

空港舗装の表・基層を対象とした 大粒径アスコンの耐久性評価試験

早野公敏¹

¹正会員 博(工) (独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

空港アスファルト舗装の補修材料として導入が進んでいる大粒径アスファルト混合物の適用部分は基層以深になっており、耐流動性の良さを十分に活用しているとはいえない。これは空港舗装の表層部分に適用した場合にひびわれ抵抗性や耐磨耗性などの耐久性が懸念されるため、適切なアスファルト量や種類が十分に吟味されてこなかったことが課題の根底にあると考えられる。そこで本研究では性能評価試験を実施して、空隙率が大き粒径アスファルト混合物の曲げ抵抗性、耐磨耗性や暴露耐久性などにどのように影響を及ぼすかについて基礎的なデータの取得を図った。そして従来使用されているアスファルト混合物の性能と比較を行い、特に留意すべき性能について検討を行った。

Key Words : large stone asphalt mixture, surface-base layer, durability, mix design, air void ratio

1. はじめに

供用中に空港アスファルト舗装表面には静止荷重、衝撃荷重、走行荷重の形態の航空機荷重が作用しつつ、わだちぼれ、ひび割れ、摩耗、剥離などの損傷が進行して、航空機運行の安全性・快適性を低下させることがある。図-1、図-2はわが国の航空機数と着陸回数の経年推移¹⁾を示したもので、航空機荷重の重交通化、すなわち、航空機の大型化、航空機運行回数の増加が着実に進行していることが分かる。今後エアバス社のA-380に代表されるような次世代大型航空機の就航が予想され、航空機交通荷重のますますの重交通化現象に伴い、空港舗装に生じる損傷が進展しやすくなることが懸念される。

いろいろな損傷の形態の中でわだちぼれに着目すると、特に航空機の運行速度が遅い誘導路で、損傷の早期の進展が顕在化している。既設空港においてアスファルト舗装のわだちぼれが著しい場合には、アスファルト混合物のオーバーレイによる修繕が行われることが一般的であり、また誘導路・滑走路の早期開放という観点から合理的な補修工法である。一方で近年では空港全体の維持管理費が増加傾向にあり、限られた予算のなかでメンテナンス費用を削減することが重要になってきている。このことからわだちぼれに対する修繕の頻度を少なくするために、耐流動性に優れた大粒径アスファルト混合物の導入を検討する機会が生じている²⁾。またシックリフト工法で通常より層厚を厚く施工できることにより、わだちぼ

