

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

八谷好高¹・白石修章²・池上正春³・高橋 修⁴・坪川将丈⁵・郝 培文⁶

¹ 正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)
hachiya@ipc.ysk.mlit.go.jp

² 正会員 工博 国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所 (現・関西国際空港株式会社建設事務所,
〒549-0001 泉佐野市泉州空港北1番地)

³ 正会員 工修 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所 (現・国土交通省北陸地方整備局
新潟港湾・空港整備事務所, 〒951-8011 新潟市入船町4-3778)

⁴ 正会員 博(工学) 長岡技術科学大学工学部環境・建設系 (〒940-2188 長岡市上富岡町1603-1)

⁵ 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

⁶ 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室 (現・中国长安大学公路学院,
中国西安市南二环路中段, 710064)

空港舗装の解体に伴う発生材を使用した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、室内試験ならびに試験舗装により検討した。室内試験からは、再生率を70%までとした場合の再生材料の表層としての性能が新規材料のものと大きく異なることはないこと、これは再生率100%まで高めた場合でも同様であること、またこれらの傾向は老化作用により変わらるるとはないことがわかった。さらに、3年間供用した試験舗装の評価試験結果からも、再生材料と新規材料の違いはほとんど認められなかった。これらによって、空港舗装に使用されていたアスファルトコンクリートを原材料とし、再生率を70%までとした再生アスファルトコンクリートの空港誘導路への適用性が明らかになった。

Key Words: recycled asphalt concrete, airport, surface course, laboratory test, field verification

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^{4), 5)}。

空港基本施設における舗装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（以下共通仕様書）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。

著者らは、これまでの検討結果から、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⁾。しかし、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。その場合、再生アスファルトコンクリートの表層への適用性を確認するために、次の二項目について検討する必要がある。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和骨材飛散抵抗性である。

同時に、再生アスファルトコンクリートの再生率を現

行規定以上に高める可能性について考えなければならない。この場合、上記のように、今後補修工事が増加すると想定されることから、表層への適用を前提にする必要がある。ここでは、具体的な再生率として、近年空港舗装の基層ならびに路盤として使用されたことのある70%⁶⁾に加え、100%にまで上げた場合についても対象を広げることにする。

以上の背景の下、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研究を行った。まず、再生率の上限を70%まで上げた場合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室内試験により検討した。次に、再生率を100%まで上げた再生コンクリート、すなわち完全リサイクルの可能性について室内試験により検討した。そして、再生率を70%までとした再生アスファルトコンクリートを空港舗装表層として用いた試験舗装を施工し、その挙動を観測することにより検証した。

2. 評価試験の概要

(1) 室内試験による検討

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、以下に示す二つのシリーズの試験を行った。

一つは、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。もう一つは、再生率を増加することの可能性についてであり、再生率100%すなわち骨材として再生骨材のみを使用した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した。

a) 表層としての性能評価

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、基層と路盤としての使用が認められている再生率40%に加え、空港において基層と路盤に使用された実績のある再生率70%の再生アスファルトコンクリートである。

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、試験期間を短縮するとの観点から、高温(60°C)下で直接酸素を接触させるという室内促進老化方法⁸⁾を用いることを標準とした。このほか、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、静的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飛散抵抗性について注目した。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、その表面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、グルーピング溝形状の変形、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。

b) 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も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上記a)と同様に促進老化作用を与えた。促進老化による性状変化を明らかにするために、その期間を変えて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についても調べた。

(2) 試験舗装による検証

再生アスファルトコンクリートの再生率増加の可能性ならびに表層への適用性を検証するために、試験舗装を施工して、その挙動を3年間にわたって観測した。その施工箇所が、東京国際空港の誘導路であることから、試験舗装上では供用開始以来航空機が通常どおり運行している。

試験舗装の表層には、再生率40%と70%の2種類の再生アスファルトコンクリートに加え、比較用として通常の新規アスファルトコンクリートを用いた。また、滑走路への適用性についても検討できるように、一部ではグルーピングを施工している。

3. 室内試験による表層への適用性の検討

(1) 試験方法

アスファルトコンクリートの力学特性を把握するためには、一般的な静的曲げ試験に加え、表層への適用性検討用として、骨材飛散抵抗性試験とグルーピング安定性試験を実施した。これらのはか、アスファルトを回収して、その性状についても調べた。

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、載荷速度は異なっている。供試体は、ローラコンパクタで締め固めて作

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点中央載荷方式で、載荷速度ならびに温度一定の条件で実施した。具体的には、載荷速度を10mm/min、試験温度を-10~30°Cとした。

骨材飛散抵抗性については、ラベリング試験とカンタプロ試験を準用して検討した。前者は、試験温度を常温の20°Cとしたが、それ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の部分に補足材を入れて長さを調整した。後者は、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。

