

# 空港舗装における大粒径アスファルト混合物の 表・基層への適用性

高橋 修<sup>1</sup>・八谷好高<sup>2</sup>・阿部 寛<sup>3</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 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>2</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 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>3</sup>運輸省港湾技術研究所 土質部滑走路研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

空港アスファルト舗装では、総重量が400tfにも及ぶ大型ジェット機の脚荷重を支持する必要があり、塑性流動の抵抗性に優れた舗装体の構築が重要となる。このような舗装体には、耐流動性の高いアスファルト混合物を表・基層に使用することが有効であり、道路舗装では大粒径アスファルト混合物を活用する工法が検討されている。本研究では、骨材の最大粒径が25mm以上の大粒径アスファルト混合物を空港アスファルト舗装の表・基層に適用できるかどうか検討するために、その基本的性状を室内試験と屋外の試験舗装に対する試験によって評価した。試験舗装では、舗設状況と仕上がり具合を確認すると共に、実物規模の荷重車による走行試験、および切り取り供試体による各種試験を実施して主に耐久性について検討した。

**Key Words :** *large stone mixture, airport pavement, surface course, binder course*

## 1. はじめに

一般に、アスファルト舗装における主要な破壊形態はひび割れの発生とわだち掘れの進行である。道路舗装においては、自動車荷重の重交通化(車両荷重と交通量の増加)に伴い、特に早期わだち掘れの問題が顕在化している。そして、この対応策として、改質アスファルトの活用や骨材配合面での改善が図られているところである。配合面での改善には、骨材配合をギャップ粒度にする方策<sup>1)</sup>と粗骨材の最大粒径を大きくする方策、およびこれらを併用する方法<sup>2)</sup>がとられている。

表・基層に対して、粗骨材の最大粒径が通常の13mmあるいは20mmよりも大きい骨材配合のアスファルト混合物を使用する場合、この混合物を一般に大粒径アスファルト混合物と称している。大粒径アスファルト混合物の詳しい諸元(定義)は、わが国では公的に規定されていないが、最大骨材粒径が1 inchを超える、あるいは25mm以上のアスファルト混合物で、さらに所定の強度を有しているものというのが一般的な認識のようである<sup>3)</sup>。したがって、上層路盤に対して粗骨材の最大粒径が大きく、なおかつそれ相応の強度を有するアスファルト混合物を使用する場合も、やはり大粒径アスファルト混合物と称しており、アスファルト安定処理とは区別している。大粒径アスファルト混合物は、粗骨材の最大粒径を大きくすることにより、混合物中に占める粗骨材の割合を大きくして、粗骨材のインターロッキング効果を期待するもので、それにより骨材間

の相対的な位置変化が生じ難くなって、耐流動性、耐摩耗性を向上させようとするものである。道路舗装の分野では、このような大粒径アスファルト混合物を表層、あるいは基層以深に用いて舗装の耐久性改善に取り組んでいる<sup>4),5)</sup>。

空港アスファルト舗装においては、表層と基層には最大骨材粒径が20mmか13mmの密粒度タイプの混合物を原則的に用いることになっており、上層路盤にアスファルト安定処理を用いる場合は最大骨材粒径が40mmのものを使用している。そして、近年の各空港における乗入れ航空機便数の増加や、B-777-300等の重脚荷重航空機の新規乗り入れに見られるように、空港舗装においても航空機荷重は重交通化の傾向にあるといえる。空港舗装において、塑性流動によるわだち掘れは補修要否を判定する主要因子の一つで、わだち掘れ量が過大になると補修が行われることになる。空港アスファルト舗装で主にわだち掘れが問題となるのは、航空機の走行速度が遅い誘導路であり、航空機荷重の重交通化に伴って早期におけるわだち掘れの進展が潜在的な問題点として指摘されている。

本研究では、安定性とひび割れ抵抗性に優れた耐久性の高い舗装体を構築することを目指して、空港舗装においても大粒径アスファルト混合物を表・基層に適用できるかどうかを検討した。したがって、本研究の目的としては、空港舗装への適用を踏まえた大粒径アスファルト混合物の基本的性状を把握し、特に耐久性に着目してその適用性を評価することである。本検討で

表-1 骨材の粒度範囲規定

混合物種類 (最大粒径)	A (13mm)	B (20mm)	C (30mm)	D (40mm)
53.0mm				100
通過 37.5			100	85~100
26.5		100	90~100	—
質 19.0	100	95~100	—	56~80
量 13.2	95~100	75~90	56~80	—
百 4.75	55~70	45~65	29~59	23~53
分 2.36	35~50	35~50	19~45	15~41
率 0.6	18~30	18~30	—	—
0.3	10~21	10~21	5~17	4~16
% 0.15	6~16	6~16	—	—
0.075	4~8	4~8	1~7	0~6

は、大粒径混合物の基本的性状は室内試験で評価し、耐久性は屋外の試験舗装に基づいて評価した。室内試験としては、標準化されている一般的な試験を実施して、通常の混合物と結果を比較した。また、試験舗装による評価では、施工時に舗装状況と仕上がり具合を確認すると共に、航空機荷重と同等の荷重車を用いた走行試験を実施して、耐流動性について評価した。さらに、試験舗装からの切取り供試体による各種試験を実施して、耐久性について検討を加えた。

## 2. 大粒径アスファルト混合物の基本的性状

骨材の最大粒径を30mmと40mmにした場合の、連続粒度のアスファルト混合物について、マーシャル安定度試験とホイールトラッキング試験（以下、WT試験）を実施して基本的な混合物性状を確認した。また、舗設厚を通常よりも厚く施工した場合に問題となる、一舗設層内での密度のばらつきを評価するために、厚く作製した層を厚さ方向に対して二段にスライスした供試体を用いて、それぞれ曲げ試験を実施した。これらの試験は、舗装試験法便覧<sup>6)</sup>およびその別冊<sup>7)</sup>に準拠した方法で実施した。

### (1) 使用混合物の配合

各種試験に使用したアスファルト混合物は、空港アスファルト舗装で標準的に用いられている最大骨材粒径が13mmと20mmの連続粒度の混合物と、検討の対象である最大骨材粒径が30mmと40mmの大粒径アスファルト混合物の計4種類である。混合物の骨材配合は、最大骨材粒径が13mmと20mmについては空港土木工事共通仕様書<sup>9)</sup>の規定に基づき、30mmと40mmについては米国ASTM D3515に示されている重荷重交通量の場合の粒度範囲に基づいて決定した。各混合物に対する粒度範囲の規格値を表-1に示す。なお、各混合物の種類に対して表中に示すA~Dの識別記号を付すことにし、以後の記述ではこれらの記号で表現する。

