

ISSN 1346-7301

国総研研究報告 第7号

平成15年3月

国土技術政策総合研究所 研究報告

RESEARCH REPORT of National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 7

March 2003

再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性
－室内試験による検討－

八谷好高・坪川将丈・松崎和博・高橋 修

Application of Recycled Asphalt Concretes in Airport Pavement Surface Courses
-Investigation with Laboratory Tests-

Yoshitaka HACHIYA, Yukitomo TSUBOKAWA, Kazuhiro MATSUZAKI
and Osamu TAKAHASHI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性 —室内試験による検討—

八谷好高*・坪川将丈**・松崎和博**・高橋 修***

要 旨

資源の有効利用や地球環境保全の観点から、建設副産物のリサイクルが促進されてきており、空港舗装関連の建設事業に関しても積極的な取組みが図られているところである。空港舗装に関わる現行規定においては、表層以外の箇所であれば再生率（骨材中に占める再生骨材の割合）40%を上限として使用可能であるとされている。ところが、今後の空港整備事業においては、施設の新設よりも維持、補強・補修といった工事が多くなると考えられることから、再生アスファルトコンクリートを表層へ適用しなければならない事態となることが予想される。また、既存のアスファルト舗装の解体により発生する再生骨材量の増大に対処するとともに、省資源方策の一層の進展を図るためにも、再生率を現行規定以上に高める方策についても検討しなければならない。

本研究では、表層が自然環境の作用を受けること、また、車輪を介して航空機荷重を直接受けることを考慮に入れて、再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性について室内試験により検討した。この場合の再生率としては、現行規定である40%、空港舗装路盤に使用された実績のある70%、そして将来をみすえた100%の3種類とした。本研究により以下の点が明らかになった。

- (1) 再生率40%の再生アスファルトコンクリートについては、自然環境に暴露することにより性状変化とグルーピングの耐荷性能を中心に検討した。その結果、製造直後には新規材料と違いのみられた再生材料の特性は自然環境下に4、5年暴露することにより新規材料とほぼ同等になること、再生材料のグルーピングの耐荷性能は新規材料とほとんど変わらないことがわかった。
- (2) 再生率70%の再生アスファルトコンクリートについては、促進老化作用を与えることによる性状変化について調べた。その結果、曲げ強度、破断ひずみといった力学特性、骨材剥離抵抗性、回収したアスファルトの性状のいずれも老化に伴う変化は、再生率の高いものほど少ないことがわかった。
- (3) 再生率100%については、70%のものと同様に促進老化による性状変化を調べたところ、70%のものと同様であることがわかった。
- (4) (1)～(3)より、再生アスファルトコンクリートは空港舗装表層への適用性はあると考えられるが、供用中の空港における試験施工ならびに観測を経た上で最終的に判断する必要がある。

キーワード：再生アスファルトコンクリート、空港、表層、室内試験、再生率、老化

* 空港研究部空港施設研究室長
** 空港研究部空港施設研究室
*** 長岡技術科学大学 環境・建設系 助教授
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：0468-44-5034, Fax：0468-44-4471, E-mail：hachiya-y92y2@ysk.nilim.go.jp

Application of Recycled Asphalt Concretes in Airport Pavement Surface Courses — Investigation with Laboratory Tests —

Yoshitaka HACHIYA*
Yukitomo TSUBOKAWA**
Kazuhiro MATSUZAKI**
Osamu TAKAHASHI***

Synopsis

There is a strong need to re-utilize the materials composing demolished airport pavements in the reconstruction of pavements. In the current specifications, recycled asphalt concrete can be used as airport pavements except surface course when its recycling rate, defined as proportion of recycled aggregates in the whole aggregates, is 40% or less. However, the recycled asphalt concretes should be utilized in the surface course, because, in future, maintenance and rehabilitation works will be increased. In addition, the recycling rate might be raised to deal with a increase of demolished aggregates.

In this research, the applicability of recycled asphalt concretes to airport pavement surface courses is investigated in consideration of that the asphalt concretes of surface course are not only aged in the natural environmental condition but subjected to heavy aircraft loads. The results are as follow:

As for asphalt concretes with the maximum recycling rate of 40%, changes of properties due to the natural environmental actions and the durability of grooving against aircraft load are studied. As a result, the difference in properties between recycled and new materials became negligible in 4 to 5 years, and the durability of grooving is similar in those materials.

As for those with the maximum recycling of 70%, the changes of properties due to accelerated aging actions are examined. As a result, they become less as the recycling rate increases, regarding both flexural properties and anti-stripping properties of asphalt concretes, and properties of asphalt.

The property changes of recycled asphalt concretes with recycling rate of 100% is almost same as those with 70%.

Though the recycled asphalt concretes could be applied to airport pavement surface courses from the above, that must be verified though field studies at airports in service.

Key Words : recycled asphalt concrete, airport, surface course, laboratory test, recycling rate, aging

* Head, Airport Facilities Division, Airport Research Department

** Researcher, Airport Facilities Division, Airport Research Department

*** Nagaoka University of Technology

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 3-1-1, Nagase, Yokosuka 239-0826, Japan
Phone: +81 468 44 5034, Fax: +81 468 44 4471, E-mail: hachiya-y92y2@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 試験の計画と方法	1
2.1 試験計画	1
2.2 試験方法	2
3. アスファルトコンクリートの配合設計	3
3.1 基本方針	3
3.2 使用材料	3
3.3 再生添加剤の添加量	7
3.4 配合設計	8
4. 再生材料の表層への適用性	8
4.1 再生材料の老化性状	8
4.2 グルーピングの安定性	10
4.3 まとめ	11
5. 再生率増加の可能性	12
5.1 力学特性	12
5.2 骨材剥離抵抗性	20
5.3 回収アスファルトの特性	20
5.4 まとめ	21
6. 完全再生化の試み	21
6.1 アスファルトコンクリートの性状	21
6.2 回収アスファルトの性状	24
6.3 まとめ	25
7. 結論	25
8. おわりに	26
参考文献	26

1. はじめに

資源の有効利用や地球環境保全の観点から、建設副産物のリサイクルが促進されてきており、空港舗装関連の建設事業に関しても積極的な取組みが図られているところである。舗装の解体工事等に伴って発生する材料（舗装発生材）の再利用については、道路分野で1970年代から本格的な技術開発が進められてきており、再利用技術の標準化が図られている¹⁾。空港舗装においても、室内試験²⁾や現地試験³⁾等を行って、再生材料が使用可能となるよう各種規準を改訂しているところである^{4), 5)}。

空港基本施設の打換えや切削オーバーレイといった補修工事においては、既存のアスファルトコンクリートが不要材料として発生する。このような材料の最も有効な利用法は、いうまでもなく、アスファルトコンクリートとして再利用するものである（再生アスファルトコンクリート）。これについては、空港舗装構造設計要領ならびに空港土木工事共通仕様書といった現行規定において、表層以外の箇所であれば再生率（骨材中に占める再生骨材の割合）40%を上限として使用可能であるとされている。

筆者らは、上記の室内試験の結果から、再生アスファルトコンクリートは、通常用いられる新規材料に比較すると老化しており、施工後自然環境下で老化がさらに進行する恐れがあるとして、表層への適用は難しいとした²⁾。一方、今後の空港整備事業においては、施設の新設よりも維持、補強・補修といった工事が多くなると考えられることから、再生アスファルトコンクリートを表層へ適用しなければならない事態となることが予想される。道路舗装においても、再生アスファルトコンクリートを荷重条件の厳しい箇所の表層へ適用する事例は多いとはいえないのが現状である⁶⁾。そこで、再生率として基層以下で採用されているものと同じ40%を有する再生アスファルトコンクリートの表層への適用性について検討することとした。

既存のアスファルト舗装の解体により発生する再生骨材量の増大に対処するとともに、省資源方策の一層の進展を図るためにも、再生率を40%以上に上げた再生アスファルトコンクリートについても考えなければならない。この場合も、上記の理由から、表層への適用性について検討する必要がある。ここでは、近年空港舗装の路盤として使用されたことのある再生率を70%とした材料をまず取り上げる。そして、再生率を100%まで上げた場合についても対象を広げることとする。

再生アスファルトコンクリートを表層に用いる場合に検証しなければならない事項としては、次の二つが

あると考えられる。一つは自然環境の作用を受けて材料の老化が進行することにより、アスファルトのみならずアスファルトコンクリートの特性が変化する点である。もう一つは、滑走路においてはグルーピングを設けなければならないこともあって、その航空機荷重の繰返し走行に対する安定性や骨材剥離抵抗性である。

本研究は以上の点に関して室内試験により検討したものである。以下では、まず、試験の計画と方法について詳述したあと、試験結果をまとめ、その考察をしている。具体的には、2.で試験の計画と方法を記述してから、3.で再生率40%、4.で再生率70%、5.で再生率100%の再生アスファルトコンクリートの空港アスファルト舗装表層への適用性についてまとめている。そして、6.で本研究を総括したあと、7.で今後の研究方針に言及している。

2. 試験の計画と方法

再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性について明らかにするために、三つのシリーズの試験を行った。

一つ目は、表層材料としての性能評価であり、老化に伴う性状の変化とグルーピングの荷重に対する安定性について検討した。二つ目は、再生率を増加することの可能性についてであり、空港舗装の路盤として実績のある再生率70%のものについて検討した。三つ目は将来を見すえたものとして、再生率100%すなわち骨材として再生骨材のみを使用したものの表層への適用性について検討した。これら三つのシリーズの試験について詳述する。

2.1 試験計画

(1) 表層としての性能評価

基層としての使用が認められている再生率40%の再生アスファルトコンクリートの表層への適用性について検討する。試験の対象としたのは、再生率40%の再生アスファルトコンクリートと比較用の新規材料である。いずれも表層を対象としたものである。

アスファルトコンクリートが自然環境下において老化して、硬く、もろくなることはよく知られている。また、その老化程度が年月の経過とともに進行していくことも明らかになっている⁷⁾。これは新規材料を対象とした検討であるため、今回の対象とした、再生アスファルトコンクリートの場合についても新たに検討した。ここでは、自然環境下で老化した試料を用いて、曲げ試験による曲げ強度、破断ひずみならびにスティ

フネスといった力学特性に注目した。また、回収したアスファルトについても各種試験を実施して性状の変化を調べた。

再生アスファルトコンクリートを滑走路の表層へ適用する場合には、滑走路には原則としてグルーピングを設けることになっていることから、航空機荷重に対するグルーピングの安定性について検証する必要がある。ここでは、グルーピングの変形、すなわち、つぶれについてはホイールトラッキング試験により、角欠けについてはラベリング試験により検討することとした。

(2) 再生率の増加可能性

再生アスファルトコンクリートとして再生率70%のものが東京国際空港における舗装路盤に使用された実績があることから、ここではその表層への適用性について検討した。この場合も、(1)と同様に、老化に伴う性状変化に注目した。

再生アスファルトコンクリートに老化作用を与える方法として、ここでは、試験期間を短縮するとの観点から、高温下で直接酸素を接触させるという室内老化促進方法⁹⁾を用いることを標準とした。このほか、同一材料を自然環境下に所定の期間放置するという方法も用いた。老化に伴う性状の変化については、a)と同じ項目のほか、ラベリング試験ならびにカンタプロ試験による骨材剥離抵抗性について注目した。

(3) 完全再生化の試み

既設舗装の解体に伴って撤去されるアスファルトコンクリートの量が多いと、再生率を上げざるを得ないことになる。そこで、再生率を100%まで上げたものについて表層への適用性を検討した。

この場合も、再生アスファルトコンクリートにはb)と同様に促進老化作用を与えた。性状変化を明らかにするための試験としては、老化促進期間を変えた状態で曲げ試験を実施した。これとともに、促進老化作用を与えた再生アスファルトコンクリートからアスファルトを回収してその性状変化を調べた。

2.2 試験方法

上記の計画に従って実施した試験についてその方法を詳述するとともに、老化作用の与え方について記述する。

(1) 曲げ試験

曲げ試験は、舗装試験法便覧⁹⁾に準拠した方法で実施した。ただし、供試体の形状寸法と試験温度、荷重速度は異なっている。供試体は、ローラコンパクトで締め固めて作製した、幅・長さ300mm、厚さ50mmの試料から幅50mm、長さ300mm、厚さ50mmのものを

5本切り出した。アスファルトコンクリートに老化作用を与える場合は、供試体を切り出す前の試料に対して実施した。曲げ試験は、支間を200mmとした2点支持・1点中央荷方式で、荷重速度ならびに温度一定の条件で実施した。

試験は原則として二種類行った。一つは荷重速度を10mm/min、試験温度を-10~30℃として試験温度の違いによる影響をみるもの、もう一つは試験温度を20℃として、荷重速度を0.1~10mm/minと変えて荷重速度の影響をみるものである。ここで用いた20℃という温度はアスファルト舗装の構造設計や評価においてアスファルトコンクリート層の標準温度とされることの多いものである。試験結果は、曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスを算出し、これらを力学特性値として整理した。

(2) ラベリング試験

ラベリング試験は、試験温度を20℃とした以外は、舗装試験法便覧に記されている往復チェーン型(クロスチェーン使用)による方法に準拠して行った。供試体の寸法は幅150mm、長さ400mm、厚さ50mmとしたが、自然環境下に放置した供試体の場合には、長さが300mmしかないので、その前後50mmの部分に補足材(密粒度アスファルトコンクリート)を入れて長さを調整した。試験結果はすり減り量として整理した。

(3) カンタプロ試験

カンタプロ試験は、舗装試験法便覧別冊¹⁰⁾に記載されている方法に準拠した。供試体として直径101.6mm、高さ63.5mmのものを用い、試験温度は20℃とした。結果は試験前後の質量の違いに注目して、損失率として整理した。

(4) グルーピング安定性試験

グルーピングを設けた供試体を用いてホイールトラッキング試験ならびにラベリング試験を実施した。供試体寸法は、それぞれ300×300×50mm、150×400×50mm(幅×長さ×厚さ)とした。いずれもローラコンパクトによる転圧後、グルーピングとして幅6mm、深さ6mmの溝を32mm間隔で7本、供試体中央部分に転圧方向と直角に設けた。

ホイールトラッキング試験は舗装試験法便覧の方法に準拠し、試験開始後所定の走行回数(100, 300, 1,000, 2,000, 5,000回)時にグルーピング溝部の形状を計測した。