グルーピングの安定性を検討するために、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。それぞれの試験に用いた供試体の寸法は舗装試験法便覧に記載されているものと同一であり、供試体の中央部分にグルーピングとして幅6mm、深さ6mmの溝を32mm間隔で7本設けた。ホイールトラッキング試験は温度60°Cで実施し、試験開始後所定の走行回数時にはグルーピング溝部の形状を計測した。溝形状の消失（つぶれ）程度を表す消失度は $(a - a')/a \times 100$ （%）、 a と a' は試験前後の溝容積）により定量化した。ラベリング試験は温度を0°Cに保持した上で往復チェーン型で行い、試験開始後所定の時間が経過した時にグルーピング溝部の形状を計測した。角欠け状況は溝形状変化率として a'/a （%）により定量化した。

回収したアスファルトに関する試験として、針入度試験、軟化点試験ならびに伸度試験を行った。試験方法はJIS K 2207に示されたものである。

アスファルトコンクリートに老化を与える方法として、促進老化法と自然老化法を採用した。前者としては、上記のように、高温下で酸化させるものを採用した。後者としては、幅300mm、長さ300mm、厚さ50mmの寸法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した。

（2）使用材料と配合

a) 使用材料

使用した再生骨材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。これらの舗装施設は最長で40年ほど供用されているが、建設後数度のオーバーレイがなされているため、アスファルトコンクリート層が表層あるいは基層として使用された

表-1 再生骨材の品質と粒度

項目	13~5mm	5~0mm
アスファルト量 (%)	2.65	6.27
(mm)		
通過質量百分率 (%)		
19	100	—
13.2	98.8	100
4.75	32.0	99.0
2.36	19.9	78.6
0.60	13.0	42.3
0.30	9.8	29.6
0.15	5.1	14.7
0.075	3.6	9.6
最大比重	2.609	2.474

表-2 骨材の配合比

材料	新規	再生率 (%)		
		40	70	100
6号碎石	37.5	25	20	—
7号碎石	22	14.5	3	—
スクリーニングス	11.5	6	—	—
粗砂	17	8	5.5	—
細砂	6	3	—	—
石粉	6	3.5	1.5	—
再生骨材 (13~5mm)	—	14	24.5	49
再生骨材 (5~0mm)	—	26	45.5	51

（単位：%）

表-3 旧アスファルトの品質

項目	測定値
針入度 (1/10mm)	36
軟化点 (°C)	54.5
伸度 (cm)	11
粘度 (Pa·s)	587
密度 (g/cm ³)	1.044

期間は平均して10年程度であると考えられる。これらのアスファルトコンクリートにはストレートアスファルトが使用されている。調整された再生骨材は、表-1に13~5mm、5~0mmに分級した場合の品質を示すように、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。

新規骨材としては、6号碎石、7号碎石、スクリーニングス、粗砂、細砂ならびに石粉を使用した。いずれも、共通仕様書等の規定を満足している。

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。前記のように、このうちの40%については空港舗装構造設計要領で空港舗装の基層と路盤用に規定している再生率の上限値であり、70%は空港舗装の基層と路盤において使用実績のある最大値である。

表-4 再生用添加剤の品質

項目	測定値	標準値
動粘度 (mm^2/s)	202	80~1000
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	—

表-5 マーシャル安定度試験の結果

項目	新規	再生率 (%)		
		40	70	100
OAC(%)	5.6	5.5	5.7	6.0
密度 (g/cm^3)	2.387	2.399	2.412	2.420
空隙率 (%)	3.0	3.2	3.0	3.3
飽和度 (%)	81.1	79.8	81.6	80.9
安定度 (kN)	12.2	13.4	13.9	14.2
フロー値 (1/100cm)	28	35	37	38
残留安定度 (%)	84.4	90.2	95.9	96.0

骨材の配合比を表-2にまとめた。骨材粒度は、いずれも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。

再生骨材から回収した旧アスファルトの品質は表-3のようなものであり、プラント再生舗装技術指針にある針入度の規定を満足している。新規アスファルトとして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。

再生用添加剤としては比較的使用実績の多いものを使用した。その品質は表-4に示すとおりである。

なお、表-1と3に示した再生骨材ならびに旧アスファルトのデータは、長期に渡った一連の試験におけるものの代表値である。

b) 再生用添加剤の添加量

再生用添加剤の添加量は、これを旧アスファルトに添加混合した後の再生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。この場合、製造過程での劣化程度が新規と再生材料で異なることを考慮して、アスファルトコンクリート製造直後のアスファルトの針入度が同一になるように添加量を決定した。

再生骨材は、上記のように、東京国際空港の解体に伴うものであるが、発生量が膨大であること、試験を順序立てて実施するのに長期間を要したことから、その特性に変動が生ずることは避けられなかった。そのため、再生用添加剤の添加量は5.2~12.2%となった。

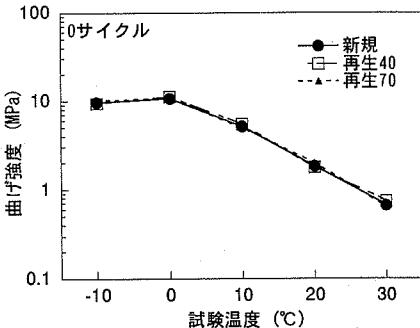


図-1 試験温度と曲げ強度 (0サイクル)