表-2 供試体の配合割合

ふるい目 (mm)	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)
53.0				100
37.5			100	99.6
26.5		100	93.4	—
19.0	100	98.5	—	71.4
13.2	97.4	82.7	68.6	—
4.75	63.3	56.1	44.7	38.8
2.36	42.3	42.1	31.8	28.9
0.6	24.7	24.9	—	—
0.3	15.9	16.1	13.3	12.7
0.15	8.6	8.7	—	—
0.075	5.5	5.5	4.2	4.0
アス量	5.7	5.5	4.6	4.4

骨材配合は各粒度範囲の中央値を目標に配合割合を決定し、アスファルト量はマーシャル安定度試験に基づいて決定したOACとした。配合設計の結果を表-2に示す。使用したアスファルトバインダーはストレートアスファルト60/80であり、骨材、アスファルトともに空港土木工事共通仕様書の規格をすべて満足していた。

### (2) 試験概要

#### a) マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験は、混合物の配合設計と強度評価のために実施した。通常の混合物であるAとBについては舗装試験法便覧に記されている試験方法で、大粒径混合物であるCとDについては舗装試験法便覧別冊に記述されている方法に従って試験を実施した。すなわち、通常混合物では内径101.6mmのモールドを使用し、大粒径混合物では内径152.4mmのものを使用して供試体を作製した。

#### b) ホイールトラッキング試験

WT試験は、骨材の最大粒径が13mmと20mmの通常の表層用混合物を対象にした試験方法のみが標準化されており、大粒径混合物については現在のところ整備されていない。舗装試験法便覧に記されている標準的な方法を大粒径混合物に対しても適用する場合、問題となるのが粗骨材の最大粒径と供試体厚の関係である。アスファルト混合物では、一般に、一層の施工厚が骨材の最大粒径に対して不十分であると密度が確保されず、また逆に厚すぎると表面の平坦性の低下や厚さ方向の密度むらが生じやすくなってしまふ。そのため、仕様書等には表-1の基層の最大骨材粒径と舗設厚の関係についての規定、および最大仕上がり厚さの規定が明記されている<sup>9)</sup>。そして、通常における表層用混合物の実状に基づいて、表層の標準厚が空港アスファルト舗装では40mmと設定されている<sup>10)</sup>。

舗装試験法便覧に記載されている標準的な試験方法では供試体の厚さが50mmであり、既往の大粒径混合物に関する検討では供試体の厚さを最大骨材粒径の2~2.5

表-3 マーシャル安定度試験の結果

測定項目	A	B	基準値	C	D	基準値
OAC (%)	5.7	5.5	—	4.6	4.4	—
安定度 (kN)	12.3	15.4	8.8 以上	36.6	31.0	19.8 以上
フロー値 (1/100cm)	31	28	20~40	42	48	30~60
空隙率 (%)	3.1	3.3	2~5	4.1	3.9	3~5
飽和度 (%)	80.9	79.2	75~85	72.1	72.3	—
残留安定度 (%)	95.3	89.4	75 以上	87.0	85.7	75 以上

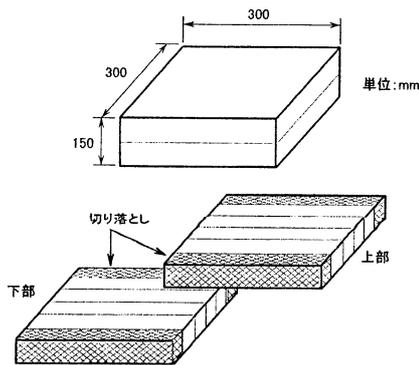


図-1 曲げ試験用供試体の切出し要領

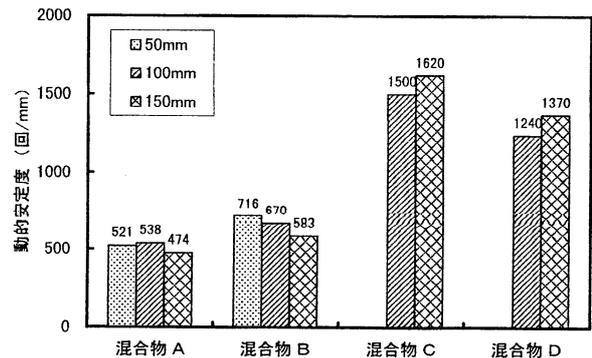


図-2 動的安定度の比較

倍ほどに設定している<sup>11)</sup>。そして、大粒径アスファルト混合物を舗設する場合は、シックリフト工法で施工することになるので、ここでは供試体の厚さを次のように設定した。大粒径混合物であるCとDについては100mmと150mmの2種類とし、通常の混合物であるAとBについてはこれらに標準の50mmを加えた3種類とした。そして、供試体の厚さ以外の試験条件については、標準の試験法に準拠するものとした。なお、試験結果のばらつきを考慮して、一条件の供試体数は3とした。

### c) 曲げ試験

骨材の最大粒径が大きい場合、密度と舗設表面の仕上がり方を考慮して一層あたりの舗設厚を通常よりも厚く施工する。すなわち、シックリフト工法によって層を構築する機会が多い。そのときに問題となるのが、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、といった点である<sup>12)</sup>。静的曲げ試験では、特に上記②について検討するために、次のような供試体を作製して試験を実施した。

所定の条件で練り上げたアスファルト混合物を、WT試験の供試体作製用の型枠とローラコンパクタを使用して300×300×150mmの厚い母試料を1層仕上げで作製し、十分に温度が低下してからダイヤモンドカッターで上部と下部に分けて300×50×75mm(長さ×幅×厚さ)の供試体に整形する。つまり、図-1に示すように転圧、形成した試料から、端部の密度不足部分を取り除

いたうえで、上下二段に計8体の供試体を切り出した。

この供試体を支間200mmの曲げ試験用治具にセットし、ひずみ速度と温度を一定の条件にして試験を実施した。試験条件は、載荷速度が1mm/minと100mm/minの2とおり、温度が0、20、40℃の3とおりの計6条件である。一つの条件に対する供試体は、同一の試料からの切り取りとならないように、3体ずつ無作為に選び出して組み合わせた。

