーシャル突固め	回数：10, 25, 50 75, 100, 150
ジャイレトリ締固め	圧 力：1200kpa 回転角：1.25° 回転数：0～300回

空隙率が2%前後と小さな値を示している。

4. 凍結抑制効果を持続するための検討

現地確認結果から、凍結抑制効果の発現に空隙率が大きな影響を与え、また、適度な空隙率を保持することで長期にわたり凍結抑制効果を持続できると考えた。

ここでは、粉末タイプの凍結抑制材の使用実績の多い密粒度アスファルト混合物(13F)、密粒度ギャップアスファルト混合物(13F)、細粒度アスファルト混合物(13F)および細粒度ギャップアスファルト混合物(13F)の4種類の混合物を取り上げ、空隙率の保持能力について検討することとした。

検討は、図-5のフローにより実施した⁴⁾。

(1) 配合試験

配合試験では、凍結抑制材の添加量を7重量%とし、石粉との容積置換で添加した。なお、粒度は舗装要綱に示された粒度範囲の中央を目標に実施した。

また、マーシャル突固め回数は、通常の50回に加えて75回も採用した。最適アスファルト量 (O.A.C) は、アスファルト舗装要綱に準拠した方法 (以下、「通常O.A.C」と称す) のほか初期空隙率を確保するために、空隙率が4%となる点をO.A.Cとする方法 (以下、「4%O.A.C」と称す) で決定した。配合試験結果を表-4に示す。

各種混合物とも、最適アスファルト量は50回打撃による「通常O.A.C」が最も多く、75回打撃による「4%O.A.C」が最も少ない結果となっている。

その差は、密粒度アスファルト混合物(13F)で

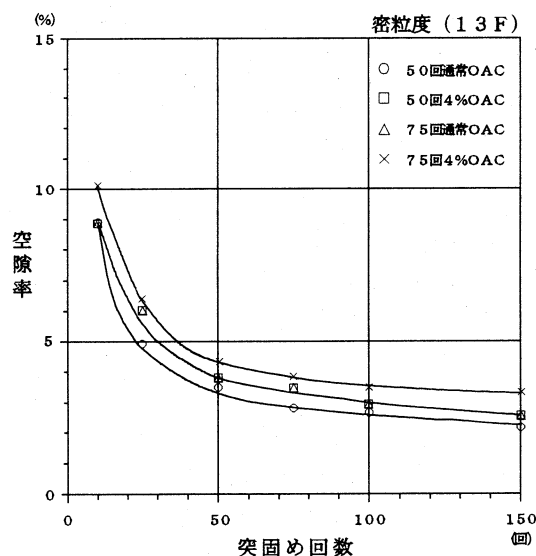


図-6 突固め回数と空隙率の関係

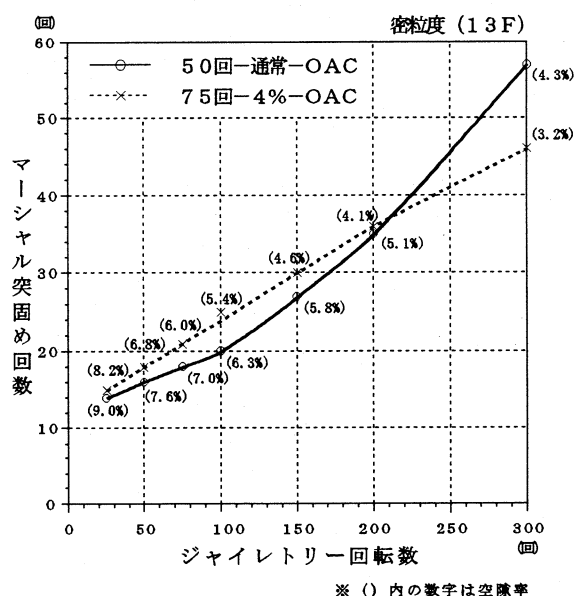


図-7 ジャイレトリ締固めとマーシャル突固めの関係

0.4%、密粒度ギャップアスファルト混合物(13F)で0.6%、細粒度アスファルト混合物(13F)で0.8%、細粒度ギャップアスファルト混合物(13F)で0.6%である。

