

積雪寒冷地のアスファルト混合物の研究

吉 田 隆 輝*

"The Study of Bituminous Mixtures for Snowy and Cold Areas"

Takaki YOSHIDA

要 旨

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4種類の粒度のアスファルト混合物を作り、凍結融解後の混合物の透水性およびマーシャル安定度について実験を行った。

本論文は、残留安定度、透水係数および空ゲキ率に関する実験結果を論ずる。

本研究の目的は凍結融解後の混合物のフィラーと配合の影響を調べることにある。

Synopsis

In order to investigate the effect of freeze-thaw action on bituminous mixtures, we make bituminous mixtures of four aggregate gradations using four different sorts of filler, and we make an experiment on permeability and Marshall stability of bituminous mixtures after freeze-thaw.

This paper describes the test result concerning residual stability, permeability coefficient and percentage voides.

The purpose of this investigation is to examine the effect of filler and gradations of bituminous mixtures after numerous freeze-thaw cycles.

I. ま え が き

積雪寒冷地の舗装は、厳しい気象条件の下にある。そのために温暖な地方とは異なり、路盤や表層および構造設計に特別な配慮を払わなければならない。アスファルト混合物については、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。これらについて古くから多くの研究がなされているが、今のところ全てを完全に満足させるにいたってはいない。42年度版アスファルト舗装要綱の加熱アスファルト混合物（以下混合物とよぶ）の標準配合は3種類であったが、その後アスファルト舗装事業の増大と混合物の製造技術の進歩に伴ない混合物の需要が著しく増大すると同時に、混合物の種類も非常に多くなった。そこで混合物の種

類の統一をはかり、舗装技術の標準化、省力化、合理化を図るため50年度版アスファルト舗装要綱（以下要綱とよぶ）では11種類の混合物を標準とし、さらに一般地域と積雪地域に大きく分け、積雪地域には前述した寒冷地の舗装が備えるべき性状を満足すべく9種類の混合物が標準化された¹⁾。一方、積雪寒冷地の舗装は一冬を通じ凍結融解の繰返し作用をうけている。本校々舎内のトベカ表面下25mmの温度測定の結果、昭和52年は116回、53年は91回の繰返しを観測した。この繰返し作用が舗装の破壊（ひび割れ）の一つの要因となっていると考えられる。本研究は積雪地域用の混合物を4種類選び、凍結融解作用がこれらの混合物に及ぼす影響を、供試体作製時の空ゲキ率と凍結融解後の透水係数、安定度（残留安定度）との関係から考察した。又混合量こそ少ないが、混合物の性質に重要な影響を及ぼすと考えられる各種フィラーについて考察し、さらにラベリング

* 助教授 土木工学科

Table 1 アスファルトの性状

比 重	Pen. (25℃, 100g, 5sec)	R&B (℃)	P. I.	混 合 温 度 (℃)	締 固 め 温 度 (℃)
1.031	79	49.9	-0.06	151~158	138~144

試験より各種フィラーのアスモルによる摩耗量の違いを調べ、積雪寒冷地用混合物の総合的な検討を行なった。

II. 試 験 材 料

混合物の種類は、積雪地域用密粒度アスファルトコンクリート 13 F (以後 S 13 F)、同密粒度ギャップアスファルトコンクリート 13 F (以後 G 13 F)、同細粒度ギャップアスファルトコンクリート 13 F (以後 FG 13 F) および密粒度アスファルトコンクリート 13 (以後 S 13) の 4 種類の中央値とした (Fig. 1)。実験に使用した材料は次のとおりである。バインダーは出光産公称針入度 80-100 ストレートアスファルト、粗骨材は漁川産碎石 (輝緑安山岩)、細骨材として粗砂は広島産、細砂は黄金産を使用した。フィラーは石灰石粉、石灰石粉+消石灰 (重量比 50% とした)、オリビンサンドおよび赤泥の 4 種類を用いた。使用材料の諸性状は Table 1, 2, 3 に表わした。4 種類の混合物と 4 種類のフィラーの組合せは Table 4 のとおりである。

III. 実 験 方 法

骨材とアスファルトの混合および締固めはアスファルトの動粘度 180±20 および 300±30 センチストークスの温度で行ない、その温度を Table 1 に示した。

