

# 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

高橋 修<sup>1</sup>・秋元恵一<sup>2</sup>・八谷好高<sup>3</sup>・藪中克一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 土質部滑走路研究室 (〒239-0826 横須賀市久里浜3-1-1)

<sup>2</sup>正会員 運輸省第二港湾建設局 東京空港工事事務所 (〒144-0041 東京都大田区羽田空港3-3-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 土質部滑走路研究室 (〒239-0826 横須賀市久里浜3-1-1)

<sup>4</sup>正会員 工修 運輸省第二港湾建設局 横浜調査設計事務所 (〒231-0003 横浜市中区北仲通5-57)

空港アスファルト舗装の建設において、アスファルト廃材の有効利用と作業時間の短縮は、社会的なニーズを背景に近年ますます重要視されており、早急なる対応が望まれている。再生混合物を用いたフルデプス舗装をシックリフト工法で構築すれば、これら二つの問題点に対して同時に寄与できると考えられ、本研究ではこのような舗装構築法の空港舗装への適用性について検討した。ここでは、このような工法について、①再生混合物の舗装材料としての評価、②シックリフト工法の施工法としての評価、③出来上がったフルデプス舗装の構造評価、を行って適用性を検討した。その結果、適切な配合設計を行って、適切な施工方法を用いれば、現行の管理規格を十分に満足する舗装を構築することが可能であり、空港舗装への適用性が高いことを確認した。

*Key Words : recycled asphalt mixture, airport pavement, thicklift method, full depth pavement*

## 1. はじめに

資源の有効利用と環境保全の観点から、建設副産物の有効利用が積極的に行われており、特にアスファルト廃材については再度同じ用途のアスファルト混合物として利用する“Recycle”が積極的に推進されている。リサイクル法の施行やリサイクルプラン21の公表を受けて、道路舗装の分野ではアスファルト混合物の再生利用の割合が急速に伸びている<sup>1)</sup>。空港舗装の建設においては、再生混合物を活用した実績はあまり多くないが、空港施設の維持修繕や拡張に伴う工事によって発生するアスファルト廃材は近年増加傾向にあり、効率的な有効利用が重要視されている。

また一方で、空港機能への影響をできるだけ少なくするために、舗装の補修工事は航空機の通行が途絶える夜間に作業を強いられ、時間的な制約を受けることになる。そして、空港舗装は舗装厚が大きいために、舗装全体を構築するのに多数の舗設作業が必要となり、施工効率がかかなり低く抑えられてしまう。特に、滑走路端部では必要とされる舗装厚が他に比べて厚いことから、十数回も数均しと転圧の作業を繰り返す場合もある。このようなことから、空港舗装でも、限られた規制時間内に多くの舗装打換えを実施して直ちに供用できるような急速舗装修繕工法<sup>2)</sup>の開発が強く望まれている。

本研究では、アスファルト廃材の有効利用と作業時間の短縮という二つの課題に対して同時に寄与できる

ように、再生アスファルト混合物を利用したシックリフト工法の空港舗装への適用性について検討を行った。供給量が増加傾向にあるアスファルト廃材を積極的に活用するためには、廃材混入率を高くした再生アスファルト混合物を路盤および表層・基層に使用して、フルデプス舗装を構築するのが有効であり、フルデプス舗装の構築にはシックリフト工法が作業効率の高い施工方法である。ここでは先ず、空港アスファルト舗装におけるシックリフト工法の有効性(必要性)について考察し、次に再生アスファルト混合物の各層への適用性を室内試験に基づいて評価した。また、シックリフト工法についての検討では、室内試験と屋外の試験施工を実施して施工厚が大きいことによる影響を調査した。さらに、フルデプス舗装の構造評価をFWDによるたわみデータに基づいて検討した。

## 2. 空港アスファルト舗装におけるシックリフト工法の有効性

### (1) 空港アスファルト舗装の実状

空港アスファルト舗装は設計荷重が大きいことに起因して、道路舗装とは異なる構造上の特徴がいくつか指摘されている。そのなかで、本研究に関連する事項について整理してみると次のとおりである。

空港基本施設でアスファルト舗装が適用されているのは主に滑走路と誘導路であり、どちらの場合も設計荷

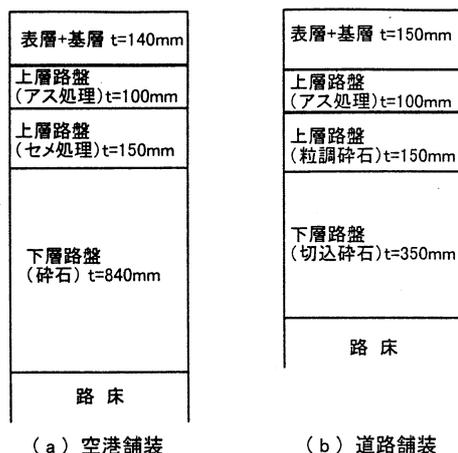


図-1 空港舗装と道路舗装における舗装構成の比較

重は、その空港において就航している航空機の脚荷重の中で最も重いものである。わが国において代表的な航空機の機種は、総重量が最も重い部類の大型ジェット機であるB-747-400であり、その場合の標準脚荷重は92.8tf（燃料満載時）である。構造設計では、このような脚荷重が設計期間10年の間に、繰返し作用する回数に基づいて舗装厚を決定することになる。構造設計に用いる設計荷重が大きいことから、道路舗装に比べて舗装厚が全体的に厚い。例えば、図-1は空港アスファルト舗装構造設計要領<sup>3)</sup>に記載されている滑走路中間部中央帯の構造設計例と、アスファルト舗装要綱<sup>4)</sup>に付記されている舗装断面例でD交通の場合の一つを示したものである。滑走路の断面例は路床の設計CBRが5であり、道路舗装のほうは設計CBRが6の場合である。表層・基層の厚さはほぼ同じであるが、上層路盤の材料と下層路盤の厚さが異なっている。

このように舗装構成層の厚さが大きいと、それを施工するのに多数の舗設作業を繰り返さなければならない。図-1に示した滑走路断面の場合、空港土木工事共通仕様書<sup>5)</sup>での各層における一層あたりの仕上がり厚の規定に基づくと、下層路盤を6層で、上層路盤を2層で、表層・基層を2層で施工して、合計10回もの敷均しと転圧の作業を繰り返すことになる。舗設作業の繰返し回数が多くなると、当然のことながら舗装体を構築するのに長い時間を要することになり、時間的制約を受ける補修工事では、施工効率の高い工法が必要となる。

また一方では、航空機が高速で走行、および離着陸するために、特に滑走路では高い安全性が要求される。航空機の安全運行には路面の平坦性が主要因子の一つであり、わだち掘れやクラックの発生に対する抵抗性を向上させて平坦性の低下を防ぐためには、舗装体としての強度性能も重要である。そのため、空港舗装では各層を施工する際の管理規格が、道路舗装の場合よりも若干高め設定されている。アスファルト混合物