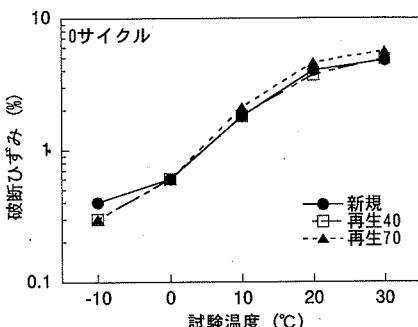


図-2 試験温度と破断ひずみ (0サイクル)

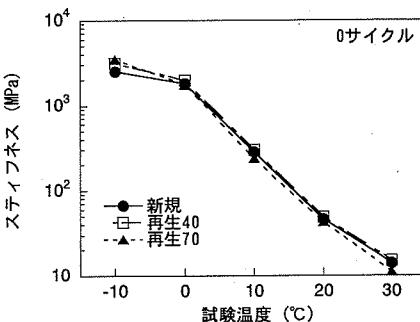


図-3 試験温度とスティフネス (0サイクル)

c) 配合設計

最適アスファルト量 (OAC) 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、共通仕様書に示された基本施設の①表層のものである。得られた最適アスファルト量は、新規アスファルトコンクリートの場合で5.6~5.9%，再生アスファルトコンクリートの場合は、40%，70%，100%のそれぞれで5.5~5.7%，5.7~6.1%，6.0%であった。得られた最適アスファルト量を用いて作製した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は、表-5（代表値）のようなものである。

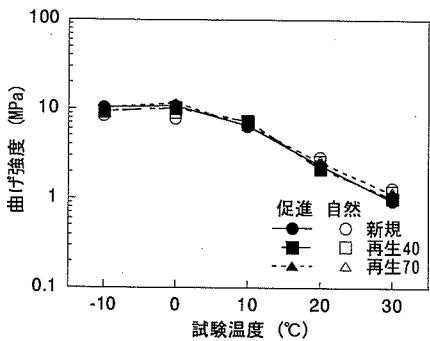


図-4 老化後の曲げ強度

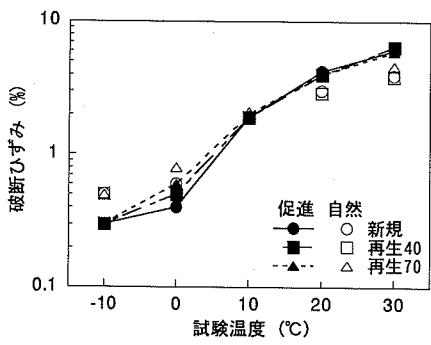


図-5 老化後の破断ひずみ

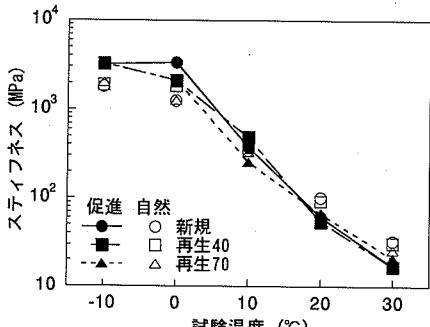


図-6 老化後のスティフネス

(3) 表層への適用性

再生率を、現行規定において上限とされている40%，空港で使用された実績として最大の70%と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、骨材飛散抵抗性ならびにグルーピングの安定性を調べた。この場合、促進老化を与えたほか、一部では自然環境下での老化も与えた。また、アスファルトを回収してその性状も調べた。

a) 曲げ特性

まず、老化作用を与える前の力学特性についてまとめ

表-6 自然老化後のアスファルトの性状

種類	針入度 (1/10mm)	軟化点 (°C)	伸度 (cm)
新規	23	61.5	5
再生40	29	58.0	7
再生70	36	55.5	9

た。載荷速度を10mm/min(供試体底面でのひずみ速度 $1.25 \times 10^{-3}/s$)、試験温度を-10~30°C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-1、2、3に示す。低温域において、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幾分みられるが、それ以外では再生率による違いは明らかではない。

20サイクルの促進老化あるいは3年間の自然老化を与えた後の曲げ特性の比較結果を図-4、5、6に示す(それぞれ、曲げ強度、破断ひずみ、スティフネス)。促進老化の場合をみると、老化を与える前は、再生率の高いほう、低温域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みられなくなっていることがわかる。また、自然環境下に3年間放置した場合をみると、再生率70%の破断ひずみは他のものに比べて低温域では大きくなっているが、曲げ強度、スティフネスについては再生率による違いはほとんどみられないことがわかる。これらのことと総合的に考えると、促進老化、自然環境下での老化のいずれにおいても、老化に伴う力学特性の変化については、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かもしくは小さいとまとめられる。

自然老化後の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表-6にまとめた。3種類の材料は、製造直後の針入度が同一となるように調整しているので、老化前の性状もほぼ同一であるとみなすと、いずれの項目をみても再生率の大きいものほど老化は進行しておらず、新規アスファルトコンクリートが最も老化の進行が顕著であると考えられる。

b) 骨材飛散抵抗性

アスファルトコンクリートの骨材飛散抵抗性が老化作用により変化する状況について、ラベリング試験とカンタプロ試験により検討した。

まず、図-7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。これらの結果からは、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。

