

積雪寒冷地のアスファルト混合物の研究（第2報）

凍結融解作用の影響をうけたアスファルト混合物のマーシャル

安定度および透水性について

吉 田 隆 輝*

The Study of Bituminous Mixtures for Snowy and Cold Areas (Part 2)
Marshall Stability and Permeability of Bituminous Mixtures
Influenced by Freeze-Thaw Action

Takaki YOSHIDA

要 旨

積雪寒冷地のアスファルト舗装は厳しい気象条件の下にある。特に冬期間、凍結融解の繰返し作用をうけて舗装の強度は低下する。アスファルト混合物の凍結融解作用の影響を調べるために、4種類のフィラーを用いた3種類の粒度のアスファルト混合物を作製し、凍結融解前と後の透水およびマーシャル試験を行った。

実験の結果、石灰石粉の一部を消石灰やセメントで置換したフィラーを用いたアスファルト混合物に、質的向上の効果が現われた。さらに、供試体作製時の空隙率を小さくすることが必要であるという結論に達した。

Synopsis

Asphalt pavements for snowy and cold areas, are subject to extreme climatic changes. In particular, the strength of asphalt pavements decreases by the effects of repeated freeze-thaw action during winter. In order to investigate the effect of freeze-thaw action of bituminous mixtures, we make bituminous mixtures of three aggregate gradations using four different sorts of filler, experiments in permeability and Marshall stability of bituminous mixtures before and after freeze-thaw cycle.

As a result of experiments, bituminous mixtures used filler, some lime stone dust is replaced by slaked lime or portland cement, are showed effects of qualitative improvement. We may conclude that it is necessary to decrease percentage voids of noncycled bituminous mixtures.

I. ま え が き

舗装用アスファルト混合物は、耐摩耗性、耐流動性、耐すべり性および耐脆化性等の諸性状を満足させるものでなければならない。積雪寒冷地の舗装用アスファルト混合物は、夏の高温時にわだち堀れを起こさず、冬の低温時にスパイクタイヤやチェーンによって摩耗されにくく、かつ厳しい気象条件の下でも破壊されず、安定した状態であることが望まれる。このために温暖な地方とは異

なった配合設計を行なわなければならない。

北海道の道路の除雪率は非常に高く、平均95%にもおよんでいる¹⁾。このように除雪率が高くなればなる程、舗装表面は絶えず劣悪な気象条件の下に直接さらされることになる。従って1日のうちでも夜間の凍結と日中の融解の繰返し作用をうけることになる。本校々舎内のトベカ表面下25mmの昭和51年以来の温度観測の結果、昭和51年116回、52年93回および53年108回の繰返し回数を観測した。この繰返し作用が、舗装の破壊の1つの要因になっていると考えられる。さらに冬期間の急激な外気温の変化によって生ずる繰返

*助教授 土木工学科

表-1 粒度組成

Sieve opening (mm)	13	10	7	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
FG 13F	100	92.0	80.7	70.0	55.3	53.3	47.3	32.7	15.7	13.1
Passing (%) S 13F	100	91.0	77.3	65.5	42.6	32.6	23.3	17.2	11.7	11.5
G 13F	100	87.5	70.5	55.0	37.5	35.0	32.5	31.4	13.8	12.8

表-2 ストレートアスファルトの性状

比 重	Pen. (25℃ 100 g, 5 sec)	R & B (℃)	P.I.	混合温度 (℃)	締固温度 (℃)
1.0271	77	48.0	-0.65	151~157	139~144

表-3 骨材の比重および吸水量

骨 材 項 目	粗 骨 材				細 骨 材	
	13~10	10~7	7~5	5~2.5	粗 砂	細 砂
見 掛 比 重	2.798	2.805	2.800	2.785	2.668	2.857
表 乾 比 重	2.705	2.706	2.695	2.669	2.568	2.765
か さ 比 重	2.654	2.651	2.636	2.636	2.508	2.715
平 均 比 重	2.752	2.756	2.748	2.727	2.618	2.811
吸 水 量 (%)	1.95	2.07	2.21	2.50	2.40	1.80
産 地	漁川砕石 (輝緑安山岩)				広 島	南黄金