の締固め度は、道路舗装の場合には一般的に96%以上で管理されているが<sup>4),6)</sup>、多くの空港では98%以上という目標値が設定されている。(ただし、この規格値は仕様書<sup>5)</sup>には明記されていない。)このような、安全性に立脚したクラックや塑性変形に対する抵抗性への配慮も空港舗装の特筆すべき点である。

## (2) シックリフト工法の有効性

わが国では、シックリフト工法は1970年ころより道路舗装を中心に採用されている<sup>7)</sup>。最近では、大粒径アスファルト混合物を使用した舗装体の施工に採用された事例がいくつか報告されている<sup>2),8)</sup>。これらの場合においてシックリフト工法が採用される背景には、①補修工事では施工時間が限られており、短い時間で工事を完了できること（その結果、工費の節約につながる）、②大粒径混合物を厚く施工することによって、耐流動性の高い舗装を構築できること、といった効用を期待してのことである。

空港舗装においても道路舗装の場合と全く同じ状況で、主に上記と同じ目的で運用が検討されている。特に①の点については、空港舗装は道路舗装よりも舗装厚が大きいため、施工効率を向上させることは道路よりも深刻な課題である。耐流動性の増加も耐久性の向上を目的とした一つの取り組みであるが、この他に層間付着の強化も期待されるものである。つまり、③通常は2層、3層で構築するアスファルト混合物層を1層で舗設することによって、タックコートの不良による層間剥離の問題<sup>9)</sup>を抜本的に改善できる。空港舗装では、以上の3点の有効性に着目してシックリフト工法の適用性について検討を進めている。

## (3) 既往の研究と空港舗装での問題点

空港舗装にフルデプス舗装やシックリフト工法が採用された事例は非常に少ないが、道路舗装での多くの資料と(1)節で記した空港舗装の実状を元に、シックリフト工法の空港舗装における問題点についてまとめてみると以下のとおりである。

一般に、シックリフト工法には、①平坦性が低下する、②厚さ方向の密度が不均一になる、③温度低下に長い時間を要する、といった問題点が指摘されているが、空港舗装の場合は、④混合物密度の管理規格値が道路舗装のものよりも高いが、その所定の密度を確保できること、および⑤施工幅員が広く、層厚も大きいので混合物を安定して供給できること、といった条件が付加されることになる。

本研究では、室内試験と試験施工に基づいてこれらの問題点について検討し、具体的な知見を得るとともに空港舗装への適用性を評価した。

表-1 アスファルト混合物の種類

| 種類 | 適用層 | 最大粒径 | 配合              |
|----|-----|------|-----------------|
| A  | 表層  | 13mm | 通常混合物           |
|    |     |      | 再生 30%          |
| B  | 表層  | 20mm | 通常混合物           |
|    |     |      | 再生 40%          |
| C  | 基層  | 20mm | 通常混合物<br>再生 40% |
| D  | 路盤  | 40mm | 再生 40%          |

表-2 使用材料

| 材料        | 材質              |
|-----------|-----------------|
| 砕石 (4~7号) | 硬質砂岩            |
| スクリーニングス  |                 |
| 粗砂        | 川砂              |
| 細砂        | 洗い砂             |
| 石粉        | 石灰岩粉末           |
| 再生骨材      | R-2 (粒径 5~13mm) |
|           | R-3 (粒径 0~5mm)  |
| アスファルト    | ストレート 40-60     |
|           | ストレート 60-80     |
| 再生用添加剤    | 石油系潤滑油          |

### 3. 再生混合物の舗装材料としての評価

空港舗装への適用を前提とした再生アスファルト混合物の基本的な検討については、東京国際空港に特化した報告<sup>10)</sup>が既にあるが、ここでは現状を踏まえてより一般的な再生混合物について、材料としての性能を検討した。空港アスファルト舗装の各層に使用される代表的な混合物の配合を基準に、再生骨材を使った再生混合物と新規骨材を使った通常の混合物（以下、通常混合物と略記する）についての配合を決定し、各材料の品質を規格値に基づいて評価した。そして、再生混合物と通常混合物における物理性能と回収アスファルトのバインダー性状を比較して材料的な評価を行った。本章で実施した室内試験の方法と結果の整理は、基本的には舗装試験法便覧<sup>11)</sup>に準拠して実施した。

#### (1) アスファルト混合物の種類と使用材料

本研究では、空港基本施設の表層、基層、路盤層に用いられるアスファルト混合物を検討の対象とし、再生骨材を混入した再生混合物と新規骨材のみを使用した通常混合物について評価を行った。再生混合物における再生骨材の配合率は、最近におけるプラント再生の実状<sup>1)</sup>と荷重条件が厳しい空港舗装であることを考慮して、30%と40%の2種類とした。以下、再生骨材の混入率が30%の再生混合物を再生30%、40%のもを再生40%と略記し、表-1に使用した混合物の種類を示す。表層用の混合物については、骨材の最大粒径が13mmと20mmの2種類を用意した。

各混合物に使用した材料は表-2に示すとおりである。再生骨材は、それを製造した再生プラントにおける生産比率に従って、粒径5~13mmのR-2を40%、粒径0~5mmのR-3を60%の割合で混合したものである。旧アスファルトの含有量は5.5%であり、その針入度は29であった。それぞれの再生骨材の品質は、プラント再生舗装技術指針<sup>12)</sup>に示されている基準を十分に満足していた。アスファルトバインダーは、再生混合物が

表-3 マーシャル安定度試験の結果

| 種類  | 配合     | 安定度 (kgf) | フロー値 (1/10mm) | 残留安定度 (%) |
|-----|--------|-----------|---------------|-----------|
| A   | 通常     | 1300      | 34            | 96.5      |
|     | 再生 30% | 1380      | 35            | 97.2      |
|     | 再生 40% | 1390      | 34            | 97.7      |
| A † | 再生 40% | 1200      | 34            | 95.0      |
| B   | 通常     | 1310      | 34            | 97.0      |
|     | 再生 40% | 1420      | 33            | 98.3      |
| C   | 通常     | 1180      | 29            | 88.1      |
|     | 再生 40% | 1280      | 29            | 89.0      |
| D   | 再生 40% | 1290      | 28            | 82.8      |

†突固め回数が50回の場合（これ以外は75回）。

ストアス40-60で、通常混合物がストアス60-80であった。また、再生混合物には一般的に用いられている再生用添加剤を使用した。

#### (2) マーシャル安定度試験による評価

各種アスファルト混合物におけるマーシャル安定度試験の結果を表-3に示す。全ての混合物で、空港舗装における品質規格を満足した結果となっている。それぞれのタイプの混合物でフロー値はほぼ同じ値であるが、再生骨材を混入した混合物のほうが通常混合物よりも安定度が大きくなっている。このように安定度が高くなるのは再生混合物の特徴で、再生骨材に皮膜している既に老化したバインダーに起因している。