ここで、後述する繰返し試験も含めて、曲げ試験に使用した供試体の寸法について注記しておく。試験法便覧に規定されている静的曲げ試験の方法では、供試体の寸法は300×100×50mmであり、これは骨材の最大粒径が13mm以下、あるいは20mm以下の通常混合物に対する場合であって、大粒径混合物の場合では厚さをもっと大きくする必要がある。静的あるいは繰返し曲げ試験に基づいた既往の研究について調べてみると、最大骨材粒径が13mmか20mmの混合物を断面が40×40mm(幅×厚さ)の供試体を用いている場合が多く<sup>13),14),15),16)</sup>、これらの場合の最大骨材粒径に対する供試体厚の比は3.1と2.0である。これらの他にも、最大骨材粒径が20mmの混合物に対して、断面が40×30mmの供試体、あるいは30×30mmの供試体を用いている研究<sup>17),18)</sup>も見られ、これらの場合の最大骨材粒径に対する供試体厚の比は1.5である。本研究では、最大骨材粒径が40mmの混合物の場合でもこれらの寸法比を下回らないように、

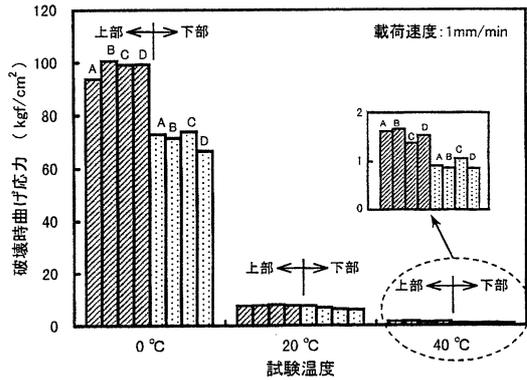


図-3 破壊時曲げ応力の結果 (載荷速度: 1mm/min)

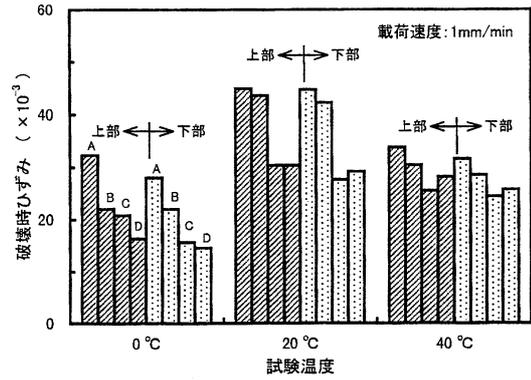


図-4 破壊時ひずみの結果 (載荷速度: 1mm/min)

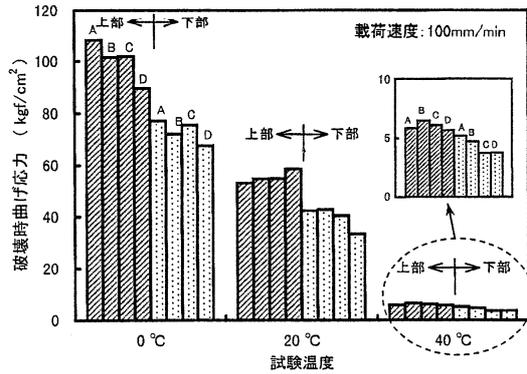


図-5 破壊時曲げ応力の結果 (載荷速度: 100mm/min)

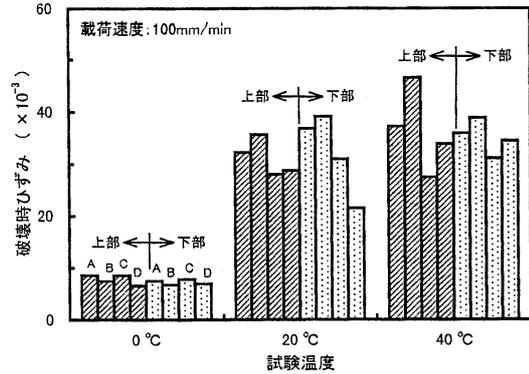


図-6 破壊時ひずみの結果 (載荷速度: 100mm/min)

また載荷時に使用する試験装置の許容荷重をオーバーしないように配慮して、曲げ試験の供試体寸法を上記のように決定した。

### (3) 試験結果および考察

#### a) マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験の結果を、それぞれ平均してまとめると表-3に示すとおりである。表中には仕様書等で規定されている基準値(A, Bの混合物については表層の基準値, C, Dの混合物については全米アスファルト舗装協会NAPAの推奨値<sup>8)</sup>)についても記してある。すべての混合物が各測定項目の基準値を満足した結果となっている。安定度とフロー値は、骨材の最大粒径と供試体の大きさ(モールド径)の相対的關係にかなり依存しており<sup>7)</sup>, 各混合物の結果を相互に比較することはできない。したがって、通常の混合物に対する大粒径混合物の優劣を評価することは無理であるが、大粒径混合物の結果は通常混合物と同様に基準値を十分な余裕をもって満足している。

材料としての客観的な評価としては、大粒径混合物のほうは通常の混合物よりも空隙率が大きく飽和度が小さく、さらに最適アスファルト量が少ない。空隙率が大きく、飽和度が小さいのは、やはり最大骨材粒径が大きいため、粗骨材の間隙を全体にわたって十

分に充填するのが難しいことによるものと考えられる。

#### b) ホイールトラッキング試験

一般に、アスファルト混合物は骨材の最大粒径が大きいほうが耐流動性に優れている。ここでは、大粒径混合物の耐流動性が通常の混合物に対してどの程度優れているのか比較してみた。各混合物についての動的安定度(DS)の結果を供試体の厚さ毎に図-2に示す。これらの結果は三つのサンプルの平均値である。通常の混合物であるAとBの50mm厚の結果は確認のためであり、最大骨材粒径13mm, 20mmの連続粒度タイプとしては若干小さめの値であるが一般的な結果であった。

混合物A, Bでは、供試体の厚さが大きくなると動的安定度は小さくなる傾向にある。これらに対して、混合物C, Dは相対的に動的安定度が大きく、厚さが150mmと大きいほうがむしろ耐流動性に優れている。そして、本WT試験では、Cの混合物における動的安定度が最も大きく、耐流動性に優れたアスファルト混合物と評価される。

#### c) 曲げ試験

曲げ試験も供試体の形状寸法が標準のものとは異なるが、試験結果は舗装試験法便覧に記載されている破壊時の曲げ応力と破壊時のひずみを求めて取りまとめた。図-3~図-6に各評価値についての結果を示す。また、曲げ試験で使用した供試体の締固め度を図-7に示す。