- (1) マーシャル安定度試験 粗骨材は水洗い後 13~5、5~2.5 mm の各サイズに区分し、細骨材は 2.5~6 および 6 mm 以下に区分し、110℃で乾燥した。供試体の締固めは自動締固のランマーで片面 50 回計 100 回になった。混合は温度管理を充分に行なって、1 バッチ分ずつ手練りした。混合物は各フィラーごとに最適アスファルト量 O. A. C を求め、その結果アスファルト量は O. A. C、O. A. C-0.5%、O. A. C+0.5% の 3 種類とした (Table 4)。
- (2) ラベリング試験²⁾ フィラーの違いによる耐摩耗性の違いを知るために、アスモル用ラベリング試験機を用いて実験を行なった。アスモルの粒度曲線は Fig. 1 に示した。フィラーは石灰石

Table 2 骨材の物理性状

項目	6号碎石	7号碎石	粗 砂	細 砂
表乾比重	2.708	2.679	2.679	2.761
見掛比重	2.802	2.798	2.587	2.821
吸水量 (%)	1.97	2.60	1.67	1.38
使用比重	2.755	2.739	2.633	2.821

Table 3 フィラーの比重および比表面積

項目	比 重 (g/cm³)	比表面積 (cm²/g)	平均粒径 (μ)
石灰石粉	2.720	5300	4.1
消石灰	2.383	11800	2.1
オリビンサンド	3.190	2500	7.6
赤 泥	3.572	7200	2.3

透過式粒度比表面積測定装置を使用

Table 4 混合物配合表

混 合 物	フィラ ー	アスファルト (%)		
S 13 F	石灰石粉	4.3	4.8	5.3
	石粉+消石灰	5.8	6.3	6.8
	オリビンサンド	4.9	5.4	5.9
	赤 泥	5.7	6.2	6.7
FG 13 F	石灰石粉	4.8	5.3	6.0
G 13 F		3.9	4.4	4.9
S 13		6.2	6.7	7.2

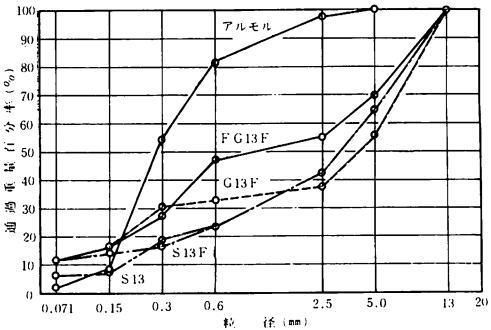


Fig. 1 骨材合成粒度

粉、石灰石粉+消石灰および赤泥の3種類、フィラー量は $F/A=1.35, 1.7, 2.2$ の3種類、アスファルト量は石灰石粉では11.0, 11.4, 12.4%, 赤泥では11.4, 12.4, 13.4%, 石灰石粉+消石灰では12.4, 13.4, 14.4%に決めた。供試体寸法は $40 \times 15 \times 5$ cm, アスモルの混合はミキサーにより行ない, その後手練りを行なって均一になるようにした。温度管理はマーシャル試験と同様である。モールドおよび加圧盤は予め 160°C に加熱しておき, 成型中の供試体表面温度が 120°C を下まわらないように管理した。締固めは万能試験機を用いた。

載荷速度は $5 \sim 7$ ton/min とし, 成型全荷重は20 ton で5分間維持した。ただし混合物が流動を起す場合は成型荷重をかえた。ラベリング試験は $-10 \pm 1^\circ\text{C}$ の部屋で, 24時間以上そこに静置した供試体を用いて行なった。車輪と供試体上面の間隔は40 mm, 試験時間は表, 裏面夫々90分, チェーンは供試体1個の表, 裏面をたいた後取替えた。チェーン寸法は長内径28 mm, 短内径6 mm, 太さ4 mmのもので, 材質はJISG 4051-1956のS, 35 Cのものである。

(3) 凍結融解試験 ASTM 290-61 T に準じ凍結温度 $-17.8 \pm 1.7^\circ\text{C}$, 行程2時間, 融解温度 $+4.4 \pm 1.7^\circ\text{C}$, 行程1時間の計3時間を1サイクルとして, 100, 200サイクルを行った。温度管理はアスモルのマーシャル供試体を5段重ねにして各層はアスファルトでシールして使用した。実