表-4 フィラーの物理性状

	比 重	P.L. (%)	加 熱 変 質	浸水膨 張率(%)	フロー値 (%)	はく離 抵抗性	トルエン中 の密度(g/ml)	比表面積* (cm ² /g)	平均粒* 径(μ)
基 準 値			ナシ	3%以下	50以下	$\frac{1}{4}$ 以下			
石 灰 石 粉	2.757	18.4	ナシ	0.3	32.7	$\frac{1}{4}$ 以下	0.7	5300	4.1
オリビンサンド	3.190	16.3	ナシ	3.6	28.0	$\frac{1}{4}$ 以下	1.1	2500	7.6
消 石 灰	2.383	50.5	ナシ	1.6	96	$\frac{1}{4}$ 以下	0.3	11800	2.1
普 通 ポ ル ト ラ ン ド セ メ ン ト	3.130	—	ナシ				0.7	3300	5.5

* 透過式粉体比表面積測定装置を使用。

し温度応力やその他の要因により、交通量の少ないアスファルト舗装部分に従来の異なった横断方向にひび割れが発生することが報告されている²⁾³⁾。温度応力による破壊は、積雪寒冷地に限らず温暖な地方でも生じている現象であり、その早期の解決がいそがれている。このように従来の破壊とは異なった、急激な温度変化による温度応力とか凍結融解作用による破壊に関する研究は多いとはいえないが、後者については、北海道開発局土木試験所の一連の研究が⁴⁾、先駆的な役割を果たしている。一方交通量の少ない舗装部分の老化現象は、車輪の通る舗装部分に比べ非常に早く起きることも報告されている⁵⁾。このようなことから交通量の少ない空港のショルダーやオーバーラ

ン、路肩や停車帯および交通量のきわめて少ない道路での凍結融解作用や温度応力による影響は、無視できないものである。

本研究では、前報⁶⁾にひき続いて積雪寒冷地のアスファルト混合物の基礎的な研究として、凍結融解の繰り返し作用が混合物に及ぼす影響を、アスファルト混合物、フィラー、石灰石粉の一部を置き換える置換材料を夫々組合わせて、空隙率の違う供試体を作製し、室内で行なった凍結融解の繰返し回数(サイクル数)における安定度および透水係数の実験を行ない、積雪寒冷地用アスファルト混合物の検討を行なったのでここに報告する。

表-5 アスファルト混合物の O.A.C. における空隙率

フィラー 混合物		石灰石粉	オリビン サンド	石灰石粉 + 消石灰	石灰石粉 + P.セメント	舗装要綱 規 準 値
FG13F	O.A.C.	5.6	6.3	6.0	5.8	6～8
	空 隙 率	3.7	3.5	3.6	3.5	3～5
S 13F	O.A.C.	5.2	5.4	5.9	5.2	6～8
	空 隙 率	3.2	3.5	3.3	3.2	3～5
G 13F	O.A.C.	5.1	5.3	6.0	5.1	5.5～7.5
	空 隙 率	3.3	3.8	3.6	3.5	3～5

(%)

II. 試 験 材 料

試験に用いたアスファルト混合物の種類は、舗装要綱⁷⁾の積雪地域用細粒度ギャップアスファルトコンクリート 13 F (以後 FG13F)、同密粒度アスファルトコンクリート 13 F (以後 S13F) および同密粒度ギャップアスファルトコンクリート 13 F (以後 G13F) の 3 種類である。粒度は夫々の混合物の中央粒度付近とした (表-1)。バインダーはストレートアスファルト、粗骨材は恵庭漁川産 6 号、7 号砕石 (輝緑安山岩) を 13, 10, 7, 5 および 2.5 mm の単粒に篩分け、細骨材として粗砂の広島砂を 2.5, 1.2 および 0.6 mm に篩分け、細砂の南黄金砂は 0.6 mm 以下を使用した。フィラーは石灰石粉、オリビンサンド、石灰石粉の 30% を消石灰におきかえたもの (以後石粉+消石灰) および石灰石粉の 30% を普通ポルトランドセメントにおきかえたもの (以後石粉+セメント) の 4 種類を用いた。消石灰およびセメントによる置き換えの理由は、アスファルト混合物に耐凍結融解的な性状を与えんがために行なったもので、前報⁶⁾では消石灰を 50% 置換したが、混合に困難を感じたため、本研究は 30% の置換率とした。アスファルト混合物のはく離防止対策基準 (案)⁸⁾によれば、消石灰およびセメントの添加量は、混合物全重量に対して夫々 1%, 3% を標準としている。暫定基準 (案) によれば⁹⁾、消石灰の添加量は 3% を標準としている。本研究におけるその割合は約 4% である。使用材料の諸性状は、表-2, 3, 4 に表わした。

