

Superpave 法に基づく空港用アスファルト混合物の新しい配合設計法のための一検討

前川亮太¹・高橋 修²・松本良美³

¹正会員 独立行政法人港湾空港技術研究所（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1）

E-mail : maekawa-r28a@pari.go.jp

²正会員 長岡技術科学大学（〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1）

³株式会社レインボー・コンサルタント（〒146-0095 東京都大田区多摩川 2-11-20）

空港アスファルト舗装の破損形態は滑走路や誘導路等の施設用途によって異なることから、想定される破損形態に応じて、適材適所の考え方でアスファルト混合物の配合設計を実施することが有効である。本研究では、より耐久性の高い配合設計手法の構築を目的として、米国等の道路舗装で運用されている Superpave 配合設計法を我が国の空港の実状に沿うように改良し、適当な骨材粒度および設計アスファルト量の設定を試みた。これによって設定した3種類の配合について、塑性変形抵抗性と疲労破壊抵抗性を従来の配合設計法によるアスファルトコンクリートと比較した。その結果、いずれの供試体種類もマーシャル法で配合設計をしたものと同等、もしくはそれ以上の塑性変形抵抗性と疲労破壊抵抗性を有していた。

Key Words : Superpave mixing design , gyratory compactor, wheel-tracking test, fatigue bending test

1. はじめに

近年、大都市圏の空港を中心として、24時間運用、またはそれに準ずる長時間運用が行われており、大型航空機が昼夜を問わず航行する機会が増加している。このことを背景として、空港舗装については、夜間短時間での確実な維持管理の実施や、補修工事を低頻度化するための耐久性の向上が望まれている。

我が国の滑走路および誘導路では、補修の容易性や経済性等を考慮して、一般的にアスファルト舗装が用いられている。滑走路および誘導路を細分化すると、滑走路中央部、滑走路縁帯体、平行誘導路、高速脱出誘導路、取付誘導路などに分類され、用途がそれぞれで異なっている。そのため、航空機荷重の载荷形態や頻度も違っており、異なった損傷形態を呈することが多い¹⁾²⁾。

アスファルト舗装の耐久性を高めるための一つの方法として、アスファルト混合物の配合設計を適正に行うことが挙げられる。我が国の空港アスファルト舗装の配合設計は、マーシャル安定度試験に基づく方法（マーシャル法）によって行われている³⁾。マーシャル法は、十分な経験に基づく簡便な配合設計手法ということを利点として、長年に渡って運用されてきた。しかし一方で、その手法は舗装区分に依らない画一的なもので、対象とする損傷形態の実状に応じた配合設計への自由度が乏しい。

そこで本研究では、空港舗装内の施設用途に応じて、適材適所の考え方で配合設計法の選択肢を設けることを最終目的として、新たな配合設計手法の構築について試みた。具体的には、米国、カナダの道路舗装で運用されている Superpave 配合設計法（Superpave 法）を規範にして、いくつかの設計パラメータの条件を我が国の実際の空港舗装に沿うように設定し、Superpave 法の手順に準拠してアスファルト混合物を設計した。そして、設計した配合のアスファルトコンクリート（アスコン）供試体に対して、航空機接地圧を再現したホイールトラッキング試験（空港 WT 試験）と繰返し曲げ試験を実施し、塑性変形抵抗性と疲労破壊抵抗性を現行のマーシャル法による配合のアスコンと比較した。

本研究の目的は、我が国の空港舗装の実状に基づいた Superpave 法を構築するための具体的な設計条件を策定するとともに、Superpave 法によるアスコンと現行設計法によるアスコンの基本的物性の差異について実データを得ることである。

2. Superpave 配合設計法の概要

Superpave 法は米国 SHRP（Strategic Highway Research Program）の検討成果の一つとして開発され、1995年に公表された。その後、Superpave 法は米国、カナダを主体と