また、剥離に対する抵抗性を評価するために、水浸マーシャル安定度試験も実施して残留安定度を求めた。この結果についても、再生混合物のほうが少しばかり高い値となっており、剥離抵抗性に大きな差異はないようである。

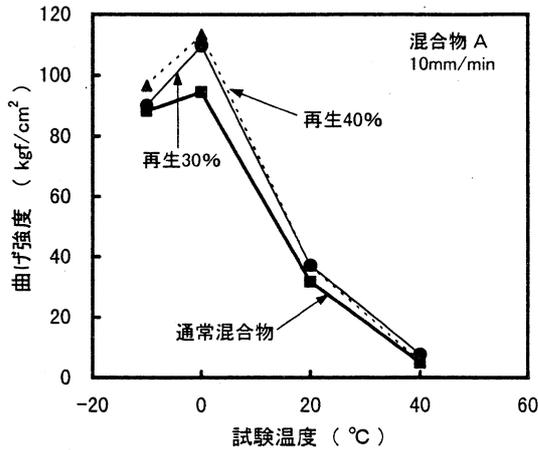


図-2 A混合物の曲げ強度

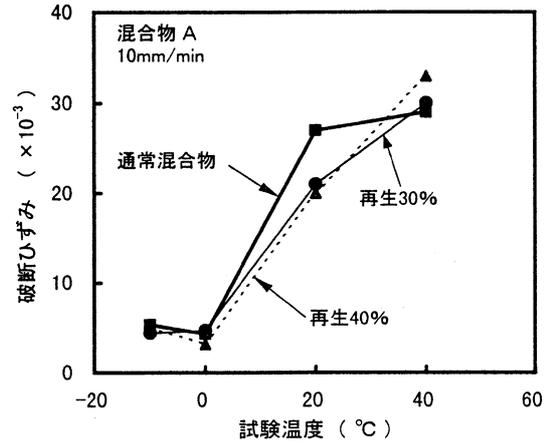


図-3 A混合物の破断ひずみ

表-4 動的安定度の結果

(単位：回/mm)

| 種類 | 通常混合物 | 再生30% | 再生40% |
|----|-------|-------|-------|
| A  | 760   | 1070  | 1190  |
| B  | 610   | —     | 970   |

表-5 バインダー性状の比較

| 混合物の種類    | 針入度<br>(1/10mm) |      | 軟化点<br>(°C) |      |
|-----------|-----------------|------|-------------|------|
|           | 原アス             | 回収アス | 原アス         | 回収アス |
| A (通常)    | 70              | 55   | 46.0        | 49.0 |
| A (再生40%) | 50              | 43   | 52.0        | 43.0 |
| B (再生40%) | 50              | 42   | 52.0        | 53.5 |

### (3) アスファルト混合物の物理特性と回収アスファルトのバインダー性状

各種アスファルト混合物の物理特性は主に曲げ試験によって評価し、表層用の混合物についてはホイールトラッキング試験も実施した。

曲げ試験は試験法便覧に準拠して実施したが、供試体の寸法と載荷速度が若干違っている。供試体寸法は300×50×50mmとし、載荷速度は航空機荷重の実状を考慮して(航空機の走行速度は、道路舗装の車両速度よりも速いか、あるいは遅い場合がほとんどである)10mm/minと100mm/minの2種類とした。そして、試験温度は-10°C、0°C、20°C、40°Cの4とおり変化させた。試験結果の一例として、Aタイプの混合物についての破断時曲げ強度を図-2に、破断時ひずみを図-3に示す。これらの結果は、載荷速度が10mm/minの場合である。全体の傾向としては、再生骨材の配合率が大きいほど曲げ強度は増加し、破断ひずみは減少している。そして、破断ひずみが減少する傾向はどのタイプの混合物とも試験温度が20°Cの場合に顕著であった。

ホイールトラッキング試験の結果は表-4に示すとおりである。これは動的安定度の値をまとめたものであり、再生骨材の配合率が高いほど動的安定度の値は大きくなっている。これらの結果から、再生混合物の耐流動性は通常混合物よりもかなり優れていると判断される。

また、曲げ試験後のサンプルからアスファルトを回収して、そのバインダー性状を試験した。ここでは、Aタイプの通常混合物と再生40%、およびBタイプの再生40%を検討の対象とした。原アスファルトとサンプルからの回収アスファルトについての針入度と軟化点の結果を表-5に示す。Aタイプの通常混合物における回収アスファルトの針入度は、原アスファルトの約80%ほどに低下している。同様に、Aタイプの再生40%では86%に、Bタイプの再生40%では84%に低下している。原アスファルトの針入度は通常混合物のほうが大きく、また再生混合物には再生添加剤を使用しているため、再生混合物のほうがアスファルトの劣化が少ないと判断することはできない。軟化点の結果もそうであるように、これらの試験結果からはバインダー性状に明確な差を確認することができなかった。

### (4) 暴露供試体による評価

長期の耐久性を評価するための一つ的手段として、供試体を長期間屋外に暴露したものについても、曲げ試験と回収アスファルトによるバインダー性状の試験を実施した。暴露期間は18ヶ月、33ヶ月、51ヶ月の3ケースとし、混合物の種類はAタイプの通常混合物と再生40%、およびBタイプの再生40%である。曲げ試験の