III. 実 験 方 法

前報において、石灰石粉の 50% を消石灰におきかえた混合物は、凍結融解作用に抵抗することが認められた。そこで本研究では、石灰石粉の 30% を消石灰および普通ポルトランドセメントで夫々置換し、どちらの材料が凍結融解作用に効果があるかについて調べた。混合物中のアスファルト量が多くなれば、凍結融解作用に安定であることが予想される。そこでアスファルトの効果を少なくして、2 種類の置換材料のうちいずれが優れているかを調べるため、本研究ではアスファルト量を基準値より少なめにして実験を行なった (表-5)。従って供試体の F/A は 2.0 から 2.5 の間に分布した。

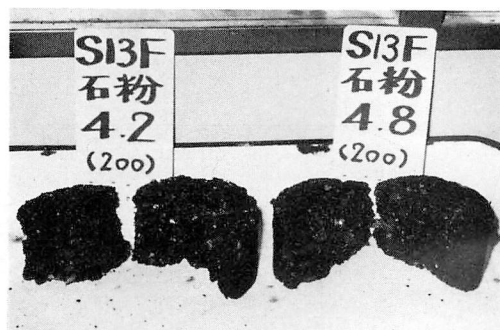
凍結融解作用をうけたアスファルト混合物の強度および透水係数は、マーシャル安定度試験および変水位式透水試験により求めた。試験は、全て突固め回数 50 回で作製したマーシャル供試体で行なった。さらに供試体作製時の空隙率 (以後単に空隙率とよぶ) が、安定度および透水係数に大きな影響を及ぼすことが予想されるので、おおよそ 3% から 6% 前後まで約 1% ずつ、バインダー量により空隙率を変えた供試体を作製した。供試体の個数は、3 種類の混合物 (FG13F, S13F, G13F)、2 種類のフィラー (石灰石粉、オリビンサンド)、2 種類の置換材料 (普通ポルトランドセメント、消石灰) を組合せ、空隙率および凍結融解サイクル数ごとに 3～4 個作製し実験に供した¹⁰⁾。なお O.A.C. を求めるためのマーシャル試験供試体はこの他に作製した。

注) 混合物とフィラーの組合せは略号 () で表わし、() の中にフィラー名をその頭文字で記入する。オリビンサンドはオリビンと略し、石灰石粉の 30% を消石灰およびセメントで置換したフィラーを夫々石+

消、石+セで表わす。例えば、FG13F (石+セ)、S13F (オ) というように混合物とフィラーの組合せを表わす。

凍結融解試験は A.S.T.M.に準拠し、+4.4～-17.8℃を凍結行程2時間、融解行程1時間、計3時間を1サイクルとして、100および200サイクル(C_{100} , C_{200})行なった。その後この供試体を用いて、透水試験および安定度試験を行なった。なお凍結融解試験は5段積みにした供試体をゴム袋に投入し、水浸状態で行なったが、試験中に供試体最上部に氷がつき、融解時にも解氷しないおそれがあるため、銅製円筒をのせその解決をはかった。

透水試験装置は、供試体を何ら傷つけることなく透水係数が測定でき、試験後はその供試体そのままマーシャル試験用供試体として使用できるように工夫してある⁶⁾。なお透水係数を測定する供試体は、予め730 mmHgに減圧した蒸留水中に2時間静置して飽和状態にした。



凍結融解作用による供試体の破壊
SI3F (石), C_{200}

IV. 実験結果および考察

アスファルト混合物が凍結融解作用をうけると、マーシャル安定度は低下し、透水性が増す。供試体作製時の空隙率が大きい程この傾向は強くなり、混合物の種類やフィラーによっても特徴的である。これらについて次の項目にしたがって述べる。

IV. 1 マーシャル安定度について

C_0 , C_{100} および C_{200} 後の安定度を混合物とフィラーの種類ごとに図-1に表わした。縦軸にマーシャル安定度を、横軸に空隙率をとった。 C_{100} および C_{200} で破壊した供試体は、安定度を零として各サイクルごとに区別して表わされている。

密粒度アスコンは、北海道では道路舗装にはあまり用いられず空港等で用いられている。

SI3F (石) では空隙率が6%以下の供試体は、 C_{100} では破壊しなかったが、サイクル数がさらに増え C_{200} になると破壊に至ったものが目立った(写真)。一方、SI3F (オ) では、 C_{100} , C_{200} にかかわらず安定度が低く、しかも破壊した供試体が目立った。 C_{200} の破壊供試体数が C_{100} のそれより少ないという実験上のバラツキが生じたが、安定度は約400 kg以下と小さい値となった。このような凍結融解作用による供試体の安定度の低下および破壊を防止するために、石灰石粉の30%を消石灰およびセメントで夫々置換して、その効果を求めた。実験の結果、SI3F (石+消), SI3F (石+セ) 共に、空隙率6%以下での破壊を防止できた。特に後者は、安定度500 kg以上を保ち、置換した効果があらわれたと考えてよい。