自然老化させた供試体について行った試験の結果を

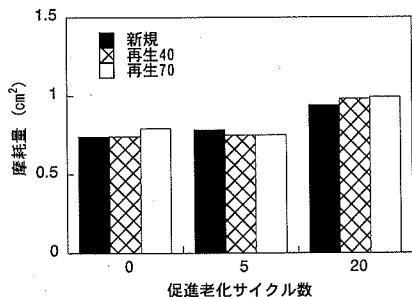


図-7 促進老化に伴う摩耗量の変化

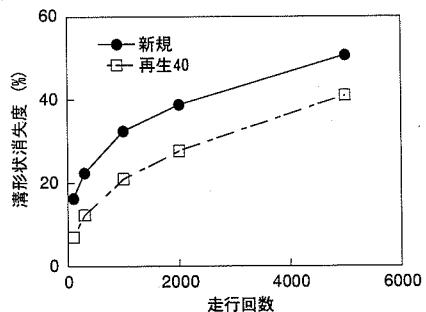


図-10 材料による溝形状消失度の違い

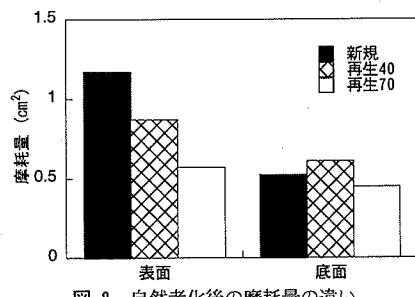


図-8 自然老化後の摩耗量の違い

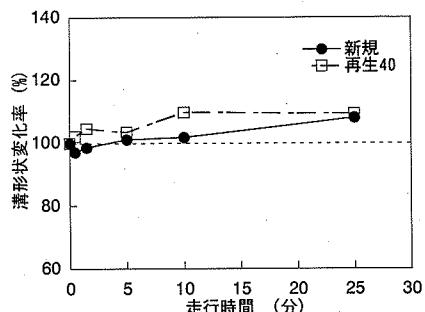


図-11 材料による溝形状変化率の違い

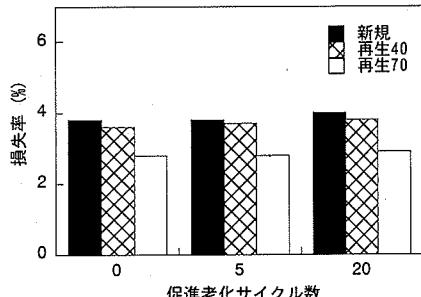


図-9 促進老化に伴う損失率の変化

図-8に示した。ここでは、日射、降雨等に直接曝された表面に加えて、それらのない底面に対しても試験を実施した。表面と底面における摩耗量を比較すると、前者のほうが大き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。表面における摩耗量には、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小さくなっていることがわかる。これは、室内で老化を促進させた場合と大きく異なった結果となっており、両者における老化作用の違いが反映しているものと考えられる。

カンタブ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-9)。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。

以上から、再生アスファルトコンクリートの骨材飛散抵抗性は新規アスファルトコンクリートよりも優れたものとなっているとまとめられる。骨材飛散抵抗性自体は老化の進行により低下するが、再生アスファルトコンクリートの優位性は老化作用を受けても変わることはないことが確認された。

c) グルーピングの安定性

グルーピングの安定性試験としてホイールトラッキング試験とラベリング試験を実施した。

高温域での特性(溝のつぶれ)を検討するための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-10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。

低温域での特性(溝の角欠け)を検討するためのラベリング試験の結果である、溝形状の変化率を図-11に示した。材料によらず、溝形状の変化率は走行につれて幾分増加している。また、再生アスファルトコンクリートのほうが新規アスファルトコンクリートに比べてわずかに

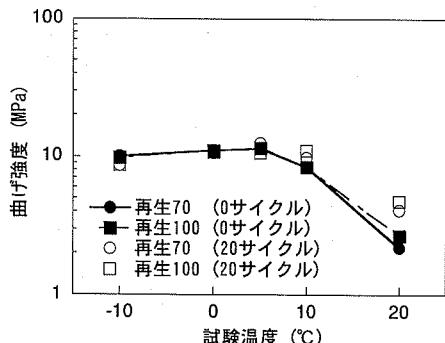


図-12 試験温度と曲げ強度

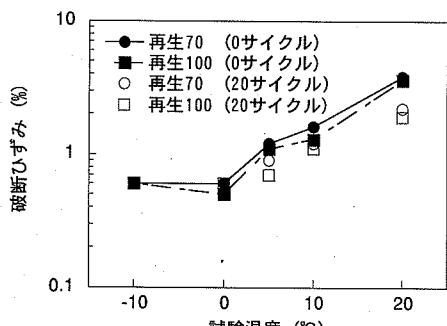


図-13 試験温度と破断ひずみ

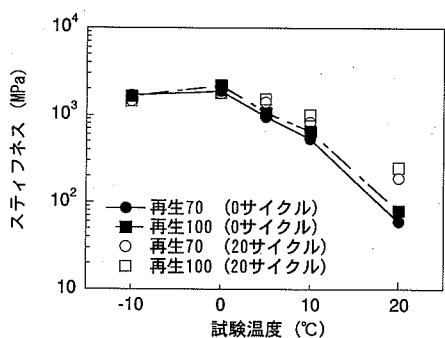


図-14 試験温度とスティフネス

大きくなっているような傾向があるものの、値自体が非常に小さいことから実質的にはほとんど差はないものを見なせよう。

以上のことから、再生アスファルトコンクリートのグルーピングの安定性は、新規アスファルトコンクリートと比較すると、高温側では優れており、低温側ではほぼ同等であるとまとめられる。