れだけでなく、層間剥離に対する抵抗性の向上を期待する動きも広がりつつある³⁾。

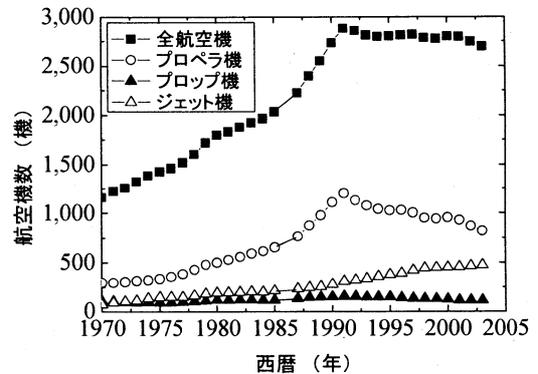


図-1 航空機数の推移

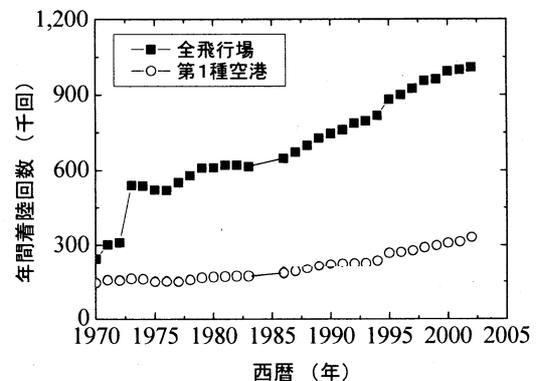


図-2 着陸回数の推移

しかしながら、現状の新設や補修工事では大粒径アスファルト混合物の適用部分が基層以深になっており、大粒径アスファルト混合物の長所を十分に活用しているとはいえない。すなわち直接に荷重を受ける表層部分の適用については研究的な段階にとどまっており⁴⁾、耐流動性や層間剥離抵抗性の良さが最大限に発揮されない。これは施工性や仕上がりの平坦性については適用性が確認されている⁴⁾ものの、ひびわれ抵抗性や耐摩耗性などの耐久性が懸念されるため、それらの性能を確保する適切なアスファルト量や種類が十分に吟味されてこなかったことが課題の根底にあると考えられる。言い換えれば、表層として要求される性能に関するデータが十分ではなく、またそれらの特性を考慮した配合検討がなされていないのが大きな原因と考えられる。

そこで本研究では基礎的な性能評価試験を実施して、アスファルト量と対応する空隙率が、大粒径アスファルト混合物の曲げ抵抗性、耐摩耗性や暴露耐久性などにどのような影響を及ぼすかについてデータの取得を図った。そして従来のアスファルト混合物の特性との比較を行って、特に留意すべき性能について検討を行った。

2. 骨材配合の検討と供試体作製

(1) 骨材配合の検討

最初に性能評価試験の対象とする大粒径アスファルト混合物の骨材の粒度分布について検討を行った。現在、空港アスファルト舗装では、空港土木工事共通仕様書⁵⁾の規定に基づき、表層材料には最大骨材粒径が 13mm と 20mm の連続粒度の混合物（以下それぞれ、密粒 13、密粒 20）が標準的に用いられている。密粒 20 の粒度範囲は道路舗装で規定⁶⁾されている連続粒度のアスファルト混合物の粒度範囲と同じであり、密粒 13 についても同様のことが言える。これらの粒度範囲は比較的経験的な要素に基づくものではあるが、その有効性は豊富な実績に基づいている。

大粒径アスファルト混合物の骨材粒度分布に極端に不連続な粒度分布や大きな粒径の骨材を採用すると従来の骨材粒度分布との相違が顕著になり、耐流動性が向上してもそれ以外に表層に要求される性能、例えば耐摩耗性やひびわれ抵抗性などの低下が懸念された。そこで本研究では対象とする大粒径アスファルト混合物の骨材粒度として、従来のアスファルト混合物の骨材粒度をなるべく重視することとした。具体的には、連続的な粒度分布でかつ最大骨材粒径を 30mm とした。また用いる骨材の物理特性はすべて空港土木工事共通仕様書の規格を満足するものとした。