G13F についても、SI3F と同様のことが言える。なおこの混合物は、すべり止めを期待して坂

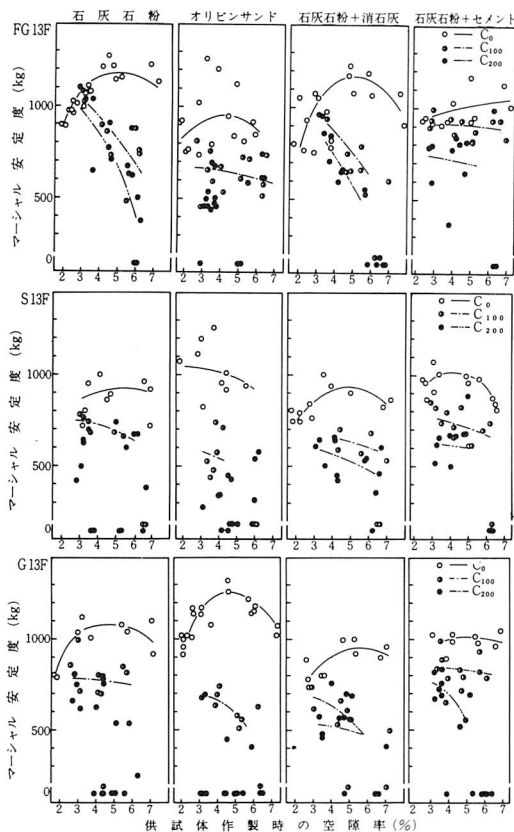


図-1 供試体作製時の空隙率とマーシャル安定度の関係

路に舗装される混合物で、耐久性はあまり期待できない。いずれのフィラーを使用しても、この混合物の破壊は目立ち、特に石灰石粉およびオリビンを使用した C_{200} の混合物は、破壊が多かった。G13F（石）は、空隙率が3%と十分に小さければ耐久性がえられるが、オリビンを用いた混合物は、空隙率が小さくても C_{200} で破壊してしまった。一方、消石灰やセメントを混合すると破壊供試体数が減少し、空隙率が夫々6%以下、5%以下であれば、安定度は500kg以上となった。G13F（石）の C_{200} の安定度のバラツキが大きくて、石灰石粉の30%を消石灰やセメントで置きかえた効果を統計的に判断するのは難しいが、空隙率5～6%以内で破壊数が急減することを考慮すれば、その効果を認めてさしつかえないと考える。

細粒度ギャップアスコンは、北海道内の全国道、北陸および積雪寒冷地で広く採用されており¹⁰⁾、耐摩耗性、耐久性に優れた混合物である。FG13F（石）およびFG13F（石+消）の凍結融解後の安定度は、空隙率が大きくなるにつれ次第に低下し、6%を超えると破壊に至る傾向がみられた。FG13F（オ）は、空隙率5%未満では C_{200} でも破壊しなかったが、全般的にバラツキが生じ、安定度も他に比べ優れているとはいえない。FG13F（石+セ）は、 C_{200} で空隙率6%を越えると破壊したが、各サイクル後の安定度は、他のフィラーに比べて優れており、また空隙率が増加しても安定度に大きな変化はあらわれなかった。

夫々のアスファルト混合物のO.A.Cにおける使用アスファルト量は、混合物の種類や使用するフィラーによって異なる。即ちS13F、G13Fの単位骨材重量あたりの使用アスファルト重量は、ほぼ等しいが、FG13Fのそれは、G13Fのおおよそ15%増となり、フィラーの種類に関係なくほぼ等しい。このことは細粒骨材の多いFG13Fは、S13F、G13Fに比べて耐凍結融解性のある混合物であるといつてよいであろう。またフィラー別にみると、石灰石粉、オリビンおよび石粉+セメントのO.A.Cにおける使用アスファルト重量はほぼ等しいが、石粉+消石灰を使用した混合物のアスファルト量は、石灰石粉の17%増で、各混合物の種類にかかわらず等しい。このことは、消石灰の比表面積が大きいためアスファルト量が増加し（表－4）、その結果、石灰石粉に比べて耐久性が向上したものと考えられる。