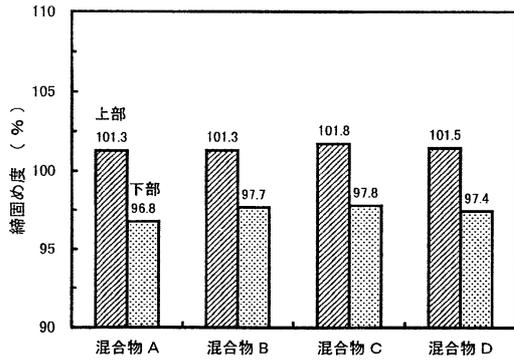


図-7 曲げ試験供試体の締固め度

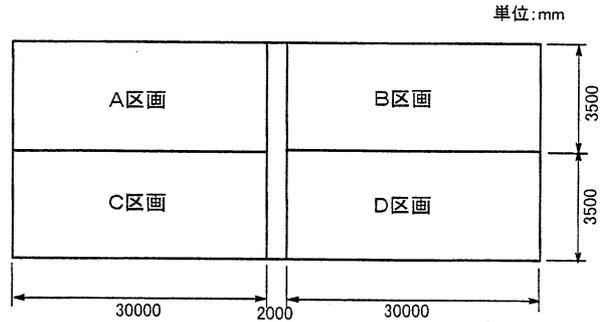


図-8 試験舗装ヤードの平面図

破壊時の曲げ強度は、荷重速度の違いにかかわらず、上部分のほうが下部分よりも多少大きい。これは密度（締固め度）の結果と対応している。150mmの舗設厚では、各混合物とも厚さ方向に密度差が生じてしまうため、曲げ強度に多少の違いが現れているものと判断される。この傾向は温度が低い場合、および荷重速度が速い場合に顕著のようで、温度が20℃以上で荷重速度が1mm/minの場合は、上部と下部ではほとんど差がない。曲げ強度の層位置による差異は若干みられたが、混合物の種類による違い、すなわち骨材の最大粒径による違いは認められない。締固め度についても最大骨材粒径による違いはなく、上部および下部ではそれぞれほとんど同じ値である。

一方、破壊時のひずみは上部と下部で大きな差異はなく、各温度における混合物の違いはほぼ同じような傾向である。全体的に、骨材の最大粒径が大きいCとDの混合物のほうが、AやBよりも破壊時のひずみが小さい。ただし、CとDでは明確な差異は認められない。骨材の最大粒径が大きいと、供試体の断面に占める粗骨材の数が少なくなり、それに伴って骨材間の付着に対する変形性能（この場合、付着が切れることなく変形できうる範囲といった意味合い）が低下するものと考えられる。したがって、最大粒径が大きい混合物は通常のものよりも引張に対する変形の追従性が多少劣ると判断される。引張に対する変形性能の差については、後述の耐久性評価においてさらに言及している。

#### d) 基本的性状のまとめ

室内における各種試験の結果を総合すると、ここで検討した大粒径アスファルト混合物の基本的性状は次のようにまとめられよう。

耐流動性を含め、安定性（変形に対する抵抗性能）については、既往の表・基層用混合物に比べて同等、あるいはそれ以上と評価される。特に、耐流動性はある程度層厚が大きくてもかなり高いものと期待できる。引張に対する変形性能については、大粒径混合物のほう

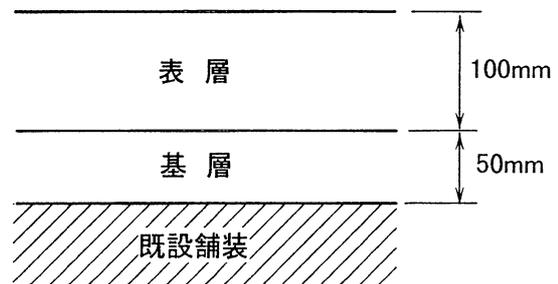


図-9 試験舗装の断面図

にいくらか劣る条件（温度域、ひずみ速度域）が存在していることが確認された。

### 3. 荷重試験による評価

以上に記した室内試験による基礎的検討を踏まえ、屋外に試験舗装を作製してさらに詳しい供用性の評価を実施した。試験舗装上に実際の航空機荷重と同等の荷重を繰り返し作用させ、舗装面の平坦性とわだち掘れ量を測定して検討した。

#### (1) 試験舗装の概要

本研究は、大粒径混合物の表・基層への適用性について主に着目しているため、試験舗装の作製は路床、路盤から構築するのではなく、既設の舗装にタックコートをして各種混合物をオーバーレイした。表層用混合物としては、室内試験と同様に、最大骨材粒径が30mmと40mmの大粒径混合物と、比較のための最大骨材粒径が13mmと20mmの通常混合物の計4種類である。各混合物とも、使用した骨材とアスファルトバインダーは室内試験のものと同じであり、骨材配合、OACについても全く同じである。

試験舗装の状況として、図-8にその平面図を、図-9に断面図を示す。施工ヤードは表層用混合物の種類に基づいて4つに区分し、それぞれ幅3.5m、長さ30mとした。各舗装区画の識別には混合物に付けたものと同じ記

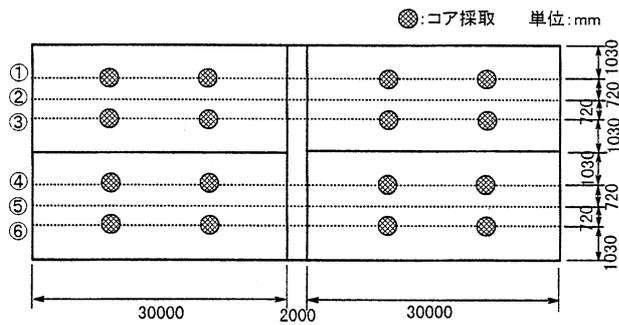


図-10 コア採取および平坦性測定位置

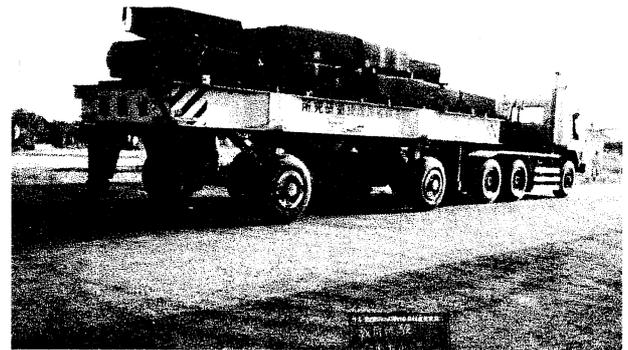


図-11 原型載荷装置の概観

号を割り当てた。すなわち、各区画における表層用混合物の最大骨材粒径はA区画が13mm、B区画が20mm、C区画が30mm、そしてD区画が40mmである。

表層は100mm厚で先述の4種類のアスファルト混合物であり、基層は空港アスファルト舗装の規格を満足する最大骨材粒径が20mmの混合物で厚さが50mmであった。基層の混合物については各区画とも共通であり、したがって表層用混合物のみがそれぞれの区画で異なっている。施工方法も各区画の各層とも同じで、アスファルトフィニッシャ、振動ローラ、タイヤローラを使用して各混合物を舗装した。空港土木工事共通仕様書では、表層の一層あたりの仕上がり厚は70mm以下と規定されているが、ここでは100mmの厚さを一回の舗装で仕上げることから、表層の施工はいわゆるシックリフト工法で行うことになる。ローラ転圧時の振動の有無や転圧回数については、本施工に先立って実施した予備転圧試験に基づいて決定した。