(2) 空隙率の保持能力に関する検討

空隙率の保持能力は、将来の交通荷重による空隙率の減少により評価することとした。

評価は、前項の配合試験で求めた各種アスファルト量の混合物について、表-5に示す条件でマーシャル突固め回数およびジャイレトリ締固め回数を変化させ空隙率の変化を測定する方法で実施した。

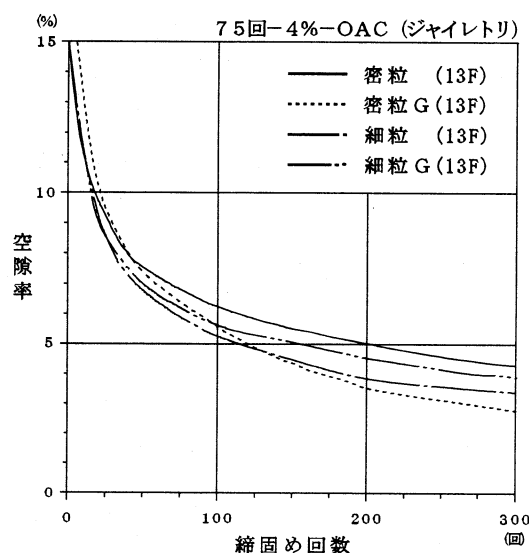


図-8 締固め回数による空隙率の変化

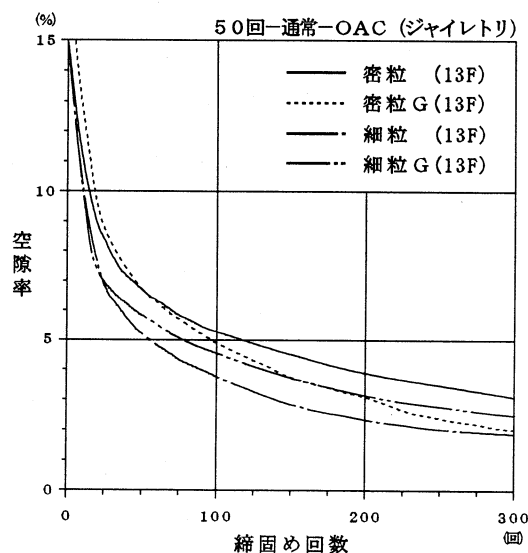


図-9 締固め回数による空隙率の変化

表-6 残留空隙率

混合物の種類	残留空隙率%
密粒度アスファルト混合物 (13F)	5.9
	4.9
密粒度ギャップアスファルト混合物 (13F)	3.8
	3.0
細粒度アスファルト混合物 (13F)	5.2
	3.6
細粒度ギャップアスファルト混合物 (13F)	5.8
	4.3

注：上段「75回4%O.A.C.」，下段「50回通常O.A.C.」

・なお、ここでマーシャル試験およびジャイレトリ試験の2種類の試験を実施しているが、ジャイレ

表-7 ラベリング試験の試験条件

項目	条件
試験温度	-10±1℃
養生時間	4時間以上
チェーン材質	JIS G 4051 S 35 C
車輪回転数	200回/min
供試体回転数	66往復/min
すり減り量測定方法	レーザー
試験時間	90min

表-8 ラベリング試験結果

アスファルト量	締固め度 (%)	摩耗量 (%)
75回-4%-OAC	100	1.25
	98	1.34
50回-通常-OAC	100	1.09
	96	1.45

トリ試験は、ニーディングによる締固めで、交通開放後に舗装が受ける荷重条件により類似したものと考えられる。しかし、ジャイレトリ試験機は、まだ普及している状態とはいえ、ここでは、汎用化されているマーシャル突固めも実施し比較することとした。