以上の結果、石灰石粉の一部を消石灰やセメン

トで置換した効果は、破壊の防止という面で表われたが、今後混合割合についてさらに検討を加える必要がある。

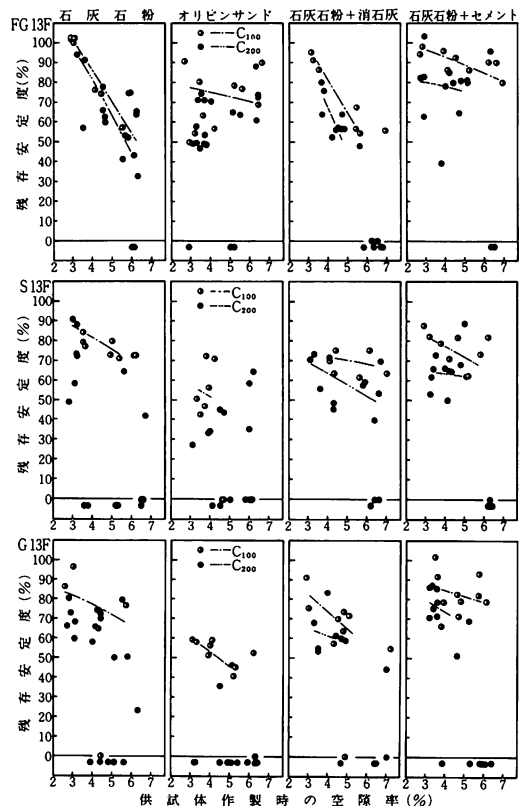
IV. 2 残存安定度について

凍結融解前後の安定度の比を、久保は残存安定度と名づけ次式で表わした⁴⁾。

$$\text{残存安定度} = \frac{\text{凍結融解後の安定度(kg)}}{\text{凍結融解前の安定度(kg)}} \times 100(\%)$$

供試体作製時の空隙率と残存安定度の関係を図－2に表わした。図から明らかなように残存安定度は、凍結融解作用および空隙の増加に伴って低下する。

細粒度キャップアスコンについてみると、FG13F（石+セ）の残存安定度は他に比べて大きな値となり、また空隙率が増加しても残存安定度は急激な低下をせずに緩やかに減少している。それに対してFG13F（石）およびFG13F（石+消）は、空隙率が増加するにつれ残存安定は著しく低



図－2 供試体作製時の空隙率と残存安定度の関係

下した。FG13F (オ) は、傾きは緩やかだがバラツキが大きく表われた。

S13F およびG13F についても、おおよそFG13F と同様のことがいえる。ただ、オリビンを用いた混合物の残存安定度は、他のフィラーよりも小さな値となった。

以上のことから、石粉+セメントを用いた3種類の混合物の残存安定度は、いずれも60~70%以上となり、他のフィラーを使用したよりも大きな目の値となって、セメントを混合した効果がみられた。

IV. 3 マーシャルスティフネスについて

マーシャルスティフネス (S/f) は、一般地域用混合物で20~50 (100 kg/cm)、積雪地域用混合物で15~45の範囲が望ましいとされている⁷⁾。 S/f が大きすぎると冬期低温時にもろくなるので、積雪地域では夏期に流動性を起こさない程度に小さな値が望ましい。

凍結融解サイクルごとの S/f と空隙率の関係を図-3に表わした。図より一般に次のことが言える。 C_0 では空隙率が大きくなるにつれて、 S/f は大きくなる。即ちアスファルト量が少なければ、 S/f は大きな値となる。一方凍結融解作用をうけると、 S/f の値は、空隙率が大きい程急激に低下する。これは凍結融解により安定度が低下し、フロー値が上昇するためである。

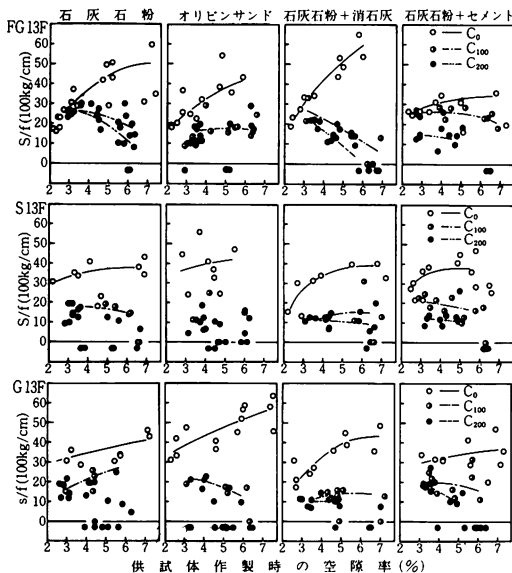


図-3 供試体作製時の空隙率とマーシャルスティフネスの関係

FG13F で目標値 $15 \leq S/f \leq 45$ を満たす空隙率の範囲は、FG13F (石) 5%以下、FG13F (石+消) 4%以下、FG13F (石+セ) 5%以下となり、消石灰やセメントで石灰石粉の一部を置換した効果は、この混合物 S/f についてはみられなかった。S13Fは、 C_{200} で全て S/f の下限を下まわったが、石灰石粉をそのまま使うよりも、消石灰やセメントで置換した混合物の方が、 S/f について有利であった。G13F については、セメントの混合に効果が認められた。