ホイールトラッキング試験におけるグルーピングの溝形状消失(つぶれ)程度を表す消失度 l は次式により定量化した。

$$l = \frac{a-d}{a} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここに、

- a : 試験前における溝形状の容積、
- d : 試験後における溝形状の容積、

ラベリング試験は往復チェーン型で行い、温度は 0°C に保持した。そして、試験開始後所定の走行時間(30秒, 90秒, 5分, 10分, 25分)にグルーピング溝部の形状を計測した。

ラベリング試験の結果として、グルーピングの角欠け抵抗性を定量化するために、以下に示す溝形状の変化率 c を定義した。

$$c = \frac{d}{a} \times 100 \quad (\%)$$

(2)

ここに、

- a : 試験前における溝形状の容積、
- d : 試験後における溝形状の容積、

(5) アスファルト性状試験

アスファルトコンクリートからアブソン法により回収したアスファルトについて、その性状を調べた。具体的には、針入度試験、軟化点試験ならびに伸度試験(いずれも JIS K 2207 準拠)を行ったほか、赤外線分析試験も実施した。この赤外線分析試験ではアスファルトの赤外線吸収スペクトルを測定し、アスファルトの酸化程度を表す指標とされる波数 1700cm^{-1} における透過率に注目した。

(6) 老化促進方法

アスファルトコンクリートの老化を促進させる方法として、高温化で酸化させるもの⁹⁾を採用した。具体的な方法は次のとおりである(図-1)。

- ① 60°C に調整した恒温槽(真空乾燥炉)内に、供試体(曲げ試験の場合は供試体切り出し前の試料)を入れる。
- ② 真空ポンプにより恒温槽内の空気を排出する。
- ③ 恒温槽内に酸素を送り込んで充満させる。
- ④ 24時間放置する。

上記①~④を1サイクルとして、これを所定のサイクル数繰り返す。

グルーピングの安定性の検討時には、④で24時間の代わりに6時間放置するものを1サイクルとした。

(7) 自然環境下老化方法

幅300mm、長さ300mm、厚さ50mmの試料を所定の期間、旧運輸省港湾技術研究所(横須賀市)内の実験室屋上に放置することにより、自然環境下における老化作用を与えた。

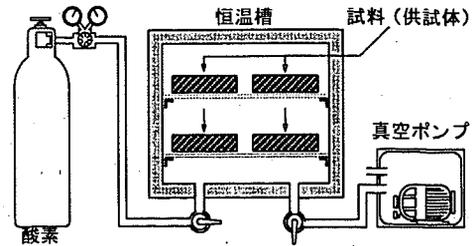


図-1 老化促進試験装置

3. アスファルトコンクリートの配合設計

3.1 基本方針

本研究では、再生アスファルトコンクリートを空港舗装の表層として用いることを考えたので、その配合については空港土木工事共通仕様書(以下共通仕様書)を満足するように設計した。具体的には、骨材の粒度は基本施設の表層タイプI、骨材最大粒径13mmとし、マーシャル安定度試験に対する基準値は大型航空機を設計荷重とする基本施設①表層のものを適用した。なお、再生アスファルトコンクリートにおける再生骨材の品質基準と再生用添加剤の添加量決定方法は、プラント再生舗装技術指針¹⁾のものに準拠した。

本研究では、上記のように、空港舗装の基層・路盤に用いられている再生アスファルトコンクリートを主体的に考えて、その老化に伴う性状変化、骨材剥離抵抗性、グルーピングの安定性といった点について明らかにすることにより、それらの表層への適用性について検討している。そのほか、再生率を100%まで増加した再生アスファルトコンクリートの実用性についても検証している。試験が長期間に渡ったことに加え、材料の配合方法も一部異なっていることから、以下では、再生率40%で老化性状、グルーピングの安定性について検討する場合を、それぞれ、その1、その2として、また、再生率70%、100%のものについて検討する場合を、それぞれ、その3、その4として記述している。

3.2 使用材料

(1) 再生骨材

使用した再生骨材は、その1については市中の再生アスファルトコンクリートプラントから入手したものであり、その2~4については東京国際空港の旧ターミナル地区における舗装の撤去に伴って発生したものである。いずれもプラント再生舗装技術指針ならびに共通仕様書の規定を満足している。なお、その2~4で用いた再生骨材自体は、いうまでもなく、少なくとも新

規に混合された当時は共通仕様書に規定されている空港舗装用アスファルトコンクリートの品質を満たしていたことになる。

本研究では、再生アスファルトコンクリートの骨材最大粒径を13mmと設定したため、このアスファルト発生材の最大粒径も13mmとして粒度調整を行った。いずれも粗骨材と細骨材で分級してある。調整した再生骨材の品質と粒度を表-1にまとめた。

(2) 新規骨材

新規骨材としては、6号砕石、7号砕石、スクリーニングス、粗砂、細砂ならびに石粉を使用した。これら骨材についてはふるい分け試験、比重試験ならびに吸水率試験を実施した。いずれも、表-2に示すように、共通仕様書等の規定を満足している。

(3) 骨材配合

一連の試験では、再生アスファルトコンクリートの骨材中に占める再生骨材の割合（再生率）として、40%、70%ならびに100%を用いている。上記のように、このうち40%については空港舗装構造設計要領で規定している再生率の上限値であり、70%は東京国際空港において使用された値である。

再生率0%、すなわち新規材料も含めて、骨材の配合比を表-3にまとめた。また、それぞれの合成粒度を

図-2に示した。これらの骨材粒度は、いずれも空港土木工事共通仕様書に規定されている基本施設の表層タイプI、骨材の最大粒径13mmの粒度範囲に基づき、その中央値を目標粒度として決定した。

(4) アスファルト

再生骨材からソックスレー抽出法により回収したアスファルト（旧アスファルト）の品質については表-4に示してある。針入度については、いずれもプラント再生技術指針に記されている規格を満足している。また、アスファルト量についても、表-3に示したように、いずれもその規格を満足している。

新規アスファルトは舗装用石油アスファルト60/80を使用した。その品質もJIS K 2207を満足したものとなっている。

(5) 再生用添加材

旧アスファルトの性状を回復させるために用いる再生用添加剤としては数多くの製品が市販されているが、ここでは、施工実績が多く、一般的と考えられるものを選定した。その品質については、表-5に示すように、プラント再生舗装技術指針に記されている標準的な品質規定をほぼ満足している。

表-1 再生骨材の品質と粒度

a) その1

項目	13~5mm	5~0mm
アスファルト量 (%)	5.50	
	(mm)	
通過	100	—
質量	99.0	100
百分率	40.2	97.0
	2.36	70.5
	0.60	18.1
	0.30	13.3
(%)	0.15	7.4
	0.75	5.1
最大比重	2.531	2.430

c) その3

項目	測定値	
アスファルト量 (%)	5.15	
	(mm)	
通過	13.2	100
質量	4.75	52.3
百分率	2.36	36.9
	0.6	24.5
	0.3	17.8
(%)	0.15	9.7
	0.075	6.6
最大比重	2.508	

b) その2

項目	13~5mm	5~0mm
アスファルト量 (%)	2.65	6.27
	(mm)	
通過	100	—
質量	98.8	100
百分率	32.0	99.0
	2.36	78.6
	0.60	13.0
	0.30	9.8
(%)	0.15	5.1
	0.75	3.6
最大比重	2.609	2.474

d) その4

項目	13~5mm	5~0mm
アスファルト量 (%)	2.52	6.58
	(mm)	
通過	100	—
質量	99.1	100
百分率	23.3	96.9
	15.5	69.4
	10.4	39.2
	7.9	28.2
(%)	4.0	13.9
	2.7	8.7
最大比重	2.609	2.474

表-2 新規骨材の品質と粒度

a) その1

項目		6号碎石	7号碎石	SC*	粗砂	細砂	石粉
比重	表乾	2.687	2.683	2.709	2.692	2.714	2.700
	かさ	2.649	2.640	2.610	2.595	2.615	
	見掛	2.625	2.615	2.551	2.537	2.558	
吸水率 (%)		0.88	0.98	2.30	2.27	2.25	
通過質量百分率 (%)	(mm)						
	19	100					
	13.2	93.3	100				
	4.75	9.9	90.6	100	100	100	
	2.36	1.3	17.1	89.6	83.7	99.3	
	0.6		0.9	43.4	44.1	95.9	
	0.3			29.9	21.2	32.1	100
	0.15			20.1	6.1	2.2	97.2
0.075			11.9	1.7	0.6	79.9	

*SC：スクリーニングス

b) その2

項目		6号碎石	7号碎石	SC	粗砂	細砂	石粉
比重	表乾	2.649	2.633	2.609	2.591	2.553	2.690
	かさ	2.630	2.604	2.574	2.531	2.492	
	見掛	2.679	2.682	2.666	2.693	2.654	
吸水率 (%)		0.7	1.1	1.3	2.4	2.4	0.05
通過質量百分率 (%)	(mm)						
	37.5						
	31.5						
	26.5						
	19	100					
	13.2	94.0	100				
	4.75	1.5	96.9	100	100	100	
	2.36	0.1	17.7	96.8	91.5	99.1	
	1.18						
	0.60			43.6	39	77.7	100
0.30			25.7	16.6	16	100	
0.15			10.1	5.0	2.2	95.6	
0.075			3.5	1.6	1.5	84.9	

c) その3

項目		6号碎石	7号碎石	SC	粗砂	細砂
比重	表乾	2.647	2.651	2.613	2.595	2.522
	かさ	2.623	2.627	2.586	2.539	2.445
	見掛	2.688	2.691	2.658	2.689	2.651
吸水率 (%)		0.92	0.90	1.04	2.19	3.17
通過質量百分率 (%)	(mm)					
	19	100				
	13.2	96.0	100			
	4.75	11.9	97.4	100	100	
	2.36	2.7	12.5	96.1	90.5	100
	0.6	1.1	1.7	43.8	39.1	98.0
	0.3	1.0	1.6	28.2	20.7	57.9
	0.15	0.9	1.4	15.1	8.7	11.8
0.075	0.7	1.2	7.4	3.3	2.7	

d) その4

項目		6号碎石	7号碎石	粗砂	石粉
比	表乾	2.649	2.633	2.591	2.690
	かさ	2.630	2.604	2.531	
	見掛	2.679	2.682	2.693	
吸水率 (%)		0.700	1.110	2.380	
通過質量百分率 (%)	(mm)				
	19	100			
	13.2	94.0	100		
	4.75	1.5	96.9	100	
	2.36	0.1	17.7	91.5	
	0.6		2.6	39.2	
	0.3			16.6	100
	0.15			5.0	95.6
0.075			1.6	84.9	

表-3 骨材の配合比

a) その1

材料	新規	再生40
6号砕石	40	29
7号砕石	17	10
スクリーニングス	12	—
粗砂	15	11
細砂	11	7
石粉	5	3
再生骨材 (13~5mm)	—	16
再生骨材 (5~0mm)	—	24

c) その3

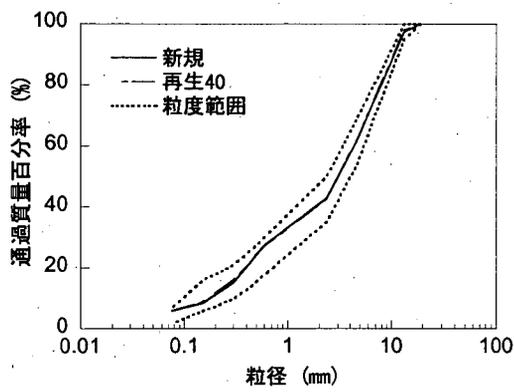
材料	新規	再生40	再生70
再生率 (%)	0	40	70
6号砕石	38.5	20	5
7号砕石	21	13	9
スクリーニングス	16	9	16
粗砂	12	10.5	0
細砂	8	5	0
石粉	4.5	2.5	0
再生骨材	—	40	70

b) その2

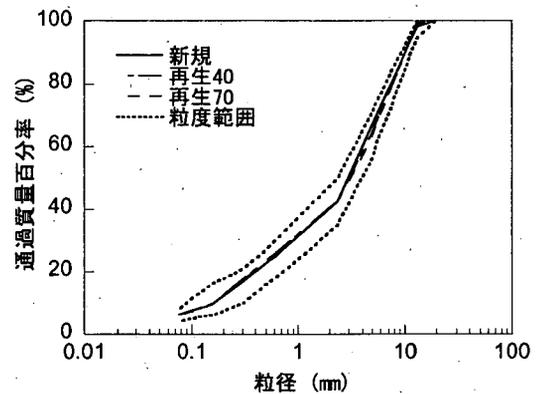
材料	新規	再生40
6号砕石	37.5	25
7号砕石	22	14.5
スクリーニングス	11.5	6
粗砂	17	8
細砂	6	3
石粉	6	3.5
再生骨材 (13~5mm)	—	14
再生骨材 (5~0mm)	—	26

d) その4

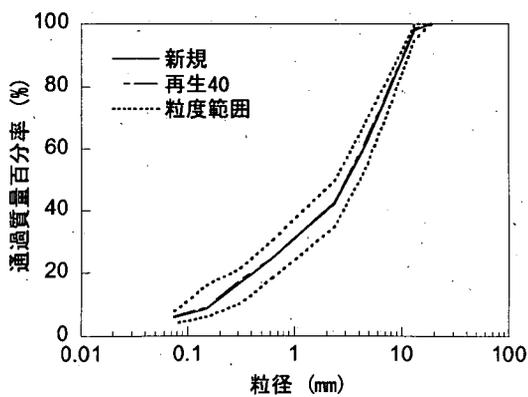
材料	再生70	再生100
6号砕石	20.0	—
7号砕石	3.0	—
粗砂	5.5	—
石粉	1.5	—
再生骨材 (13~5mm)	24.5	49.0
再生骨材 (5~0mm)	45.5	51.0



