

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 976 Dec. 2000

大粒径アスファルト混合物の空港舗装への適用性に関する一検討

高	橋		修
八	谷	好	高
坪	川	将	丈
阿	部		寛
松	崎	和	博

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 大粒径アスファルト混合物の基本的性状	5
2.1 使用混合物の配合	5
2.2 試験の概要	6
2.3 試験結果および考察	7
2.4 基本的性状のまとめ	10
3. 載荷試験による評価	10
3.1 試験舗装体の概要	10
3.2 走行試験による耐流動性の評価	12
4. 切取り供試体による耐久性の評価	14
4.1 供試体の切出し要領と各試験の方法	14
4.2 試験結果および考察	15
4.3 耐久性評価のまとめ	20
5. 結論	20
6. あとがき	20
参考文献	21

Applicability of the Large Stone Asphalt Mixture for Surface Course of Airport Pavements

Osamu Takahashi^{*}
Yoshitaka Hachiya^{**}
Yukitomo Tsubokawa^{***}
Hiroshi Abe^{****}
Kazuhiro Matsuzaki^{****}

Synopsis

To construct the highly durable pavement which has a sufficient resistance to plastic flow is very important in airport asphalt pavements, because the pavement has to support approximately 400t of aircraft weight. It is effective for this case to use the asphalt mixture that has a high stability in the surface course and/or binder course, and one of promising mixtures is the large stone asphalt mixture, which has continuous grading with maximum size of more than 25 mm.

In this paper, applicability of the large stone asphalt mixture in the surface course of airport asphalt pavements was evaluated by carrying out laboratory tests and field loading test. In the laboratory tests, the direct tension test and the cyclic bending test were also conducted in addition to standardized mixture tests. The experimental pavements were constructed and a loading cart with same weight of B-747 type landing gear was used in the field test.

From the discussion of test results, the following conclusions were obtained.

- 1) Plastic flow resistance of the large stone asphalt mixture is considerably higher than that of ordinary surface mixture.
- 2) Fatigue resistance and tensile strain at failure of the large stone asphalt tend to be somewhat below those of ordinary surface mixture at low temperature.
- 3) The large stone asphalt mixture can be applied in surface course as the durable surface material if the maximum size of aggregate is about 30 mm.

Key Words : large stone mixture, airport pavement, surface course, durability

^{*} Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division

^{**} Chief of Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division

^{***} Research Engineer of Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division

^{****} Member of Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826, Japan, Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport

Phone : +81-468-44-5026 Fax : +81-468-44-4471 E-mail : takahashi_o@cc.phri.go.jp

大粒径アスファルト混合物の空港舗装への 適用性に関する一検討

高 橋 修*
八 谷 好**
坪 川 将***
阿 部 寛***
松 崎 和博***

要 旨

空港アスファルト舗装では、総重量が約 400tf にも及ぶ大型ジェット機の脚荷重が繰返し作用するため、塑性流動に対して十分な抵抗性を有する舗装体を構築することが重要となる。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、道路舗装の分野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を検討するために、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。室内試験では、マーシャル安定度試験、ホイールトラッキング試験、および静的曲げ試験を実施して通常の表・基層用混合物と結果を比較した。また、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。

各種試験の結果により以下の知見が得られた。

- ① 大粒径混合物は通常の表・基層混合物よりも耐流動性が高い。
- ② 大粒径混合物の引張に対する破壊時ひずみは、常温域では通常混合物と同等であるが、低温条件では通常混合物よりも小さい傾向にある。
- ③ 大粒径混合物の疲労抵抗性は、通常混合物よりも多少劣る傾向にあり、温度が低い条件及び最大骨材粒径が大きい場合に顕著である。
- ④ ここでは最大骨材粒径が 30mm と 40mm の大粒径混合物について検討したが、30mm の混合物であれば他の性状をほとんど低下することなしに耐流動性の高い表・基層を舗設出来るものと期待される。

キーワード：空港アスファルト舗装，大粒径アスファルト混合物，表層，耐久性

* 土質部主任研究官

** 土質部滑走路研究室室長

*** 土質部滑走路研究室

〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 運輸省港湾技術研究所

電話：0468-44-5026 Fax：0468-44-4471 E-mail：takahashi_o@cc.phri.go.jp

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クラック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、供用後の早期におけるわだち掘れの問題が特に顕在化している。そして、この問題の対応策として、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。改質アスファルトは昭和 50 年代初期から道路舗装で本格的に運用されており、現時点では重交通道路に対する一般的なバインダーとして認識されている¹⁾。道路舗装では既に有効性が確認されていて十分な実績があるものの、改質アスファルトは、空港舗装ではいまだ試行的な運用の域を脱していない。空港舗装でも流動わだちの対応策として試験的に用いられた実績はあるが、対流動性に重きを置いた反面、ひび割れに対する抵抗性が損なわれてしまったり²⁾、コスト面でも問題視されることがあって、改質アスファルトの空港での運用はそう多くはない。これは、空港と道路では荷重条件がかなり異なることと、安全面に対する意識の相違に起因するものと考えられる。これに対して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³⁾と粗骨材の最大粒径を大きくする方策⁴⁾、およびこれらを併用する方法⁵⁾がとられている。本文では、空港舗装のわだち掘れ対策として、通常のものよりも粗骨材の最大粒径が大きなアスファルト混合物を表層に適用することについて検討した。

表層や基層に対して、粗骨材の最大粒径が通常の 13mm あるいは 20mm よりも大きい骨材を使用したアスファルト混合物を使用する場合、この種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についての詳しい諸元（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、かつ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⁶⁾。空港舗装では最大骨材粒径が 40mm のアスファルト安定処理（アスファルトを結合材として用いた安定処理材料）を上層路盤に使用する場合が多いが、一般にアスファルト安定処理を大粒径アスファルト混合物とはいわない。しかしながら、舗装の補強効果を目的として、粗骨材の最大粒径が大きく、かつ相応の強度を有するアスファルト混合物を上層路盤に対して使用する場合は、この混合物を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。加熱混合方式のアスファルト安定処理は、専用プ

表-1 わだち掘れ深さに対する補修要否の目標値⁹⁾

舗装区分	評価 A	評価 B	評価 C
滑走路	RD<10	10≤RD<38	RD≥38
誘導路	RD<17	17≤RD<57	RD≥57

※RD：わだち掘れ深さ（単位：mm）

ラントで製造する加熱アスファルト混合物の一種であるが、表・基層用混合物よりも強度が低く、あくまでも上層路盤に用いる安定処理材という位置づけである。したがって、大粒径アスファルト混合物とアスファルト安定処理の違いは、使用目的に起因するところの強度のみであると著者らは認識している。

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耐久性の改善に取り組んでいる^{7)・8)}。

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 の連続粒度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。空港舗装補修要領（案）では、空港アスファルト舗装における機能上の破損はクラック率、わだち掘れ深さ、平坦性から計算される PRI（Pavement Rehabilitation Index）で評価されており、わだち掘れのみに着目した場合の補修要否の目標値として表-1に示すわだち掘れ深さが推奨されている⁹⁾。表中の評価 A は補修の必要がないことを、評価 B は近いうちに補修が望ましいことを、評価 C は早急に補修が必要であることをそれぞれ意味し、RD はわだち掘れ深さを示す。これらの目標値は補修を計画する場合に対する参考資料の一つという位置づけであるが、各空港で定期的実施されている路面性状調査ではその評価が PRI のみならず、各測定項目にも基づいて行われている。そして、その調査結果の重要度から判断すると、わだち掘れは PRI を算出する他の項目と同様に補修の要否を評