試験用に舗装した各舗装区画において、コア採取による密度測定と3mプロフィールメータによる縦断方向の平坦性測定を行った。コア採取と平坦性測定的位置は図-10に示すとおりで、その結果の整理は舗装試験法便覧の規定に準じて行った。

切り取りコアの密度測定の結果は、各区分の表層用混合物とも、締固め度はほぼ100%に近接しており、十分な密度が得られていた。また、基層についてもすべての位置で締固め度が98%を超えており、締固めが十分に行われたことを確認した。舗装直後における縦断方向平坦性の結果は、後述の走行試験による評価のところで詳しく記述するが、各舗装区画による差異は認められず全体的に大きめの値であった。

## (2) 走行試験による耐流動性の評価

室内試験ではWT試験によって各混合物の耐流動性を評価したが、WT試験は高温時における混合物の流動性を相対的に比較するもので、道路舗装を対象に英国TRRLで開発された。ここでは、より実際の荷重条

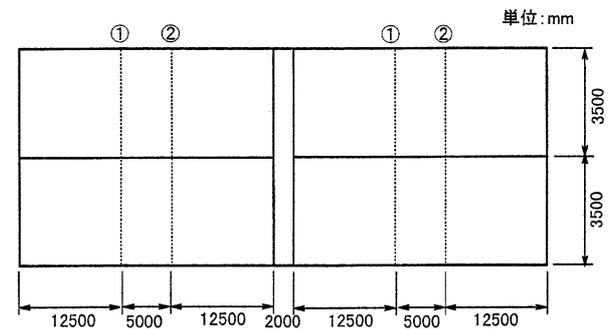


図-12 横断プロファイル測定位置

件に即した載荷方法に基づいて、大粒径混合物の耐流動性を検討した。

### a) 試験方法

本試験では、実際に近い荷重条件を再現できるように、図-11に示すようなトレーラ形式の原型載荷装置を繰り返し走行させて、各表層用混合物の耐流動性を評価した。原型載荷装置の載荷部分は、大型航空機であるB-747-300の脚に使用されているものと同じタイヤが同じ位置関係となるように配備されており、燃料満載時の標準脚荷重である92.8tfが得られるようにトレーラの積載荷重が調整されている。各舗装区画の中央部に対して、縦断方向にこのような原型載荷装置を1000回(500往復)走行させ、その走行前後における縦断方向および横断方向の表面形状を測定した。

縦断方向の路面形状は、3mプロフィールメータを用いて先述した測定と全く同じ方法で平坦性を評価した。すなわち、走行載荷試験を行う前に実施した平坦性測定と同じ図-10に示した位置について、走行載荷試験後に同じ測定を行った。横断方向については、横断プロフィールメータを使用して、走行載荷試験前後に同じ位置で横断形状を測定した。したがって、横断方向ではわだち掘れ量が測定されることになる。横断プロフィールメータによるわだち掘れ量の測定方法は試験法便覧の規定に準拠し、測定位置については、混合物の種類が

表-4 縦断方向平坦性試験の結果

舗装区画, 位置	標準偏差 $\sigma$ (mm)		前後の差 (mm) (b)-(a)	
	走行前 (a)	走行後 (b)		
A 区画	①	2.15	2.36	+0.21
	②	2.28	2.17	-0.11
	③	1.99	2.19	+0.20
	平均	2.14	2.24	+0.10
B 区画	①	1.67	1.86	+0.19
	②	2.06	1.89	-0.17
	③	2.20	1.47	-0.73
	平均	1.97	1.74	-0.24
C 区画	④	0.99	1.10	+0.11
	⑤	1.74	1.66	-0.08
	⑥	2.20	2.25	+0.05
	平均	1.64	1.67	+0.03
D 区画	④	1.15	1.06	-0.09
	⑤	1.42	1.65	+0.23
	⑥	1.39	1.55	+0.16
	平均	1.32	1.42	+0.10

変化する付近は平坦性の低下が予想されるため、図-12に示す各区画中央付近のそれぞれ2箇所と設定した。

#### b) 平坦性とわだち掘れ量の比較

走行載荷試験の前後における縦断方向の平坦性について、表-4に各舗装区画の結果をまとめる。空港舗装補修要領<sup>19)</sup>によると、空港アスファルト舗装での平坦性に関する補修要否の目標値としては、滑走路で0.26mm未満、誘導路で0.91mm未満であれば補修の必要がないと規定されている。これらの規定値を考慮し、舗設直後の走行試験前における平坦性について着目してみると、大粒径混合物であるC、D区画が別段大きいというわけではなく、全体的に大きめの値となっている。一般に、シックリフト工法では、通常の施工法に比べて平坦性が低下しやすいといわれているが、本試験舗装で平坦性が良くなかった主要因は、標準的な舗装であるA、B区画も平坦性が低いことから、混合物の種類や施工法によるものではなく、施工延長が短いことによるものとも考えられる。したがって、東京国際空港での実施例<sup>20),21)</sup>についても考慮すると、大粒径混合物を表層に適用することは、平坦性に関して特に問題となることはなく、通常表層用混合物を使用した場合と同程度の平坦性が確保できるものと評価できる。原型載荷装置による走行試験前後の平坦性を比較してみると、荷重走行によって平坦性が低下している結果も、逆に良くなっている結果もあり、測定精度を考えると、ほとんど変化していないものと評価できる。つまり、本走行試験の範囲内では、どの舗装区画においても荷重走行による平坦性の低下は認められず、混合物の違いによる平坦性の差異はないものと判断される。

表-5 わだち掘れ量の測定結果

舗装区画	わだち掘れ量 (mm)		
	①断面	②断面	平均値
A 区画	2.0	2.0	2.0
B 区画	3.5	4.5	4.0
C 区画	1.5	1.5	1.5
D 区画	2.0	3.0	2.5