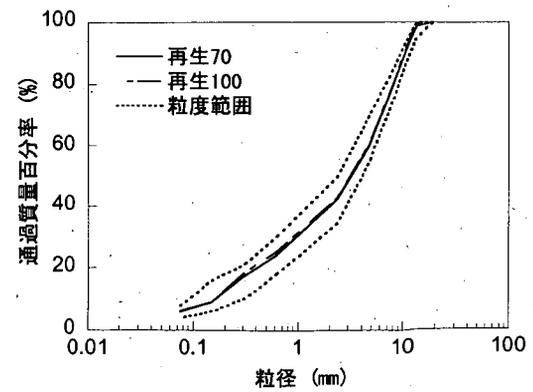
a) その1



c) その3



b) その2



d) その4

図-2 骨材の合成粒度

表-4 旧アスファルトの品質

a) その1	
項目	測定値
針入度 (1/100cm)	29
軟化点 (°C)	56.6

b) その2	
項目	測定値
針入度 (1/100cm)	36
軟化点 (°C)	54.5
伸度 (cm)	11
60°C粘度 (Pa・s)	5,900
密度 (g/cm ³)	1.044

c) その3	
項目	測定値
針入度 (1/100cm)	31
軟化点 (°C)	57.0
伸度 (cm)	6
60°C粘度 (Pa・s)	10,400
密度 (g/cm ³)	1.048

d) その4	
項目	測定値
針入度 (1/100cm)	36
軟化点 (°C)	54.5
伸度 (cm)	11
60°C粘度 (Pa・s)	587
密度 (g/cm ³)	1.044

表-5 再生添加剤の品質

a) その1			
項目		測定値	標準値
動粘度 60°C (mm ² /s)		88.22	80~1000
密度 (g/cm ³)		0.9299	—
成分 (%)	飽和分	61.5	—
	芳香族分	34.7	—
	レジン分	3.8	—

b) その2~4			
項目		測定値	標準値
動粘度 60°C (mm ² /s)		202	80~100
引火点 (°C)		232	230 以上
粘度比		1.37	2 以下
質量変化率 (%)		-1.78	±3 以下
密度 (g/cm ³)		1.011	—
成分 (%)	アスファルテン	2.0	—
	飽和分	51.9	—
	芳香族分	33.2	—
	レジン分	12.7	—

3.3 再生添加剤の添加量

再生添加剤の量は、これを旧アスファルトに添加混合した後のアスファルトの針入度が新規アスファルトの針入度、すなわち設計針入度に等しくなるものとした。これはプラント再生舗装技術指針の方法に準拠した方法である。

しかし、新規アスファルトと再生アスファルトの針入度を同一にしたとしても、アスファルトコンクリート製造過程におけるアスファルトの劣化程度が、両者で異なることが懸念される。そこで、ここでは、原則として、新規アスファルト、再生アスファルトをそれぞれ単独で用いて製造したアスファルトコンクリート中のアスファルトの針入度が製造直後の時点で同一になるように添加剤量を決定した。

その3の場合について具体的な添加剤量決定方法を以下に示す

- ① 新規アスファルトの針入度ならびにこれを用いて製造したアスファルトコンクリートから回収したアスファルトの針入度（製造後針入度）を求める。その結果、前者で72、後者で61とわかった（単位は1/100cm）。
 - ② 再生骨材から回収した旧アスファルトに再生添加剤を質量比で5%、10%、15%の3とおり添加し、それら再生アスファルトの針入度を測定し、①で得られた設計針入度に対応する（暫定）添加率を決定する。その結果、12.2%となった。
 - ③ 骨材中に占める再生骨材の割合、すなわち再生材混入率を40%、70%としてアスファルトコンクリートを製造する。そのときの旧アスファルトに対する再生用添加剤率は暫定添加率±3%、すなわち15.2%と9.2%とした。
 - ④ 製造した2種類の再生アスファルトコンクリートからアスファルトを回収して、針入度を求め、添加率と針入度の関係を求める。そして、①で得られた製造後針入度に対応する添加率をこれから求める。最終的には、再生材混入率40%、70%それぞれの場合で、添加率は12.2%、10.6%となった（図-3）。
- その2、その4の場合は、その1とほぼ同様であるが、製造後におけるアスファルトの針入度を薄膜加熱試験（RIFOT）に供したものに対する値とした。この場合の試験時間としては、現地アスファルトプラントにおける状況を再現できると考えられる45分間とした¹¹⁾。この場合最終的に得られた再生添加剤の添加率は、その2で5.5%、その4で5.2%となった。
- その1の場合はこれらと異なり、アスファルトコンクリート製造時の針入度低下を考慮せずに、プラント再生舗装技術指針の方法によって再生添加剤の添加率を決定した。7.5%となった。

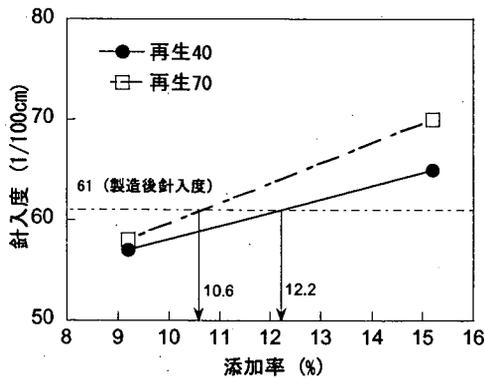


図-3 再生添加剤の添加率と針入度

3.4 配合設計

最適アスファルト量はマーシャル安定度試験の結果に基づいて決定した。このときの基準値は、上記のように、共通仕様書の①表層のものである。得られた最適アスファルト量を用いて作製した、新規ならびに再生アスファルトコンクリートに対するマーシャル安定度試験の結果を表-6に示す。その結果は、いずれも基準値を満足している。

4. 再生材料の表層への適用性

共通仕様書で空港舗装の基層への使用が認められている40%の再生アスファルトコンクリートの表層への

適用性について、自然環境下での性状変化ならびにグルーピングの交通荷重に対する安定性に注目して検討を加えた。

4.1 再生材料の老化性状

(1) 試験方法

3.においてその1として記述した材料を用いて一連の試験を実施した。この試験では作製した幅300mm、長さ300mm、厚さ50mmの試料を旧港湾技術研究所試験室の屋上に最長51ヶ月間放置することにより、再生アスファルトコンクリートに自然環境下での老化作用を与え、それによる表面ならびに内部状況の変化を観察した。また、試料から供試体を切り出して曲げ試験を実施した。

(2) 表面状況の観察

自然環境下に最長51ヶ月間暴露した供試体の表面と内部の状況を目視にて観察した。

その結果は表-7に示すようにまとめられるが、新規材料と再生材料による違いはない。写真-1には51ヶ月暴露した供試体の表面状況を、写真-2には試料を厚さ方向に切断したときの内部状況を示す。

放置時間が長くなるにつれて、試料の表面はつやがなく、色あせたものとなり、全体的に白っぽくみえるようになる。しかし、内部状況は光沢の度合いが若干落ちているものの、供試体作製時にほぼ近い状態を保っている。

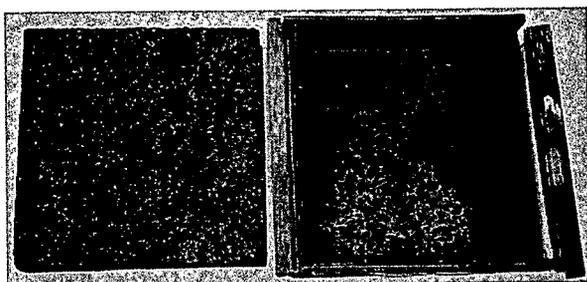
表-6 マーシャル安定度試験の結果

a) その1			c) その3			
項目	新規	再生40	項目	新規	再生40	再生70
最適アスファルト量 (%)	5.8	5.7	最適アスファルト量 (%)	5.9	5.7	6.1
密度 (g/cm ³)	2.387	2.389	密度 (g/cm ³)	2.375	2.395	2.430
空隙率 (%)	3.1	3.0	空隙率 (%)	3.1	3.1	3.5
飽和度 (%)	86.5	86.0	飽和度 (%)	80.5	81.0	81.5
安定度 (kN)	13	13.9	安定度 (kN)	11.5	12.2	11.5
フロー値 (1/100cm)	34	34	フロー値 (1/100cm)	28	30	33

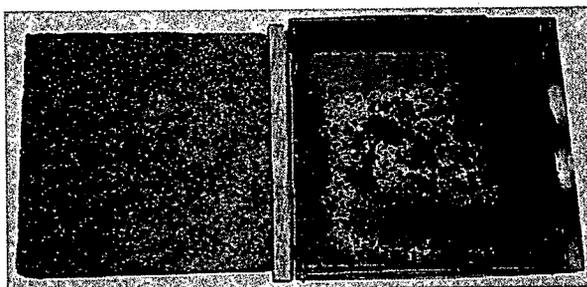
b) その2			d) その4		
項目	新規	再生40	項目	再生70	再生100
最適アスファルト量 (%)	5.6	5.5	最適アスファルト量 (%)	5.7	6.0
密度 (g/cm ³)	2.387	2.399	密度 (g/cm ³)	2.412	2.420
理論密度 (g/cm ³)	2.461	2.479	空隙率 (%)	3.0	3.3
空隙率 (%)	3.0	3.2	飽和度 (%)	81.6	80.9
飽和度 (%)	81.1	79.8	安定度 (kN)	13.9	14.2
安定度 (kN)	12.2	13.4	フロー値 (1/100cm)	37	38
フロー値 (1/100cm)	28	35	残留安定度 (%)	95.9	96.0
残留安定度 (%)	84.4	90.2			

表-7 自然環境下に暴露した試料の目視観察結果

暴露期間 (月)	表面	内部
18	つやがなく、供試体作製時に比べ色あせた状態になっているが、剥離等の現象は確認されなかった。	色つやがあり、供試体作製時にほぼ近い状態であると見受けられる。
33	つやがなく、色あせておりその程度は前回と変わらないものの表面を手のひらで擦りつけると、モルタル分が若干削り取られる。	色つやがあり、供試体作製時にほぼ近い状態であると見受けられる。
51	アスファルトの剥離した骨材が目立ち、全体的に白っぽく見える。	色つやがあり、供試体作製時にほぼ近い状態であると見受けられる。



a) 新規材料



b) 再生材料 (再生率 40%)

写真-1 暴露期間 51 ヶ月経過時の試料表面



a) 新規材料



b) 再生材料 (再生率 40%)

写真-2 暴露期間 51 ヶ月経過時の試料内部

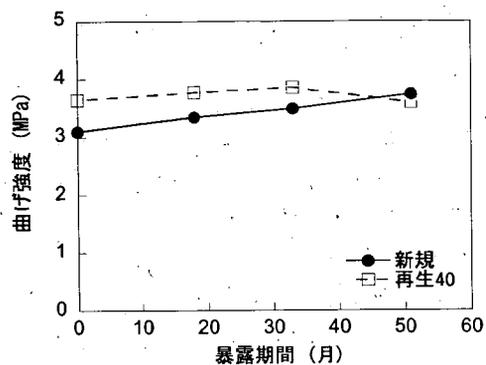


図-4 曲げ強度の経時変化

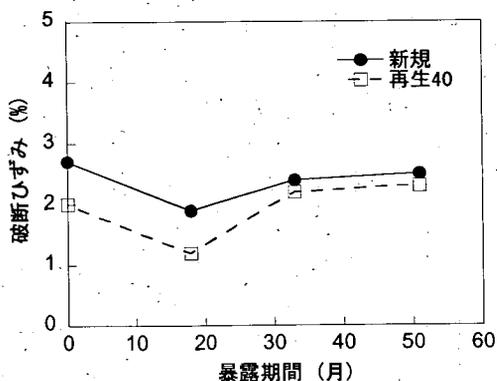


図-5 破断ひずみの経時変化

(3) 曲げ試験

暴露期間の経過に伴う曲げ強度、破断ひずみの変化を図-4、図-5に示す。

曲げ強度についてみれば、再生材料の場合は、製造直後から 51 ヶ月間の自然環境下暴露後に至るまで、変化は小さく、その変動範囲は 0.25MPa 以内となっていることが認められた。これに対して、新規材料の場合は、暴露期間の経過につれて曲げ強度が増加して、51 ヶ月間経過時には再生材料と同程度の値となっていることがわかる。これは、自然環境下においてアスファルトが老化 (硬化) しているためである。

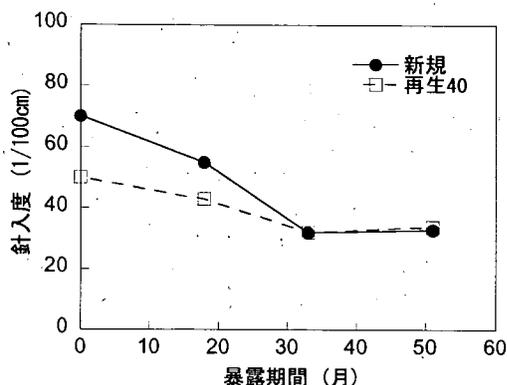


図-6 針入度の経時変化

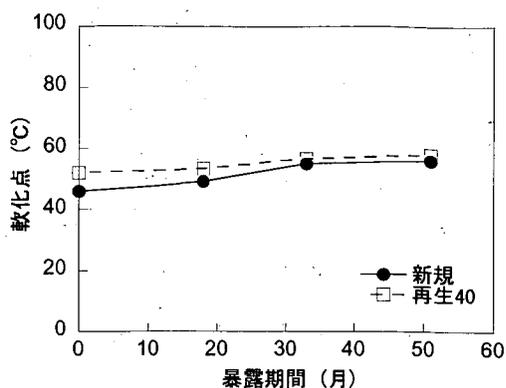


図-7 軟化点の経時変化

破断ひずみについては、全体的に再生材料のほうが新規材料よりも値は小さくなっていることがわかる。また、両者の差は暴露期間の経過に伴って、小さなものとなる傾向がみられる。

以上に示したように、曲げ強度、破断ひずみのいずれにおいても、再生材料と新規材料で違いがみられるものの、暴露期間の経過につれて両者の差は小さくなり、最終的には同程度となるものと思われる。したがって、アスファルトコンクリートの曲げ特性からみる限りにおいては、再生アスファルトコンクリートを表層に用いたとしても、新規材料が老化した程度の性状を保持できるものと考えられる。

(4) 回収アスファルトの特性

図-6、図-7には、回収アスファルトの針入度、軟化点が暴露期間の経過につれて変化する状況を示した。いずれも製造直後には新規材料と再生材料では明確な違いがあり、再生材料ではこの時点ですでに老化していることがわかるものの、暴露期間の経過につれて両者の差は小さくなっていく。特に、針入度をみると、33ヶ月が経過した時点以降では新規材料と再生材料の間にはほとんど差がみられなくなる。