写真-1 わだち掘れ状況

価する重要な判断要因であるといえる。

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。例えば、関西国際空港が開港する以前の大阪国際空港 B 誘導路では、供用開始後 2 年目で深刻な塑性流動によるわだち掘れが発生し¹⁰⁾、その後多くの実態調査を重ねたうえで大規模な補修を行っている。この補修工事では改質アスファルトを活用することにより、アスファルト混合物の耐流動性を改善した¹¹⁾。写真-1は誘導路におけるわだち掘れ状況の一例を示したものである。最もわだち掘れが深い箇所で、わだち掘れ深さが約 70mm にも達している。

アスファルト混合物の耐流動性の改善を考える場合に注意を要するのが、ひび割れに対する抵抗性についても配慮しなければならないことである。耐流動性を向上させようとする、軟化点を上昇あるいは感温性を低下させたバインダーを使用したり、ギャップ粒度の骨材配合を採用したりするケースが多く、その結果、耐流動性は改善されるものの、変形に対する追従性が損なわれて早期にひび割れが生じてしまうことがある。すなわち、アスファルト混合物における耐流動性とひび割れ抵抗性は相反する性能となりやすいことから、それぞれの改善を検討する場合には他方の性能についても十分に検討しておく必要がある。

本研究では、安定性とひび割れの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。

本検討では、大粒径混合物としては骨材の最大粒径が 30mm と 40mm のものを用い、通常の表・基層用混合物としては最大粒径が 13mm と 20mm のものを使用した。そして、これらの混合物について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対する各種試験に基づいて評価した。室内試験としては、試験法が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、施工時に舗設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走行させた載荷試験を実施して、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を用いた直接引張試験、繰返し曲げ試験等を実施して、主に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、厚く作製した舗装版を上下 2 段にスライスした供試体に対して、それぞれ静的曲げ試験を行った。これらの試験は、舗装試験法便覧¹²⁾ およびその別冊¹³⁾ に準拠した方法で実施した。

2.1 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合計 4 種類である。混合物の骨材配合は、最大粒径が 13mm と 20mm については空港土木工事共通仕様書¹⁴⁾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-2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。

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最適アスファルト量 (OAC) とした。配合設計の結果を表-3に示し、それら骨材の粒度曲線を図-1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

表-2 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)
通過質量百分率%				
53.0mm	—	—	—	100
37.5	—	—	100	85~100
26.5	—	100	90~100	—
19.0	100	95~100	—	56~80
13.2	95~100	75~90	56~80	—
4.75	55~70	45~65	29~59	23~53
2.36	35~50	35~50	19~45	15~41
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

表-3 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

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。

2.2 試験の概要

(1) 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載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載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。

(2) ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験については、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、大粒径混合物に対しては現在のところ試験法が整備されていない。舗装試験法便覧に記載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・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^{11)・14)}。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¹⁵⁾。

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 倍ほどに設定している^{16)・17)}。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。(あくまでも、混合物 A と B は大粒径混合物の比較に用いるもので、混合物 C と D が検討の主である。)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。

(3) 静的曲げ試験

骨材の最大粒径が大きい場合、密度と舗設面の仕上がり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ことが多い。その場合、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¹⁸⁾。室内の静的曲げ試験では、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、ホイールトラッキング試験の供試体作製の型枠とローラコンパクタを使用して 300×300×150mm の厚い試料を 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で上部と下部の 2 段に分けて 300×50×75mm (長さ×幅×厚さ) の供試体に整形する。つまり、図-2 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切り落としたうえで、上下 2 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

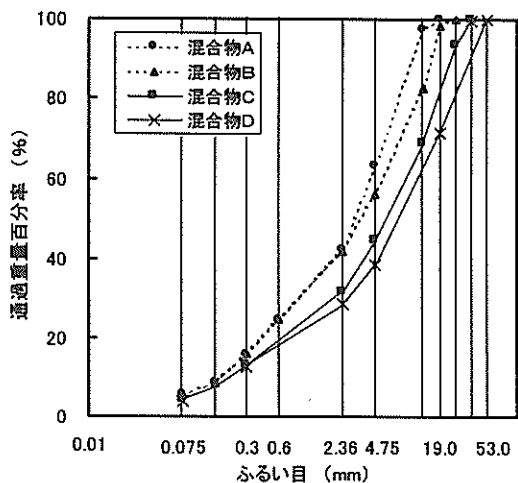


図-1 供試体の粒度曲線

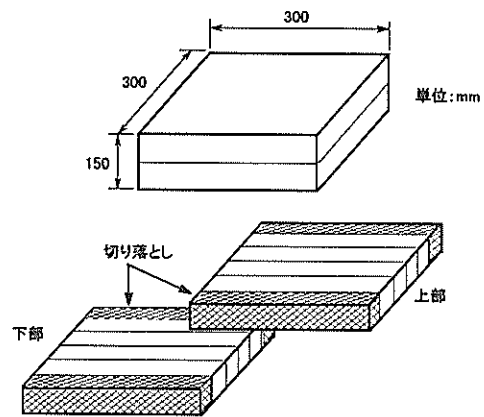


図-2 曲げ試験用供試体の切り出し要領

表-4 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	4.6	—
安定度 (kN)	12.3	15.4	8.8 以上	36.0	31.0	19.8 以上
フロー値 (1/100cm)	31.0	28	20~40	42.0	48.0	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	85.0	85.7	75 以上

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^{19), 20), 21), 22)}、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^{23), 24)} 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、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。

2.3 試験結果および考察

(1) 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-4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²⁵⁾) 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⁶⁾、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て飽和度が小

表-5 ホイールトラッキング試験の結果

厚さ	測定項目	A	B	C	D
50mm	締固め度 (%)	100.1	100.1	—	—
	DS (回/mm)	521	716	—	—
100mm	締固め度 (%)	99.5	99.7	99.4	99.2
	DS (回/mm)	538	670	1500	1240
150mm	締固め度 (%)	99.2	99.2	99.1	99.2
	DS (回/mm)	474	583	1620	1370

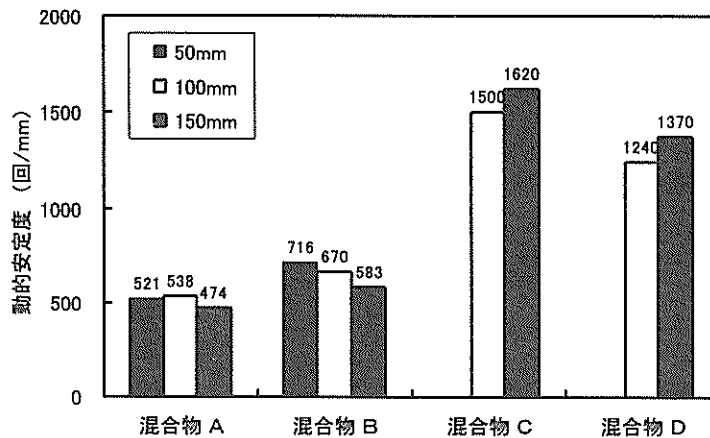


図-3 動的安定度の比較

さく、さらに OAC が小さい。空隙率が大きく、かつ飽和度が小さいのは、やはり最大骨材粒径が大きいために、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。

(2) 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。表-5に各混合物についての試験結果を供試体の厚さごとに示し、また図-3に動的安定度 (DS) をグラフ化したものを示す。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、最大骨材粒径が 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、供試体の断面中に占める粗骨材の割合が小さくなって骨材全体が相対的に移動しやすくなり、動的安定度も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が高くなっている。そして、本ホイールトラッキング試験では、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。混合物 D が C よりも動的安定度が多少小さかったのは、混合物 D は供試体表面のきめが粗いために、表面の目つぶれや骨材の角欠け等が生じたことによるものと考えられる。