石粉+セメントを使用した混合物は、他に比べ特徴的で曲線はねる傾向にあり、また、凍結融解後の S/f も他に比べると急激な低下をみせない。このことは、耐凍結融解的な役割をはたすフィラー材料といえそうである。消石灰とセメントのどちらの置換材料が有利かについては、多くのデータや混合割合の検討などから判断されるべきであるが、本実験についていえば、セメントの方がやや有利である。

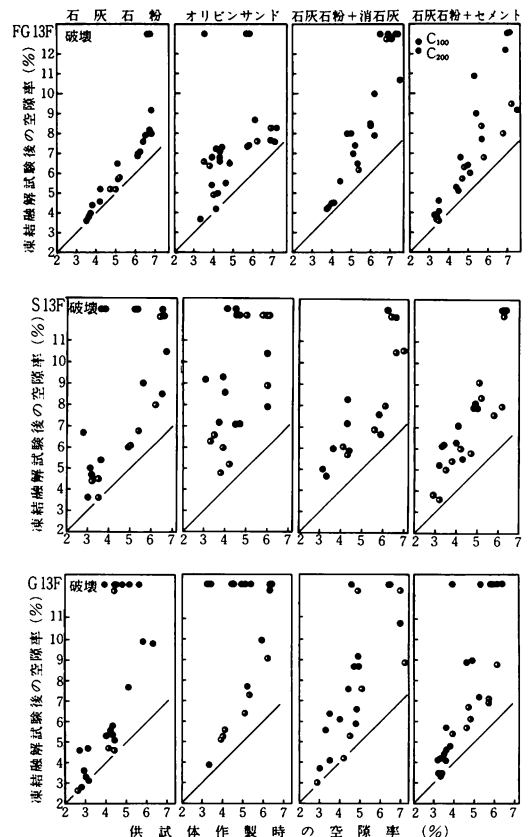


図-4 供試体作製時の空隙率と凍結融解試験後の空隙率の関係

IV. 4 凍結融解試験後の空隙率について

アスファルト混合物が水浸中で凍結融解作用をうけると、安定度や S/f が低下する。このことは、供試体の内部構造の変化、即ち供試体初期の骨材間のかみ合わせが得られなくなったためと考えられる。従って凍結融解後の混合物に何らかの外力を効果的に作用させるならば、混合物は初期の性状を回復するものと予想される。凍結融解試験後、供試体にニーディング作用を与えて、低下した諸性状をかなり回復させた実験結果は¹¹⁾、上記の内容を説明するものと考えられる。そこで凍結融解作用後の供試体空隙率と作製時の空隙率との関係を図-4に表わした。図中45度の線より各供試体までの縦方向の大きさが、増加空隙率である。図から凍結融解作用によって、空隙率は1~3%程

度増加するが、混合物やフィラーの違いによる特徴的な相違はみられなかった。しかしこのように凍結融解作用により空隙率が増加することは、不透水性であるべきアスファルト混合物が、透水性になることを意味し、舗装全体の耐久性に大きな影響を及ぼすことになる。

IV. 5 凍結融解後の透水性について

供試体の透水係数 (k) は、次式により求めた。

$$k = \frac{a \cdot L}{A} \times \frac{2.3}{t} \times \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (\text{cm/sec})$$

ただし、 a : 測定管断面積 (内径 4.8 mm), A : 透水断面積 (cm^2), L : 供試体高さ (cm), t : 透水時間 (sec), k_1, k_2 : 初期および t 時間後の水頭 (cm)