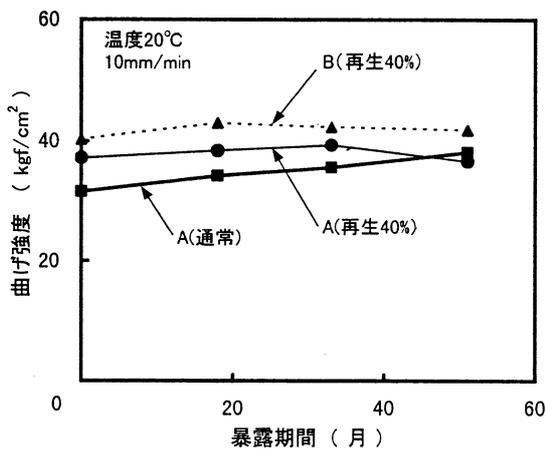


図-4 曲げ強度と暴露期間の関係

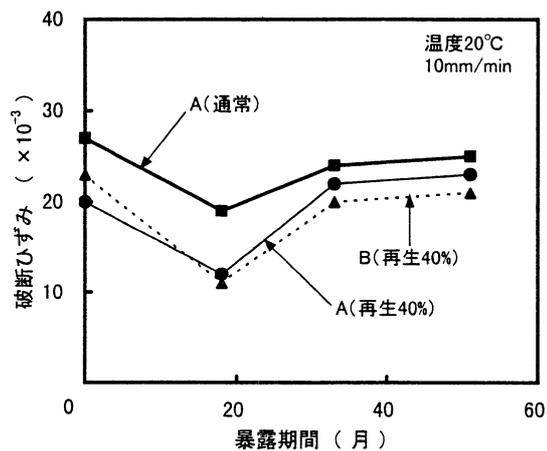


図-5 破断ひずみと暴露期間の関係

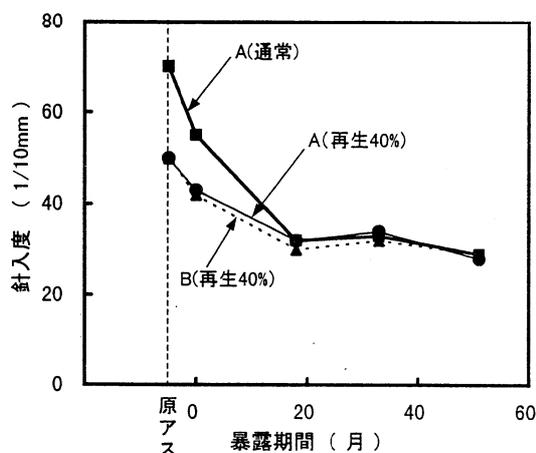


図-6 針入度と暴露期間の関係

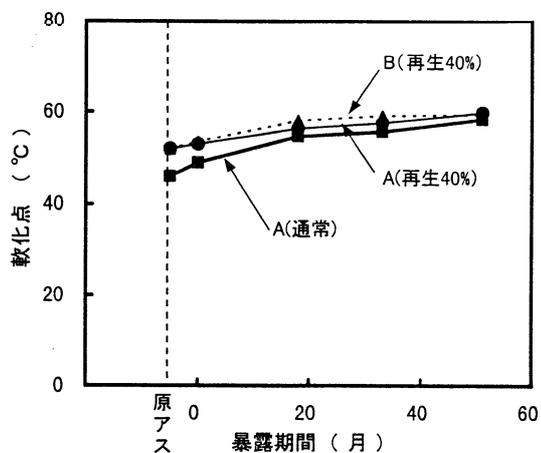


図-7 軟化点と暴露期間の関係

条件は、試験温度が20℃で荷速度が10mm/minの1条件のみであった。また、バインダー性状の試験としては、針入度試験と軟化点試験を実施した。

曲げ試験の結果として、図-4に破断時曲げ強度の推移を、図-5に破断時ひずみの推移をそれぞれ示す。図中には前節で示した供試体作製時の結果を、暴露期間ゼロとして加えている。再生混合物における破断時の曲げ強度は、51ヶ月の間でいくらか上下しているものの、全体的には明確な変化が認められない。通常混合物では暴露期間が長くなるに従って曲げ強度は徐々に増加しており、51ヶ月を経過した時点で再生混合物とほぼ同じレベルになっている。破断時のひずみについては、各混合物とも暴露18ヶ月で小さくなって、それ以降は少しだけ増加している。暴露期間18ヶ月で不自然に大きく変化しているのは、何らかの人為的な誤差が影響しているものと考えられる。

次にバインダー性状の検討として、針入度試験と軟化点試験の結果をそれぞれ図-6と図-7に示す。針入度は暴露期間が長くなるに従って低下する傾向にある

が、どの混合物も暴露期間18ヶ月までに大きく低下し、それ以降はほぼ横ばいといった変化である。この傾向は、初期の針入度が大きい通常混合物のほうが顕著であり、18ヶ月でどの混合物もほぼ同じ値となっている。軟化点のほうは、暴露期間が長くなるにつれて再生混合物、通常混合物ともに徐々に高温になっている。そして、暴露期間が51ヶ月で再生混合物と通常混合物に差が見られなくなっている。

以上の暴露供試体を用いた試験結果から、再生混合物では通常混合物よりも暴露期間が長くなることによるバインダー性状の劣化程度は少ないが、加熱混合の前後において既に劣化が生じているので、51ヶ月間暴露した状態ではバインダー性状に大きな差がないと考えられる。そして、混合物についても同様な傾向があり、暴露期間が長くなるほど、再生混合物と通常混合物における材料特性の差異が少ないと判断できる。ただし、このような考察は、暴露時に何らかし設計荷重が作用していない条件のものであって、実際の状況に直接リンクするものではないことを付記しておく。

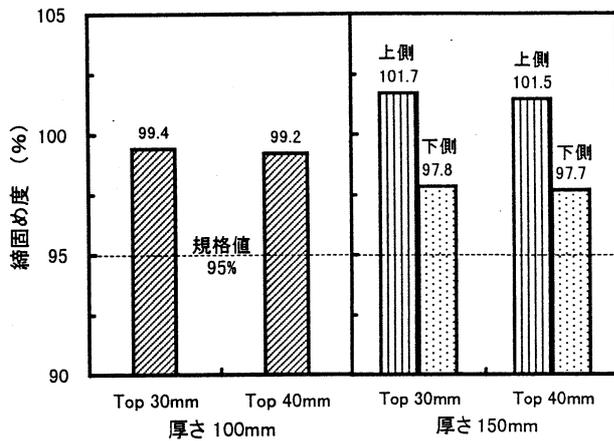


図-8 締固め度の比較

### (5) 混合物評価のまとめ

本章で示した室内試験の結果から、再生混合物の各層への適用性について以下のようにまとめられる。

- ①再生混合物は通常混合物よりもマーシャル安定度、曲げ強度、動的安定度がともに大きく、基層および路盤層に対して使用しても問題はない。
- ②破壊時のひずみについては、通常混合物の値よりも再生混合物のほうが小さい傾向にあり、さらにバインダー性状も再生混合物のほうが劣化している状況に近いと考えられる。これらのことから、再生混合物の表層への適用には、より詳しい検討が必要である。

## 4. シックリフト工法の施工法としての評価

再生混合物を空港アスファルト舗装に使用することを考えた場合、前章の各種混合物に対する室内試験から、基層と路盤層への適用については問題がないことを知見として得た。ここでは、再生混合物を用いてこれらの層を構築する場合に、シックリフト工法の施工法としての有効性について検討した。2章の(3)節で記したシックリフト工法の問題点について検討するには、ある程度の規模を有した試験施工の実施が必須であり、ここでは主に実際の空港で行った試験施工の結果に基づいて検討を行った。

### (1) 室内試験による均一性の評価

本節では、アスファルト混合物をシックリフト工法で施工する場合について着目し、その場合の混合物層における厚さ方向の均一性について検討した。これは、次節に後述する試験施工に先立って実施した予備試験という位置付けである。