上に述べた骨材粒度と最大骨材粒径の両者を実際に満たすものとして、図-3 に示すアメリカ材料試験協会規格

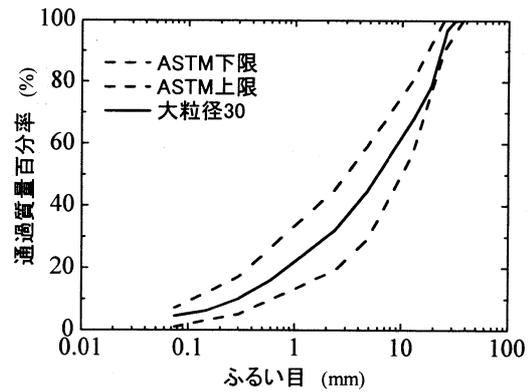


図-3 ASTM で規定されている粒度範囲

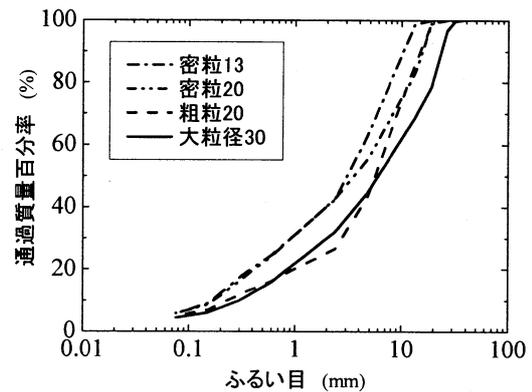


図-4 各アスファルト混合物の粒度分布

(American Society for Testing and Materials : 以下, ASTM) に規定されている粒度範囲⁷⁾に着目した。この粒度範囲は道路舗装の重荷重交通量で実績があり、先に述べたように現在用いられている連続粒度のアスファルト混合物で空港舗装と道路舗装の粒度範囲に相違がないことも考慮して、この粒度範囲をそのまま用いることとした。

(2) 供試体の作製

最大骨材粒径が 30mm で連続粒度の ASTM の粒度範囲（図-3 参照）を満たし、かつ施工性や仕上がりの平坦性が良好なものとして、図-3 および図-4 に示す骨材粒度分布のアスファルト混合物（以下、大粒径 30）を作製した。また経済性を重視し瀝青材料にはストレートアスファルト 60/80 を使用した。また比較対象として、密粒 13、密粒 20、そして最大骨材粒径が 20mm の粗粒度アスファルト混合物（以下、粗粒 20）の供試体も同時に作製した。図-4 にはこれらの混合物の粒度分布もあわせて示してある。ここで密粒 13、密粒 20、粗粒 20 の粒度分布は空港土木工事共通仕様書に規定されている粒度範囲の中央粒度を目標として配合されたものである。また、4 種類の混合物の性能がなるべく最大粒径や粒度分布の影響だけで検討できるように、粗骨材、細骨材やストレートアスファルト 60/80 は同じ品質のものを用い、いずれも空港土木工事共通仕様書に示される品質規格を満足する優良な材

料になるように選定した。

供試体作製の際にローラーコンパクタの締固め管理基準値として、マーシャル安定度試験供試体の空隙率の値を用いた。密粒 13、密粒 20、粗粒 20 の場合には、空港土木工事共通仕様書⁹⁾に基づいて最適アスファルト量を求め、その最適アスファルト量を配合したマーシャル安定度試験供試体の空隙率をそれぞれ締固め管理に用い、供試体を作製した。

一方、大粒径 30 の場合には、アスファルト量の異なる供試体を複数種類作製した。供試体の締固めの管理には、密粒 13、密粒 20、粗粒 20 と同様にマーシャル供試体の空隙率を用いたが、通常の供試体寸法 ($\phi 100 \times h63.5\text{mm}$) に対し、1.5 倍の大きさのマーシャル供試体 ($\phi 150\text{mm} \times$

$h95.3\text{mm}$) を用いた。マーシャル供試体の作製の際には、単位体積あたりの締固めエネルギーが通常の供試体のものと同じになるように、ランマーの落下高さや打撃数を調整した⁸⁾。

各混合物の性状試験用供試体の寸法は、表面の平坦性と密度の均質性になるべく確保できるように、高橋らの研究⁹⁾を参考に厚さに注意し、密粒 13、密粒 20、粗粒 20 の場合は $300 \times 300 \times 50\text{mm}$ 、大粒径 30 の場合は $300 \times 300 \times 100\text{mm}$ とした。

3. 耐流動性と曲げ抵抗性の評価

(1) ホイールトラッキング試験と曲げ試験結果

作製した各アスファルト混合物の供試体に対し、ホイールトラッキング試験を実施した。試験方法は舗装試験方法便覧⁹⁾に基づき、各混合物に対してそれぞれ 3 供試体を実施した。