次に、走行載荷試験前後における横断プロファイルの測定から求めたわだち掘れ量の結果を表-5に示す。わだち掘れ量についても各舗装区画による違いは明確ではないが、最大骨材粒径が30mmの混合物を使用したC区画でわだち掘れ量が比較的少ないことが認められる。このことは、室内でのWT試験でもC区画で使用了混合物が最も耐流動性に優れていた結果と共通するが、室内試験で耐流動性が最も劣っていた混合物であるA区画については、そのような点は認められなかった。このように、走行試験による耐流動性の検討結果では、室内での評価結果と共通しない事項が見られるものの、大略的には室内試験と同様に、大粒径混合物を使用した区画のほうが通常の混合物を使用した区画よりも耐流動性が高いと評価でき得る。

#### c) 耐流動性評価のまとめ

室内試験では再現が困難な実物規模の荷重を載荷させて、耐流動性の評価を行った。荷重は実物規模であったが、温度条件と載荷回数を十分に配慮できなかったことから、舗装条件の違いによる流動現象の差異が明確に現れなかった。本検討の限りでは、平坦性、耐流動性、施工性の各面で、大粒径混合物は通常混合物よりも劣ることはないと判断できる。特に、耐流動性は大粒径混合物のほうが優れており、また、シックリフト工法によって施工することを考慮すると、経済性や施工時間などの面でも優位性が認められる。

## 4. 切取り供試体による耐久性の評価

原型載荷装置による載荷試験を終了した後、各舗装区画の表層部から供試体を切り出して、大粒径アスファルト混合物の表層材料としての強度と耐久性を評価する試験を実施した。混合物の基本的性状は先述した室内試験で明らかになっているが、大粒径混合物は表面のきめが粗いことから、表層への適用を想定した耐摩耗性や骨材飛散抵抗性についても評価する必要がある。また、先の曲げ試験では、破壊時のひずみは大粒径混合物のほうが通常混合物よりも小さいという結果が得られていることから、繰返し荷重に対する疲労特性に

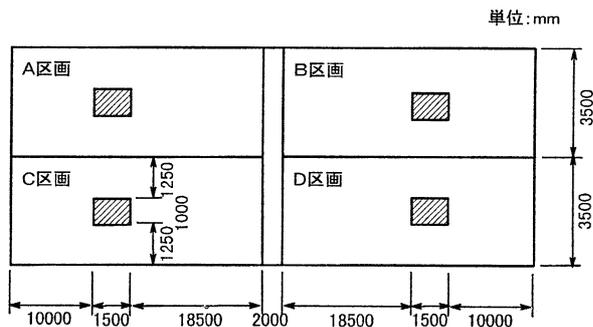


図-13 試験用供試体の切り取り位置

表-6 切り取り供試体の概要（一区画当たり）

試験項目	供試体寸法 (mm)	総数	摘 要	
			条件数	試験数
静的曲げ	300×50×75	6	2	3
ラベリング	400×150×50	2	1	2
カンタブロ	φ100×65	3	1	3
繰返し曲げ	300×50×75	48	16	3

についても確認しておく必要がある。したがって、ここでの試験の内容は、静的曲げ試験、ラベリング試験、カンタブロ試験、繰返し曲げ試験の4種類である。

### (1) 供試体の切出し要領と各試験の方法

試験用の各種供試体は、図-13に示すように各舗装区画中央付近の1500×1000mmの範囲において切り出した。位置的には、載荷試験によるわだち掘れや転圧効果の影響が少なくなるように、原型載荷装置のタイヤが直接的に作用していない箇所を選定した。切り出した供試体の形状寸法と数については、表-6にまとめるとおりである。各供試体の厚さは75mm, 50mm, 65mmと同じではないが、すべてにおいて表面部分を基準に底部を取り去るよう整形した。切出しおよび整形にはダイヤモンドカッタを使用し、整形後供試体を直ちに水洗いして室内に保管しておいた。供試体の切り取り時期は舗装体の施工から約1年が経過していた。

試験法が標準化されていない繰返し曲げ試験以外の試験は、舗装試験法便覧に規定されている方法に準拠して実施した。ただし、ラベリング試験にはいくつかの方法が規定されているが、ここでは往復チェーン型試験機とサイドチェーンを用いた方法を採用した。また、静的曲げ試験は先に記した基本的性状を評価する試験と同じ方法、すなわち供試体形状が表-6に示したとおりで、載荷速度が1mm/minと100mm/minの2条件で実施したが、試験温度は20℃のみである。

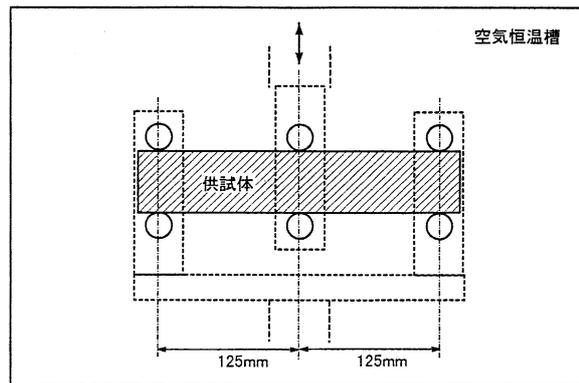


図-14 繰返し曲げ試験の概要

繰返し曲げ試験は2点支持1点載荷の治具を用いたひずみ制御方式で行った。図-14に繰返し曲げ試験の概要（供試体と試験治具の状況）について示す。供試体支持のスパン長は250mmで、与えたひずみは強制両振りの正弦波とした。試験は空気恒温槽の中で実施し、温度とひずみ振幅が一定の条件となるようにした。試験条件は温度と設定ひずみをいくつか変化させるものとし、温度については-10, 0, 5, 10℃の4とおり、ひずみ振幅については試験温度によって多少変動させたが、おおむね $1500 \times 10^{-6}$  (0-peak) 付近でそれぞれ4とおり変化させた。一条件についてのサンプル数は3とし、ひずみ制御の周波数は既往の研究<sup>15),16)</sup>に基づいて5Hzとした。繰返し曲げ試験では、載荷回数が増加するに従って供試体の永久変形によって治具支点部が緩んでしまうが、本試験ではトルク調整機能付モーターによる自動締付けによってそれを回避した。

### (2) 試験結果および考察

#### a) 静的曲げ試験

静的曲げ試験の結果について、図-15に破壊時の曲げ応力を、図-16に破壊時のひずみをそれぞれ示す。図中には、先に示した基本的性状の評価における上部分の結果についても併記してある。破壊時の曲げ応力は試験舗装の結果のほうが大きい傾向にあるが、破壊時のひずみについては明確な傾向は見られない。いずれにしても、全体的に先の基本的性状評価の試験結果と大きな差は認められない。