して、欧州やアジア諸国でも道路舗装において採用されている。Superpave 法の最大の特徴は、設計プロセスで作製する供試体の締固めに Superpave Gyratory Compactor (SGC) を用いることであり、後述する回転数で供試体の締固めを行って設計パラメータの値を求める。設計パラメータとしては、空隙率、骨材間隙率 (VMA)、飽和度 (VFA) が採用されており、これらの規定値に基づいて骨材粒度および設計アスファルト量を設定する。

SGC の締固め回転数は N_{ini} , N_{des} , N_{max} の三つのレベルが設定されており、それぞれの実荷重との対応づけは下記のとおりとされている⁴⁾。

N_{ini} (初期回転数) : 施工直後の混合物の締固め状態

N_{des} (設計回転数) : 設計交通量を通過直後の混合物の締固め状態

N_{max} (終局回転数) : 供用後の混合物の終局状態

空港舗装では、道路と交通条件が著しく異なることから、Superpave 法を空港アスファルト舗装に導入するためには、航空機荷重に対応するそれぞれの回転数を設定する必要がある。本研究では航空機荷重が作用する場合の N_{des} に着目し、我が国の航空機荷重の実状に対応した回転数を検討した。そして、その回転数で混合物を締め固めた場合の空隙率の値に基づいて設計アスファルト量を選定した。通常の Superpave 法では、空隙率が 4.0% となるアスファルト量を設計値としているが、本研究では 3 とおりの空隙率に対してアスファルト量を決定し、そのアスコン物性を比較している。

3. 検討内容

本研究では、空港アスファルト舗装に対する新たな配合設計方法の構築のための第一歩として、Superpave 法を規範にしつつ、我が国の実際の空港における航空機交通量に見合った SGC 回転数 N_{des} の設定を先ず検討した。 N_{des} が規定されないと、供試体を作製して設計パラメータを求め、暫定的に設定した骨材粒度やアスファルト量の評価ができないことになる。

その後、既存のマーシャル法や Superpave 法の基準を参考にしていくつかの骨材粒度を選定し、その粒度毎に上記の N_{des} と設定した空隙率の基準値に則ってアスファルト量を決定した。そして、設計したアスファルト混合物について空港 WT 試験と繰返し曲げ試験を実施して、塑性変形抵抗性と疲労破壊抵抗性を評価した。またこれらと同時進行で、従来のマーシャル法で配合設計を行った供試体についても同様の評価試験を実施し、新たに設計した配合の結果と比較した。ここでの検討内容のフローを図-1 に示す。