#### a) 試験概要

最大粒径が30mmと40mmのアスファルト混合物(連続粒度)を使用して、厚さが100mmと150mmの供試

表-6 曲げ試験の結果

| 最大粒径<br>(mm) | 載荷速度<br>(mm/min) | 温度<br>(°C) | 曲げ強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |      | 破壊時ひずみ<br>(×10 <sup>-3</sup> ) |      |
|--------------|------------------|------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
|              |                  |            | 上部                             | 下部   | 上部                             | 下部   |
| 30           | 1                | 0          | 99.1                           | 73.8 | 20.8                           | 15.7 |
|              |                  | 20         | 8.0                            | 6.3  | 30.4                           | 27.6 |
|              |                  | 40         | 1.4                            | 1.1  | 25.6                           | 24.4 |
|              | 100              | 0          | 101.8                          | 75.5 | 8.6                            | 7.8  |
|              |                  | 20         | 54.9                           | 40.4 | 28.0                           | 30.9 |
|              |                  | 40         | 6.1                            | 3.7  | 27.5                           | 31.1 |
| 40           | 1                | 0          | 99.2                           | 66.5 | 16.3                           | 14.5 |
|              |                  | 20         | 7.7                            | 6.1  | 30.4                           | 29.2 |
|              |                  | 40         | 1.6                            | 0.9  | 28.2                           | 25.8 |
|              | 100              | 0          | 101.8                          | 75.5 | 8.6                            | 7.8  |
|              |                  | 20         | 58.5                           | 33.3 | 28.8                           | 21.5 |
|              |                  | 40         | 5.7                            | 3.8  | 33.9                           | 34.4 |

体を作製し、150mmのものについては厚さ方向に二つにスライスして、それぞれの密度を測定した。また、二つにスライスした厚さ75mmの供試体に対し、それぞれ温度と載荷速度を変化させた曲げ試験を行って材料特性を比較した。

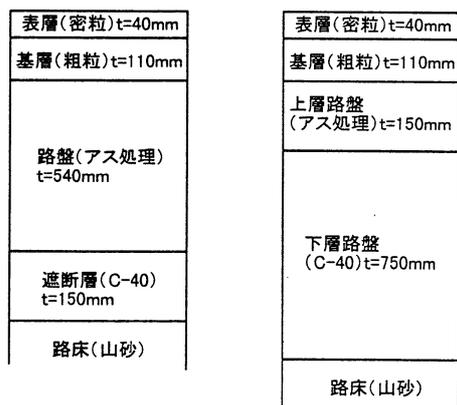
供試体は、ホイールトラッキング試験の供試体を作製する場合と同様に、ローラコンパクタと鋼製型枠を使用して一層で締固めを行い、300×300mm(長さ×幅)のものをいったん作製した。そして、温度が低下した後、ダイヤモンドカッタを使って所定の寸法に切り出した。

### b) 試験結果

締固め度の結果を図-8に示し、曲げ試験の結果を表-6に示す。空港舗装におけるアスファルト安定処理路盤の施工では、締固め度は95%以上という密度管理値が採用されており、どの混合物もこの規格値を満足していた。そして、厚さ150mmの供試体ではどちらの混合物も上側のほうが下側のものよりも密度が高く、曲げ強度が大きい。しかし、破壊時のひずみについては、上側と下側とでは差がほとんど見られなかった。これらの結果から、路盤層の一層施工厚を150mm程度とした場合、上部と下部とでは密度差による強度のばらつきが認められたが、これらは規格を十分に満足していることから適用上の問題となる可能性は低いと判断される。

### (2) 試験施工による適用性の評価

室内試験の結果から一層の舗設厚さを150mm程度としても十分な密度が得られることを確認できたので、施工条件を種々変化させた試験施工を実施して、実際の施工時における具体的な知見を得ることとした。試験



(a) フルデプス舗装 (b) 通常舗装

図-9 試験施工の舗装断面

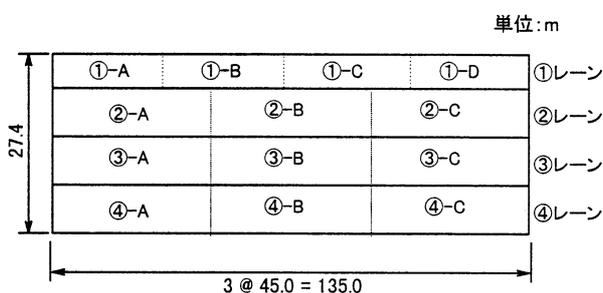


図-10 試験施工ヤードの概要

施工の目的は、最適な施工条件を検討することであり、実際における施工性と出来形を確認して最終的な空港舗装への適用性を評価することである。

a) 試験施工の概要

試験施工は東京国際空港新B滑走路への適用を想定したものであり、エプロン工区内の試験ヤードで実施した<sup>13),14)</sup>。図-9に試験施工の舗装断面を示す。(a)図は路盤層に再生アスファルト安定処理を使用した試験施工断面であり、(b)図は下層路盤に粒状材料を使用した元設計断面である。今回の試験施工でシクリフト工法によって舗装する層は路盤層(上層路盤と下層路盤)とし、実際の新B滑走路では路盤層の厚さは48cmであるが試験ヤードのエプロンでは54cmであり、その差6cmは厚さ調整用の路盤と考えることにした。したがって、本試験施工での主たる検討は、再生アスファルト混合物を用いたシクリフト工法で厚さ48cmのアスファルト安定処理路盤を構築する場合の、具体的な知見を得ることであった。

検討方法としては、舗装構成(一層16cm厚で3層仕上げor一層24cm厚で2層仕上げ)、転圧方法(振動ローラの有無、2次転圧の転圧回数)、施工ジョイント(型枠使用orテーパ仕上げ)を種々変化させ、それに対する密度、縦断方向の平坦性、温度低下状況、および施工効率の差異を比較した。試験施工ヤードの概要

表-7 各試験レーンの施工条件

| レーン | 施工厚  | 一次転圧 | 二次転圧 | 継ぎ目 |      |    |
|-----|------|------|------|-----|------|----|
| ①-A | 24cm | 振動   | 12   | 型枠  |      |    |
| ①-B |      |      | 16   |     |      |    |
| ①-C |      |      | 16cm |     | マカダム | 12 |
| ①-D |      |      |      |     |      |    |
| ②-A | 24cm | マカダム | 8    | 型枠  |      |    |
| ②-B |      |      | 12   |     |      |    |
| ②-C |      |      | 16   |     | テーパ  |    |
| ③-A | 16cm | 振動   | 8    | 型枠  |      |    |
| ③-B |      |      | 12   |     |      |    |
| ③-C |      |      | 16   |     | テーパ  |    |
| ④-A | 16cm | マカダム | 8    | 型枠  |      |    |
| ④-B |      |      | 12   |     |      |    |
| ④-C |      |      | 16   |     | テーパ  |    |