#### b) ラベリング試験とカンタブロ試験

ラベリング試験とカンタブロ試験の結果をまとめて表-7に示す。表中には、各舗装区画の供試体に対する締固め度の平均値も記載されている。すりへり量は、最大骨材粒径が40mmであるD区画の表層が他に比べて大きく、その他は0.5cm<sup>2</sup>前後である。D区画の表層は他の区画の表層よりも締固め度が低いというわけではなく、締固め度は他の区画と同様に100%を超えている。

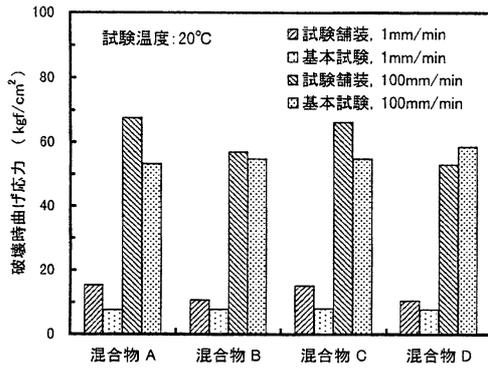


図-15 破壊時曲げ応力の結果

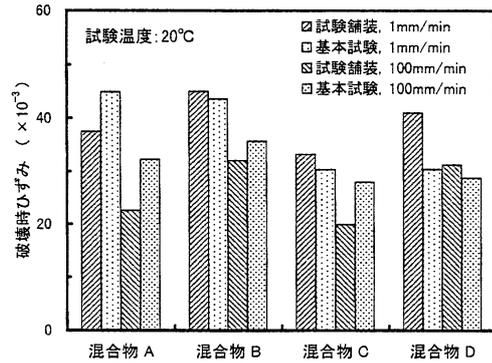


図-16 破壊時ひずみの結果

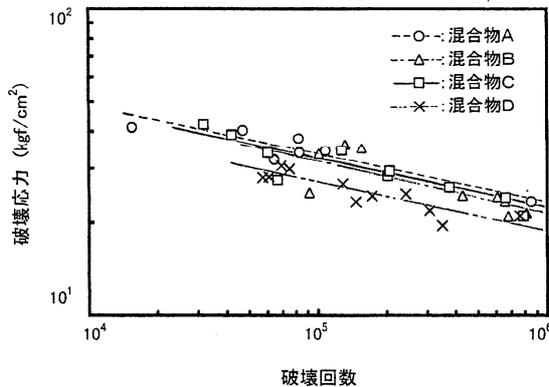


図-17 破壊応力と破壊回数の関係

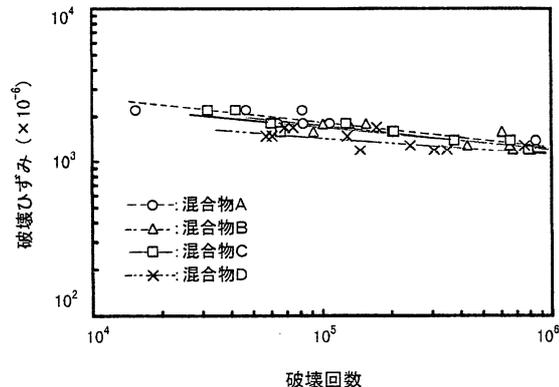


図-18 破壊ひずみと破壊回数の関係

表-7 ラベリング試験とカンタブロ試験の結果

舗装区画	すりへり量 (cm <sup>2</sup> )	損失率 (%)	締固め度 (%)
A 区画	0.41	8.3	100.7
B 区画	0.52	5.4	103.5
C 区画	0.55	9.1	103.3
D 区画	0.81	13.3	103.1

D 区画の表層が他に比べてすりへり量が多いのは、粒径の大きな骨材が表面部に多く位置していることから、鋼製チェーンの打撃による骨材のストリッピングが生じやすいためと考えられる。カンタブロ試験における骨材損失率も D 区画の表層が最も大きい結果であるが、やはり同様の要因によってこのような結果になったものと考えられる。

これらのように、混合物 D については耐摩耗性と骨材飛散抵抗性が通常の表層混合物よりも劣っているが、最大骨材粒径 30mm の混合物 C は通常混合物とほぼ同等の性能である。したがって、最大骨材粒径が 30mm 程度の大粒径混合物であれば、通常の表層混合物と同

等の耐摩耗性と骨材飛散抵抗性を得ることができると評価される。

### c) 繰返し曲げ試験

繰返し曲げ試験は、丸山ら<sup>15)</sup>の整理方法に準拠して結果を取りまとめた。すなわち、疲労による破壊点の定義を応力が急激に減少したときの状態とし、その時の載荷回数を破壊回数、縁部に生じる応力を破壊応力、縁部に生じるひずみを破壊ひずみとして、各混合物の結果を比較した。

試験結果の一例として、試験温度 0℃ に対する破壊応力と破壊回数の関係を 図-17 に、破壊ひずみと破壊回数の関係を 図-18 にそれぞれ示す。図中には、それぞれの混合物に対する個々の結果とそれらの回帰直線が記してある。混合物 A, B, C における破壊応力と破壊回数の関係には大きな差は見られないが、これらと混合物 D には明らかに違いが認められ、同一応力レベルに対する破壊回数は混合物 D のほうが少ない。また、破壊ひずみと破壊回数の関係においても、破壊応力と破壊回数の関係ほど顕著ではないが、同様な傾向を見出すことができる。したがって、これらの関係から、骨材の最大粒径が 40mm の混合物 D は他の混合物よりも相対的に疲労寿命が短いと評価される。最大骨材粒径

が30mmの混合物Cについても、通常の表・基層混合物よりは疲労抵抗性が多少劣っているものとも判断されるが、その差はわずかである。ここでは、詳しい結果を示さないが、他の温度に対する関係もおおむね同様な傾向であった。

### (3) 耐久性評価のまとめ

実際と同じ施工機械を使用して試験用の舗装体を舗装し、そこから切り出した試料を用いて各種室内試験を行って、主に表層材としての耐久性について評価した。空港舗装の荷重条件は道路舗装と比べると、荷重の頻度よりもその大きさが重要となる。特に、誘導路ではこの傾向が顕著であるため、耐久性のなかに占める耐流動性の割合は大きいといえる。この点も考慮して、ここでの試験結果を全体的に考察すると、以下のようによまとめられる。