赤外線吸収スペクトル分析の結果として、波長 $1,700\text{cm}^{-1}$ における透過率が、新規材料と再生材料で異なる状況に注目した。ここでは、(3)式で表される吸光度によりそれを定量化して、表-8にまとめた。製造直後ならびに暴露33ヶ月後では両者の差は顕著で、再生材料のほうが明らかに老化しているが、51ヶ月後には同程度となっていることから、この時点で新規材料の老化程度は再生材料のものと同程度になったと判断できる。

表-8 吸光度の経時変化

暴露期間 (月)	アスファルトコンクリート	
	新規	再生40
0	0.033	0.051
33	0.036	0.062
51	0.129	0.127

$$\text{吸光度} = \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \quad (3)$$

ここに、

I_0 : 波数 $1,700\text{cm}^{-1}$ における透過率の実測値

I_1 : 波数 $1,700\text{cm}^{-1}$ における老化がない場合の透過率

以上のことから、自然環境下に暴露した再生アスファルトコンクリートから回収したアスファルトの性状についてみれば、製造直後では新規材料と明らかに異なって老化しているものの、暴露期間の経過につれて新規材料との差が小さくなることがわかり、4、5年経過すると同程度となるものと考えられる。

4.2 グルーピングの安定性

a) 溝形状の消失度

ホイールトラッキング試験の結果である、溝形状の消失度を図-8に示した。新規、再生アスファルトコンクリートとも走行回数の増加につれて溝形状の消失度も増加することがわかる。両者を比較すると、再生アスファルトコンクリートのほうが小さいことが明らかである。

図-9には、新規材料について、促進老化の作用時間を変えた場合の溝形状の消失度を示した。荷重の繰返し走行につれて溝形状の消失度が増加する状況は、促

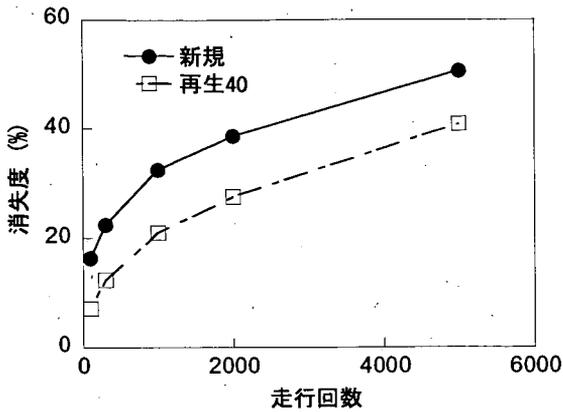


図-8 材料による溝形状消失度の違い

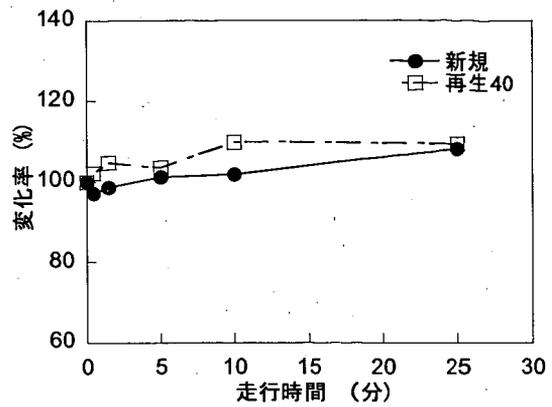


図-10 材料による溝形状変化率の違い

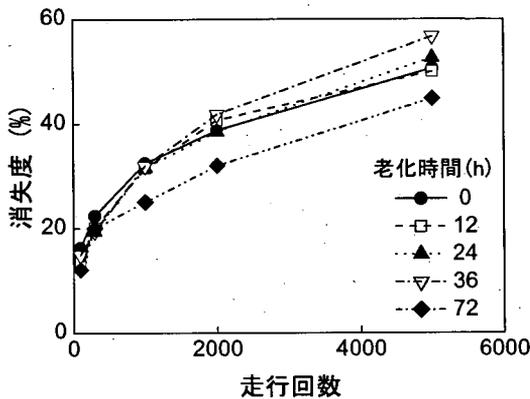


図-9 老化時間による溝形状消失度の違い

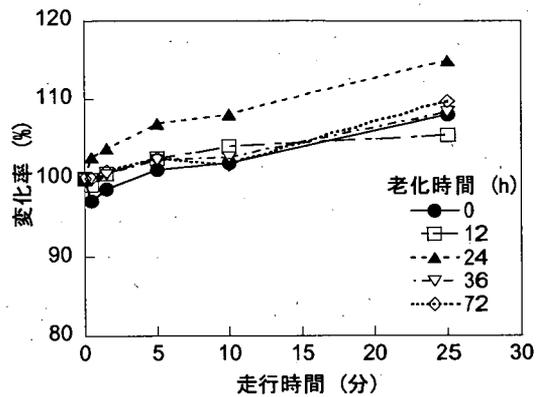


図-11 老化時間による溝形状変化率の違い

進老化時間により異なるとはいえないようである。このことから、再生アスファルトコンクリートの場合も、老化作用が与えられたことにより溝形状の消失度が増加するようなことはないものと推定される。

b) 溝形状の変化率

ラベリング試験の結果である、溝形状の変化率を図-10に示した。材料によらず、溝形状の変化率は走行につれていく分増加している。また、再生アスファルトコンクリートのほうが新規材料に比べて値が若干大きくなっている傾向がみられる。この試験は低温状態で実施されることから、曲げ試験結果にみられたように、再生アスファルトコンクリートのほうが硬く、もろいという性状を反映した結果と考えられる。

図-11には、新規材料について、促進老化時間を変えた場合の溝形状変化率を示してある。いずれの場合も、走行時間とともに増加する傾向がみられるものの、老化時間の影響は明らかではない。したがって、再生アスファルトコンクリートの溝形状変化率は老化

作用を受けても大きく変わるようなことはないと考えられる。

4.3 まとめ

再生率を40%とした再生アスファルトコンクリートの空港アスファルト舗装の表層への適用性について実施した試験の結果は、次のようにまとめられる。

- ① 自然環境下に長期間暴露することにより、試料の表面にはアスファルトの剥離した骨材が目立って、全体的に白く見えるようになる。しかし、内部についてはほとんど変化していないようにみえる。
- ② 曲げ試験結果では、再生材料は製造直後には新規材料と明らかに違いがみられたが、暴露期間の経過につれてその差は減少していき、4、5年経過すると両者はほぼ同等になる。
- ③ 回収したアスファルトの性状についても、②と同

様に、暴露してから4, 5年後には再生材料は新規材料とほぼ同等となる。

- ④ 再生アスファルトコンクリートは新規のものに比較すると、グルーピングの溝形状消失の危険性は小さいものの、角欠けの危険性は同等かいく分大きい。この傾向は老化作用を受けても大きく変わらないものと推定される。

以上のことから、ここで試験に供した再生アスファルトコンクリートの性状は、供用開始後4, 5年経過した時点でみれば、新規材料が同様の期間供用されたものと同程度であると結論づけられる。これ以降供用を続けたとしても両者の間に大きな差は生じないと推定されることから、再生率を40%までとした再生アスファルトコンクリートは表層にも適用できる可能性は高いものと考えられる。

5. 再生率増加の可能性

再生率を増加した場合の再生アスファルトコンクリートの性状について、力学(曲げ)特性ならびに骨材剥離抵抗性をまとめた。また、アスファルトを回収してその性状も調べた。

5.1 力学特性

(1) 老化のない場合

まず、老化作用を与える前の力学特性についてまとめた。荷重速度を10mm/min(供試体底面でのひずみ速度 1.25×10^{-3} /sec)として、試験温度を-10~30℃とした曲げ試験の結果として、曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスについて、それぞれ図-12、図-13、図-14に示す。低温時において、再生率が高いほど破断ひずみが小さく、スティフネスが大きくなっている傾向がみられるが、それ以外では再生率による違いは明らかではない。

同様に、試験温度を20℃として、荷重速度を変化させた場合について、曲げ強度を図-15に、破断ひずみを図-16に、スティフネスを図-17に示した。再生率70%のものが他のものに比べて破断ひずみが大きい傾向が顕著であるが、それ以外はほとんど差はない。

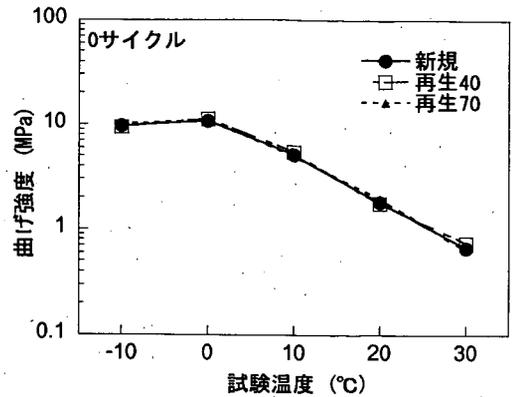


図-12 試験温度と曲げ強度 (0サイクル)

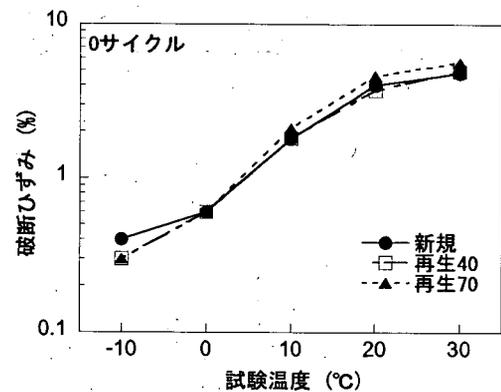


図-13 試験温度と破断ひずみ (0サイクル)

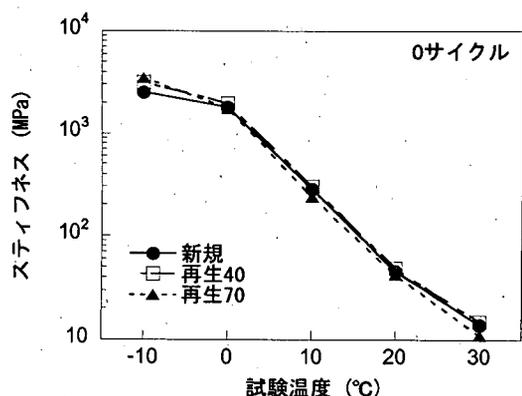


図-14 試験温度とスティフネス (0サイクル)

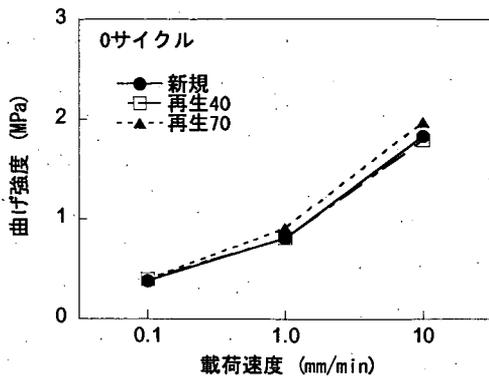
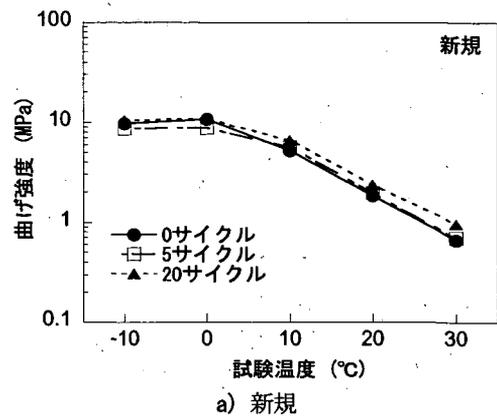


図-15 荷速度と曲げ強度 (0 サイクル)



a) 新規

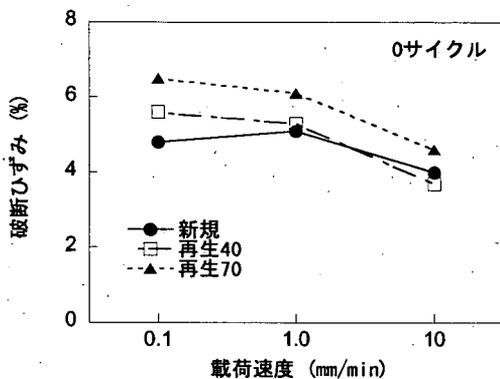
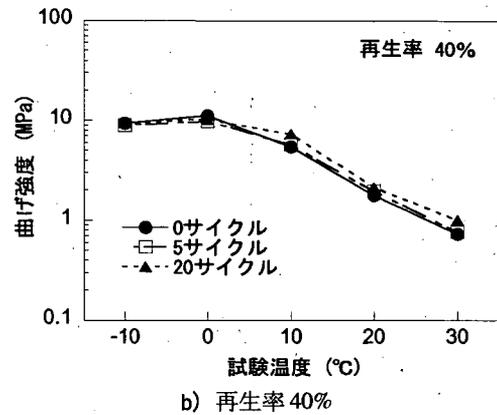


図-16 荷速度と破断ひずみ (0 サイクル)



b) 再生率 40%

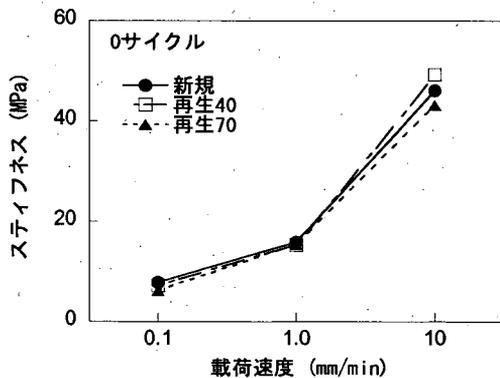
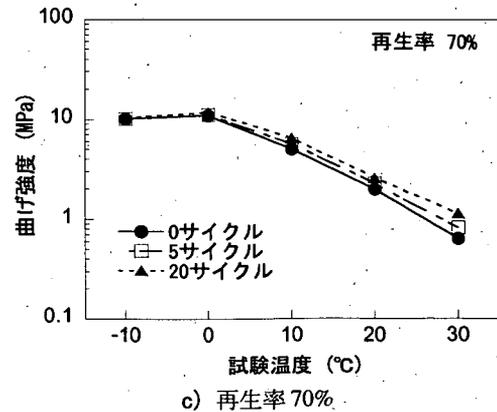