験は全て水浸状態で行なった。所定の凍結融解サイクル終了後, 透水試験を行ない, その後マーシャル試験を行ない残留安定度を求めた。

(4) 透水試験 変水位式と加圧式の2つの装置を試作した (Fig. 2)。両試験装置はマーシャル供試体があるまま使用でき, 特に変水位式透水装置は試験終了後その供試体でマーシャル試験を行なうことができる。水流ポンプで730 mmHgにしたデシケーターの蒸留水中に, 供試体を2時間静置した。その後供試体の側面にグリスを塗り, その上に両端開放の水のうをかぶせ変水位式透水試験用モールド (内径108 mm, 高さ68 mm) に入れ, モールド両端に供試体水のう両端を夫々かぶせる (Photo.)。モールドを下盤に置きフタをした後, 圧力管で測圧をかける。水頭圧は2 mとした。その後給水管により供試体上面を水で満たす。透水試験はJIS A 1218に従った。側圧による止水効果は 10^{-10} cm/sec 以下となり, 測定障害とはならない。透水係数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 cm), A : 透水断面面積 (cm^2), L : 供試体高さ (cm), t : 透水時間 (sec), h_1, h_2 : 初期の水頭, t 時間後の水頭 (cm)

加圧式透水試験装置は, 口紙を置いた多孔底盤上に供試体を置いて, そのまわりをブローンアス

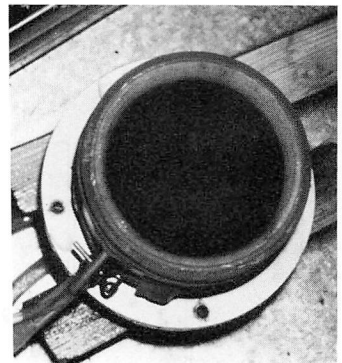
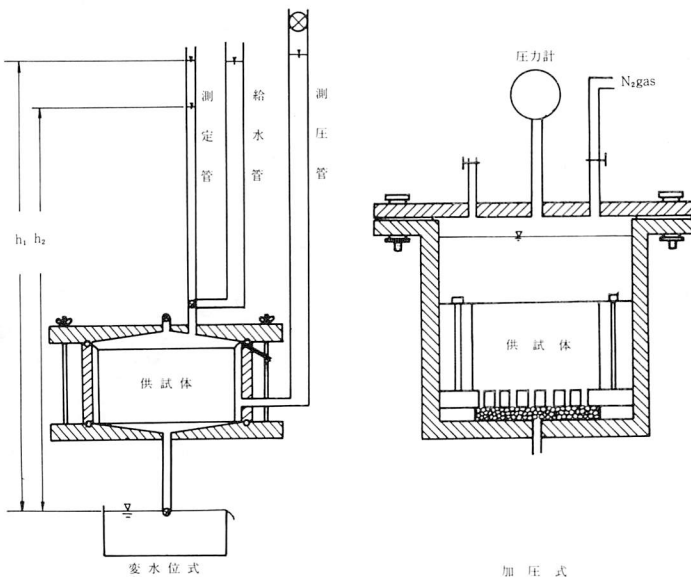


Photo.

Fig. 2 透水試験装置

ファルトで半分程充填し、残り半分をストレートアスファルトで充填した。混合物に大きな水圧をかけると混合物が圧縮されて正しい透水係数が測定されない²⁾、本研究では2気圧により透水係数を求めた。

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \text{ (cm/sec)}$$

ただし Q : 透水量 (cm³)、H : 水頭 (cm)

IV. 実験結果および考察

凍結融解の回数が増えると供試体の安定度は次第に低下し、透水性は増してくる。その度合は、フィラーの種類、バインダー量、供試体初期空ゲキ率及び混合物の種類により大きな差違がみられた。