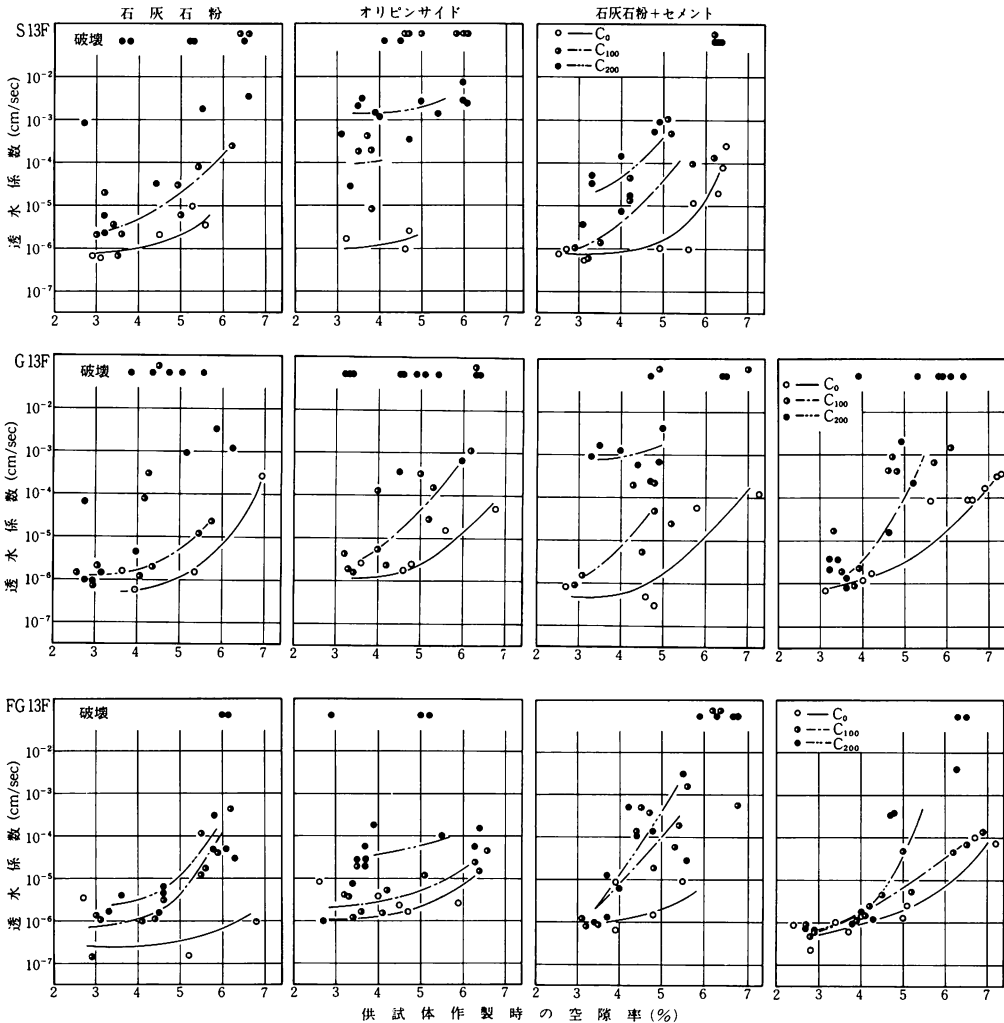


図-5 供試体作製時の空隙率と透水係数の関係

透水試験の結果を図-5に表わした。縦軸に透水係数を対数目盛で、横軸に空隙率を普通目盛でとった。一般に舗装用アスファルト混合物は不透水性でなければならないが、透水係数の規定は特に定められてはいない。ただ特殊な舗装である透水性舗装では 10^{-2}cm/sec を標準としている⁷⁾。土質力学では、透水係数が $1 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 以下を実用的な不透水性、 $1 \times 10^{-4}\text{cm/sec}$ 以上を透水性が良好、その中間を半透水性というように区分している¹²⁾¹³⁾。フィルダム用コア用土材料の透水係数は、 $1 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ ぐらいとするのが一般的である¹³⁾。アスファルト混合物についても $1 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 以下を不透水とすれば、図より凍結融解前で空隙率が4%以下であれば、混合物は不透水であるといえることができる。北村らのホットロールドと密粒度アスコンの研究¹⁴⁾では、空隙率4%以下で不透水性となると報告されている。以上のことから凍結融解前の供試体は、混合物やフィラーの種類にかかわらず空隙率が4%以下であれば不透水性となるといえる。そして、空隙率が4%をこえると次第に透水性が大きくなる傾向がみられた。

凍結融解後の透水係数も同様に、空隙率の大きい程 k の増加の割合は大きくなり、またサイクル数が増えればさらに透水性は大きくなった。200サイクル後でも $1 \times 10^{-4}\text{cm/sec}$ より小さい混合物とその空隙率のおおよその範囲は、FG13F(石)空隙率5.5%以下、FG13F(オ)5.5%以下、FG13F(石+消)4.5%以下、FG13F(石+セ)5.5%以下、S13F(石+セ)4.5%以下、G13F(石+セ)4%以下であった。S13F(石)、G13F(石)、G13F(石+セ)は、空隙率3%程度であれば半透水性を示した。このように凍結融解後の透水係数は、混合物の種類によって大きな違いが生じ、FG13Fは他の混合物よりも良好であった。また石灰石粉および石粉+セメントを用いた混合物の k は、ほぼ同じような値となり、セメントを混合した顕著な効果は認められなかった。オリビンと石粉+消石灰は、透水性が大きくなり好ましくない結果となった。