締固めによる空隙率の変化の一例として、密粒度アスファルト混合物 (13F) のマーシャル突固め回数と空隙率の関係を図-6に示す。

「75回4%O.A.C.」の空隙率の低下が最も小さく、打撃回数150回で3%以上の空隙率を保持していることが確認できた。

また、この傾向は、今回配合試験を実施した4種類の混合物すべてで同様であった。

図-7は、マーシャル突固めによる空隙率の変化とジャイレトリによる締固めを比較した例であるが、ほぼ直線的な関係にあり、評価はいずれの方法でも可能と判断された。

また、図-8および図-9は「75回4%O.A.C.」、「50回通常O.A.C.」での、各種混合物によるジャイレトリによる締固め回数と空隙率の関係を示したものである。この結果をもとに、締固め回数50回の空隙率を基準として、300回転での残留空隙率^{注)}を算出した結果を表-6に示す。

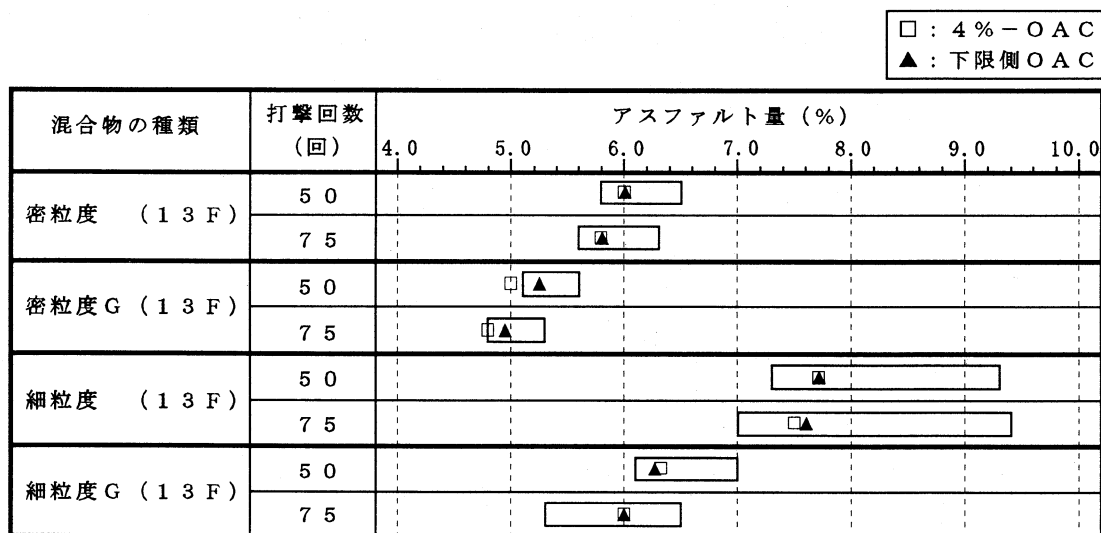


図-10 配合試験結果の整理

注)

残留空隙率 (%)

$$= (300\text{回転での空隙率} / 50\text{回転での空隙率}) \times 100$$

混合物の種類によらず、「75回4%O.A.C」での残留空隙率が「50回通常O.A.C」に比較して8~16%程度大きな値を示している。

また、密粒度アスファルト混合物(13F)および細粒度ギャップアスファルト混合物(13F)が空隙率の減少が少ない結果となった。

(3) 耐摩耗性の検討

空隙率の保持能力に着目した場合、今回試験に用いた各混合物とも「75回4%O.A.C」が、最も優れた値を示した。しかし、表-4に示したとおりアスファルト量が通常のO.A.Cに比較して少なくなっている。

そこで、供用後のチェーン等による摩耗に対する抵抗性を確認することとした。

ここでは、表-6に示した空隙の保持能力(残留空隙率)の最も大きかった密粒度アスファルト混合物(13F)について、「75回4%O.A.C」と「50回通常O.A.C」で往復チェーンラベリング試験を実施した。なお、試験条件は表-7に示すとおりである。

試験結果を、表-8に示すが、表より、

- ・摩耗量は、締固め度100%では、「75回4%O.A.C」が大きい結果となった。
- ・「75回4%O.A.C」の締固め度が98%の摩耗量は、「50回通常O.A.C」の締固め度96%の摩耗量に比べやや小さい値を示し、締固めの管理を2%程度厳しくすることで、舗装としての供用性も確保できると考えられる。