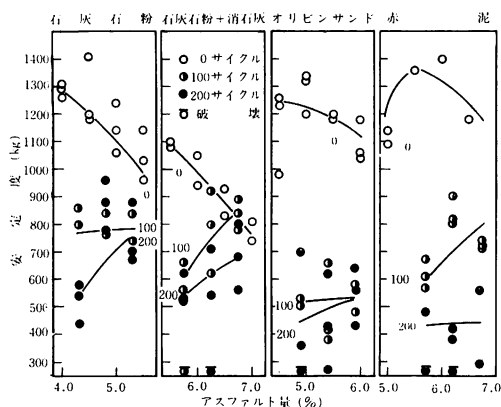


Fig. 3-1 アスファルト量と安定度の関係

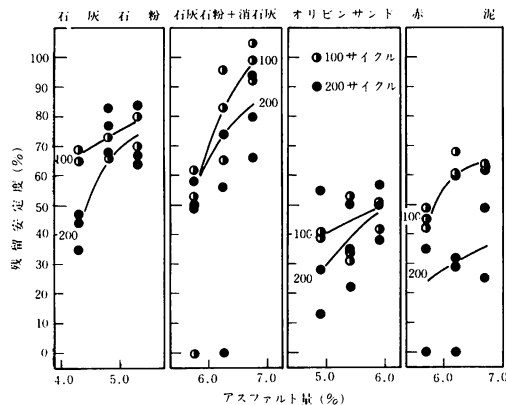


Fig. 3-2 アスファルト量と残留安定度の関係

IV. 1 フィラーについて

S 13 Fのフィラーに石灰石粉、石灰石粉+消石灰、オリビンサントおよび赤泥を用いた（以後混合物をS 13 F(石), S 13 F(+消), S 13 F(オ), S 13 F(赤)とよぶ）。この混合物の凍結融解後の安定度および残留安定度と空ゲキ率およびアスファルト量との関係をFig. 3-1, 3-2, 3-3, 3-4に示した。凍結融解前(0サイクル)の安定度(以後Soとよぶ)はS 13 F(石), S 13 F(オ)およびS 13 F(赤)の間にそれほど大きな差は見られないが、S 13 F(+消)のSoは他に比べると低い値であった。O. A. CはS 13 F(石), S 13 F(+消), S 13 F(オ)およびS 13 F(赤)の順に4.8%, 6.3%, 5.4%, 6.2%となり(Table 4), 消石灰および赤泥を用いるとアスファルトの使用量が増える。これは消石灰と赤泥の比表面積が他のフィラーに比べて大きいことと(Table 3), 赤泥のアスファルト吸収性が大であることから³⁾, 当然O. A. Cは他に比べて高めになるはずである。

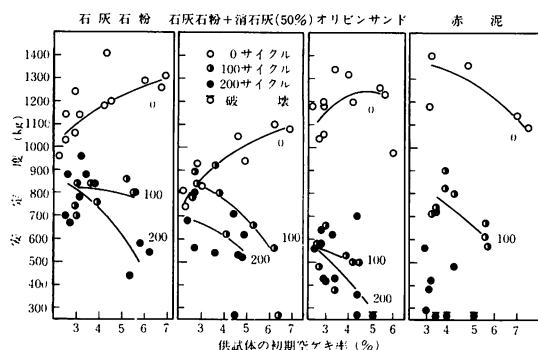


Fig. 3-3 供試体の初期空ゲキ率と安定度の関係

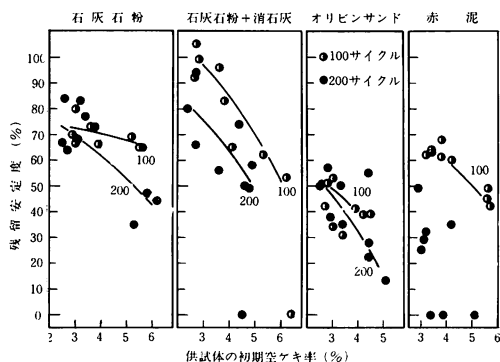


Fig. 3-4 供試体の初期空ゲキ率と残留安定度の関係

凍結融解のサイクル数が100, 200 (C_{100} , C_{200}) と増えるにつれて混合物の安定度は低下するが、特に S 13 F (オ) と S 13 F (赤) に著しい低下がみられ、 C_{200} 終了時にはひび割れや膨張をおこし、さらには破壊したものが目立った。これに反して、S 13 F (石) と S 13 F (+消) の安定度は200サイクル終了後も多くは要綱の規準値500 kg以上であった。残留安定度はS 13 F (+消) が最も高く、次いでS 13 F (石) となった。S 13 F (オ) のそれは供試体の空ゲキ率や凍結融解サイクルの多少にかかわらず低く50%を下まわったものが大半をしめた。S 13 F (赤) のそれも低く、 C_{100} から C_{200} への低下が著しい。S 13 F (+消) の残留安定度は高く、アスファルト量がO. A. Cより0.5%増(6.75%)では供試体の多くは80%以上の残留安定度を示した。このことより消石灰の添加により混合物の安定性の増大が期待できる。当然ではあるが、O. A. Cより多めのアスファルト量の方が、フィラーの種類に関係なく残留安定度は高めの値になる。

要綱では60°C 48時間水浸後の残留安定度を75%以上であることが望ましいとしている。今、凍結融解後の残留安定度の限度を70%として供試体の初期空ゲキ率の影響を調べる。S 13 F (オ) と S 13 (赤) は全ての空ゲキ率で70%以下であったが、S 13 F (石) と S 13 F (+消) の空ゲキ率5%以上では残留安定度70%以下、4%以下ならば70%あるいはそれ以上となった。