(3) 静的曲げ試験

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。表-6に試験結果を示す。これらを各評価値について図示したものが図-4, 5, 6, 7である。また、曲げ試験で使用した供試体の締固め度を図-8に示す。

破壊時の曲げ強度は、載荷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) の結果と対応しており、150mm 程度の舗設厚でも厚さ方向に密度差があって曲げ強度に多少の違いが生じている。この傾向は温度が低い場合、および載荷速度が速い場合に顕著のようで、温度が 20℃以上で載荷速度が 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

表-6 曲げ試験の結果

配合	温度 (°C)	載荷速度：1mm/min				載荷速度：100mm/min			
		破壊時曲げ応力 (kgf/cm ²)		破壊時ひずみ (×10 ⁻³)		破壊時曲げ応力 (kgf/cm ²)		破壊時ひずみ (×10 ⁻³)	
		上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部
A	0	93.7	72.9	32.4	28.0	108.0	77.2	8.6	7.5
	20	7.6	7.5	44.9	44.8	53.1	42.4	32.2	36.9
	40	1.6	0.9	33.8	31.6	5.9	5.2	37.3	36.0
B	0	100.6	71.4	22.1	22.0	101.5	72.2	7.5	6.7
	20	7.7	6.9	43.6	42.3	54.9	42.9	35.7	39.1
	40	1.7	0.9	30.5	28.5	6.5	4.7	46.5	38.9
C	0	99.1	73.8	20.8	15.7	101.8	75.5	8.6	7.8
	20	8.0	6.3	30.4	27.6	54.9	40.4	28.0	30.9
	40	1.4	1.1	25.6	24.4	6.1	3.8	27.5	31.1
D	0	99.2	66.5	16.3	14.4	89.7	67.7	6.5	6.9
	20	7.7	6.1	30.4	29.2	58.6	33.3	28.8	21.5
	40	1.6	0.9	28.2	25.8	5.7	3.8	33.9	34.4

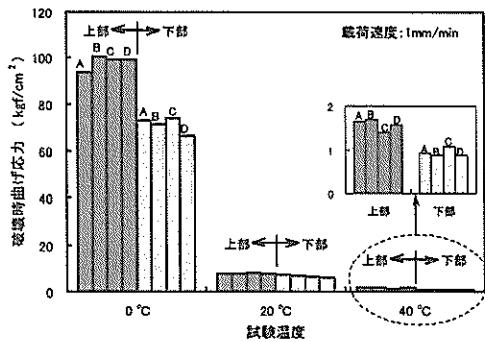


図-4 破壊時曲げ強度の結果 (1mm/min)

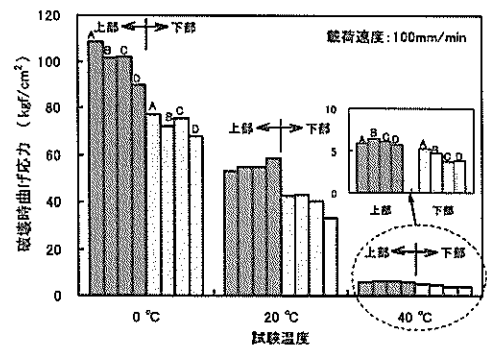


図-5 破壊時曲げ強度の結果 (100mm/min)

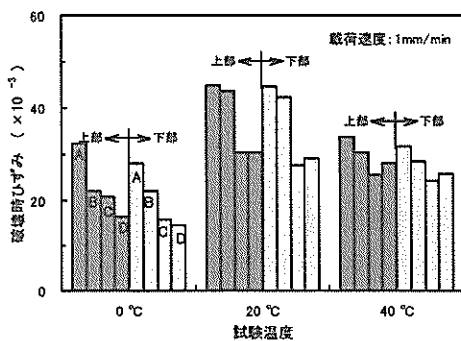


図-6 破壊時ひずみの結果 (1mm/min)

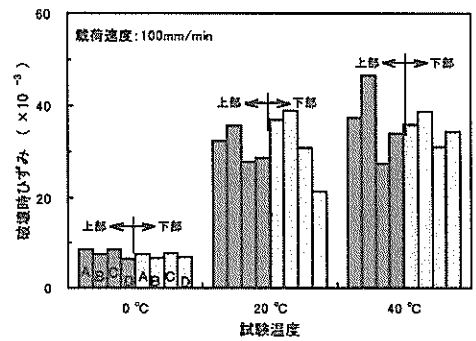


図-7 破壊時ひずみの結果 (100mm/min)

骨材粒径による差異はなく、上部および下部ではそれぞれほとんど同じ値であった。

一方、破壊時のひずみについては、上部と下部とで大きな差異は認められず、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る範囲という意味合い）が低下するものと考えられる。したがって、骨材の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ものと評価される。以上のことは両方の載

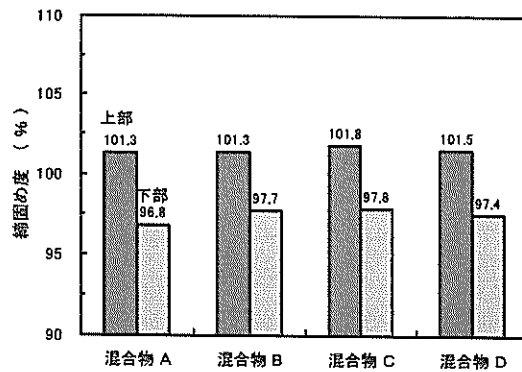


図-8 曲げ試験供試体の締固め度

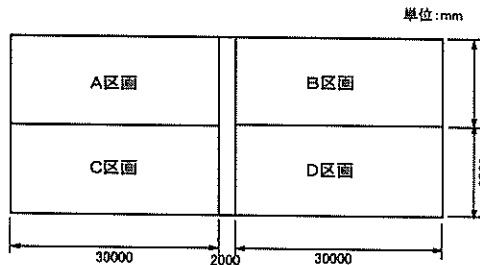


図-9 試験舗装ヤードの平面図

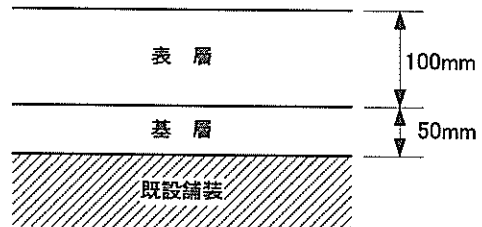


図-10 試験舗装の断面図

荷速度の結果についていえることである。

引張に対する変形性能の差違については、後述する耐久性の評価においてさらに言及している。

2.4 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、あるいはそれ以上のものと評価される。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。しかしながら、引張に対する変形性能については、大粒径混合物のほう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. 載荷試験による評価

以上に記した室内試験による基礎的検討を踏まえ、屋外に試験用の舗装体を作製して、さらに詳しい供用性の評価を行った。具体的には、試験舗装上に実際の航空機脚荷重と同等の輪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。

前章に記したホイールトラッキング試験は、道路舗装

におけるわだち掘れをシミュレートして舗装の耐流動性を評価する試験であり、道路舗装の荷重条件に基づいて開発され、標準化されたものである。その輪荷重は、直径 200mm、幅 50mm のソリッドタイヤを回転、移動させるもので、車輪の接地圧は約 6kgf/cm^2 である。大型航空機の輪荷重と比べるとサイズの面でも接地圧の面でもかなりの違いがあり、大粒径混合物の空港舗装への適用性を考えるならば、実際に即した荷重条件に対して評価しておく必要がある。