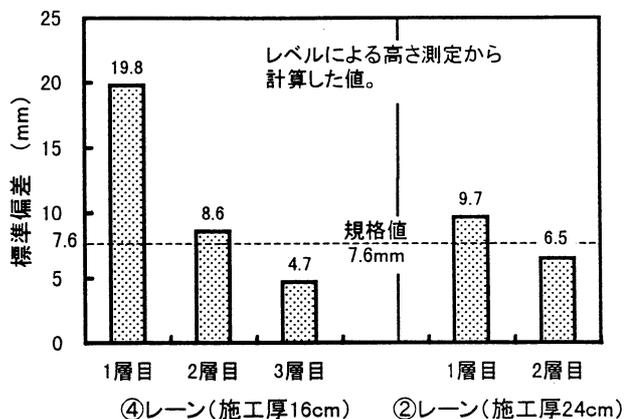


図-11 路盤各層での平坦性

とその区分を図-10に示し、各工区(レーン)での施工条件を表-7に示す。

b) 試験結果

本試験施工は、多くの条件を種々組み合わせたものでデータ量が膨大にあることから、ここでは論旨に沿った主要事項について簡潔に記述した。

平坦性は、一層の施工が終了するたびに工区表面をメッシュで分割し、その交点の高さをレベル測定して評価した。②レーン(24cm厚施工)と④レーン(16cm厚施工)について、高さのばらつきを標準偏差で表して図-11に示す。路盤仕上がり面の平坦性は16cm厚施工のほうが優れており、24cm厚では規格値(上層路盤仕上がり面の高さについての規格で、この場合の標準偏差で表現したものを図中の破線で示した)に近い結果であったが、どちらの場合も規格値を満足していた。

一舗装層における深さ方向に対する密度のばらつきは、各施工層を上部、中間部、下部に3分割し、それぞれ

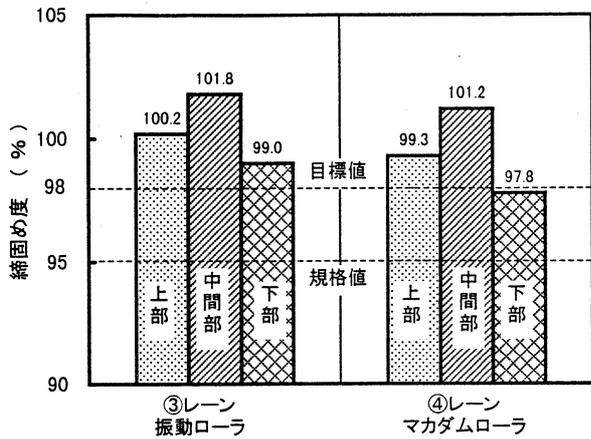


図-12 試験施工における締固め度の比較

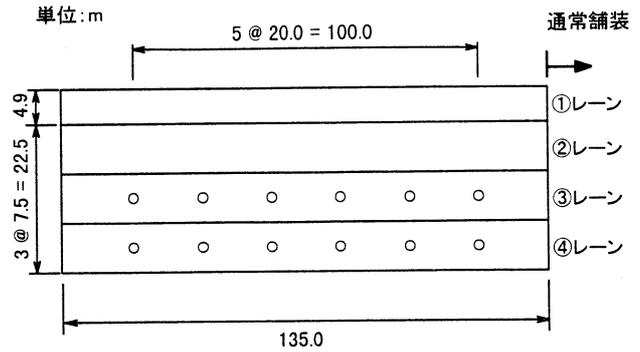


図-13 FWDによるたわみ測定位置

れの密度を比較することによって検討した。結果の一例として、③レーン（振動ローラ使用）と④レーン（マカダムローラ使用）における各3層分のデータをすべてまとめたものを図-12に示す。先述したように、アスファルト安定処理路盤の締固め度についての規格値は95%以上であるが、東京国際空港の滑走路では98%以上という目標値が設定されている。全体的に中間部で密度が最も大きく下部で最も小さいという傾向であったが、下部の締固め度はすべてにおいて規格値を満足したものであった。また、③レーンと④レーンの比較から初期転圧に振動ローラを用いることの優位性が認められる。ここでは具体的なデータを示さないが、施工厚の違いによる締固め度の差は認められなかった。

この他にも、16cm厚の場合でも、舗装体の内部温度が50℃まで低下するのに約12時間要すること、合材供給の観点からは16cm厚のほうが施工に適していること、施工ジョイントはテーパ仕上げのほうが締固め度は大きく、作業効率も優れていること、二次転圧の締固め度は転圧回数の多いほうが高くなるが、16回は過転圧であり12回で十分であること。などの知見を得ることができた。

### (3) シックリフト工法のまとめ

試験施工を通じて、シックリフト工法の施工法としての空港舗装への適用性を検討した。本章の検討は、主に路盤層の構築のみに対するものであったが、得られた主要な知見をまとめると以下のとおりである。

①元設計では6層仕上げで舗装する路盤層を、シックリフト工法によって3層あるいは2層で構築することが可能であり、施工効率の向上を期待できる。この場合、平坦性や締固め度は空港アスファルト舗装の規格を満足しており、空港舗装への適用性は高いものと評価できる。

②一層あたりの施工厚が大きくなると、混合物の安定した供給が難しくなり、このことが施工効率の低下につながる。本試験施工での24cm厚の施工法では、混合物の供給が十分でなかったために施工速度が低下し、実質的な作業効率は16cm厚の施工とあまり差がなかった。安定した混合物の供給がシックリフト工法の適用に大きく関与することが判明した。

③上記の問題と平坦性の優位性から、本試験施工では16cm厚の施工のほうが有効であった。

冒頭で挙げたシックリフト工法の問題点のなかで、温度低下に長い時間を要する事項については、今回の検討では単に温度変化をモニターしただけで、その評価については言及しなかった。これは、空港舗装では交通開放のようなものについての温度に関する規格値が無いこと、および道路舗装に比べて走行荷重の頻度がかかり少ないために、その影響はあまり問題にならないと判断したことによるものである。

## 5. 本工法によるフルデプス舗装の構造評価

シックリフト工法で構築したフルデプスアスファルト舗装の空港舗装としての構造評価を行うために、前章で記した東京国際空港でのシックリフト工法の試験施工箇所において、フォーリングウェイトデフレクトメータ（FWD）を用いた舗装体のたわみ測定を実施した。舗装体のたわみデータに基づいて各構成層の弾性係数を逆解析し、その弾性係数を用いてアスファルト混合物層下面の引張ひずみと路床上面の圧縮ひずみを推定した。これら2種類のひずみを、フルデプスアスファルト舗装と粒状路盤を用いた通常の舗装の両方でそれぞれ求め、両者を比較することによって構造評価を行った。