本研究では、SGC として写真-1 に示す米国 Pine 社製のものを使用した。本機種は米国だけではなく、我が国に

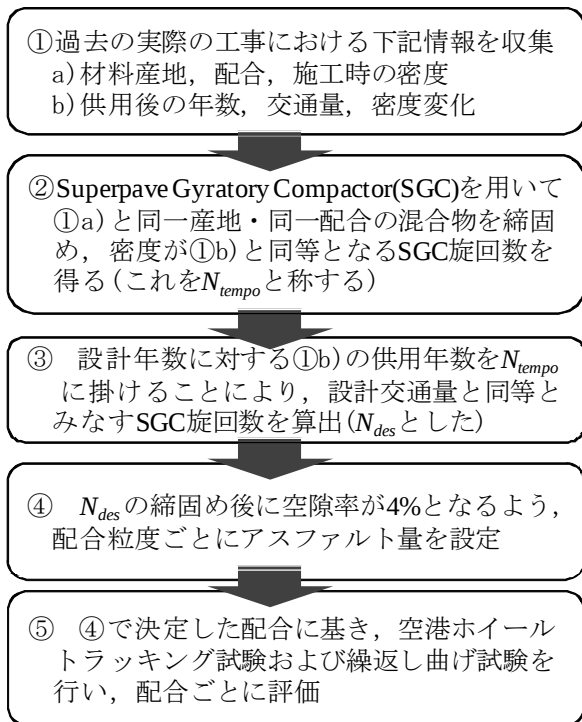


図-1 本研究の検討フロー



写真-1 本研究で使用した SGC の外観

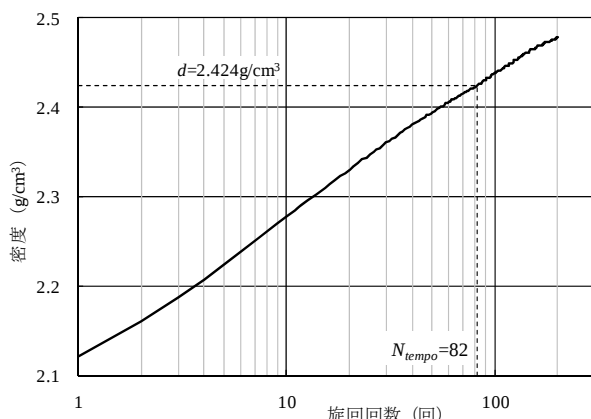
においても比較的多く導入されている。

4. 設計回転数 N_{des} の設定

空港舗装に対応した設計回転数 N_{des} を設定するため、図-1 中の①に示したとおり、我が国の空港における実際の舗装工事、およびその供用後の必要な情報を収集した。平成 14 年度に東京国際空港で実施されたアスファル

表-1 H14 工事における表層混合物の配合

材料	5号	6号	7号	SC	粗砂	細砂	石粉	As量
配合割合(%)	22.0	21.0	14.0	8.0	22.0	8.0	5.0	5.2

図-2 SGC 締固め試験による N_{tempo} の設定

ト舗装工事（以下 H14 工事と記す）について、アスファルト混合物の使用原材料、配合、施工時の密度のデータを調査した。H14 工事における表層混合物は最大骨材粒径が 20 mm の密粒度タイプで、その配合を表-1 に示す。

本検討に先立ち、表-1 に示した骨材と同等のものを入手するため、H14 工事の際に調達した同一の骨材生産者から各種骨材を入手した。そして、改めてふるい分け試験と比重吸水試験を実施し、H14 工事で使用した骨材と品質がほぼ同じであることを確認した。また、同じ品質のストレートアスファルト (60-80) を用意し、表-1 に示した配合でアスコン供試体を作製してみたところ、密度は H14 工事が 2.388 g/cm^3 に対して今回の作製が 2.433 g/cm^3 、空隙率は H14 工事が 3.1% に対して今回の作製が 2.8% と比較的近い値が得られた。以後の検討では、これらの原材料を H14 工事と同等と見なして使用した。

H14 工事の施工区域のうち、平行誘導路における輪荷重載荷位置の箇所において、供用開始後の航空機交通量とアスコン層の切取りコア密度 (1 本) に関するデータが記録されていた。H14 工事の設計年数は 10 年であるが、当該区域の供用後 4 年 8 ヶ月経過時点における切取りコアの表層部の密度は 2.424 g/cm^3 であった。 N_{des} を設定するためには、設計年数（ここでは 10 年）経過後の実際の密度が把握できていることが望ましいが、今回得られているのは 4 年 8 ヶ月経過後のデータである。そのため、図-1 中の②および③に示したように、次の手順で N_{des} を設定した。

- (1) 写真-1 に示した SGC を用いて、表-1 に示した配合と同等のアスファルト混合物について締固めを行い、密度が 2.424 g/cm^3 となる SGC の回転数を求める（本研究ではこの回転数を N_{tempo} と記す）。
- (2) 回転数 N_{tempo} の締固め条件を供用後 4 年 8 ヶ月間の航空機荷重による締固め作用と見なし、 N_{tempo} に 56 ヶ月