これらのことからフィラーの種類により凍結融解後の残留安定度に大きな差が生じ、石灰石粉あるいは消石灰を混入したフィラーを用いた混合物

が他のフィラーを用いた混合物に比べ良い結果がえられた。消石灰添加の効果は、残留安定度の面からは認められるが、Soが他に比べて低い値であるため、今後は消石灰の混入割合について実験をする必要がある。はく離防止が問題となっている九州では、その対策として消石灰を混入(30~40%)してはく離防止効果をあげており⁴⁾⁵⁾⁶⁾、凍結融解に対しても消石灰の効果は期待できるものと考えてよい。フィラーの量については後述する。

IV. 2 混合物の種類について

本研究に採用した混合物は、積雪地域に使用するもので、表層には一般にFG 13 Fを用い、摩耗の少ない道路ではS 13 Fを用いる。FG 13 Fは耐すべりと耐摩耗を完全に満足させるべく各方面で研究された混合物である⁷⁾。表層上にすべり止めの摩耗層を設けるときはG 13 Fを、摩耗層を設ける場合の表層は一般地域に用いるS 13を用いるとよいとしている。S 13は一般地域で表層に広く用いられており、S 13 Fと比べるとフィラー分は50%少ない混合物である。凍結融解後の強度は、この4種類の混合物によっても特徴的な違いが生じた (Fig.4-1, 4-2)。

一般に C_{100} から C_{200} へ回数が増えると残留安定度は低下する。その変化の度合はG 13 FとS 13に著しく、FG 13 FとS 13 Fのそれは小さい。G 13 Fは C_{100} で既に表面がはげ落ちたり、亀裂が入ったり、さらに幾つかは割れてしまい、 C_{200} では大部分の供試体は破壊した。S 13については C_{100} の残留安定度は高いが、 C_{200} では急激に低下した。本実験に用いた混合物のO. A. CにおけるF/AはG 13 F 3.0, S 13 F 2.7, FG 13 F

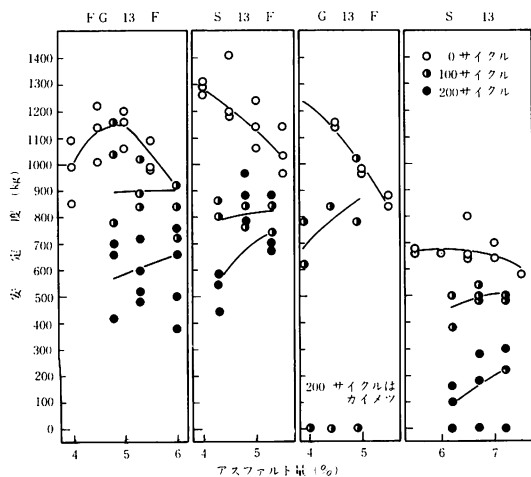


Fig. 4-1 アスファルト量と安定度の関係

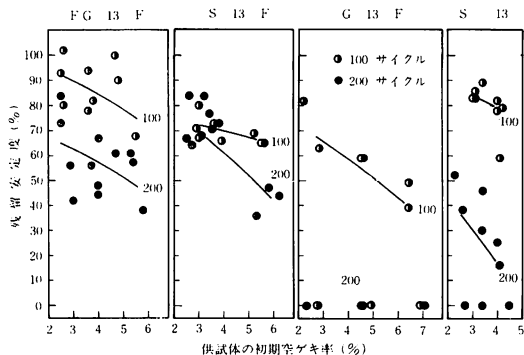


Fig. 4-2 供試体の初期空ゲキ率と残留安定度の関係

2.5そしてS 13は1.0で他に比べて非常に小さい。F/Aの増加は感温性を小さくし、力学性状に好しい効果を与えるが、増加しすぎると強度、ワーカビリティの低下をきたす⁸⁾⁹⁾。G 13 FのF/Aは大きく、S 13のF/Aは小さすぎるため残留安定度が低下したとも考えられるが、F/Aと凍結融解後の強度との関係については今後さらに研究を積重ねる必要がある。ギャップ型FG 13 Fと連続型S 13 FについてはC₁₀₀、C₂₀₀の安定度は規準値500 kgを満足しているが、残留安定度はS 13 Fの空ゲキ率4%以下を除いて70%以下となった。FG 13 FはS 13 Fに比べるとC₁₀₀からC₂₀₀への残留安定度の低下の割合は大きい。ギャップ型は連続型に比べると、骨材間のかみ合せが少なく、内部摩擦抵抗も小さいので、ある程度締固まると骨材間ゲキのアスモル部分の締固めは阻害されるので¹⁰⁾、連続型より残留安定度は低くなるようである。一般に空ゲキが多くなるにつれて破壊の程度は進行し、S 13 Fでも5%を越えると、供試体表面に凹凸や亀裂が認められた。同一空ゲキ率の連続型およびギャップ型混合物の破壊程度は、安定度、破壊形状、後述の透水性の面から連続型の方が安定しているようであり、このことから空ゲキの量ばかりでなく、空ゲキの質即ち骨材の配合についても今後さらに検討を加えていかなければならない。空ゲキの量および質と密接な関係をもっていると考えられる細骨材の占める割合を、各混合物の2.5 mm篩通過重量で求めた結果、FG 13 F 55%、S 13 F 45%、G 13 F 38%、S 13 35%である。この通過量の少ない混合物ほど残留安定度が低下することから、2者の間に密接な関係が存在することが予想される。