図-17 荷速度とスティフネス (0 サイクル)



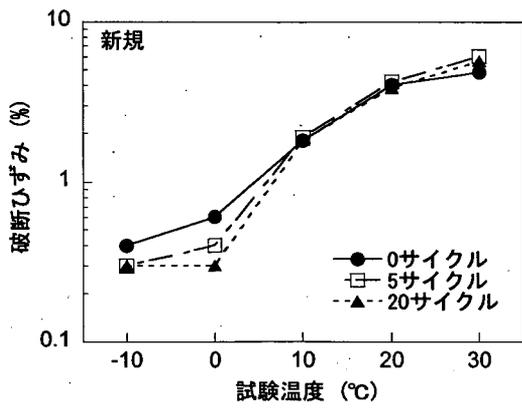
c) 再生率 70%

図-18 老化に伴う曲げ強度の変化

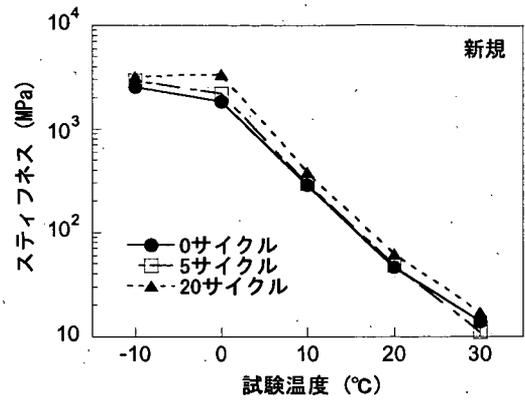
(2) 促進老化を与えた場合

次に、促進老化を与えることによって力学特性が変化する状況についてまとめた。曲げ強度について図-18には、新規、再生率 40%、再生率 70%の場合を示した。全体的にみると、老化サイクル数の増加につれて曲げ強度が増加する傾向が認められる。これは、再生骨材が最も多く含まれている再生率 70%のものに対しても認められている。

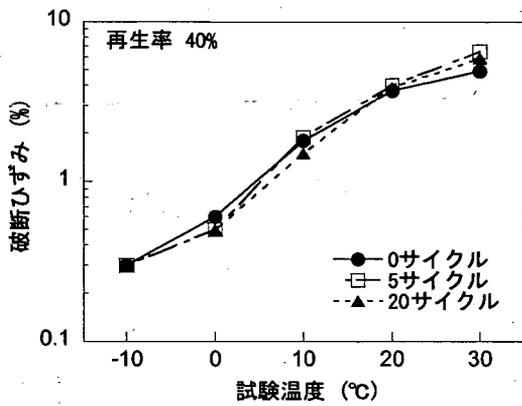
図-19には破断ひずみを示した(新規、再生率 40%ならびに再生率 70%)。同様に図-20にはスティフネスを示した。全体的にみると、老化の進行に伴って、破断ひずみは減少し、スティフネスが増加する傾向がいく分みられる。特に、新規材料の低温側においては顕著である。



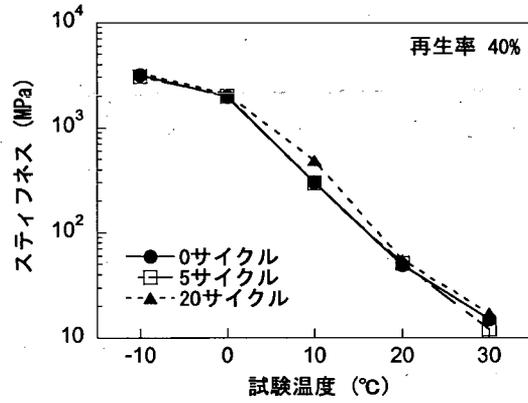
a) 新規



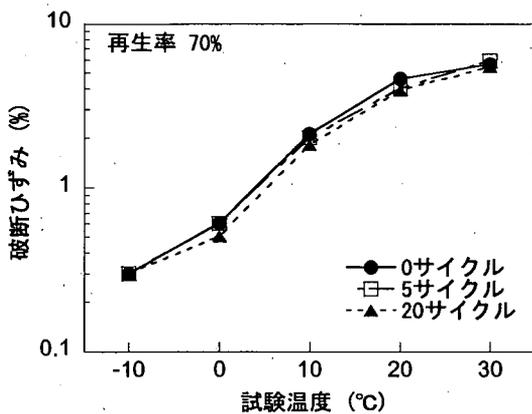
a) 新規



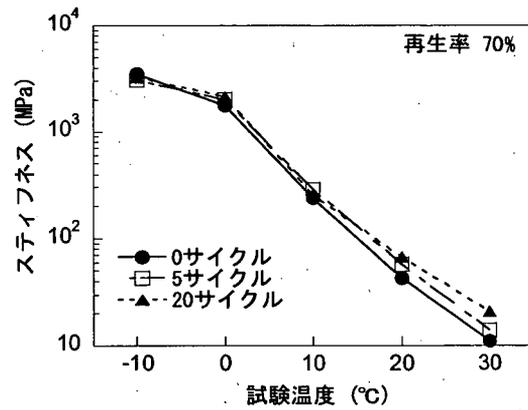
b) 再生率 40%



b) 再生率 40%



c) 再生率 70%



c) 再生率 70%

図-19 老化に伴う破断ひずみの変化

図-20 老化に伴うスティフネスの変化

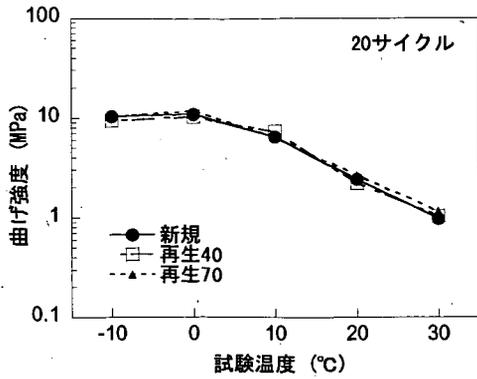


図-21 促進老化後の曲げ強度 (20 サイクル)

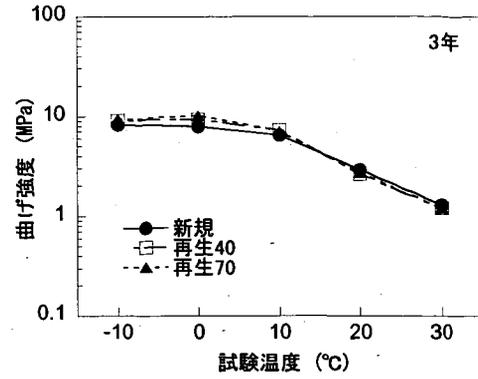


図-24 自然老化後の曲げ強度

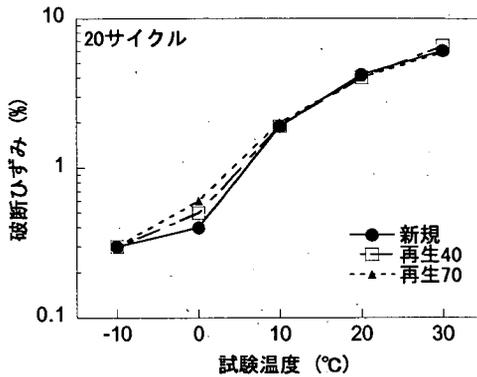


図-22 促進老化後の破断ひずみ (20 サイクル)

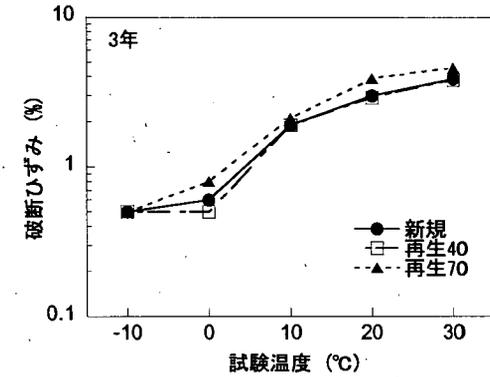


図-25 自然老化後の破断ひずみ

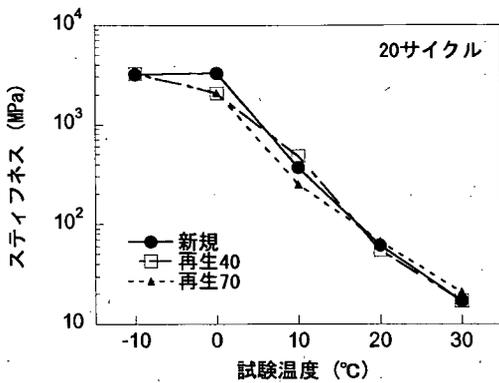


図-23 促進老化後のスティフネス (20 サイクル)

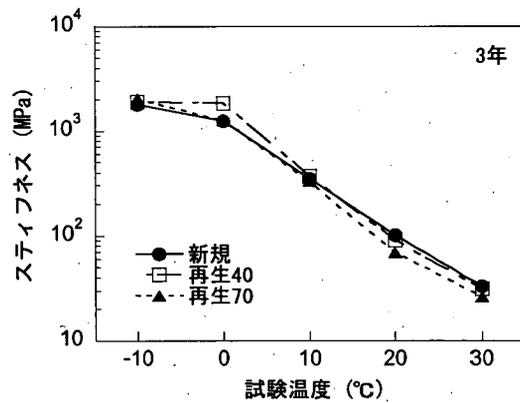


図-26 自然老化後のスティフネス

促進老化作用を 20 サイクル与えたあとの曲げ特性の比較結果を図-21, 図-22, 図-23に示す(それぞれ、曲げ強度、破断ひずみ、スティフネス)。老化を与える前は、再生率の高いほうが、低温側において破断ひずみが小さく、スティフネスが大きいという傾向があ

ったが、20 サイクルの促進老化後はそれが逆になっている。すなわち、老化に伴う力学特性の変化は、再生アスファルトコンクリートは新規アスファルトに比べるとほぼ同程度もしくは小さいといえよう。

(3) 自然老化を与えた場合

自然環境下に約3年間放置した場合の曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスを、それぞれ、図-24、図-25、図-26に示した。再生率70%のものについてみると、曲げ強度は低温側で他のものより大きくなっていること、破断ひずみも全体的に大きくなっていることが認められる。スティフネスについては低温側で若干大きいことがわかる。これらのことを総合的に考えると、自然環境下での老化の場合も、上記の促進老化の場合にみられたことが特に破断ひずみにおいて顕著にみられるとまとめられる。

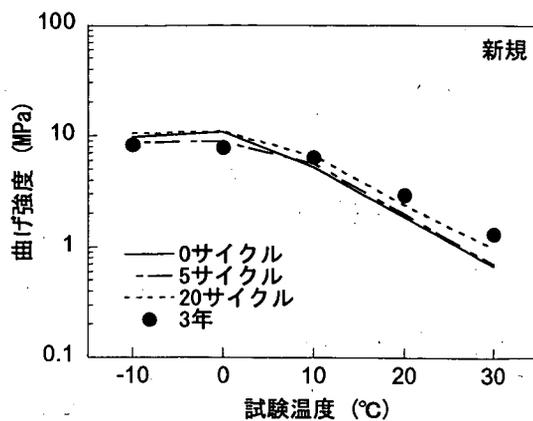
試料を自然環境下に放置して老化させた場合（自然老化）と促進老化させた場合（促進老化）の力学特性の違いに注目した。

曲げ強度について、図-27に、新規、再生率40%、再生率70%の結果をまとめている。いずれの場合も自然老化作用を与えることにより、曲げ強度が低温側では低下し、高温側では増加することがわかる。ここで用いた促進老化方法は、曲げ強度に関していえば、自然老化の状況をよく再現できているものと考えられる。

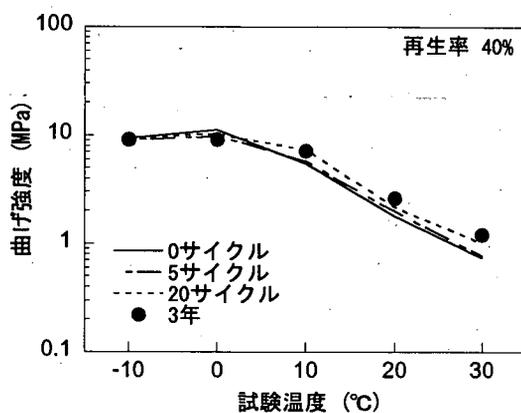
破断ひずみについて、図-28に、新規、再生率40%、再生率70%の結果をまとめた。自然老化作用を与えることにより、破断ひずみは低温側で増加し、高温側で低下するという現象がみられる。促進老化の場合には、これとは逆の傾向がみられる。

スティフネスについて、図-29に、新規、再生率40%、再生率70%の場合をまとめた。スティフネスは自然老化作用を与えることにより低温側で低下し、高温側で増加しているのに対し、促進老化作用の場合には低温側においても増加する傾向がみられるようである。