ホイールトラッキング試験結果から得られた動的安定度 DS と供試体の空隙率の関係を図-5 に示す。このときランマー・マーシャル配合試験供試体のアスファルト量と空隙率の関係により供試体の密度管理を行っているため、同じ空隙率でも混合物の種類が異なればアスファルト量が異なることに留意する必要がある。上記の配合試験方法を用いた場合、同図より同じ空隙率でも密粒 13、密粒 20 より大粒径 30 の DS が大きく耐流動性が向上していることが確認された。また空隙率が大きくなるほど大粒径 30 の耐流動性が高くなった。これは、空隙率が大きいとアスファルト量が少なくなり高温時におけるアスファルトの流動性が低下したことが理由として考えられる。

続いて大粒径 30 の曲げ性状の把握を目的に、作製した供試体をダイヤモンドカッターにより $50 \times 50 \times 300\text{mm}$ に整形し、静的な曲げ試験⁹⁾を実施した。試験機の恒温槽を試験温度に保ち、供試体を載荷装置に、締固め面を上面としてセットして、載荷速度 $50\text{mm}/\text{min}$ で中央部に集中載荷した。最大荷重を示して供試体が破断するまで載荷を行い、荷重と変形量を記録した。試験は温度 $-10, 0, 5, 10, 15, 20^\circ\text{C}$ の 6 温度の条件で試験を実施した。

図-6 (a) に大粒径 30 の曲げ破断強さと試験温度の関係を、図-6 (b) に曲げ破断ひずみと試験温度の関係を示す。曲げ破断強さと曲げ破断ひずみはそれぞれ 3 供試体の試験結果の平均値である。大粒径 30 が表・基層として適用される場合、基層としての役割も生じ、輪荷重が作用する場合にアスファルト混合物層下面での引張抵抗も重要である。そこで両図には粗粒 20 の試験結果も合わせて示した。ここで粗粒 20 は空港舗装の基層材料として使用されるものであり、従来使用されている材料の場合にアスファルト混合物層の下面の引張抵抗性がどれくらいかを示すためにあわせてプロットした。

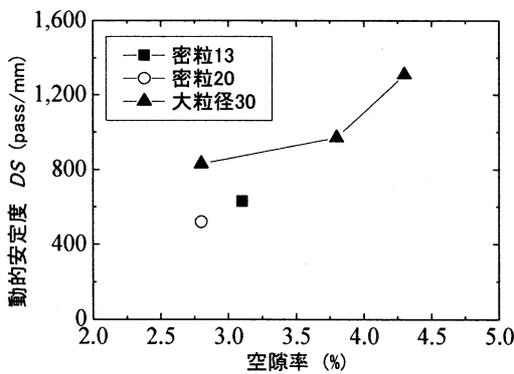


図-5 動的安定度と空隙率の関係

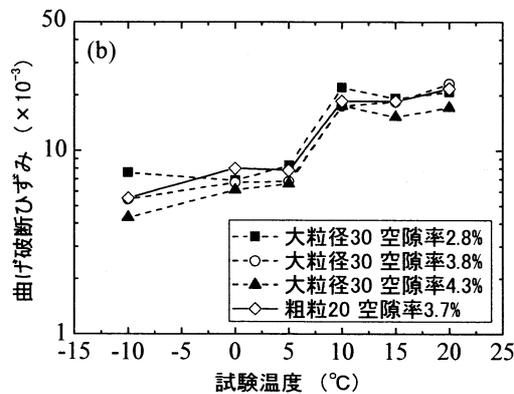
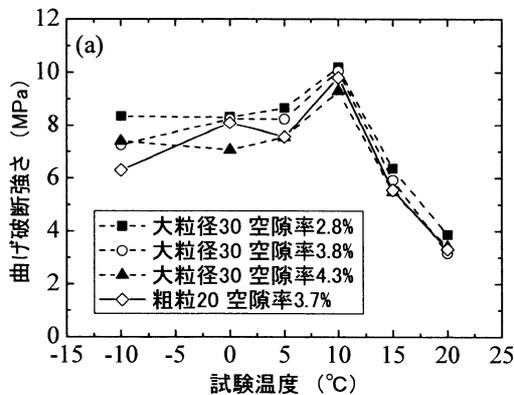