最大骨材粒径が40mmの大粒径混合物は通常の表層用混合物よりも耐久性が劣っており、表層への適用には問題がある。しかし、最大骨材粒径が30mmのものは耐流動性以外の性能も通常の混合物より劣ることはなく、空港アスファルト舗装としての総合的な耐久性は優れていると評価される。

## 5. まとめ

本研究では、大粒径アスファルト混合物を空港舗装の表・基層に適用して、特に耐流動性が高い、耐久性に優れた舗装体を構築できるかどうかについて検討した。室内試験によって混合物の基本的性状を把握したうえで屋外の試験舗装を作製し、荷重車による走行試験を行って耐久性を評価した。各種試験に基づいて検討した結果、最大骨材粒径が30mm程度の大粒径混合物であれば、既往の表・基層用混合物よりも耐流動性が高く耐久性に優れた表・基層を構築することが可能で、空港舗装への適用性はかなり高いと評価された。特に、タッチダウンや制動といった極端な外力作用を受けない誘導路には有望である。大粒径混合物を表・基層に適用できれば、シックリフト工法を採用することによって施工性が向上し、さらに表層と基層での境界剥離<sup>22)</sup>といった問題も回避できる。

以下に、本研究で得られた主な知見をまとめる。

- (a)大粒径アスファルト混合物の安定性は、空港舗装で活用されている表・基層用混合物に比べて同等以上の性能である。
- (b)大粒径アスファルト混合物の引張に対する破壊時ひずみは、通常の表・基層用混合物よりも小さい傾向にあり、引張作用に対する変形の追従性が多少劣っ

ている。

- (c)実際の航空機と同等の荷重を載荷させて耐流動性を評価したところ、本研究での載荷条件内では、大粒径混合物は通常混合物よりも耐流動性に優れていることを確認した。
- (d)大粒径混合物は通常混合物よりも耐摩耗性と骨材の飛散抵抗性が劣っている。特に、最大骨材寸法が大きい場合に顕著で、これは粗骨材のストリップングによる影響が大きいためである。
- (e)最大骨材粒径が30mmの大粒径混合物は、通常の混合物と同等の疲労抵抗性を有している。しかし、大粒径混合物の疲労抵抗性は通常混合物よりも劣る傾向にあり、この傾向は骨材の最大粒径が大きいほど著しい。

大粒径アスファルト混合物の表面の状況は、粗骨材の間隙が大きいためきめが粗く、劣化の影響を受けやすいと推察される。今後の課題としては、長期供用性に着目した耐久性に関する実データを蓄積し、空港アスファルト舗装としての総合的な評価を行う必要がある。また、最適な骨材配合や配合設計法についても、さらに検討の余地が残されている。

## 参考文献

- 1) 鶴窪廣洋, 丸山暉彦: 表面性状の均一性を考慮したギャップタイプアスファルト混合物に関する検討, 土木学会 第1回舗装工学講演論文集, pp.249-256, 1996.
- 2) 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, 7/1, pp.57-65, 1995.
- 3) 日本道路建設業協会技術振興委員会海外技術資料部会: マーシャル配合設計手法を用いた大粒径混合物の試験評価(1), 道路建設, 3/5, pp.86-91, 1991.
- 4) 塚田千治, 松村高志, 羽生 章: 「大粒径混合物」を用いた耐重交通舗装の開発, 道路建設, No.574, pp.74-83, 1995.
- 5) 鶴窪廣洋, 小林芳則, 田中 博, 西田正樹: 低温化した大粒径アスファルト混合物のシックリフト工法への適用, 舗装, Vol.31, No.5, pp.3-9, 1996.
- 6) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧, pp.47-65, 1979.
- 7) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧別冊, pp.20-29, 1996.
- 8) 日本道路建設業協会技術振興委員会海外技術資料部会: マーシャル配合設計手法を用いた大粒径混合物の試験評価(3), 道路建設, 3/7, pp.72-77, 1991.
- 9) 運輸省航空局: 空港土木工事共通仕様書, pp.4.12-4.16, 1990.
- 10) 運輸省航空局: 空港アスファルト舗装構造設計要領, pp.30, 1990.
- 11) 神野稔久, 荒井萬里: 大粒径アスファルト混合物の製造・施工に関する2, 3の検討, 道路建設, 7/9, pp.47-55, 1995.
- 12) 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, 土木学会舗装工学講演論文集 第3巻, pp.241-251, 1998.

- 13) 笠原 篤, 菅原照雄: 繰返し載荷過程におけるアスファルト混合物の動的性状の変化について, 土木学会論文報告集, 第235号, pp.87-98, 1975.
- 14) 笠原 篤, 菅原照雄: 不規則なひずみ波形に対するアスファルト混合物の動的応答に関する研究, 土木学会論文報告集, 第277号, pp.123-132, 1978.
- 15) 丸山暉彦, 渡辺 隆, 吉原一彦: アスファルト混合物の疲労破壊包絡線, 土木学会論文報告集, 第306号, pp.71-78, 1981.
- 16) 姫野賢治, 渡辺 隆, 丸山暉彦: 低スティフネス状態におけるアスファルト混合物の疲労破壊特性に関する研究, 土木学会論文集, 第366号/V-4, pp.143-151, 1986.
- 17) 工藤忠夫, 菅原照雄: 水工用アスファルト混合物のクリープ挙動に関する研究, 土木学会論文報告集, 第201号, pp.113-122, 1972.
- 18) 笠原 篤, 上島 壮, 菅原照雄: 共振法によるアスファルトおよびアスファルト混合物の動的粘弾性, 土木学会論文報告集, 第208号, pp.77-84, 1972.
- 19) 運輸省航空局: 空港舗装補修要項(案), pp.25-26, 1984.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) 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, 土木学会論文集, No.571/V-36, pp.199-209, 1997.

## APPLICABILITY OF THE LARGE STONE ASPHALT MIXTURE FOR SURFACE LAYER OF AIRPORT PAVEMENT

Osamu TAKAHASHI, Yoshitaka HACHIYA and Hiroshi ABE

To construct the highly durable pavement is very important in airport asphalt pavements, because the pavement has to support nearly 400tf of aircraft weight. It is effective for this case to use the asphalt mixture that has a high stability in the surface and/or binder course, and one of promising mixtures is the large stone asphalt mixture. In this paper, applicability of the large stone asphalt mixture in the surface and/or binder course of airport asphalt pavement was evaluated by carrying out laboratory tests and field loading test. From the discussion of test results, it was confirmed that if the maximum size of aggregate is about 30mm the large stone asphalt mixture could be applied in the surface course and/or binder course.