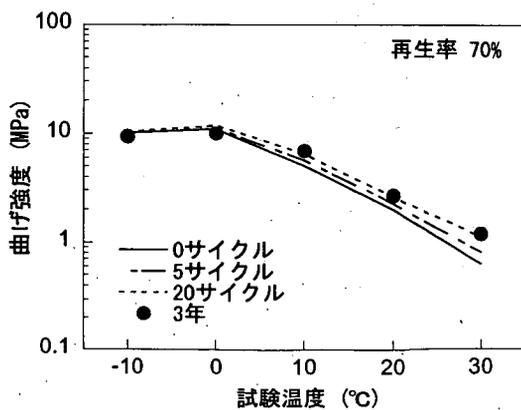
試験温度を20℃と一定にして、载荷速度を0.1, 1.0, 10mm/minの三種類とした場合の試験結果をまとめた。図-30は曲げ強度、図-31は破断ひずみ、図-32はスティフネスである。この温度条件下では、自然環境の作用により、アスファルトコンクリートが硬く、もろくなるという老化に特有な現象が明らかになっている。また、この現象は材料の種類によらず認められる。なお、促進老化によっても老化が進行するが、20サイクルを与えた場合でも3年間の自然老化には及ばないようである。



a) 新規



b) 再生率40%



c) 再生率70%

図-27 老化方法と曲げ強度

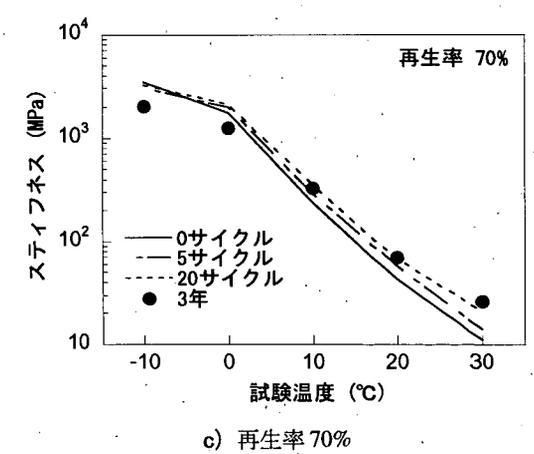
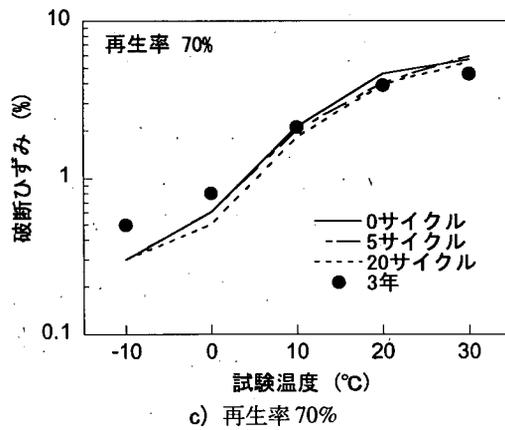
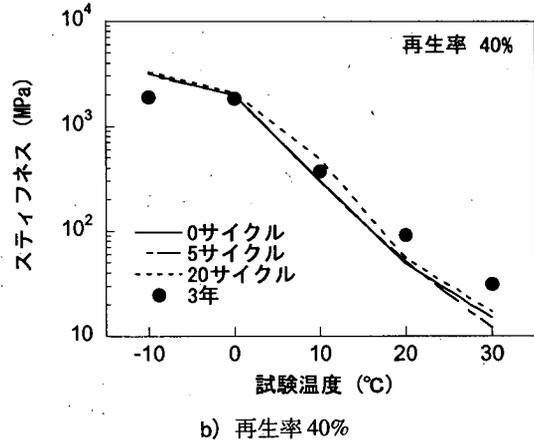
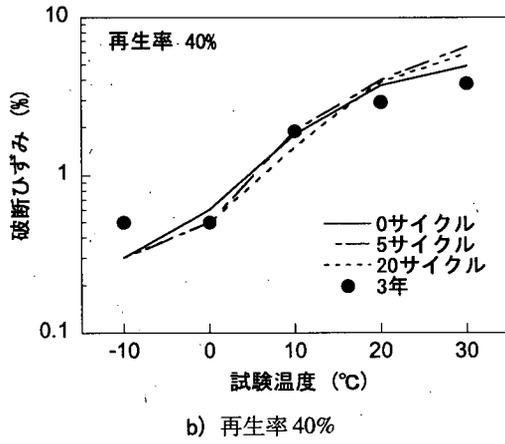
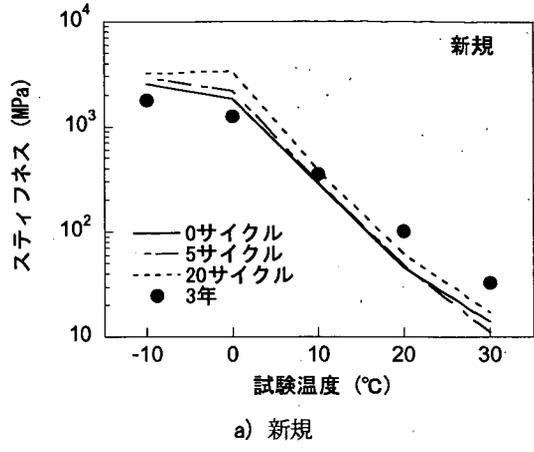
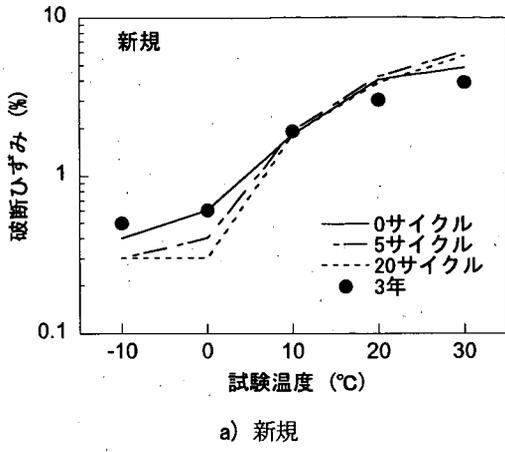
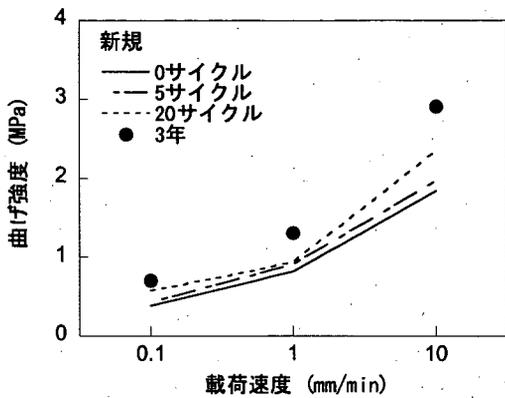
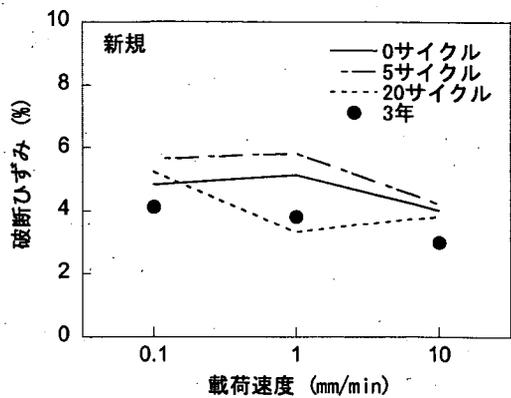


図-28 老化方法と破断ひずみ

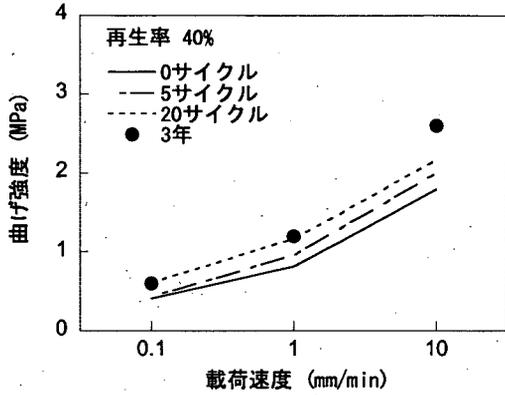
図-29 老化方法とスティフネス (再生率 70%)



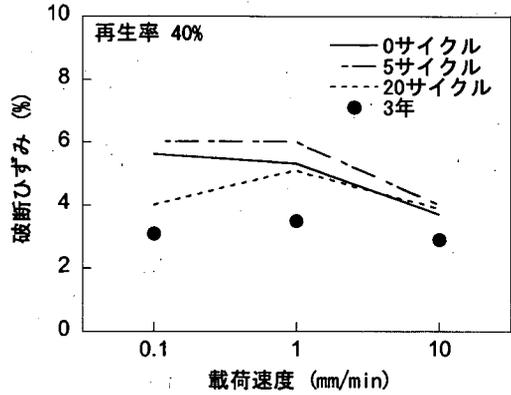
a) 新規



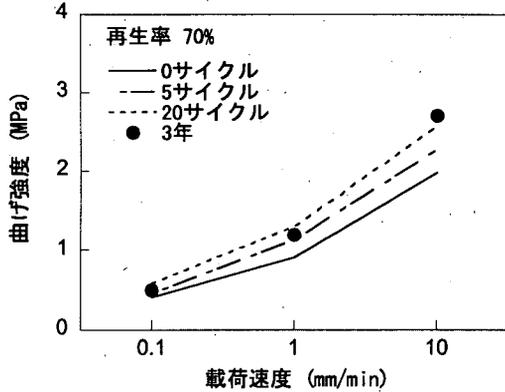
a) 新規



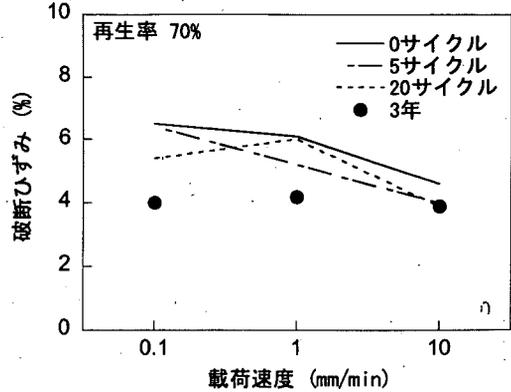
b) 再生率 40%



b) 再生率 40%



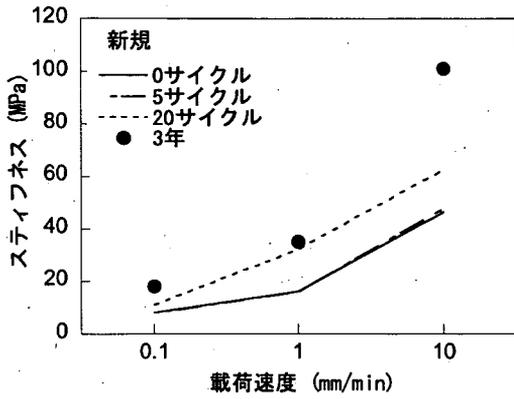
c) 再生率 70%



c) 再生率 70%

図-30 老化方法と曲げ強度

図-31 老化方法と破断ひずみ



a) 新規

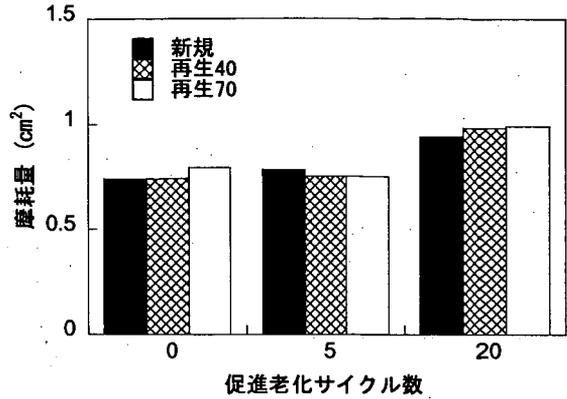
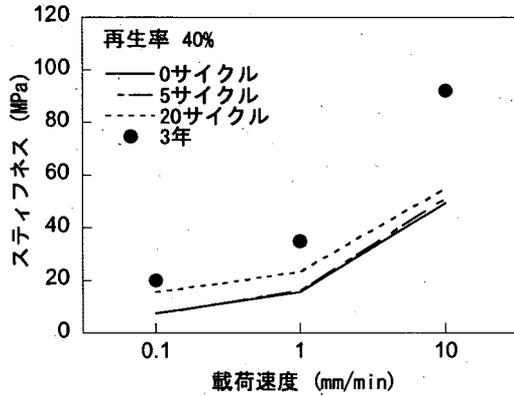


図-33 材料による摩耗量の違い



b) 再生率 40%

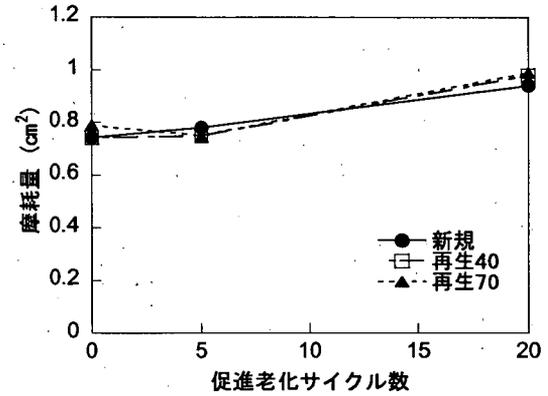
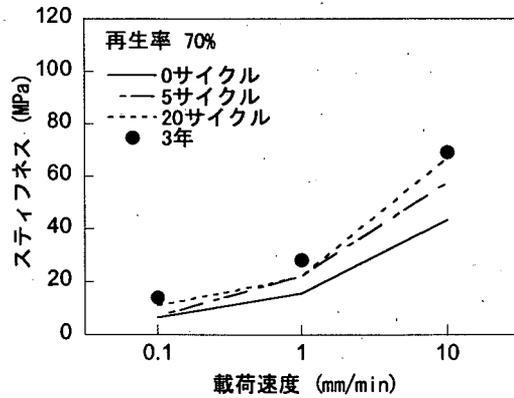


図-34 促進老化の進行に伴う摩耗量の変化



c) 再生率 70%

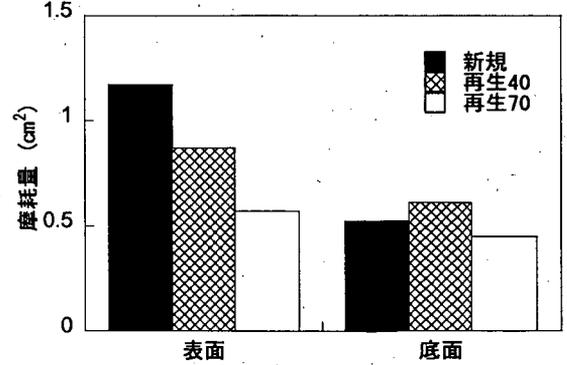


図-35 自然老化作用後の摩耗量

図-32 老化方法とステイフネス

5.2 骨材剥離抵抗性

アスファルトコンクリートの剥離抵抗性が老化作用により変化する状況について検討した。

まず、図-33には新規、再生率 40%、再生率 70%の材料について、ラベリング試験結果である摩耗量を促進老化サイクルごとに示した。これからは材料の違いによる差はほとんどみられないことがわかる。また、老化の進行につれて摩耗量は増加していく傾向が認められるが、この場合も材料の違いによる差はほとんどない (図-34)