図-6 大粒径 30 の曲げ試験結果

図-6(a), (b)では、同じストレートアスファルトを用いているためどの混合物も脆化点（脆性領域と流動領域の変曲点）が約10℃付近に存在している。そしてこの脆化点より高温側の流動領域では、各混合物の曲げ破断強さにあまり違いが見られない。一方、脆化点より低温側の脆性領域ではデータにばらつきがあるものの、空隙率が大きくなるにつれて大粒径30の曲げ破断強さは小さくなっている。特に空隙率4.3%の大粒径30は粗粒20と比較して曲げ破断強さが同程度かあるいは下回る傾向にある。曲げ破断ひずみも同様に空隙率が大きくなるにつれ小さくなり、空隙率4.3%の大粒径30の曲げ破断ひずみは粗粒20のものよりかなり小さいことが確認された。

(2) 耐流動性と曲げ抵抗性に対する考察

空隙率が異なる大粒径30の耐流動性と曲げ抵抗性を、それぞれホイールトラッキング試験と静的曲げ試験を実施して調べた。その結果、空隙率の増加とともに耐流動性は向上する一方で、曲げ抵抗性は低下することが分かった。ただし、従来の表層材料の密粒13、密粒20と同じ程度の空隙率の場合でもより優れた耐流動性が確保できる。また空隙率が基層材料の粗粒20のものよりある程度大きくなると、曲げ抵抗性が粗粒20と比較して劣ることが分かった。

4. 耐摩耗性・暴露耐久性の評価

(1) ラベリング試験結果

耐摩耗性の評価として、作製した大粒径30の供試体にグルーピングを施工し、ラベリング試験を実施してグルーピング形状の変化を調べた。図-7に施工したグルーピングの形状を示す。またラベリングの試験条件を表-1に示す。ラベリング試験にはサイドチェーンを用い、約1時間実施した。また、試験開始後0, 2, 5, 10, 30, 60分にはその都度、供試体を試験装置から取り出し、溝の容積を砂置換法により測定することとした。容積の測定にあたっては、グルーピング側面および底部を着色し摩耗後は残留した着色部分に砂を充填することで残留した容積を確認することとした(図-8 参照)。ラベリング試験は各混合物に対し、それぞれ3供試体を実施した。

図-9に大粒径30の残留容積率と試験時間の関係を示す。密粒13と密粒20の試験結果も比較のために合わせて示してある。どの供試体も試験時間の増加とともに容積残留率が小さくなっているが、特に大粒径30の供試体に他の供試体と比較して、磨耗の著しい進行が認められる。空隙率4.3%の大粒径30の磨耗の進行が一番早い。空隙率が小さくても耐摩耗性の顕著な向上は認められない。従来のアスファルト混合物と同程度のグルーピング安定性を確保するためには、改質アスファルトの使

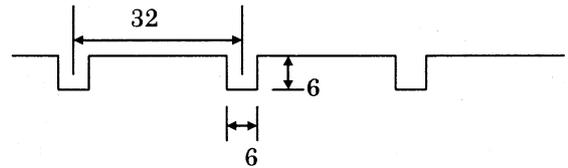
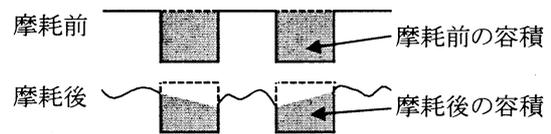


図-7 作製したグルーピングの形状 (単位:mm)