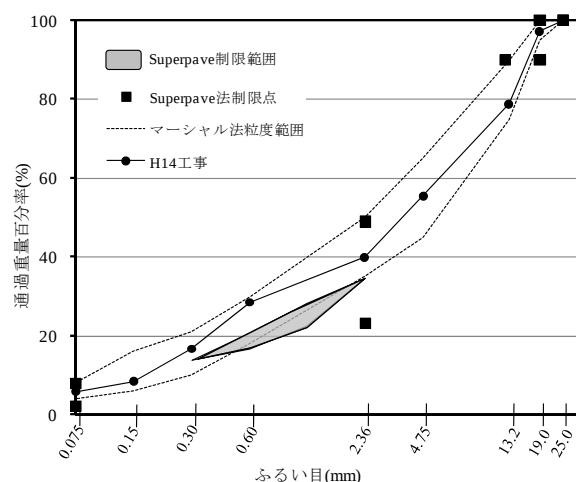


図-3 Superpave 法とマーシャル法における粒度範囲の関係

(4 年 8 ヶ月) の 120 ヶ月 (10 年) に対する割合である 2.14 を乗じて、この回転数を N_{des} として設定する。

上記の(1)、(2)の手続きによって求めた N_{tempo} の設定結果を図-2 に示す。SGC の締固め曲線の平均値で密度が 2.424 g/cm^3 となる回転数 N_{tempo} は 82 回であった。そして、この値に 2.14 を乗じ、 N_{des} は 170 回となった。なお、供用後 56 ヶ月以降、120 ヶ月までの間の不確定要素を考慮する観点から、 N_{des} は 1 回単位で設定するのではなく、10 回単位の切り捨てによって設定した。

5. Superpave 法に基づく配合設計

前章の検討で空港舗装に対する N_{des} が策定できたので、Superpave 法の手順に従ってアスファルト混合物の配合設計を行った。現行のマーシャル法と Superpave 法の基準を考慮して 3 とおり骨材粒度を設定し、それぞれの粒度に対して空隙率が 3.5%、4.0%、4.5% となる条件でアスファルト量を選定した。

現行のマーシャル法と Superpave 法それぞれについて、許容される粒度範囲を図-3 に示す。設計法によって許容粒度範囲は異なるが、今回の検討においてはマーシャル法の範囲外、かつ Superpave 法の範囲内の粒度を中心に試験供試体の骨材粒度を設定した。なお、制限範囲 (Restricted Zone) とは、Superpave の以前の規定において、過渡の自然砂を避け、十分な VMA を確保して、高い塑性変形抵抗性を得るために、粒度曲線が通過しないことを推奨していた領域である。現在では、このガイドラインはほとんど形骸化されているが、参考までに図示した。

(1) 骨材粒度の設定

H14 工事で使用したものと同等の骨材ソースを使用し、3 種類の骨材配合を設定した。それぞれの合成粒度は図-4 に示すとおりで、それぞれ blend 1、blend 2、blend 3 とした。このうち下方粒度である blend 2 と上方粒度である