自然老化させた供試体について行った試験の結果を図-35に示した。自然環境下に暴露された供試体の面 (表面) においては、材料の違いによる差が著しくみられ、再生率の高いものほど摩耗量は小さくなっていることがわかる。これに対して、日光等が直接当たらず、老化の進行が少ないと考えられる面 (底面) についての試験結果をみれば、材料による差はほとんどないことがわかる。また、摩耗量自体は表面の場合よりも小さくなっていることから、促進老化の場合にもみられたように、アスファルトコンクリートは老化作用を受ければ摩耗しやすくなることが明らかである。なお、再生率が高いものは老化作用を受けても摩耗量が著しく大きくなるようなことはない。

カンタプロ試験結果である損失率について促進老化サイクル数別にまとめた (図-36)。サイクル数によらず、再生材料のほうが新規材料に比較すると損失率は小さく、しかも再生率の高いものほど小さいことがわかる。また、サイクル数が増加しても損失率はほとんど変化しないこともわかる (図-37)。

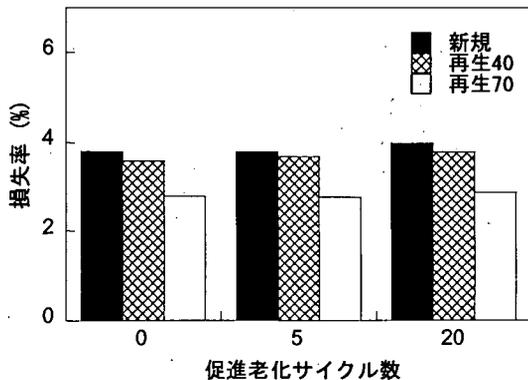


図-36 材料による損失率の違い (促進老化)

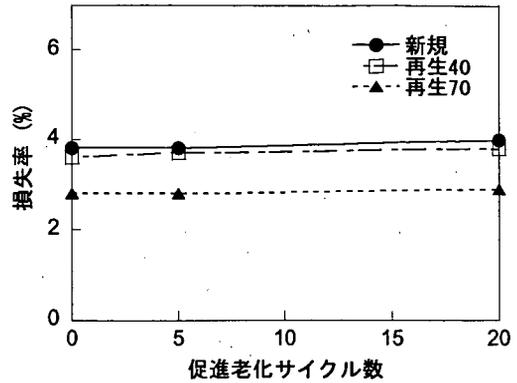


図-37 促進老化に伴う損失率の変化

5.3 回収アスファルトの特性

再生アスファルトコンクリートが自然老化作用を受けた場合にアスファルトの性状が変化する状況について検討した。図-38、図-39、図-40は、回収したアスファルトの針入度、軟化点、伸度を示している。針入度はアスファルトコンクリート製造時においては、3.で記したとおり、新規、再生率 40%、再生率 70%のいずれにおいても 61 (1/100cm) であったが、3年間の自然環境下における暴露により低下しているものの、再生率の高いものほど低下量が少ないことがわかった。このような再生率の高いものほど老化の進行が遅いという現象は、軟化点ならびに伸度においてもみられる。このことから、再生アスファルトコンクリート中のアスファルト自体の老化は新規材料の場合よりも進行が遅いものと考えられる。

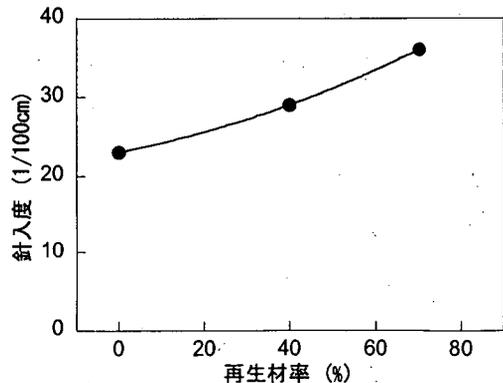


図-38 自然環境下に暴露した材料の針入度

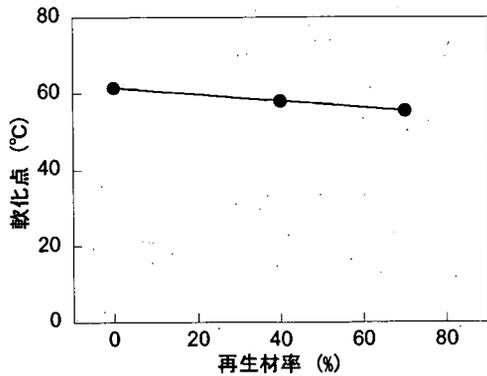


図-39 自然環境下に暴露した材料の軟化点

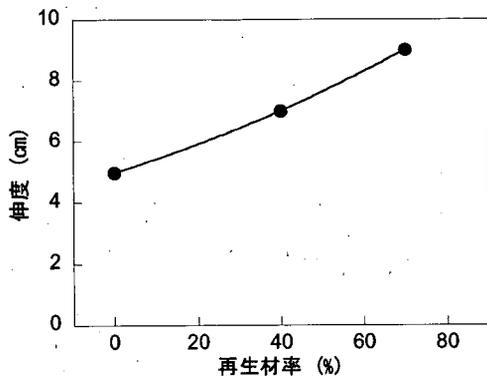


図-40 自然環境下に暴露した材料の伸度

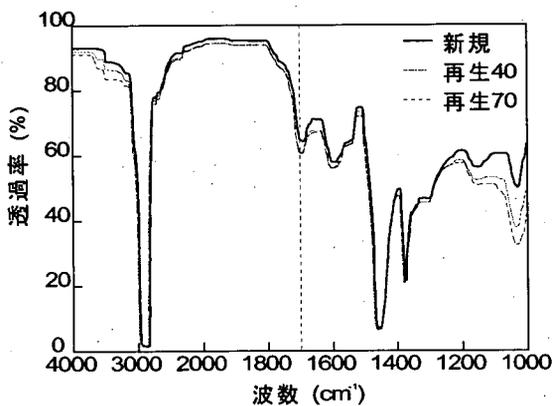


図-41 赤外線吸収試験結果

赤外線吸収試験結果を図-41に示した。アスファルトが酸化したことを示すとされる波数 1,700 (1/cm) における吸収率をみると、新規材料に比べて再生材料のほうが透過率は低いことがわかる。ただし、この場合、自然環境下に暴露する前のデータがないことから、自然環境下での老化進行状況については不明である。

5.4 まとめ

現在まで空港舗装に使用されていた実績のある、再生率 70%以下の再生アスファルトコンクリートの表層への適用性を明らかにするために、一連の室内試験を実施した。その結果は、次のようにまとめられる。

- ① アスファルトコンクリートが老化を受けない状態では、曲げ特性には材料による差はほとんどみられないが、再生アスファルトコンクリートのほうが低温時において破断ひずみが小さく、スティフネスが大きい傾向がみられる。
- ② アスファルトコンクリートに促進老化作用を与えることにより、破断ひずみが減少し、スティフネスが増加する。これはいずれの材料においてもみられるが、特に新規材料において顕著である。
- ③ ラベリング試験の結果からは、促進老化作用により骨材剥離抵抗性は低下していくものの、材料による違いはみられない。しかし、自然環境下に暴露された場合には、新規材料ならびに再生率の小さい再生材料で骨材剥離抵抗性は著しく低下する。カンタプロ試験結果からも、再生率の小さいものほど骨材剥離抵抗性が低いことが認められる。
- ④ 自然環境下に放置されたアスファルトコンクリートから回収されたアスファルトの性状をみると、いずれも材料にも老化作用がみられるが、新規材料ならびに再生率の小さい再生材料ではそれが顕著であることがわかった。

以上のことから、再生率を70%までとした再生アスファルトコンクリートは空港舗装表層に使用したとしても、材料自体の特性からみる限りは大きな問題はないと結論づけられる。ただし、ここで用いた促進老化法によれば自然環境下における老化による性状変化を推定できるが、20 サイクルの促進老化では3年間の自然暴露を完全には再現できてはいない。

6. 完全再生化の試み

再生率を 100%まで高めた再生アスファルトコンクリートについて室内試験を実施することにより、既設舗装の解体等に伴って発生する不要なアスファルトコンクリートの完全再利用の可能性を検討する。

6.1 アスファルトコンクリートの性状

促進老化作用を与える前の再生アスファルトコンクリートの曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスを、

それぞれ、図-42、図-43、図-44に示す。

再生率を100%にまで高めると、再生率70%のものと比較して、スティフネスが大きく、また、破断ひずみもいく分小さなものとなるが、その差が大きいとはいえない。細粒分に再生材を用いたものについても特に問題はみられないようである。

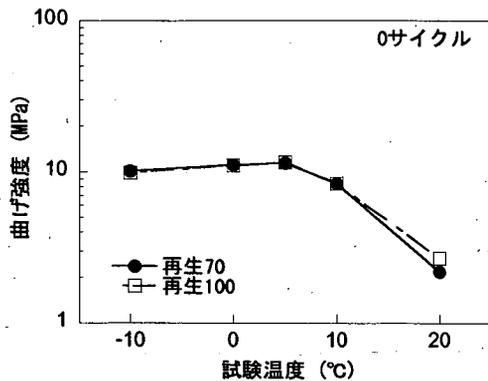


図-42 試験温度と曲げ強度 (0 サイクル)

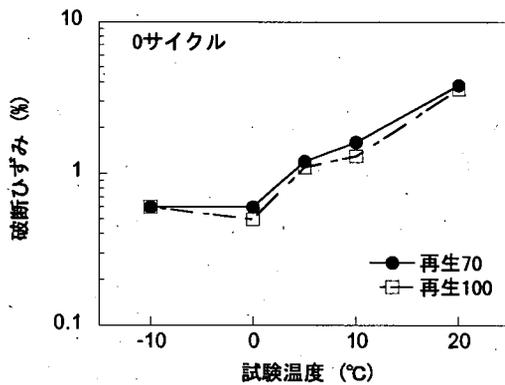


図-43 試験温度と破断ひずみ (0 サイクル)

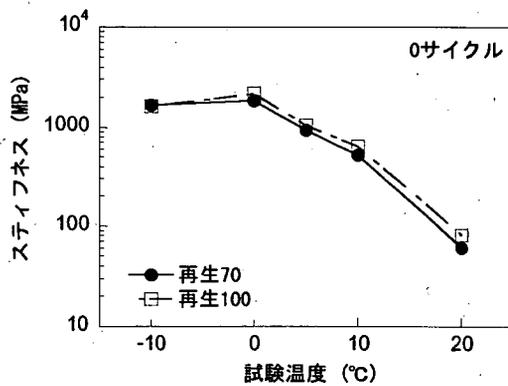
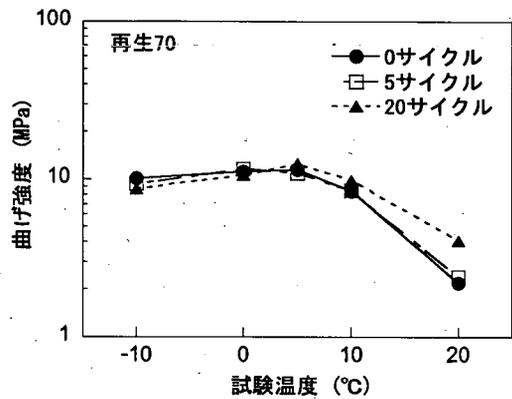


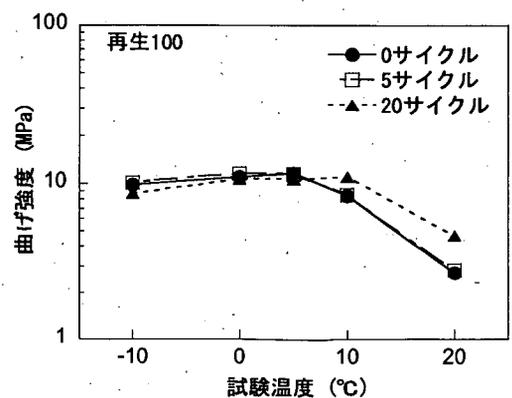
図-44 試験温度とスティフネス (0 サイクル)

促進老化作用を最大 20 サイクルまで与えた場合に曲げ強度が変化する状況を図-45に示した (再生率70%と100%)。老化作用を与えることにより脆化点が高温側へ移動していく、すなわち、曲げ強度は低温側で低下し、高温側で増加する傾向がみられる。これは、再生率によらず、いずれにおいてもみられ、5.で記した新規材料や再生材料においてもみられた現象である。

破断ひずみについて、再生率70%と100%の場合を図-46に示した。いずれの場合も、老化作用の進行により破断ひずみが低下すること、特に高温側で著しいことがわかる。しかし、材料による違いは顕著ではない。

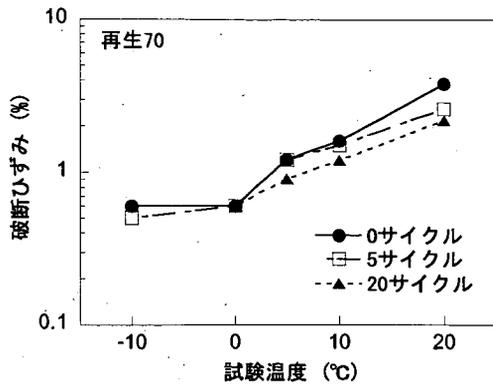


a) 再生率70%

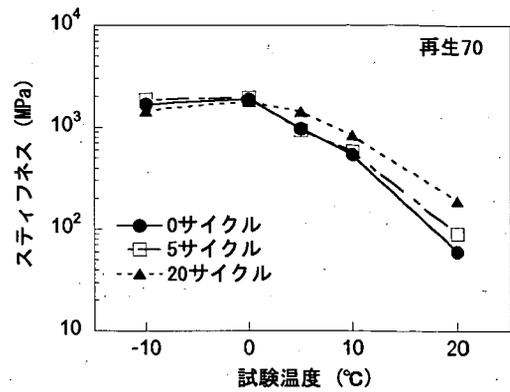


b) 再生率100%

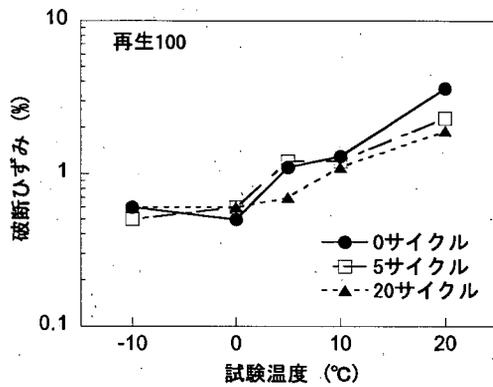
図-45 老化に伴う曲げ強度の変化



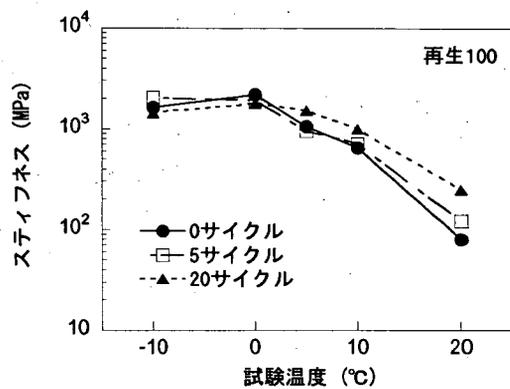
a) 再生率 70%



a) 再生率 70%



b) 再生率 100%



b) 再生率 100%

図-46 老化に伴う破断ひずみの変化

図-47 老化に伴うスティフネスの変化

スティフネスについては、図-47に、再生率 70%、再生率 100% の場合を示した。いずれも高温側では老化によりスティフネスの増加する傾向がみられるが、低温側では影響は明確にはなっていない。