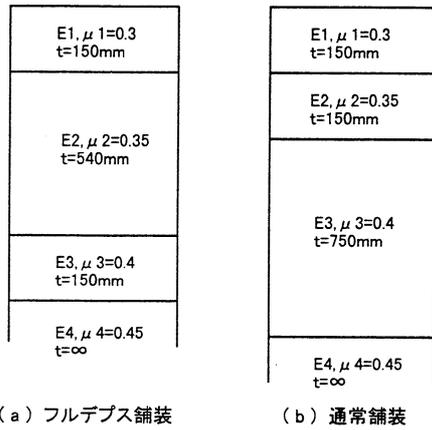


図-14 各舗装体の解析モデル

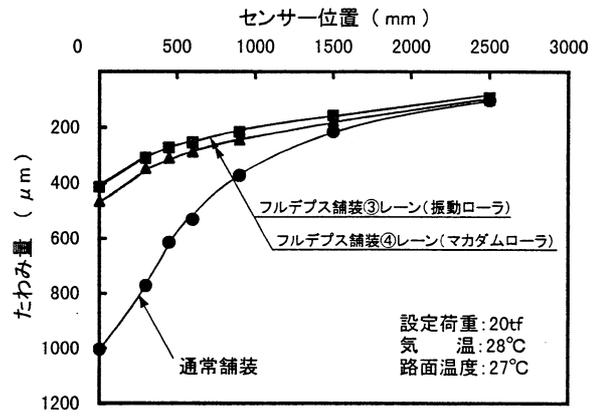


図-15 各測定ヤードのたわみ曲線

### (1) 調査方法

東京国際空港におけるシックリフト工法の試験施工舗装体は、図-10に示したように一層施工厚と転圧条件の違いによって4つのレーンに区分されていた。どのレーンも舗装断面は全く同じであり、シックリフト工法での一層施工厚は16cmのほうが実用的であること、および①、②レーンは制限区域内（試験時には既に供用されていた）に含まれていて測定が難しいことから、FWDによる測定は③レーンと④レーンで実施した。③レーンと④レーンの違いは、一次転圧に振動ローラを用いた場合とマカダムローラを用いた場合の違いであり、これによって路盤層の密度が③レーンのほうで多少大きくなっている。図-13にFWDによる測定位置を示す。丸印が測定したポイントであり、各レーンとも6点で測定を行った。このほかに、この試験施工舗装体に隣接する粒状路盤を用いた一般的な施工断面の箇所でも同様に5点で測定を実施した。フルデプス舗装と通常舗装の断面構造は既に図-9に示したとおりである。

本測定で使用したFWD装置<sup>15)</sup>は、たわみ量を載荷点直下、載荷中心から30cm、45cm、60cm、90cm、150cm、250cmの計7個所の位置で測定できるもので、設定荷重は20tfとした。1測点につき4回の測定を行い1回目のデータは棄却して、1測点で3組の有意データが得られるようにした。

### (2) 層弾性係数の逆解析

フルデプス舗装と粒状路盤を用いた通常舗装を多層弾性体でモデル化し、それぞれの各構成層の弾性係数をたわみデータから逆解析して推定した。舗装体の解析モデルは、図-9に示した各舗装断面に基づいて図-14に示す4層構造の多層弾性体である。各測点について3組の荷重、たわみデータが得られるが、逆解析では3組のそれぞれの値を平均し、その平均値のみを使用して測点における逆解析弾性係数を求めた。つまり、そ

表-8 逆解析した弾性係数

(単位: kgf/cm<sup>2</sup>)

| 測定ヤード | E1     | E2     | E3    | E4    |
|-------|--------|--------|-------|-------|
| ③レーン  | 29,200 | 40,700 | 900   | 2,600 |
| ④レーン  | 28,700 | 34,800 | 400   | 2,400 |
| ③④平均  | 28,900 | 37,700 | 700   | 2,500 |
| 通常舗装  | 30,000 | 18,700 | 1,500 | 1,800 |

れぞれの測定値を平均して1測点に対して1回の逆解析を行った。なお、弾性係数の逆解析には、中央大学理工学部道路研究室が作成したソフトウェア『ELSA for Windows』<sup>16)</sup>のLMBSを使用した。

③レーン、④レーンおよび通常舗装の各測定ヤードにおいて、6ないし5点のたわみ平均値のなかで代表的なものを図-15に示す。これらは、各測定ヤードにおいてそれぞれの位置のたわみ量が全体のそれぞれの平均値に最も近い測点のデータである。たわみは通常舗装で全体的に大きく、フルデプス舗装では路盤層の密度がいくらか大きい③レーンで若干小さい。

それぞれの測点におけるたわみデータから逆解析した各層の弾性係数を、各測定ヤードについて表-8にまとめる。これらは各測定ヤードで6あるいは5組得られる逆解析弾性係数をそれぞれ平均し、十の位以下をまるめたものである。シックリフト工法によるフルデプス舗装では、再生混合物を使用したアスファルト安定処理層に相当する2層目の弾性係数のほうが表層・基層に相当する1層目のものよりも大きい。このことは室内の曲げ試験によって得られた破壊時スティフネスの結果と一致している。曲げ試験では、新規表層タイプの混合物よりも上層路盤タイプの再生混合物のほうが、破壊時スティフネスが大きい結果であった。全体的にたわみが小さい③レーンのほうが④レーンよりも、各

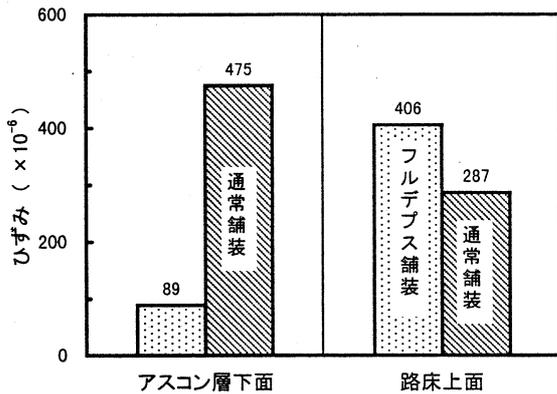


図-16 ひずみの比較

層の弾性係数が大きく計算されている。しかしながら、その差はわずかであり、③レーンと④レーンには構造的な違いがないと判断される。

### (3) 舗装体内部のひずみ推定値

それぞれ健全状態にある舗装体の構造的な比較を、逆解析弾性係数の大きさのみに基づいて行うのは無理があるので、ここでは各舗装体に生じるひずみ値を推定し、それらを比較することによって評価した。比較するひずみは舗装体の破壊と密接な関係があると考えられているアスファルト混合物層下面の引張ひずみと路床上面の圧縮ひずみとした。これらのひずみ値は、各舗装体を図-14 に示した4層弾性体でモデル化し、各層の弾性係数に逆解析で求めた表-8 の値を使用して計算した。フルデプス舗装モデルの各層弾性係数には、③レーン、④レーンにおける各測定点の平均値を用いた。載荷する荷重は逆解析で使用したFWDによって計測された値をそのまま流用した。計算は先に記した『ELSA for Windows』のELSAを用いて行った。ここで注意を要するのが、フルデプス舗装では路盤と路床の間にC-40の遮断層があり、これは舗装体の構造には含まれないので、この層以下を路床とみなした。したがって、フルデプス舗装での路床上面のひずみは、図-9 の(a)に示した遮断層上面(図-14 の(a)に示したE3層上面)における値である。