(4) 完全再生化の試み

既設舗装の解体等に伴って発生する不要アスファルト

表-7 骨材の配合

項目	材料	促進老化サイクル		
		0	5	20
針入度 (1/10mm)	再生70	44	40	42
	再生100	35	36	39
軟化点 (°C)	再生70	54.5	55.5	54.5
	再生100	56.5	56.5	55.5
伸度 (cm)	再生70	17	12	12
	再生100	8	8	9

コンクリートの完全再利用の可能性を検討するため、再生率を100%まで高めた再生アスファルトコンクリートについて室内試験を実施した。

a) アスファルトコンクリートの性状

アスファルトコンクリートについては曲げ試験を行って力学的性状を調べた。この場合、最大20サイクルまで促進老化作用を与えた。

促進老化作用を与えない場合と20サイクル与えた場合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-12、13、14に示す。老化の有無によらず、再生率を100%にまで高めると、再生率70%のものと比較して、破断ひずみが幾分小さく、またスティフネスも大きなものとなるが、その差は大きいとはいえないことがわかる。なお、20サイクルの促進老化の影響はいずれの特性においても現れており、高温域で曲げ強度が大きく、破断ひずみが小さくなっている結果としてスティフネスが大きくなっていることもわかる。

b) 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。表-7には針入度、軟化点と伸度をまとめた。

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ほとんどみられない。すなわち、再生率が高い場合には、材料製造時の特性はこの程度の老化作用が与えられても保持されるものと考えられる。

(5) まとめ

以上示した室内試験の結果から、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は、次のようにまとめられる。

再生率70%を上限とした場合においては、曲げ特性、骨材飛散抵抗性、グルーピングの安定性のいずれの点をみても、再生アスファルトコンクリートは新規アスファルトコンクリートと同等の性能を有することが確認された。この場合、再生率が増加すると再生アスファルトコンクリートと新規アスファルトコンクリートの性状の差異が多少大きくなることもわかった。再生率を100%とした場合にも同様の傾向があるものと推察された。これ

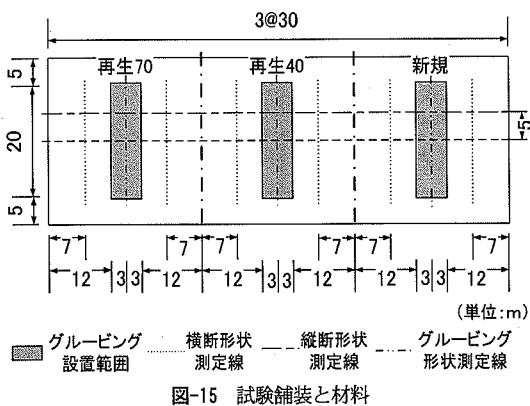


図-15 試験舗装と材料

表-8 骨材の配合

項目	新規	再生40	再生70
旧骨材 (13~5mm)	—	20	41
旧骨材 (5~0mm)	—	20	29
5号碎石	17	20	12
6号碎石	28	17	10
7号碎石	10	23	—
スクリーニングス	13	17	—
粗砂	13	—	—
細砂	15	6	8
石粉	4	—	—

(単位: %)

表-9 再生用添加剤の品質

項目		標準値
動粘度 (mm^2/s)	421	80~1000
引火点 ($^\circ\text{C}$)	234	230以上
粘度比	1.15	2以下
質量変化率 (%)	-2.01	±3以内
密度 (g/cm^3)	0.953	—
成分 (%)		
アスファルテン	1.2	—
飽和分	70.2	—
芳香族分	25.4	—
レジン分	3.2	—

らは老化作用を受けた場合にも当てはまるところから、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十分あると考えられる。

4. 試験舗装による検証

室内試験により明らかになった、再生アスファルトコンクリートの表層への適用性を検証すべく、再生率70%を上限として、供用中の空港において試験舗装を施工した。

表-10 回収アスファルトの品質

項目	新規	再生40	再生70
針入度 (1/10mm)	41	38	36
軟化点 ($^\circ\text{C}$)	52.0	54.0	55.5
伸度 (cm)	19	16	14
密度 (g/cm^3)	1.052	1.056	1.058
成分 (%)			
アスファルテン	10.8	14.9	17.3
飽和分	18.6	18.9	18.3
芳香族分	48.2	39.6	36.5
レジン分	22.2	26.3	27.6