等が、確認できた。

(4) 配合手法・混合物の検討

現地調査の結果等から、凍結抑制効果の発現・持続性には初期の空隙率の大きさや供用後の空隙率の変化が大きく関与していると考えられる。従って、凍結抑制機能をできる限り長期にわたって持続させるためには、初期に適切な空隙率を有し、供用中の空隙率の変化が少ない混合物の使用が望ましいと考えられる。

室内試験結果から、突固め回数両面75回で4%の空隙率を示すアスファルト量をO.A.Cとすることで空隙率の保持能力が大きくなる結果が得られた。

配合試験結果を整理すると、「4%O.A.C」はアスファルト量の共通範囲の下限側に位置しており、図-10に示すようにO.A.Cとアスファルト量の共通範囲の下限値の中央値(以下、下限側O.A.C)とほぼ一致している。

この結果から、配合設計時に突固め回数を両面75回とし、「下限側O.A.C」を最適アスファルト量とする混合物を用いることで、凍結抑制効果の持続性を向上できると考える。

また、凍結抑制機能のほか、残留空隙率等を考慮すると、本検討で取り上げた4種類の混合物の中では、密粒度アスファルト混合物(13F)が最もバランスのとれた混合物であると考えられる。

なお、当該手法によるアスファルト量を最適アスファルト量とした場合、通常のO.A.Cに比較して耐摩耗性が低下する。しかし、表-8に示したように、施工時の締固め度の管理を96%から98%以上とすることで、凍結抑制効果の持続性と舗装としての機能の確保がある程度期待できると考える。

5. まとめ

現地確認および室内検討結果をとりまとめると以下のようになる。

(現地確認)

- ・凍結抑制効果が当初大きくても早期に消失した試料では、空隙率が10%近くと、大きな値を示している。
- ・塩化物が試料内に多く残留しているにもかかわらず、早期に凍結抑制効果が消失した試料では、空隙率が2%前後と小さな値を示している。
- ・施工後8～9年経過しているにも係わらず、凍結抑制効果が継続している試料では、空隙率が4～6%の値を示している。

(混合物種類の検討)

- ・マーシャルおよびジャイレトリ締固めにおいて最も空隙率の変化の少ない混合物は、密粒度アスファルト混合物(13F)である。

(配合設計法の検討)

- ・凍結抑制効果の発現・持続性が、空隙率に影響されることから、当初から、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。
- ・マーシャル締固め回数50回における空隙率を4%とし求めたアスファルト量による試料は、通常の方法で求めたアスファルト量による試料に比べ、空隙率の保持能力が大きいことが確認できた。
- ・また、マーシャル締固め回数を75回とし、通常の共通範囲(安定度、フロー等)の中央と下限値の平均を最適アスファルト量とすることで、マーシャルの各基準(50回締固め)を満足し、

しかも空隙の保持能力の大きな混合物を製造することが可能と考えられる結果を得た。

- ・摩耗試験の結果から、通常の共通範囲(安定度、フロー等)の中央と下限値の平均を最適アスファルト量とした混合物は締固め度の管理を96%から98%以上とすることで、舗装としての供用性も確保できることが確認できた。

6. おわりに

本研究においては、空隙率に着目して凍結抑制効果の持続性の検討を実施した。

今後、本研究で提案した手法を実施工に適用し、追跡調査等を通じて、問題点等の洗い出しを行い、より効果的な配合設計方法への改良を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 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
- 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回年次学術講演会講演概要集第5部, pp. 516-517, 1995
- 3) 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
- 4) 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

(1997. 9. 1受付)

STUDY ON IMPROVEMENT OF LASTING DEICING PROPERTIES IN DEICING ASPHALT PAVEMENTS

Shusuke SUZUKI, Takehisa KOZAI, Teruhiko MARUYAMA

The depression of the freezing point is achieved when powder-type chloride compounds contained in asphalt pavements dissolve on ice-covered pavements. Since the use of studded tire was prohibited in Japan in 1985, countless experiments were undertaken to test deicing pavements in winter to ensure traffic safety below the freezing point. 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.

In the present study, the improvement of long lasting deicing properties are discussed in detail. Furthermore, means of evaluation of deicing pavements are also part of the discussion.