表-1 ラベリングの試験条件

項目	条件
試験温度	0±1℃
養生時間	4時間以上
チェーン材質	JIS G4501 S32C
チェーンおよび車輪数	10こま×12本×1車輪
車輪回転数	200回/min
供試体回転数	66往復/min
表面形状の測定間隔	0, 2, 5, 10, 30, 60分



$$\text{容積残留率(\%)} = \frac{\text{摩耗後の容積}}{\text{摩耗前の容積}} \times 100$$

図-8 容積の測定方法

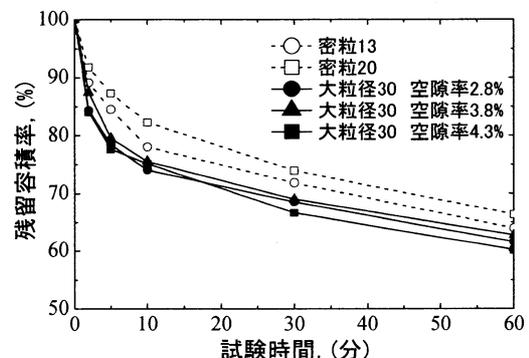


図-9 ラベリング試験結果

用等の工夫により、初期の摩耗抵抗性の改善が必要と考えられる。

(2) 暴露試験結果

作製した各混合物の供試体を用いて交通荷重のない状態で約1年間の屋外暴露を行った。写真-1に屋外暴露の状況を示す。暴露養生後、暴露面から10mmの部分を取り出してアスファルトの回収を行い、針入度試験⁹⁾と軟化点試験⁹⁾を行った。

輪荷重に対するアスファルト混合物層下面の曲げ抵抗性が粗粒20と同程度に期待できる空隙率2.8%と3.8%に

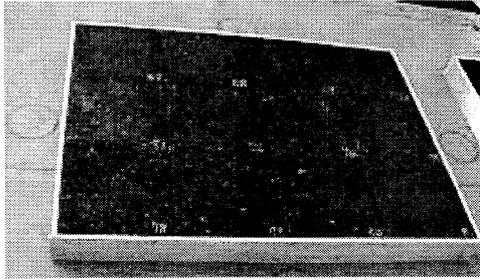


写真-1 屋外暴露の状況

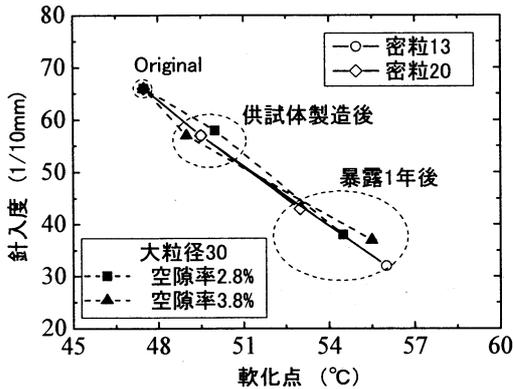


図-10 劣化による大粒径30の軟化点と針入度の関係

ついて作製した大粒径30の軟化点と針入度の関係を図-10に示す。同図には、供試体を作製する前の工場出荷時のアスファルトと供試体作製直後の混合物から回収したアスファルトから得られた軟化点と針入度の関係も示し

た。同図から大粒径30の軟化点、針入度とともに供試体の作製の時点で熱劣化の影響で低下し、さらに1年間の屋外暴露により低下していることが分かる。しかし、熱劣化および暴露養生による低下傾向に空隙率の影響は有意には認められない。比較のために密粒13、20の供試体にも暴露試験を行い、同様にアスファルトを回収して針入度試験と軟化点試験を行って、得られた針入度と軟化点の関係を図-10に合わせてプロットした。密粒20の低下程度が小さいが、大粒径30は密粒13とほぼ同様に熱劣化と暴露養生により針入度と軟化点の低下が生じている。1年以上の暴露養生による長期的な劣化が大粒径30にどのように生じていくかは今後の課題であるが、骨材を皮膜するアスファルトの厚さを骨材の粒度分布とアスファルト量の関係から排水性舗装技術指針(案)¹⁰に基づいて簡易的に調べると、大粒径30のほうが密粒13、密粒20に比較して厚かった。アスファルトの皮膜が厚ければ、紫外線や空気がアスファルトの内部に届きにくく、劣化しにくい部分が生じるのではないかと推測される。