V. ま と め

積雪寒冷地で用いられるアスファルト混合物について、室内で行なった凍結融解試験の結果、次のような結論をえることができた。

(1)アスファルト混合物が凍結融解作用をうけると、マーシャル安定度、残存安定度、マーシャルスティフネスは減少する。一方空隙率は増加し、透水係数も大きくなる。

(2)また混合物の種類によって異なり、細粒度ギャップアスコン(FG13F)は、他の混合物(S13F, G13F)に比べて破壊の程度は小さかった。密粒度ギャップアスコン(G13F)は、凍結融解作用に弱い混合物なので、粒度組成の検討を行なう必要があると同時に、施工にあたっては空隙率が十分小さくなるように転圧することを心がけなければならない。

(3)供試体作製時の空隙率が凍結融解後の物理的性状に及ぼす影響は非常に大きく、空隙率は小さく抑えなければ、耐凍結融解的なアスファルト混合物をえることは難しい。

(4)使用するフィラーの影響は大きい、オリビンサンドは、いずれの試験においても好ましい結果を得ることができなかった。

(5)石灰石粉の30%をセメントおよび消石灰で夫々置換した混合物は、耐凍結融解的な性状を示した。本研究に関していえば、セメントの方がより効果的であった。

(6)凍結融解前の混合物の透水係数は、混合物およびフィラーの種類にかかわらず空隙率が4%以下であれば $1 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ より小さい値となった。凍結融解後のそれは、空隙率の大きいほど大きくなった。FG13Fは他の混合物に比べて透水係数は小さな値となり、良好であった。

本研究ではマーシャル試験と透水試験から論じたもので、今後はさらにシミュレート試験や他の力学試験からの検討も加える必要がある。またフィラーや置換材料の種類および混合比についても、さらに今後継続して研究を進めていきたいと考えている。

最後に本研究を進めるにあたり、材料の提供をいただいた日産化学工業k.k.および恵庭玉川組の名位、実験には斉藤勇技官、土木6期生日下祐司、河原正幸、大屋重明の諸氏に多大の御協力を得た。記して深く感謝する次第である。

(本研究の一部は昭和 54 年 10 月土木学会第 34 回年次学術講演会 V-139 で発表)

参 考 文 献

- 1) 北海道開発局：北海道の道路ポケットブック，北海道開発協会 (1979)
- 2) 菅原・久保・森吉：寒冷地舗装に発生する横断方向のひび割れ，道路 No. 8, p. 37~40 (1978)
- 3) 菅原・久保・森吉：温度応力によるアスファルト舗装のクラック破壊，土木学会誌 Vol. 64 No. 4, p. 99~106 (1979)
- 4) 久保宏：舗装用アスファルト混合物への凍結融解作用の影響，土木学会論文報告集 No. 279, p. 93~98 (1978)
- 5) 西田・青山・石野：羽田国際空港滑走路の舗装，土木施工 Vol. 7 No. 11, p. 173~178 (1966)
- 6) 吉田隆輝：積雪寒冷地のアスファルト混合物の研究，苫小牧工業高等専門学校紀要 No. 14, p. 149~156 (1979)
- 7) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，(1979)
- 8) 南雲・歳田・谷本：アスファルト混合物のはく離に関する津奈木試験舗装—その概要とはく離防止対策基準(案)—舗装 Vol. 11 No. 9, p. 3~11(1976)
- 9) 道路局・土木研究所・北海道開発局・他：アスファルト混合物のはく離現象に関する調査研究(II)建設省技研会報 No. 26, p. 281~310 (1973)
- 10) 北陸道路舗装会議シンポジウム：北陸地方における舗装の摩耗対策について(上)，道路建設 No. 380, p. 40~55 (1979)
- 11) 久保・美馬・岩崎：アスファルト混合物の凍結融解試験について，土木学会第 30 回年次学術講演会講演概要集 (V), p. 281~282 (1975)
- 12) 最上式雄：土質力学, p. 108, 技報堂 (1969)
- 13) 農業土木学会編：農業土木ハンドブック 設計・施工編 (貯水工)，丸善 (1969)
- 14) 北村・園城・泉：密粒ギャップアスコンとロールドアスファルトに関する一試験，第 11 回日本道路会議論文集, p. 313~314 (1973)

(昭和 54 年 11 月 30 日受理)