(1) 試験舗装と材料

a) 試験舗装

東京国際空港において供用中の誘導路に3区画の試験舗装を施工した。その大きさは、各区画とも、幅30m、長さ30mであり、各区画の中央部分には幅20m、長さ6mの範囲でグレーピングを設けている(図-15)。このグレーピングは再生材料の滑走路への適用性を検討する意図で設けたものであり、その形状は空港土木施設設計基準¹¹⁾に記載されている標準的なもの、すなわち、幅、深さ6mm、間隔32mmである。舗装構造は厚さ4cmの表層、11cmの基層、48cmのアスファルト安定処理路盤と各区画同一であるが、表層のみ材料が異なっている。すなわち、新規アスファルトコンクリート、再生率40%と70%の再生アスファルトコンクリートである。

b) 使用材料

再生骨材は、室内試験で用いたものと同様に、東京国際空港の基本施設の舗装の解体に伴って発生したものである。試験舗装に用いた3種類のアスファルトコンクリートの骨材は最大粒径20mmとして調整した。その骨材配合は表-8に示すとおりであり、共通仕様書の規定を満たすものである。

アスファルトについては、新規アスファルトとしてストレートアスファルト40/60を用いたことから、再生アスファルトもそれに合わせて配合を調整した。再生用添加剤としては表-9に示す品質のものを使用した(添加率4.9%)。これはプラント再生舗装技術指針に記された品質に適合し、使用量も比較的多いものであるが、室内試験のものとは異なっている。また、添加率の決定方法は、通常の工事において標準的に用いられているプラント再生舗装技術指針に示されているものである。

アスファルトコンクリートの品質は共通仕様書の規定を満足したものとなっている。すなわち、骨材は表層タイプI、骨材最大粒径20mm、アスファルトコンクリートは基本施設①表層の規定を満足している。最適アスファルト量は新規アスファルトコンクリートが5.5%、再生アスファルトコンクリートが再生率40%、70%のそれぞれ5.4%、5.5%である。アスファルトコンクリート

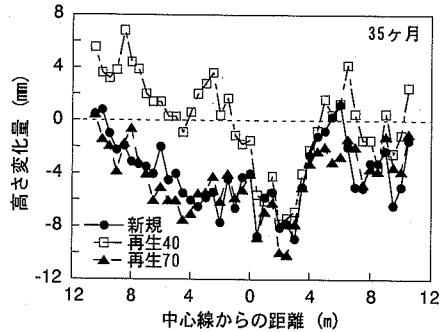
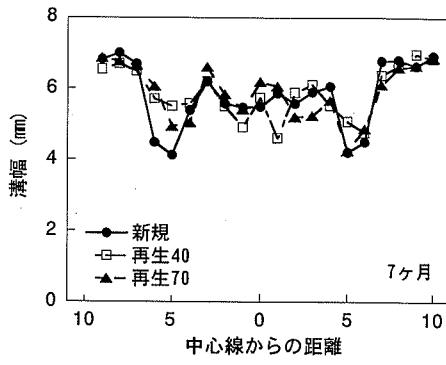


図-16 材料による横断方向高さ変化量の違い



a) 供用7ヶ月後

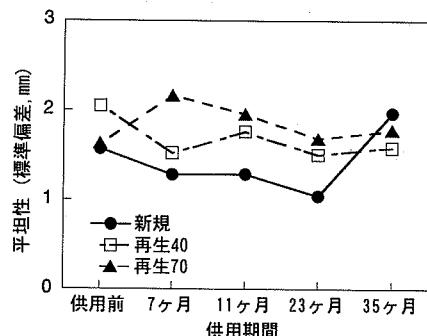
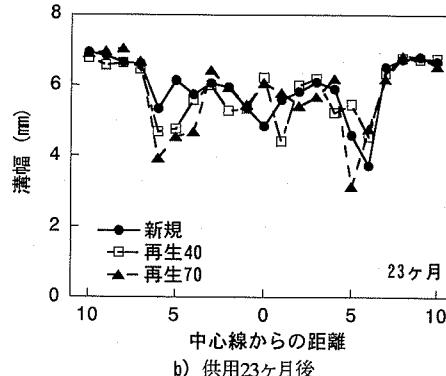


図-17 材料による平坦性の違い



b) 供用23ヶ月後

から回収したアスファルトの品質は表-10に示すとおりである。

(2) 試験項目と内容

評価試験は現地試験と採取試料より回収したアスファルトの性状試験から成る。これらの試験は供用開始前から供用後3年までの間実施している。なお、試験舗装は供用中の誘導路に施工されたことから、その上を航空機が通常どおり走行している。

現地試験としては、縦断形状（平坦性）、横断形状（わだち掘れ）、グルーピング形状（溝幅）を測定した（測定位置は図-15に示す）。このほか、FWD (Falling Weight Deflectometer)によるたわみ測定も実施している。

平坦性とわだち掘れについては、プロフィルメータにより測定し、グルーピングの溝幅については1m間隔でノギスを用いて測定した。FWDによるたわみ測定は、荷重を200kNとして、各区画6箇所（主脚通過位置と端部3箇所ずつ）で実施した。

このほか、各区画の表層から10個の円柱試料（直径100mm）を採取してアスファルトを回収し、JIS K 2207に規定されている針入度、軟化点、伸度を測定した。これに加えて、アスファルトの成分分析をカラムクロマトグラフィ法（石油学会法）により行った。