以上、凍結融解後の残留安定度(安定度)からのみ判断すると、4種類の混合物のうちS 13 FとFG 13 Fが同等に望ましく、S 13とG 13 Fの使用には十分な検討を加える必要があると考える。またFG 13 F、S 13 Fでも5%以上の空ゲキ率を有すると破壊への危険性が生ずるので、転圧を充分に行なって空ゲキが小さくなるように管理しなければならない。

IV. 3 凍結融解後の混合物の透水性について

土質試験法によれば、変水位法による測定限度は 10^{-6} オーダーである。そこで加圧式と変水位式の試験方法の異なる装置で透水係数(k)を求め、変水法により混合物の透水係数が測定できるか否かについて検討した。使用した混合物は石灰石粉を用いたG 13 F O. A. C 4.4%と4.9%である。その結果、加圧式で 6.9×10^{-8} 、 8.1×10^{-8} cm/sec、変水位式で 4.0×10^{-8} 、 4.2×10^{-8} cm/secとなり、試験方法による差異はみられなかった。加圧式装置は試験準備に多大の時間を要し、それに反し変水位式は比較的簡単にkが測定できることから前者に比べ有利な試験装置である。従ってkの測定は変水位式装置で行ない、その結果をFig. 5-1、5-2に示した。縦軸にkを対数目盛でとり、横軸に空ゲキを普通目盛でとった。

Oサイクルのk(k₀)は 10^{-7} 、 10^{-8} オーダーとなった。金崎等の研究によると¹¹⁾、サンドアスファルト(アスファルト量10%、締固め回数片面50回)のkが 10^{-7} 、 10^{-6} オーダー、アスコン(アスファルト量4%、締固め回数両面50回)のkは 10^{-3} オーダー、北村等の研究¹²⁾によると、密粒度アスコンとホットロードのkは 10^{-8} 、 10^{-7} オーダーであった。充分に管理された供試体のkは 10^{-7} 、

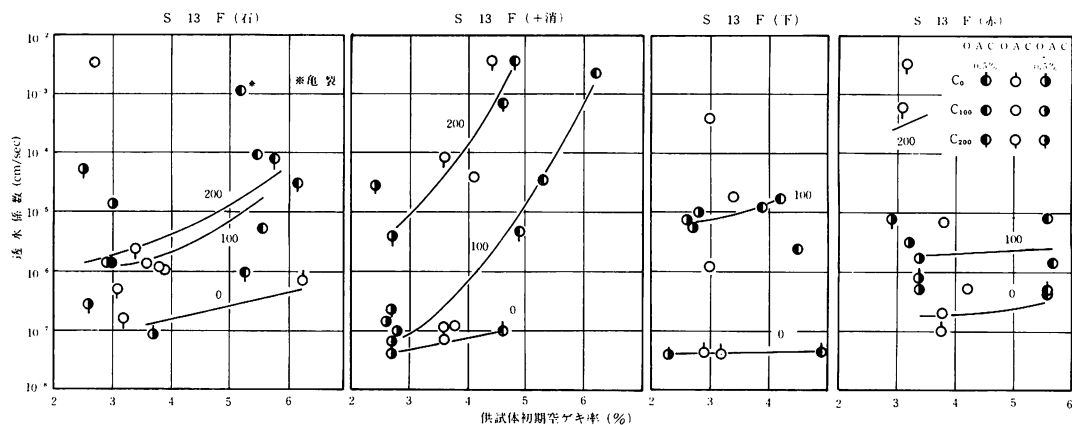


Fig. 5-1 初期空ゲキ率と凍結融解後のkの関係

(混合物: S 13 F, フィラー: 石灰石粉, 石灰石粉+消石灰(50%), オリビンサンド, 赤泥)