3.1 試験舗装体の概要

載荷試験に用いる舗装体の作製は、当研究所の野比実験場で行った。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ので、試験舗装は路床、路盤から構築する必要はなく、既設の舗装にタックコートを実施して各種混合物のオーバーレイを行った。表層用混合物としては、先述の室内試験と同様に、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 種類であった。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、アスファルト量についても全く同じである。

試験舗装の概要状況として、図-9にその平面図を、図-10に断面図を示す。施工ヤードは表層用混合物の種

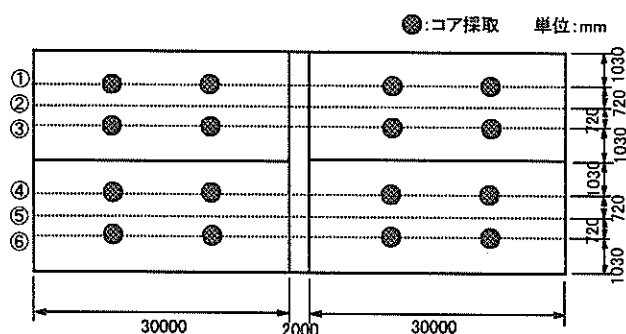


図-11 コア採取および平坦性測定位置

表-7 切取りコアの密度測定結果

舗装区画	基 層		表層上部		表層下部	
	密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)	密度 (g/cm ³)	締固め度 (%)
A 区画	2.355	98.4	2.375	99.9	2.413	101.5
B 区画	2.376	99.3	2.385	99.9	2.346	98.3
C 区画	2.348	98.1	2.390	99.9	2.398	100.2
D 区画	2.350	98.2	2.473	100.9	2.456	101.7

類に基づいて四つに区分し、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号を割り当てた、すなわち、各区画における表層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設した。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 の厚さを一回の舗設で仕上げることから、表層の施工はいわゆるシクリフト工法で行ったことになる。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。

試験用に舗設した各舗装区画において、コア採取による密度測定と 3m プロファイ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の位置は図-11に示すとおりで、各区画に対してそれぞれコア採取は 4 箇所、平坦性測定は 3 箇所とした。密度測定について

は、採取したコアを表層と基層に分割し、さらに表層は上部と下部の二つに分割してそれぞれの密度を求めた。平坦性の測定方法とその結果の整理は、舗装試験法便覧の規定に準じて行った。

表-7に密度測定の結果を示す。表中にける各混合物の締固め度は、予備転圧試験の際のマーシャル安定度試験による基準密度を用いて求めたもので、先述した室内試験による密度を基準密度として求めたものではない。表層の締固め度は、上部と下部による差がほとんどなく、シクリフト工法による密度の違いは認められない。室内試験では厚さ 150mm の舗装で上部と下部に明らかに密度の差が見られたが、本試験用舗装では舗装厚が 100mm であり、また振動ローラを使用したこともあって、このような結果になったと考えられる。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る。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が確認できる。

舗設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も詳しく記述するが、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（平坦性が悪い結果）であった。

以上の密度と平坦性に関する試験結果は、本試験舗装の条件についてのものであって、アスファルト混合物の



写真-2 原型載荷装置の概観

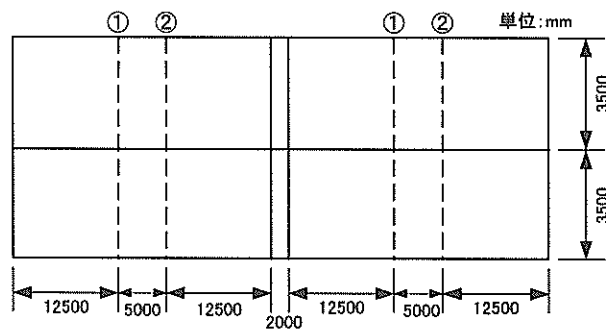


図-12 横断プロフィール測定位置

配合や舗設厚が異なると多少違った結果が得られるものと推察される。例えば、東京国際空港で実施された、アスファルト安定処理路盤（最大骨材粒径が 40mm）をシックリフト工法（一回の施工厚が 16cm と 24cm の場合）で構築する試験施工では、厚さ方向の位置の違いによる密度の差異と施工厚の違いによる平坦性の差が確認されている^{26), 27)}。

3.2 走行試験による耐流動性の評価

空港アスファルト舗装に要求される性能の一つとして、塑性流動に対する抵抗性が挙げられる。航空機荷重は道路舗装における車両荷重に比べてはるかに大きいことから、耐流動性の評価が重要となっている。室内試験ではホイールトラッキング試験によって各混合物の耐流動性を相対的に比較したが、ホイールトラッキング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、

より実際の荷重条件に即した載荷方法に基づいて検討するために、実際の航空機と同じ脚荷重を用いた。

(1) 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、写真-2に示すようなトレーラ型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-747-400 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 1,000 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

表-8 縦断方向平坦性試験の結果

舗装区画、 位置	標準偏差 σ (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	-0.88
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

同じ図-11 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に示す各区画の中央付近のそれぞれ2箇所と設定した。

試験時の環境条件は、本来ならば、なるべく高温が望ましく、かつ各舗装区画において同一となる必要があるが、試験ヤードは屋外であり、さらに走行試験には長い時間を要することから、これらの要求を満たすことができなかった。結果的には、11月中旬から下旬にかけての晴れた日を選んで荷重載荷を実施した。

(2) 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、各舗装区画の縦断方向平坦性について表-8にその結果をまとめる。空港舗装補修要領(案)⁹⁾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、シックリフト工法は平坦性が低下しやすいとい

表-9 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

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考えられる。

結果としては、大粒径混合物を使用したC、D区画の平坦性のほうが通常混合物を使用したA、B区画よりも平坦性は優れていた。したがって、東京国際空港での実施例^{26), 27)}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、通常の表・基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、測定精度を考慮すると、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。

次に、走行載荷試験前後における横断プロフィールの測定から求めたわだち掘れ量の結果を表-9に示す。わだち掘れ量に関しても各舗装区画に明確な違いは認められないが、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。このことは、室内でのホイールトラッキング試験でもC区画で使用した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。

(3) 耐流動性のまとめ

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

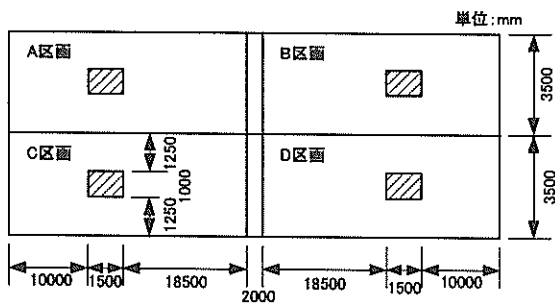


図-13 試験用供試体の切り取り位置

表-10 切り取り供試体の概要（一区画当たり）

試験項目	供試体の形状寸法	数	摘要
静的曲げ試験	300×50×75mm	6	試験数:3 条件数:2
ラベリング試験	400×150×50mm	2	試験数:2 条件数:1
カンタブロ試験	φ100×65mm	3	試験数:3 条件数:1
直接引張試験	250×50×75mm	12	試験数:3 条件数:4
繰返し曲げ試験	300×50×75mm	72	試験数:3 条件数:24

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. 切り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、先の静的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、この点についての明確な評価と繰返し荷重に対する疲労特性についても確認しておく必要がある。したがって、ここで実施した試験の内容は、静的曲げ試験、ラベリング試験、カンタブロ試験、直接引張試験、繰返し曲げ試験の計5種類である。

4.1 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1,500×1,000mm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-10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、すべてにおいて舗装表面部分を基準に底

部を取り去るようにして整形した。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。なお、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。