続いてアスファルトの劣化により生じる供試体表面の曲げ抵抗性の低下を調べる目的で、1年間暴露養生した大粒径30の供試体をダイヤモンドカッターにより50×50×300mmに整形し、静的な曲げ試験を実施した。試験温度は-10, 0, 10°Cとした。曲げ試験方法は3。(1)ホイールトラック試験と曲げ試験結果で述べた方法と同じであるが、暴露面に引張力が生じるように暴露面を下面

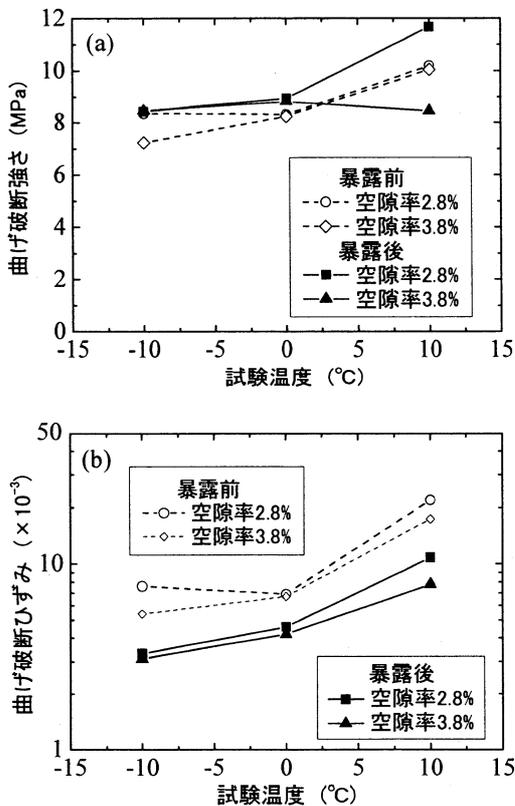


図-11 暴露後の大粒径30の曲げ試験結果

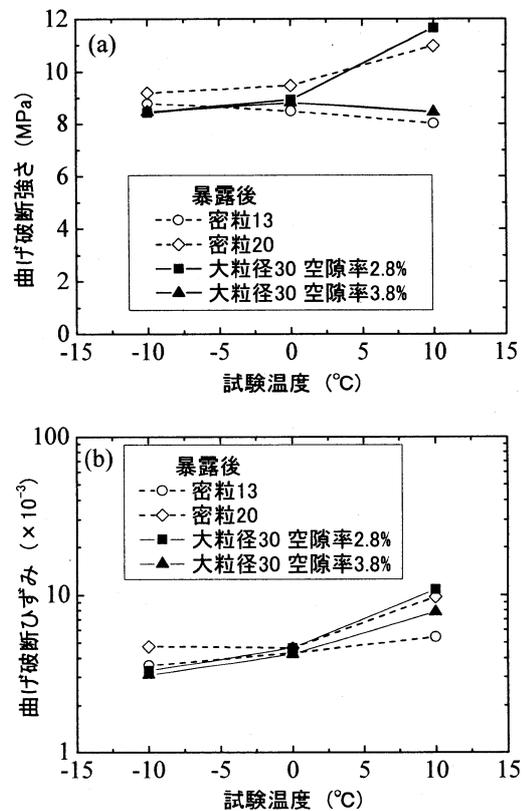


図-12 各混合物の暴露後の曲げ試験結果

にして供試体をセットした。

図-11(a)に得られた大粒径30の曲げ破断強さと試験温度の関係を、図-11(b)に曲げ破断ひずみと試験温度の関係を示す。厳密には供試体の載荷面が異なるが参考として、暴露前の曲げ試験結果(図-6参照)もあわせて示す。図-11(b)より試験温度-10~10℃において暴露養生によるアスファルトの劣化の影響で曲げ破断ひずみが小さくなっていることがわかる。