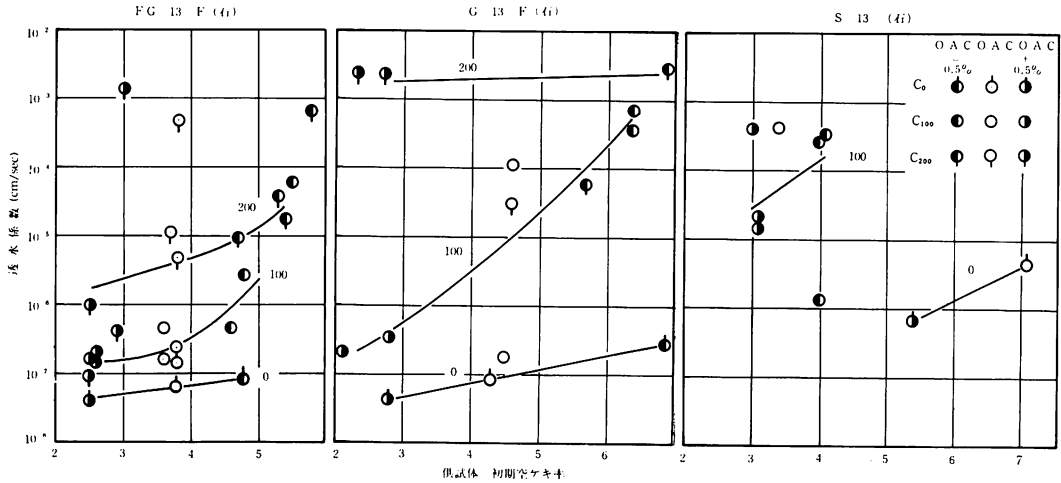


Fig. 5-2 初期空ゲキ率と凍結融解後のkの関係

(混合物：FG13 F, G 13 F, S 13, フィラー：石灰石粉)

10^{-8} オーダーと考えてよいであろう。本実験結果では空ゲキ率が大きいと、その分透水性が増した。

凍結融解後の供試体のkは多少のバラツキを生じたが以下のようなことがいえる。4種類のフィラーを使用した混合物S 13 Fのkの変化は夫々特徴的である (Fig. 5-1)。混合物のアスファルト量はO. A. Cおよび $\pm 0.5\%$ である。その影響が顕著であったのがS 13 F (+消)であった。空ゲキ率が4%以下であれば C_{200} でもkは 10^{-5} オーダーであるが、5%を越えるとkは大きくなる。一方S 13 F (オ)とS 13 F (赤)のkの C_{100} より C_{200} への低下は著しい。ともに C_{100} で 10^{-6} オーダーであった混合物は C_{200} になるにつれて急激に破壊が進んだことがわかる。S 13 F (石)のkはサイクル数による変化は小さかった。4種類の混合物と透水係数との関係で特に著しいkの低下をみたのは一般地域用のS 13であった (Fig. 5-2)。S 13のフィラー量だけを倍にした混合物がS 13 Fである。この2つの混合物を比較すると、フィラーの量が混合物の耐久性に重要な役割をはたしていることが知れる。ギャップタイプのkの変化も大きかった。FG 13 Fは空ゲキ率が5%以下ならば、おおよそ 10^{-6} オーダー以下となった。

以上の結果をまとめると、バインダー量、混合物の種類によって異なるが、供試体作製時の空ゲキは、供試体内部に互いに独立して存在している。このことは k_0 が 10^{-7} 、 10^{-8} オーダーという極めて小さい値であることから証明できる。その供試体が凍結融解作用をうけて、次第に気泡どうしが連続

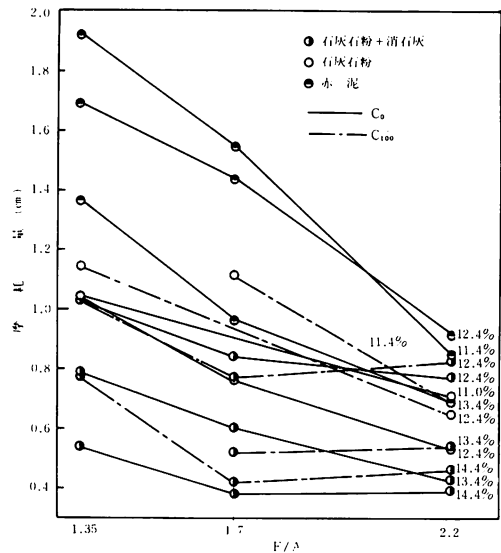


Fig. 6 アスモルのF/Aと摩耗量の関係

し続ける。即ち供試体内部の構造が破壊され、空ゲキが増大するため透水しやすくなるといえる。このことは混合物の種類、初期空ゲキ率のちがい (アスファルトの多少) およびフィラーの種類によっても異なる。特に空ゲキ率については、その量もさることながらその質についても注意しなければならない。以上のことより、透水性の変化を測定することにより、混合物内部に存在する空ゲキの質や、骨材とバインダーの結合力を総合的に判断できるものと考ええる。