直接引張試験と繰返し曲げ試験以外の試験は、舗装試験法便覧に試験法が規定されているので、その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-10に示したとおりで、載荷速度は1mm/minと100mm/minの2条件で実施したが、試験温度は20℃のみであった。

試験法が標準化されていない直接引張試験と繰返し曲げ試験については、以下に示す要領で試験を実施した。

(1) 直接引張試験

アスファルト混合物についての直接引張試験は、わが国では事例が少なく、一部の技術者の間で主に研究を目的として実施されているに過ぎない。試験方法も実施機関によって様々であり、供試体の形状寸法、治具まわり、載荷方式等それぞれ違っている。本研究では、比較的結果のばらつきが小さいと考えられている吉田ら²⁸⁾の方法に準拠して行った。

試験手順は次のとおりである。まず、試験実施の前に、表-10に示した供試体の両端面に対して図-14(a)に示すように鋼製の治具をエポキシ系接着剤で堅固に張り付けておく。治具の接着は、供試体の芯と治具の芯が通るように専用の固定枠を用いて行った。そして、接着剤が十分に硬化した後、供試体を固定枠から外して所定の温度で空気養生しておく。供試体内部の温度が全体にわたって設定温度となるように十分に養生した後、治具を介して供試体を試験装置にセットし、所定の温度、所定のひずみ速度の条件で供試体を引き伸ばした。

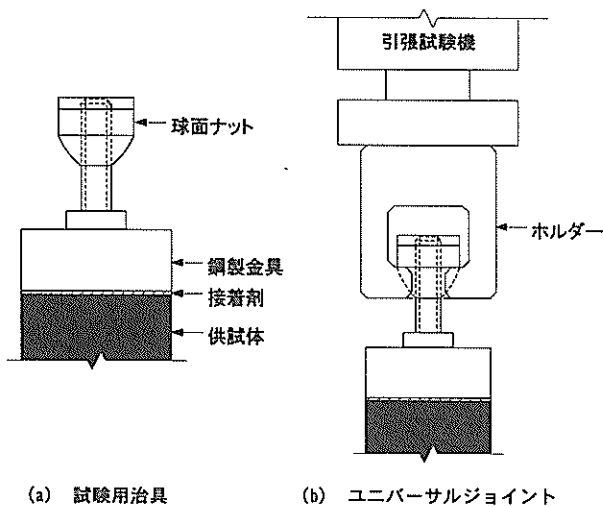


図-14 直接引張試験の概要

使用した荷重装置は所定の温度で試験ができるように空気恒温槽を具備したもので、一定の変位速度で供試体を上下に引き伸ばす仕様のものである。また、接着した治具と試験装置の荷重部には、図-14 (b) に示すような球面ナットとそのホルダーによってユニバーサルジョイントが形成されており、供試体に偏心荷重が作用しないようになっている。試験では荷重時における荷重の大きさと引き伸ばした変位量が記録される。

試験条件については、引張時のひずみ速度が静的曲げ試験における荷重速度 1mm/min の条件と同じになるように変位速度を 2.81mm/min と設定し、試験温度を 20, 25, 30, 35℃と変化させた。試験温度が 20℃を下回ると、供試体が治具との接合面からはがれてしまって有意なデータが得られなかった。また、温度が 35℃を超える場合も供試体を試験装置にセットした段階で自重によって伸びてしまい、やはり有意な結果が得られなかった。そのため、試験温度は狭い範囲内ではしか変動させられなかった。これらの条件に加えて、温度を 30℃に固定して変位速度を毎分 8.43mm, 28.1mm, 84.3mm と変化させた場合（対数表示で結果を整理することを考慮して、2.81mm の 3 倍、10 倍、30 倍に設定）についても試験を実施した。一つの試験条件に対して供試体数は 3 とし、結果のばらつきが多い場合については 5 とした。

(2) 繰返し曲げ試験

繰返し曲げ試験は 2 点支持 1 点荷重の治具を用いたひずみ制御方式で行った。図-15 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

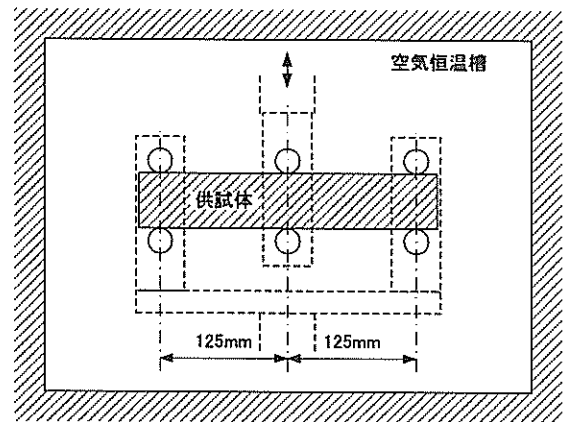


図-15 繰返し曲げ試験の概要

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異なるが、おおむね $1,000 \times 10^{-6} \sim 2,500 \times 10^{-6}$ (片振幅) の範囲でそれぞれ 4 ないし 5 とおり変化させた。一条件についての試験数は 3 とし、ひずみ制御の荷重周波数は既往の研究^{21), 22)}に基づいて 5Hz とした。

繰返し曲げ試験では、荷重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を用いた自動締付けによってそれを回避した。

4.2 試験結果および考察

(1) 静的曲げ試験

静的曲げ試験の結果について、図-16 に破壊時の曲げ応力を、図-17 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。

(2) 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-11 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

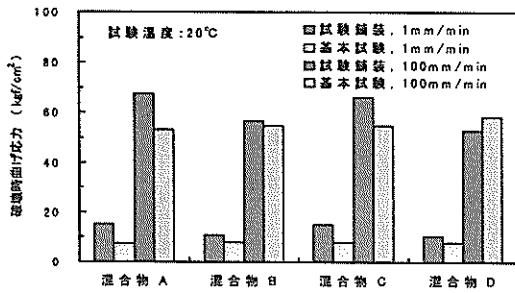


図-16 破壊時曲げ強度の結果

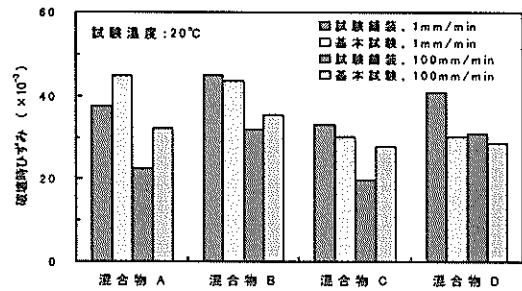


図-17 破壊時ひずみの結果

表-11 ラベリング試験とカンタブロ試験の結果

混合物種類	すりへり量 (cm ²)	損失率 (%)	締固め度 (%)
混合物 A	0.41	8.3	100.7
混合物 B	0.52	5.4	103.5
混合物 C	0.55	9.1	103.3
混合物 D	0.81	13.3	103.1

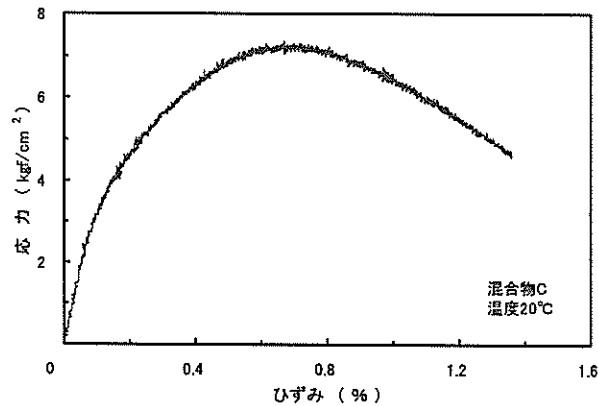


図-18 直接引張試験の応力-ひずみ曲線

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 0.5cm² 前後である。D 区画の表層が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。混合物 D のすりへり量が他のものよりも多いのは、鋼製チェーンの打撃による骨材のストリッピングが主要因と考えられる。他の混合物も D と同じように骨材のストリッピングが生じているものと考えられるが、混合物 D は粗骨材が大きいため表面が粗くて粗骨材が離脱しやすく、その場合の減量の程度が大きい。カンタブロ試験における骨材損失率も混合物 D 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、通常の表層用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。