促進老化作用を 20 サイクル与えた場合の曲げ試験結果として、曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスを、それぞれ、図-48、図-49、図-50に示した。再生率 100% のものは再生率 70% のものに比較すると、高温側でスティフネスがいく分大きく、破断ひずみもいく分小さいという特徴がみられる。

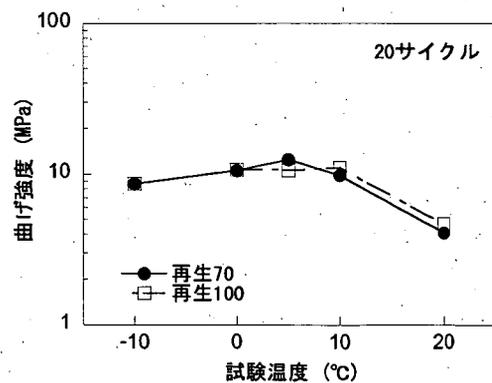


図-48 試験温度と曲げ強度 (20 サイクル)

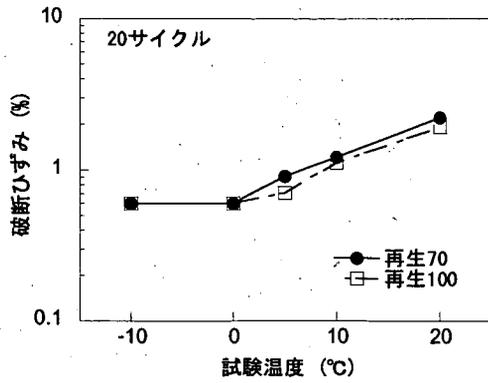


図-49 試験温度と破断ひずみ (20 サイクル)

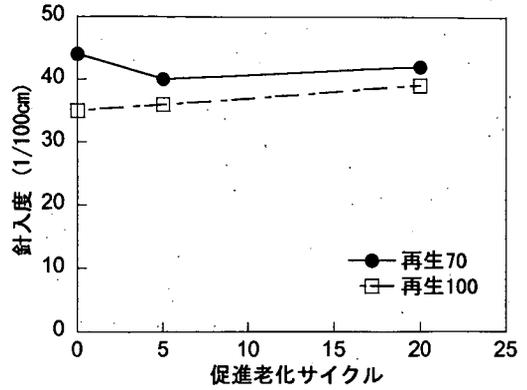


図-51 促進老化による針入度の変化

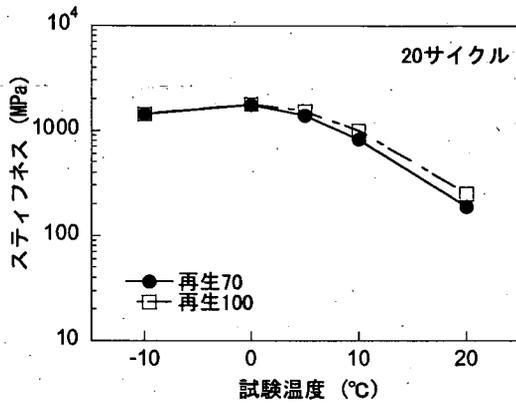


図-50 試験温度とスティフネス (20 サイクル)

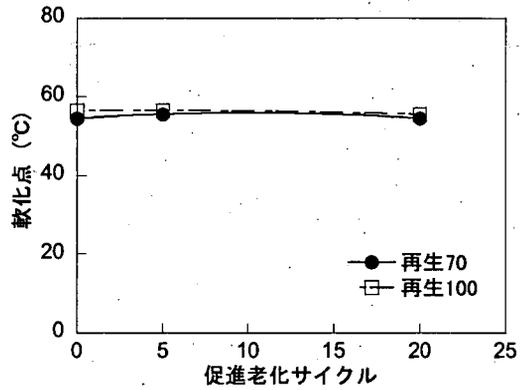


図-52 促進老化による軟化点の変化

6.2 回収アスファルトの性状

再生率を 70%ならびに 100%とした再生アスファルトコンクリートから回収したアスファルトの物理特性を調べた。図-51, 図-52, 図-53, 図-54には、それぞれ、針入度、軟化点、新度、粘度をまとめた。いずれも、促進老化サイクルに対して示してある。

いずれの特性をみても、促進老化により値が変化するような状況はみられない。すなわち、材料製造時の特性がこの程度の老化期間中は保持されることになる。5.で記したように、自然環境下に暴露した場合のアスファルトの性状変化が再生率の小さい場合に大きいことを考えると、ここで明らかになった点は自然環境下においてもあてはまるものと推定される。

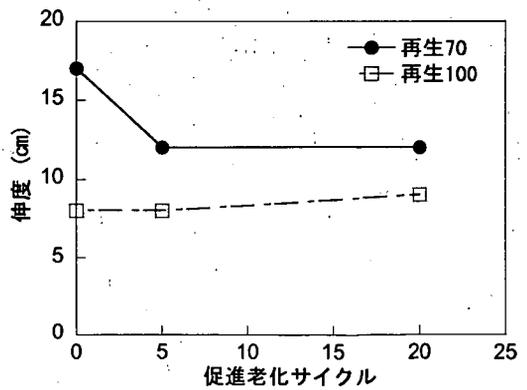


図-53 促進老化による伸度の変化

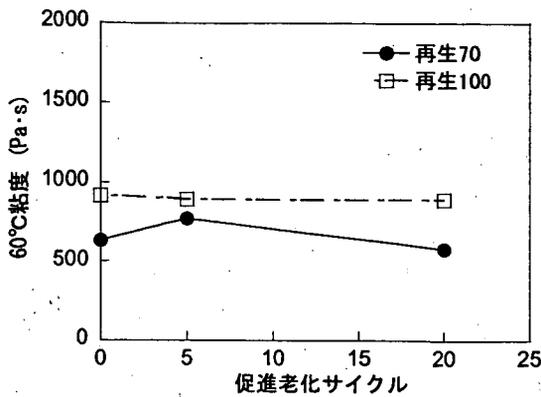


図-54 促進老化による60℃粘度の変化

6.3 まとめ

再生率を100%まで高めた再生アスファルトコンクリートの空港舗装への適用性については、次のようにまとめられる。

- ① 曲げ試験の結果をみると、促進老化を与えた場合には、再生率100%のものは、再生率70%のものに比較すると、高温側での性状変化がいく分認められる。しかし、全体的にみれば、両者で違いはほとんどない。
- ② 促進老化を与えた再生アスファルトコンクリートから回収したアスファルトの性状は、老化作用を受けても変わるようなことはない。

一連の試験結果は、再生率を100%として再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性を否定するものではないので、今後詳細な検討をすることによりその点を検証していく必要がある。

7. 結論

再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性に関する一連の室内試験結果は以下のように総括される。

(1) 再生率40%の再生アスファルトコンクリート

- ① 自然環境下に長期間暴露することにより、試料の表面にはアスファルトの剥離した骨材が目立つようになり、全体的に白っぽなる。しかし、内部についてはほとんど変化していないように見える。
- ② 曲げ試験結果では、再生材料は製造直後には新規

材料と明らかに違いがみられたが、暴露期間の経過につれてその差は減少していき、4、5年経過すると両者はほぼ同等になると判断される。

- ③ 回収したアスファルトの性状についても、②と同様に、暴露してから4、5年後には再生材料は新規材料とほぼ同等となると判断される。
- ④ 再生アスファルトコンクリートは新規のものに比較すると、グルーピングの溝形状消失の危険性は小さいものの、角欠けの危険性は同等かいく分大きい。この傾向は老化作用を受けても大きく変わらないものと推定される。

(2) 再生率70%の再生アスファルトコンクリート

- ① アスファルトコンクリートが老化作用を受けない状態では、曲げ特性には材料による差はほとんどみられないが、再生アスファルトコンクリートのほうが低温時において破断ひずみが小さく、スティフネスが大きい傾向がみられる。
- ② アスファルトコンクリートに促進老化作用を与えることにより、破断ひずみが減少し、スティフネスが増加する。これは再生、新規いずれの材料においてもみられるが、特に新規材料において顕著である。
- ③ ラベリング試験の結果では、骨材剥離抵抗性は促進老化作用により低下していくものの、材料による違いはみられない。しかし、自然環境下に暴露された場合には、新規材料ならびに再生率の小さい再生材料で骨材剥離抵抗性は著しく低下する。カンタブロ試験結果でも、再生率の小さいものほど骨材剥離抵抗性が低い。
- ④ 自然環境下に放置されたアスファルトコンクリートから回収されたアスファルトの性状をみると、いずれの材料にも老化作用がみられるが、新規材料ならびに再生率の小さい再生材料ではそれが顕著である。

(3) 再生率100%再生アスファルトコンクリート

- ① 再生率100%のものは、促進老化を与えた場合には、再生率70%のものに比較すると、曲げ試験における高温側での性状変化がいく分認められる。しかし、全体的にみれば、両者で違いはほとんどない。
- ② 促進老化を与えた再生アスファルトコンクリートから回収したアスファルトの性状は、老化作用を受けても変わるようなことはない。

以上のことから、再生アスファルトコンクリートは、施工後自然環境下に暴露されることにより老化していくものの、その進行程度が遅いことが明らかになった。特に、再生率の小さい再生材料の老化程度は、新規材料の老化の進行が相対的に早いため、施工後4、5年経過するとこれと同程度になると考えられる。老化がこの程度進行した場合でも、曲げ試験による力学特性ならびに表層材料としての特性は十分満足できるものとなっていることから、今回実施した室内試験でみる限り、再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性は高いと結論づけられる。

8. おわりに

以上のように、室内試験の結果からは、再生アスファルトコンクリートは空港アスファルト舗装の表層材料として使用し得ることが認められた。しかしながら、この結論は、供用した再生骨材の大半が空港舗装の解体に伴う発生材料に対するものであり、また、室内で行われた試験に基づくものであることから、一般的なものを含めた再生材料に関する基準化は現在東京国際空港にて実施されている試験舗装による確認を経た上で行いたい。現時点では、再生材料の原材料が空港舗装に使用されていたものである、再生率の上限が70%である、使用箇所が航空機の高速走行しない誘導路である場合に限り、再生アスファルトコンクリートを表層へ適用できるものと考えている。その場合、実工事への適用に当たっては以下に示すような対応を図ることが適切と考える。

1) 再生骨材の特性

再生骨材が再生アスファルトコンクリートに使用可能かどうか判断する。具体的には、プラント再生舗装技術指針（（社）日本道路協会）記載の基準を準用すればよい。

2) 曲げ試験による力学特性

再生材料の曲げ強度、破断ひずみ、スティフネスの3項目が新規材料のもの大きく異ならなければよい。その判断には本文で示した図等が使用可能である。

3) 骨材剥離抵抗性

骨材剥離抵抗性をラベリング試験、カンタブロ試験で求め、再生材料が新規材料と大きく異なるものでなければよい。判断基準は、曲げ試験同様、本文で示した図等が使用可能である。

なお、グルーピングの安定性については試験が特殊なこともあり、上記の2)、3)の試験により合格と判断できたものについては検討の必要はない。また、曲げ試験による力学特性ならびに骨材剥離抵抗性を評価する場合の条件設定に当たっては対象となる空港の気象条件を勘案しなければならないが、大体において本報告で採用した条件で行えば十分であると考えられる。

(2002年11月15日受付)

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:プラント再生舗装技術指針, 1992, 84p.
- 2) 八谷好高, 梅野修一, 中村 健, 野田 工:再生アスファルト混合物の基本的性状, 港研資料, No. 836, 1996.6, 15p.
- 3) 高橋 修, 秋元恵一, 八谷好高, 藪中克一:再生アスファルト混合物を用いたシックリフト工法の空港舗装への適用性, 土木学会, 舗装工学論文集, 第3巻, 1998.12, pp.241-250.
- 4) 運輸省航空局(監):空港舗装構造設計要領, (財)港湾空港建設技術サービスセンター, 1990, pp.30.
- 5) 国土交通省航空局(監):空港土木工事共通仕様書, (財)港湾空港建設技術サービスセンター, 2001.
- 6) 中村俊行, 久保和幸, 木村 慎:プラント再生舗装の現状と課題, アスファルト, 第38巻, 第184号, 1995, pp.4-8.
- 7) 佐藤勝久, 八谷好高, 阿部洋一:アスファルトコンクリートの老化性状, 港湾技術研究所報告, Vol.27, No.2, 1988, pp.185-209.
- 8) 野村健一郎・丸山暉彦・高橋光彦:アスファルトの劣化促進方法に関する研究, 土木学会, 舗装工学論文集, 第6巻, 1996, pp.223-230.
- 9) (社)日本道路協会:舗装試験法便覧, 1979, 1069p.
- 10) (社)日本道路協会:舗装試験法便覧別冊, 1996, pp.20-29.
- 11) 高橋 修, 八谷好高:組成が異なる再生用添加剤を用いた再生アスファルト混合物の特性, 土木学会, 舗装工学論文集, 第5巻, 2000, pp.23-30.

国土技術政策総合研究所研究報告

RESEARCH REPORT of NILIM

No. 7

March 2003

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5018