IV. 4 アスモルのラベリングについて

積雪寒冷地の舗装は冬期間タイヤチェーン、スパイクにより絶えずラベリング作用をうける。アスモル供試体を用いたラベリング試験より、フィラーの種類とアスモルの耐摩耗性との関係をFig. 6に示した。F/Aの全域にわたり赤泥を用いたアスモルの摩耗量は大きく、消石灰を添加したものの摩耗量は小さい値であった。これよりフィラーの種類が耐ラベリングに影響を及ぼし、消石灰を混入することにより耐ラベリングの効果があらわれた。消石灰の混入にあつて、その量が増大すると施工に困難を感じる。経済性も考えて、今後消石灰の混入割合について検討する必要がある。

V. ま と め

今後数多くの実験データの積重ねが必要であるが、本研究の結果次のことがいえる。

(1)凍結融解後の残留安定度および透水性はフィラーの種類および量によって異なり、石灰石粉およびこれに消石灰を加えたフィラーはよい結果をえた。

(2)また混合物の種類によって異なり、積雪地域用密粒度ギャップアスコン(13 F)および密粒度アスコン(13 F)は他の混合物に比べて破壊の程度は小さかった。

(3)供試体作製時の空ゲキ率の影響は非常に大きく、フィラー、混合物の種類にかかわらず5%以上になると凍結融解後の強度は安定性に欠ける

(4)フィラーの種類によってアスモルの摩耗量は異なり、消石灰を混入すると摩耗量は低下した。

(5)消石灰の混入は残留安定度、耐摩耗性の向上を期待できる。

本研究はマーシャル試験、透水試験、ラベリング試験からのみ論じたもので、積雪寒冷地用混合物の検討には他のシュミレート試験や力学試験等を行なっていかなければならない。さらに本実験では行なわなかった粒度の混合物やギャップ型粒度の研究さらにフィラーの種類および量の研究も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、フィラーの比表面積測定に便宜をはかっていただいた本校化学

工学科本間清士氏、骨材およびフィラーの提供をいただいた恵庭玉川組および日軽金苫小牧製造所の各位、実験には斉藤勇技官、土木5期生天川幸男、井波薫、大西章人、金見俊明、木村政幸、高橋良一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。

なお、本研究に要した経費の一部は昭和50、52年度北海道科学研究補助金によつたことを附記する。

参 考 文 献

- 1) 舗装委員会：舗装に関する技術基準の取扱いについて、道路8、p65~76 (1975)
- 2) 松野他3名：アスファルト舗装に関する試験、建設図書 (1972)
- 3) 吉田隆輝：赤泥骨材を用いたアスファルト混合物に関する基礎的な実験、苫小牧高専紀要NO. 12, p 67~73 (1977)
- 4) 秋吉・谷本：アスファルト混合物のはく離とその防止対策一主として鹿児島、宮崎両試験舗装の観測結果一、土木技術資料13-3、p 18~24 (1971)
- 5) 南雲・秋吉・谷本・高木：アスファルト混合物のはく離とその防止対策(その2)、土木技術資料15-10、p 16~21 (1973)
- 6) 南雲・谷本：アスファルト混合物のはく離実態と対策、舗装9-6、p. 3~9 (1974)
- 7) 土屋・伊藤：積雪寒冷地用の細粒度ギャップアスコン、道路建設53-10、p 50~57 (1978)
- 8) 間山・森吉：石粉入りアスファルトの性状、道路建設2、p. 62~67 (1971)
- 9) 金野諒二：ゴムアスファルト舗装の特性、舗装7-2、p 20~26 (1972)
- 10) 北村幸治：マーシャル試験法の考察ならびにその運用に関する試案、道路建設53-3、p52~59 (1978)
- 11) 金崎・岡田・堀尾・大塚：アスファルト合材の透水試験に関する基礎研究、道路建設No. 180、p 63~71 (1963)
- 12) 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

(昭和53年12月1日受理)