図-12(a)(b)は暴露養生後の密粒13と密粒20の曲げ破断強さ及び曲げ破断ひずみと比較したものである。大粒径30の曲げ破断強さおよび曲げ破断ひずみは密粒13や密粒20のものと顕著な違いは見られず、約1年間の暴露養生後の暴露面の曲げ抵抗性は、密粒13や密粒20とあまり変わらない傾向が得られた。

(3) 耐摩耗性と暴露耐久性に対する考察

ラベリング試験によるグルーピングの安定性および屋外暴露試験による劣化性状について検討を行った。その結果、空隙率に関わらずグルーピング磨耗の早期の進行が密粒13や密粒20に比較して認められた。また暴露後のアスファルトの劣化性状には空隙率の顕著な影響は見られず、暴露面の曲げ抵抗性の低下は密粒13や密粒20と同程度であった。

5. まとめ

空隙率が粒径30の耐流動性や曲げ抵抗性、耐摩耗性、暴露耐久性に及ぼす影響について検討を行った。さらには密粒13、密粒20や粗粒20との比較を行って、従来のアスファルト混合物との性能の違いについても考察を行った。得られた知見をまとめると以下ようになる。

- ・ 従来用いられている密粒13や密粒20と同程度の空隙率でも粒径30のDSは大きく耐流動性の向上が望める。一方、空隙率が粗粒20の空隙率より大きくなると、輪荷重に対する曲げ変形抵抗性が密粒13や密粒20のものより損なわれる恐れがある。
- ・ 空隙率に関わらずグルーピング磨耗の早期の進行が密粒13や密粒20に比較して認められた。1年間の暴

露によるアスファルトの劣化程度やそれにともなう暴露面の引張強度の低下程度に空隙率の影響は認められなかった。また、暴露面の曲げ抵抗性の低下は密粒13や密粒20と同程度であった。

- ・ 以上の結果により、誘導路などグルーピングの施工を伴わない箇所では、輪荷重に対する曲げ抵抗性に留意し、空隙率を従来の表層・基層材料の範囲3~4%程度にすることが望ましいと思われる。また滑走路などグルーピングの施工を伴う箇所では、改質アスファルト等の使用によりグルーピングの安定性を向上させる必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局：数字で見る航空，(財)航空振興財団，1972-2004。
- 2) 安倍隆二，岳本秀人，衛藤謙介：新千歳空港舗装体の劣化原因調査および対策工法の検討，土木学会舗装工学論文集，第8巻，pp.261-272，2003。
- 3) 久保 宏，八谷好高，長田雅人，平尾利文，浜 昌志：最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について，土木学会舗装工学論文集，第9巻，pp.35-40，2004。
- 4) 高橋 修，八谷好高，阿部 寛：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，第4回舗装工学論文集，pp.187-1997，1999。
- 5) 国土交通省航空局：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，2004。
- 6) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，pp.92，2001。
- 7) ASTM：D3515，Standard Specification for Hot-Mixed，Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures，1989。
- 8) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧別冊，pp.20-29，1996。
- 9) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，1069p.，2000。
- 10) (社)日本道路協会，排水性舗装技術指針(案)，pp.30-31，2003。

EXPERIMENTAL STUDY ON THE LARGE-STONE ASPHALT MIXTURE DURABILITY FOR AIRPORT ASPHALT SURFACE-BASE LAYER

Kimitoshi HAYANO

A series of laboratory tests were conducted on the large stone asphalt mixture. The tests were also carried out on the conventional type asphalt mixture. Based on the test results, this paper focuses the effects of air void ratio of the large asphalt mixture on the bending strength/deformation, the raveling and the asphalt deterioration characteristics. Then the characteristics are compared with those of conventional type asphalt mixture to be applicable for airport asphalt surface-base layer.