(3) 直接引張試験

直接引張試験の結果の一例として、試験温度が 20°C の場合における混合物 C の応力-ひずみ曲線を図-18に示す。測定値である荷重と変位からの応力とひずみへの変換は、荷重と変位をそれぞれ供試体の断面積と長さで除して行った。結果の整理は静的曲げ試験の場合と同様に、引張応力が最大となる時を破壊時と定義し、破壊時応力と破壊時ひずみを特性値として取りまとめた。

載荷速度を一定とした場合の破壊時応力と試験温度の関係、および破壊時ひずみと試験温度の関係をそれぞれ

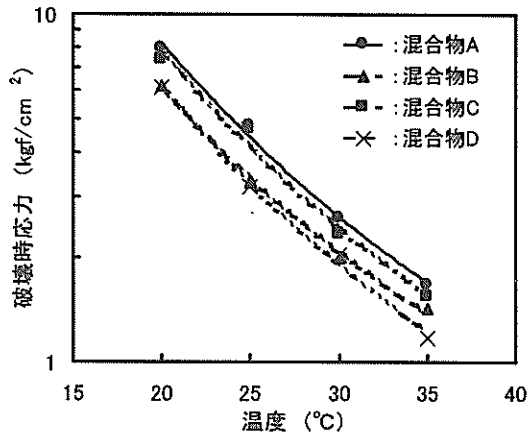


図-19 破壊時応力と試験温度の関係

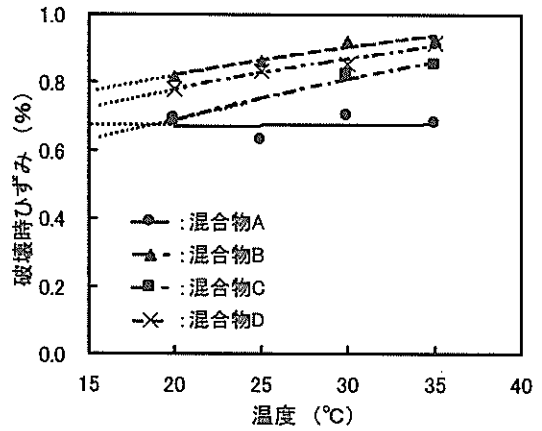


図-20 破壊時ひずみと試験温度の関係

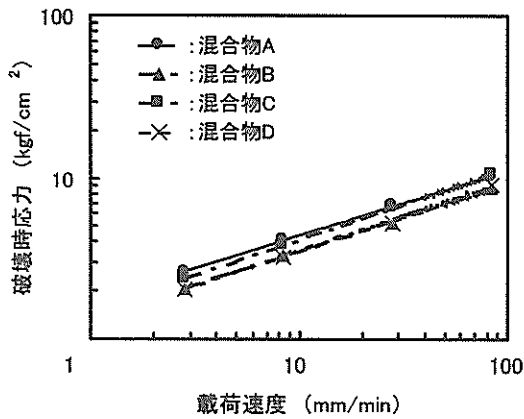


図-21 破壊時応力と載荷速度の関係

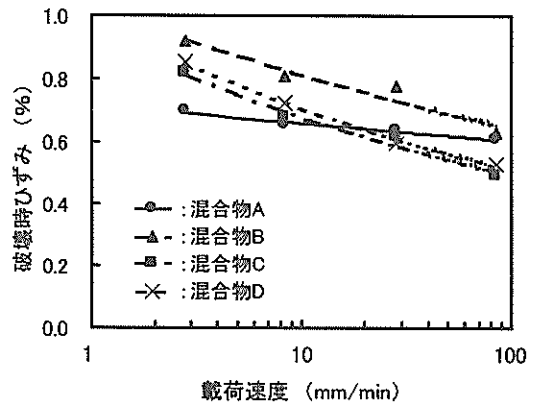


図-22 破壊時ひずみと載荷速度の関係

図-19, 20に示す(破壊時応力の軸は対数表示であることに注意)。破壊時応力は混合物 A と混合物 C でほぼ等しく、混合物 B と混合物 D でほぼ等しい。どちらかというとな前者のほうが大きい傾向にあるが、これらの差はわずかであり、有意な違いとは判断し難い。一方、破壊時ひずみについては、混合物 B が最も大きく混合物 A が最も小さい。そして、大粒径混合物である C と D の関係はこれらの間に位置している。したがって、室内作製の供試体を用いた曲げ試験で見られた、大粒径混合物のほうが通常混合物よりも破壊時ひずみが小さいという結果は、直接引張試験の結果からは見出すことができなかった。これは、先に示した図-8 と表-10 に示した各混合物の締固め度を比較してみるとわかるように、コンパクターを使用して室内で作製した供試体、特に大粒径混合物の供試体は締固め度が小さかったために本引張試験とは異なった結果が得られたものと考えられる。実際と同じ施工機械で舗装した試験舗装のほうがより実際の状況に近いと考えられるので、本引張試験の結果を重視したほうが賢明である。しかしながら、混合物 A は温

度変化に対する破壊時ひずみの変動が小さく、仮に図-20 の関係を低温側に外挿して考えるならば、大粒径混合物の破壊時ひずみは通常混合物のものよりも小さいと推定することができる。

また、温度を一定にして載荷速度を変化させた場合の破壊時応力、破壊時ひずみの関係をそれぞれ図-21, 22 に示す。破壊時応力については、混合物の違いによる差は認められない。破壊時ひずみと載荷速度の関係は、混合物 A は他の混合物に比べて載荷速度の変動に対する破壊時ひずみの変化が小さい。そのため、載荷速度が遅い領域では温度を変化させた場合と同様な傾向であるが、載荷速度が速い領域では大粒径混合物の破壊時ひずみは通常混合物よりいくらか小さくなっている。アスファルト混合物のレオロジー挙動を論ずる際に適用される時間温度換算則^{29)・30)}によれば、載荷速度が速い場合の特性は温度が低い場合のものと同値であり、図-22 の関係からも温度が低い条件では大粒径混合物のほうが通常混合物よりも破壊時ひずみが小さいと推定される。

図-20 と図-22 に示した破壊時ひずみについての結果

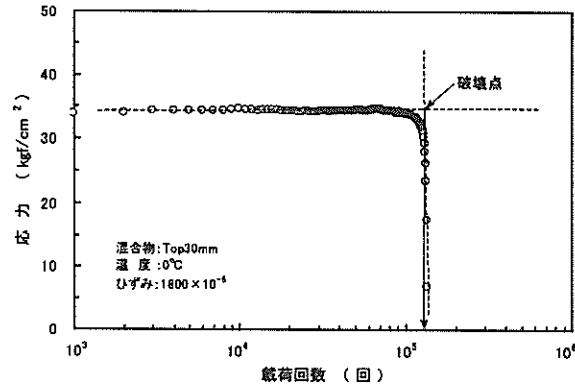


図-23 応力と破壊回数の関係

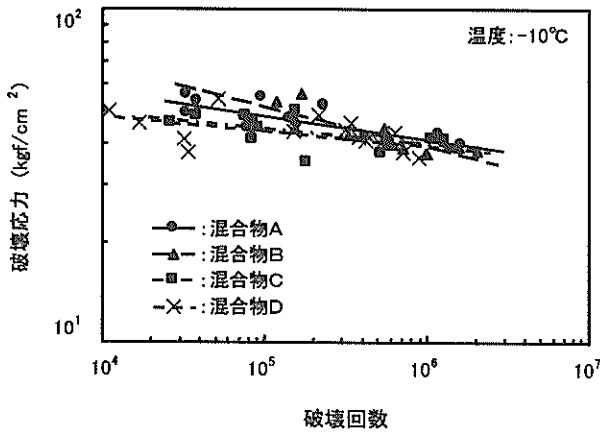


図-24 破壊応力と破壊回数の関係 (-10°C)