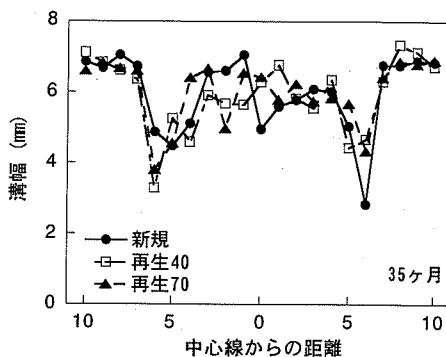


図-18 材料によるグルーピング溝幅の違い

(3) 舗装表面形状ならびに構造評価

35ヶ月間供用した舗装の横断方向の高さ変化量について、各区画における2測線の平均値を比較したものが図-16である。中心線近傍において高さ変化量も大きくなる傾向は認められるが、材料の違いによる差は明確ではない。このことから、横断形状の変化、すなわちわだち掘れの進行については、材料による差はほとんどないものとみなすことができる。

縦断形状の測定結果を、標準偏差として量化して、比較した結果を図-17に示す。再生アスファルトコンク

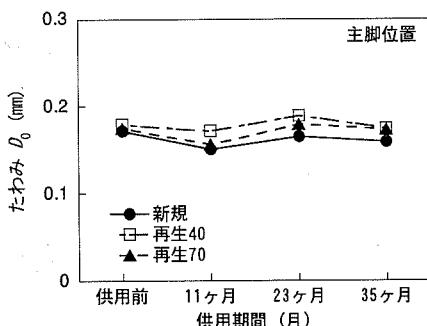


図-19 FWD最大たわみ D_0 の供用に伴う変化

表-11 アスファルトの性状変化

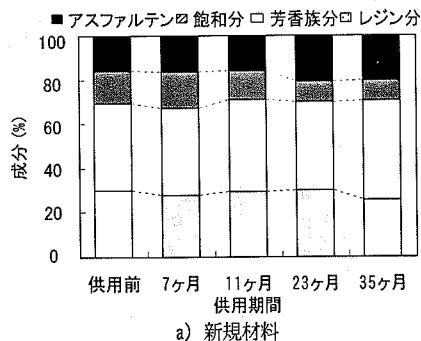
項目	材料	供用期間(月)				
		供用前	7	11	23	35
針入度 (1/10mm)	新規	26	24	25	30	29
	再生40	24	23	23	22	21
	再生70	26	28	28	23	22
軟化点 (°C)	新規	58.6	58.5	58.5	60.0	56.5
	再生40	59.4	60.5	59.5	60.5	61.5
	再生70	59.5	58.5	58.0	58.5	59.5
伸度 (cm)	新規	5	6	6	5	8
	再生40	5	5	5	5	5
	再生70	6	6	7	6	6

リートでは、供用後の値が供用開始前の値よりも大きく増加することはないことがわかる。また、値自体も共通仕様書の出来形管理規定を満足するものとなっていることから、平坦性保持という観点からは、再生材料は新規材料と同等であるとみなすことができる。

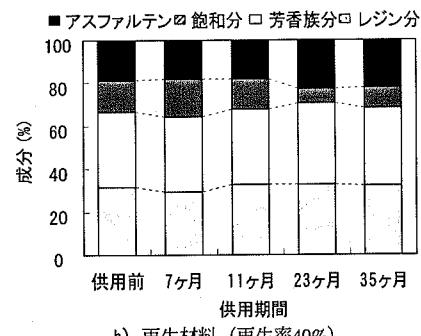
グルーピングの溝幅が供用につれて変化する状況を図-18に示した。航空機主脚通過位置における溝幅は供用期間の経過につれて低下していくものの、その状況については材料による違いがほとんどみられないことがわかる。このことから、グルーピングの溝幅保持性能については材料による違いはないものとまとめられる。

FWDによる測定結果である最大たわみ D_0 について図-19にまとめた。これは、測定を実施した季節がほぼ等しい場合の、供用期間の経過に伴う主脚通過位置における D_0 の変化である。この図から、 D_0 が供用に伴って大きく変化するようなことはないこと、材料による D_0 の違いもほとんどないことがわかる。

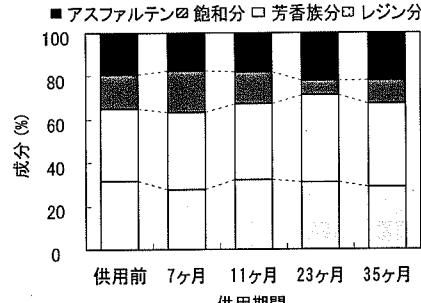
以上に示したことから、縦・横断形状とグルーピング溝幅で表わされる舗装表面性状ならびにFWDたわみで表わされる舗装構造状態のいずれにおいても、再生アスファルトコンクリートを表層に用いたことによる影響はほとんど認められないと結論づけられる。



a) 新規材料



b) 再生材料（再生率40%）



c) 再生材料（再生率70%）

図-20 アスファルト成分の供用に伴う変化

(4) 回収アスファルトの性状

試験舗装の表層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性状を表-11に示した。供用前のデータは建設後1年経過時のものであるので、施工直後のものに比較すると老化していることも想定されるが、供用期間の経過に伴う特性値の変化はわずかであるか、またはほとんどみられないことがわかる。また、同一供用期間における材料の違い、すなわち再生率の違いも明確ではない。