図-16 に各舗装体におけるそれぞれのひずみ推定値を示す。アスファルト混合物層下面の引張ひずみは、フルデプス舗装のほうが通常舗装よりもかなり小さい値(1/5以下)で、 $10^2$ のオーダーである。これは層厚が大きいこと、すなわち層としての強度が高いことに起因しているが、これらの舗装は全く同じ条件に基づいて設計されていることを考慮すると、フルデプス舗装のほうがアスファルト混合物層へのダメージが小さい構造であると推察される。これに対して、路床上面の圧縮ひずみはフルデプス舗装のほうが通常舗装よりも1.4

倍ほど大きい。通常舗装では粒状路盤層の厚さが75cmもあり、路床上面の位置が深いところにあるため、路床上面に生じるひずみは全体的に小さな値である。路床上面の圧縮ひずみが1.4倍ほど大きくても、アスファルト混合物層下面の引張ひずみが1/5以下とかなり小さいことから、破壊に対する抵抗性はフルデプス舗装のほうが優位であると考えられる。

したがって、以上に記した舗装表面のたわみと内部ひずみの推定値から評価すると、シックリフト工法によるフルデプス舗装のほうが粒状路盤を用いた通常の舗装体よりも構造的に優れていると判断される。

## 6. 空港舗装への適用性の評価

以上において言及した再生混合物の適用性、シックリフト工法の適用性、および一部に再生混合物を使用してシックリフト工法で構築したフルデプス舗装の構造特性に基づいて、本工法の空港舗装への適用性についてまとめる。

再生混合物の評価では、表層以外に対して適用することは問題ないと評価され、シックリフト工法の舗設工法としての評価では、施工条件を適切に選定すれば非常に有効な工法であることが確認された。そして、FWDたわみに基づいた構造評価では、フルデプス舗装は粒状路盤を用いた通常の舗装よりもたわみ性が小さく、破壊に対する抵抗性が高いと判断された。最上部の層のみに新規混合物を使用して、表層・基層もシックリフト工法で舗設することも考えられるので、総合的に評価すると、再生混合物を使用したシックリフト工法は空港アスファルト舗装に対する適用性が高いと判断される。

## 7. まとめ

再生アスファルト混合物を上層および下層路盤に使用し、シックリフト工法によって構築したフルデプス舗装は、空港舗装としての適用性が高いことを確認できた。また、シックリフト工法における一回の舗設厚を必要以上に厚く設定しても、作業効率が低下することも判明した。さらに、試験施工を通じて、設計に関連する施工上の問題点や実用化に向けた具体的な課題について多くの知見を得ることができた。

以下に、本研究で得られた主な知見をまとめる。

- (a)再生骨材を40%程度混入した再生混合物は、空港アスファルト舗装の基層と路盤に対して適用しても問題がない。表層への適用性については、別途、耐久性を評価したうえで検討する必要がある。

(b) シックリフト工法は、舗装厚が大きい空港舗装において適用性がかなり高い。施工条件を現場の状況に応じて適切に選定すれば、作業効率をかなり向上させることが可能で、有効な施工法といえる。

(c) 試験施工の実施により、混合物の供給、温度変化、施工ジョイントの処理、および転圧方法などについての具体的な知見を得ることができた。

(d) 一部に再生混合物を使用し、シックリフト工法によって舗設したフルデプス舗装に対して、FWDによるたわみデータに基づいた構造評価を行った。その結果、フルデプス舗装は変形が小さく、粒状路盤を用いた通常の舗装よりも構造的に優れていることを確認できた。

今後の課題としては、再生混合物を表層に適用する場合の耐久性を含めて、フルデプス舗装の長期供用性を評価し、路面性状の変化に関するデータを収集する必要がある。また、本格的な施工を考えると、さらに施工時間を節約できる工夫が望まれる。

#### 参考文献

- 1) 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について, アスファルト, 第38巻, 第184号, pp.4-8, 1995.
- 2) 村上則男, 藤井政昭: 大粒径アスファルト舗装 (QRP工法の開発), 土木施工, 36巻3号, pp.39-43, 1995.

- 3) 航空振興財団: 空港アスファルト舗装構造設計要領, pp.65-67, 1990.
- 4) (社)日本道路協会: アスファルト舗装要綱, pp.301-302, 1992.
- 5) 航空振興財団: 空港土木工事共通仕様書, 第4章, 1993.
- 6) 日本道路公団, 施工管理要領基準集, 舗装施工管理要領, pp.13-16, 1989.
- 7) (社)日本アスファルト協会: フルデプス・アスファルト舗装資料集,
- 8) 鶴窪廣洋, 荒川英明, 大山浩人, 布田徳彦: 大粒径アスファルト混合物を使用したシックリフト工法試験施工道路建設, No.7-1, pp.57-65, 1995.
- 9) 八谷好高, 梅野修一, 佐藤勝久: アスファルトコンクリートの層間付着におけるタックコートの効果, 土木学会論文誌, No.571/V-36, pp.199-209, 1997.
- 10) 秋元恵一, 金澤 寛, 稲田雅裕, 藪中克一: 空港舗装発生材の新設滑走路舗装への再利用に関する検討, 第1回舗装工学論文集, pp.213-222, 1996.
- 11) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧, 1988.
- 12) (社)日本道路協会: プラント再生舗装技術指針, 1992.
- 13) 秋元恵一, 守屋義一, 鈴木雅人, 浜 昌志: 東京国際空港におけるシックリフト工法の試験施工 (その1), 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp.72-73, 1998.
- 14) 秋元恵一, 守屋義一, 鈴木雅人, 浜 昌志: 東京国際空港におけるシックリフト工法の試験施工 (その2), 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp.74-75, 1998.
- 15) (社)土木学会舗装機能の評価技術に関する研究小委員会: 舗装機能の評価法, (社)土木学会, pp.44, 1992.
- 16) わが国の舗装研究者による hoso-ml のホームページ (<http://www.plan.civil.tohoku.ac.jp/pave/hoso-ml/>) のFTP サービスからダウンロード可能.

## APPLICABILITY OF THICKLIFT METHOD IN USING RECYCLED ASPHALT MIXTURE FOR AIRPORT PAVEMENT

Osamu TAKAHASHI, Keiichi AKIMOTO, Yoshitaka HACHIYA and Katsuichi YABUNAKA

Making better use of pavement waste and investigating quick repair pavement are important matters not only for road pavement but also for airport pavement. In this paper, applicability of recycled asphalt mixture and thicklift construction method for airport pavement was discussed by carrying out laboratory tests and field test construction. From the evaluation of testing results, it was recognized that recycled asphalt mixture could be used to airport pavement except for surface course and thicklift method increased the efficiency of pavement construction.