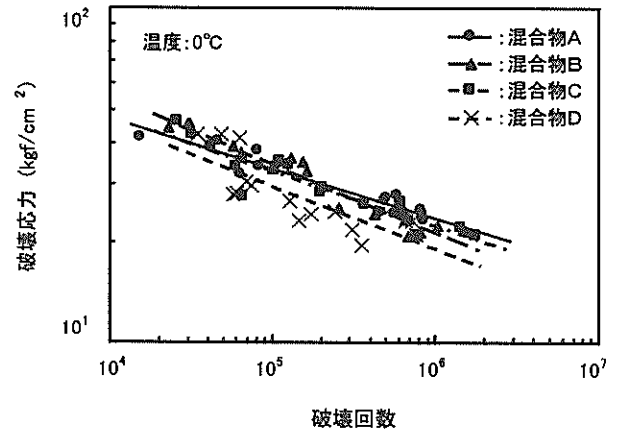


図-25 破壊応力と破壊回数の関係 (0°C)

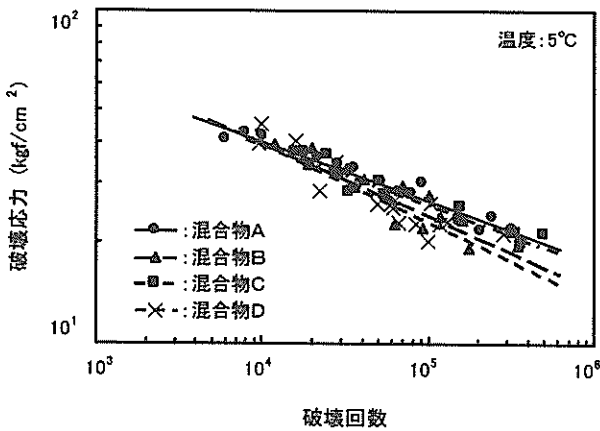


図-26 破壊応力と破壊回数の関係 (5°C)

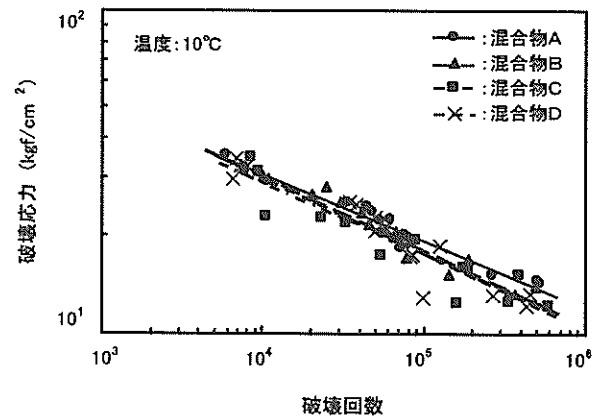


図-27 破壊応力と破壊回数の関係 (10°C)

を見ると、温度や荷重速度の違いに対する破壊時ひずみの変化が、混合物 A は他のものに比べてかなり小さい。そのため、混合物 A は他の混合物とは異なる引張特性を有しているものと見受けられる。この点に関しては、骨材配合の違いによる材料面が起因しているのか、粗骨材サイズに対する供試体断面の面積効果といった試験方法が起因しているのか確認するに至らなかった。

以上の検討により、引張特性については、温度が常温

域であればアスファルト混合物の最大骨材粒径による影響はあまり大きくないと判断される。つまり、ここで用いた大粒径混合物は、常温域では通常の表層用混合物と同等の引張強度、変形性能を有しているものと評価できる。しかし、温度が低い場合および荷重速度が速い場合については、大粒径混合物は通常の表層用混合物よりも破壊時ひずみが小さく、引張変形に対する追従性が劣るものと推察される。

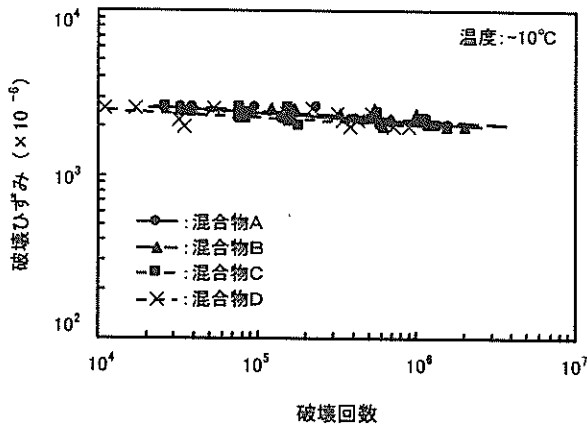


図-28 破壊ひずみと破壊回数の関係 (-10°C)

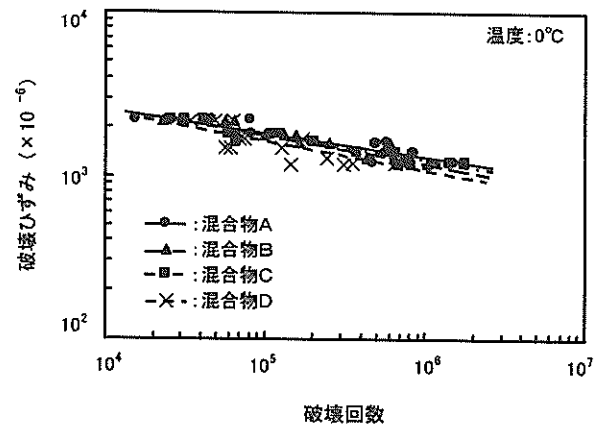


図-29 破壊ひずみと破壊回数の関係 (0°C)

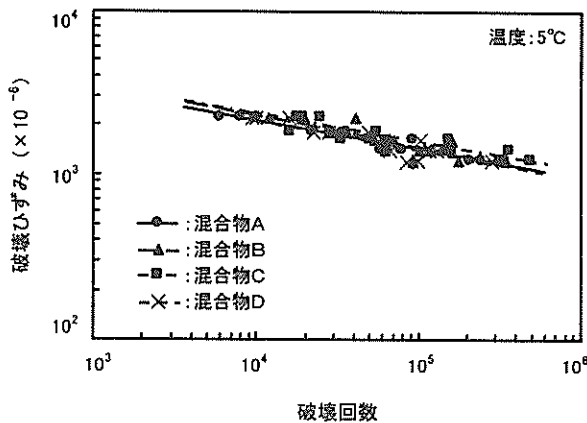


図-30 破壊ひずみと破壊回数の関係 (5°C)

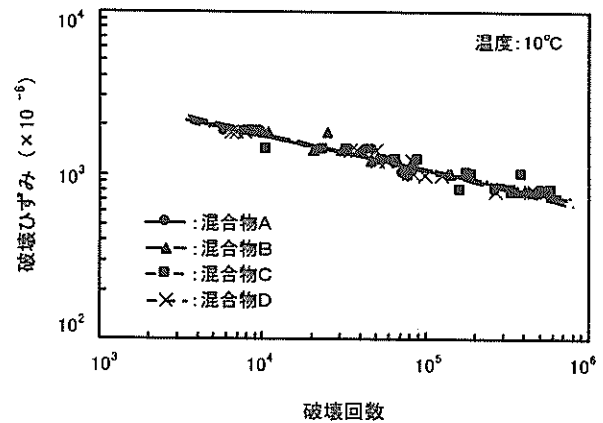


図-31 破壊ひずみと破壊回数の関係 (10°C)