アスファルトの成分分析結果として、アスファルテン、飽和分、芳香族分、レジン分の4成分に分けたものを図-20に示す。一般的に老化により増加するとされるアスファルテンは、この場合も供用期間の経過によって幾分増

加する傾向が認められる。しかし、その程度については、材料による違いは明確にはなっていない。

以上に示したように、アスファルト単体の物理性状ならびに成分からみれば、材料による経年変化の違いはほとんどみられないとまとめられる。

(5) まとめ

供用期間3年程度までの試験舗装の観察から、舗装表面形状・構造状態ならびに表層から回収したアスファルトの性状・成分をみても、再生アスファルトコンクリートと新規アスファルトコンクリートとの差異はほとんどないことがわかった。これは室内試験で得られた知見を裏づける結果であり、空港舗装の解体により生じた再生骨材を使用した再生アスファルトコンクリートは、再生率70%を上限として空港誘導路舗装の表層として十分使用可能であるとまとめられる。

5. 結論

空港アスファルト舗装に使用されていた再生骨材を用いた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明らかにするために、一連の室内試験ならびに供用中の空港において試験舗装を施工した。これにより次のような知見が得られた。

- (1) 再生率を70%までとした場合、再生アスファルトコンクリートは、新規アスファルトコンクリートと比較すると、曲げ試験による基本的力学特性ならびにグルーピング安定性には大きな差がみられないのに加え、骨材飛散抵抗性は良好である。これは老化作用を受けても変わることはない。
- (2) 再生率を100%まで高めた再生アスファルトコンクリートを再生率70%のものと比較すると、曲げ特性ならびに回収アスファルトの性状の違いはほとんどみられない。また、老化作用を受けてもこれが変わることの傾向は認められない。
- (3) 3年間供用した試験舗装の性状観測結果からは、舗装の表面性状ならびに構造状態に加えて、回収したアスファルトの性状をみても、再生アスファルトコンクリートと新規アスファルトコンクリートの違いはほとんど認められない。

以上のことから、空港舗装に使用されていたアスファルトコンクリートを原材料とし、再生率を70%までとし

た再生アスファルトコンクリートの空港誘導路への適用性が明らかになった。

6. おわりに

本研究により、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材料としての適用性が確認できた。本研究で使用した再生骨材は空港舗装の解体に伴って発生したアスファルトコンクリートであることから、これ以外からの発生骨材を用いたもの、具体的には、市中の再生アスファルトコンクリートプラントから出荷されるような材料の空港舗装表層への適用性について今後速やかに検討を行わなければならないと考えている。また、本研究では、主として、現行規定にあるアスファルトコンクリートの力学的性質ならびにアスファルトの物理的性質に注目して、それらが老化に伴って変化する状況について検討してきており、これらの原因と考えられる、老化に伴うアスファルトの成分、化学的性質の変化といったものについては対象としていない。この点については、研究の実行可能性、進め方を含めて今後の課題したい。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会: プラント再生舗装技術指針, 84p, 1992.
- 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、港湾技研資料、No.836, 15p, 1996.
- 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, pp.241-250, 1998.
- 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、147p, 1990.
- 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) 松下信夫: 新B滑走路の建設工事、エアポートレビュー、No.107, pp.119-124, 1999.
- 7) Sato, K., Hachiya, Y. and Abe, Y.: Changes in Properties of Asphalt Concretes due to Aging, Mini-Workshop on Paving in Cold Areas, Canada/Japan Science and Technology Consultations, pp.85-116, 1987.
- 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1巻, pp.223-230, 1996.
- 9) (社) 日本道路協会: 舗装試験法便覧、1069p, 1979.
- 10) (社) 日本道路協会: 舗装試験法便覧別冊、317p, 1996.
- 11) 国土交通省航空局(監) : 空港土木施設設計基準、(財) 港湾空港建設技術サービスセンター、2001.

(2003. 7. 10 受付)

APPLICATION OF RECYCLED ASPHALT CONCRETES IN AIRPORT PAVEMENT SURFACE COURSES

Yoshitaka HACHIYA, Nobuaki SHIRAISHI, Masaharu IKEGAMI,
Osamu TAKAHASHI, Yukitomo TSUBOKAWA and Peiwen HAO

The applicability of recycled asphalt concretes, with the waste materials obtained in construction works of airport pavements, to airport pavement surface courses at taxiways was verified through this study. In laboratory tests on asphalt concretes with the maximum recycling rate of 70%, the recycled asphalt concretes are almost equivalent to new ones, regarding both flexural properties and anti-stripping properties, and the changes of properties due to accelerated aging actions become less as the recycling rate increases. The properties of full-recycled asphalt concrete is similar to those of recycled asphalt concrete with 70% recycling rate. Through the field observation on airport asphalt pavements with recycled asphalt concretes, the difference in properties between recycled and new materials is negligible.