(4) 繰返し曲げ試験

繰返し曲げ試験は、丸山ら²¹⁾の整理方法に準拠し、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て結果を取りまとめた。すなわち、縁部応力と載荷回数との関係において、図-23に示すように疲労破壊に伴って応力が急激に低下する前後でそれぞれ回帰直線を求め、それらの交点を破壊点と定義し、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。

図-24, 25, 26, 27に試験温度がそれぞれ-10°C, 0°C, 5°C, 10°Cの場合に対する破壊応力と破壊回数の関係を示す。各混合物における個々の試験結果をシンボルで表し、その回帰直線を各線分で示してある。-10°Cの温度条件では、通常の表・基層用混合物であるA, Bの回帰直線が大粒径混合物であるC, Dのものよりも上方に位置しており、混合物C, DのほうがA, Bよりも疲労抵抗性が多少劣るものと評価できる。0°Cの条件では混合

物Cと混合物A, Bの違いは明確ではないが、混合物Dではこれらのものよりも回帰直線は明らかに下方に位置している。温度10°Cの結果からは、混合物による違いは認められない。混合物AとBでは疲労特性の違いは見られないが、混合物CとDでは、温度0°Cと5°Cの条件でDよりもCのほうが疲労抵抗性に優れている傾向にある。

また、図-28, 29, 30, 31に各温度条件に対する破壊ひずみと破壊回数の関係をそれぞれ示す。結果としては先の破壊応力と破壊回数の関係ほど明確ではないが、ほぼ同様な傾向である。温度が5°C, 10°Cの条件では混合物の違いによる差は見られず、温度-10°Cと0°Cでは混合物Dが他のものよりも疲労抵抗性が劣っていると評価される。やはり、どの条件においても通常混合物であるAとBの違いを見出すことはできないが、温度が低い条件においては通常混合物と大粒径混合物の違い、および大粒径混合物でもCとDの違いを読み取ることができる。

以上をまとめると、大粒径混合物は通常の表・基層用混合物よりも疲労抵抗性が多少劣る傾向にあり、特に最大骨材粒径が最も大きい混合物 D は他の混合物よりも疲労抵抗性が小さいと判断される。この傾向は温度が低い場合に顕著に見られ、温度が 10℃ の条件では疲労特性に明確な違いは認められない。しかし、大粒径混合物でも最大骨材粒径が 30mm 程度であれば、通常混合物の疲労特性と大きな差はないと評価できる。

4.3 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設し、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、主に表層材料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重要度は高いといえる。したがって、破壊時引張ひずみの大きさや疲労抵抗性の点で通常混合物と同等程度の性能であっても、耐流動性が改善されていれば、本研究で注目しているところの耐久性の高い混合物と評価することができる。このことについて考慮し、ここでの試験結果を総合的に考察すると、以下のようにまとめられる。

粗骨材の最大粒径が 40mm の大粒径混合物は通常の表層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が通常の混合物よりもわずかに劣る程度なので、空港舗装としての総合的な耐久性はかなり優れているものと評価される。

5. 結論

本研究では、大粒径アスファルト混合物を空港舗装の表層に適用して、特に耐流動性が高い耐久性に優れた舗装体の構築に寄与できるかどうかについて検討した。室内試験によって大粒径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、既往の表層用混合物よりも耐流動性が高く耐久性に優れた表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、シックリフト工法の採用により施工性が向上し、さらに表層、基層での境界剥離³¹⁾ 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（マーシャル安定度と動的安定度）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、引張作用に対する追従性が多少劣っている。この傾向は、特に温度が低い場合と載荷速度が速い場合に見られ、常温以上や載荷速度が遅い場合には、あまり明確に現れない。
- (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においても、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できた。
- (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) 大粒径混合物の疲労抵抗性は、温度が低い条件において通常混合物よりも多少劣る傾向にあり、この傾向は最大骨材粒径が大きいものほど顕著であった。しかしながら、最大骨材粒径が 30mm の大粒径混合物では、通常混合物に対する疲労抵抗性の違いはわずかであり、供用性への影響は小さいものと評価される。

6. あとがき

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。そして、その評価結果が良好であれば、大粒径混合物に対しての材料面や施工面に関する基準類の整備が重要となる。

また、ここでの評価はマーシャル安定度試験に基づいた設計法で配合した大粒径アスファルト混合物に対するものであった。今後においては、最適な配合条件の明確化を踏まえた配合設計法についても考慮して大粒径アスファルト混合物の耐久性を調査し、空港舗装への適用性を検討していきたい。

アスファルト混合物の評価法で標準化されているものは、道路舗装への適用を前提に開発されたものが多く、空港舗装での荷重条件を考えると実際の状況と必ずしも対応しない試験がある。本研究では、空港舗装の条件とは直接リンクしていないラベリング試験とカンタブロ試

験についても実施した。また、ホイールトラッキング試験では輪荷重が大型航空機のものとかかなり乖離していた。現時点において、混合物の骨材飛散抵抗性や耐流動性を評価する標準化された試験はこれらの試験法しかなく、大粒径アスファルト混合物を客観的に評価するためには、これらの試験を実施する必要がある。今後のことを考えると、空港舗装に特化した、実際の航空機荷重に即したアスファルト混合物の評価方法を開発し、標準化していく努力が必要となる。

(2000年8月31日受付)

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，pp.48-51，1992.
- 2) 第三港湾建設局大阪空港工事事務所：大阪空港の特殊舗装について，第22回空港土木工事報告会資料，1987.
- 3) 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.
- 4) 川鍋昭人，山口敏，迫春男：高耐久性アスファルト混合物の交差点補修工事への適用，道路建設，6/8，pp.53-60，1994.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 運輸省航空局：空港舗装補修要領(案)，pp.25-26，1984.
- 10) 高瀬博行：大阪空港のわだち掘れ対策，舗装，13-7，pp.10-16，1978.
- 11) 大林正和：大阪空港：改質アスファルト・補修，アスファルト，Vol.36 No.179，pp.40-44，1994.
- 12) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，pp.47-65，1979.
- 13) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧別冊，pp.20-29，1996.
- 14) 運輸省航空局：空港土木工事共通仕様書，pp.4.12-4.16，1990.
- 15) 運輸省航空局：空港アスファルト舗装構造設計要領，pp.4.12-4.16，1990.
- 16) 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.
- 17) 山名良，芦達十郎，原田秀賢：大粒径舗装の試験的施工，舗装，28-11，pp.31-36，1993.
- 18) 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.
- 19) 笠原篤，菅原照雄：繰返し荷重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.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) 姫野賢治，丸山暉彦，渡辺隆，吉原一彦：低ステイブ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，土木学会論文報告集，第366号/V-4，pp.143-151，1986.
- 23) 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.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) 吉田隆輝，高橋正一：アスファルト混合物の直接引張試験について，土木学会第49回年次学術講演会

講演概要集，第5部，pp.66-67，1994.

- 29) 小野木重治，：レオロジー要論，槇書店，pp.155-159，1970.
- 30) 菅原照雄，中島昭雄，笠原 篤：アスファルト混合物の力学的性状の測定法（上），舗装，8-11，pp.19-26，1973.
- 31) 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.

港湾技研資料 No.976

2000.12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 シーケン

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (2000) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。