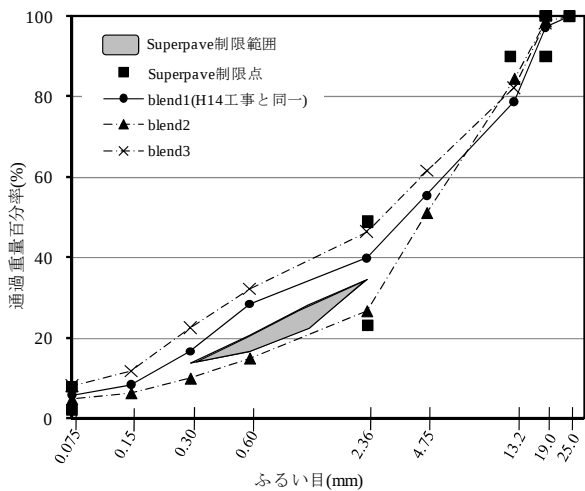


図-4 試験に用いた3種類の粒度

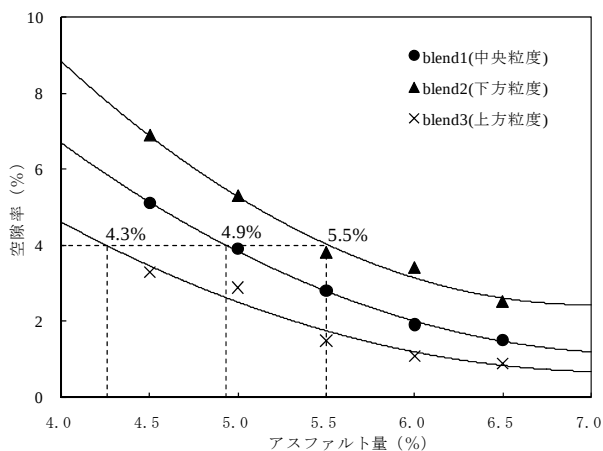


図-5 アスファルト量と空隙率の関係

blend 3 は、Superpave 法で規定されている粒度範囲を満足し、かつ従来のマーシャル法で規定されている粒度範囲を外れるように設定した。blend 1 は H14 工事と同じ配合、すなわち表-1 に示した骨材配合であった。

(2) 設計アスファルト量の選定

前述の3粒度それぞれについて、設計アスファルト量を選定するために、アスファルト量を4.0%から0.5%刻みで6.0%まで変化させ、5種類のアスファルト混合物を練り混ぜた。そして、SGCによって設計旋回数 N_{des} で締固めてアスコン供試体を作製した。それぞれの供試体について空隙率を求め、VMA および VFA を算出した。各骨材粒度に対するアスファルト量と空隙率の関係を図-5 に、さらに VMA と VFA に関する情報を加えたものを表-2 に示す。

標準の Superpave 法では、設計アスファルト量を空隙率が4.0%となる条件としており、このときの VMA や VFA に基準値を設けている。ここでは、空隙率として4.0%に加え、3.5%と4.5%の場合についても設計パラメータを求

表-2 アスファルト量と空隙率、VFA および VMA の関係

配合	アスファルト量 (%)	空隙率 (%)	骨材間隙率 VMA (%)	飽和度 VFA (%)
blend1	5.4	3.0	15.6	81.0
	5.1	3.5	15.4	77.5
	4.9	4.0	15.4	74.3
blend2	6.1	3.0	17.0	82.0
	5.8	3.5	16.6	78.8
	5.5	4.0	16.4	75.6
blend3	4.7	3.0	14.0	78.9
	4.5	3.5	14.3	75.0
	4.3	4.0	14.9	71.1

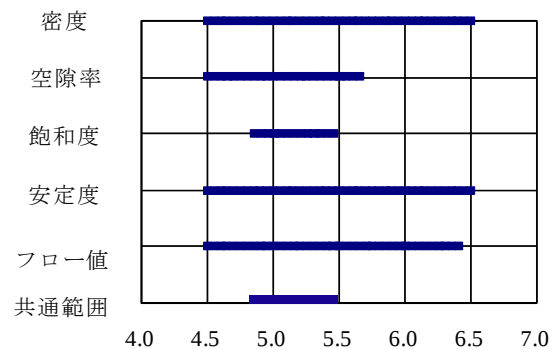


図-6 マーシャル法によるアスファルト量設定

めた。

Superpave 法における VMA の基準値は13%以上、VFA の基準値は65%から75%の範囲内である。空隙率4.0%を前提とすれば blend 2 は VFA の基準値を満たさないが、今回は試行であるため blend 1 から blend 3 のいずれも表-2 に示す空隙率4.0%の配合を以後の評価試験に採択することとし、設定アスファルト量を blend 1 で4.9%、blend 2 で5.5%、blend 3 で4.3%とした。

(3) 既往のマーシャル法による供試体

評価試験において前述の3種類の供試体を比較するため、評価の基準とする既往のマーシャル法で配合設計を行った供試体も作製した。具体的には、blend 1 (H14 工事と同一) の骨材粒度について既往のマーシャル法によってアスファルト量を決定した。締固め方法や基準値が異なるため、マーシャル法による設計アスファルト量は blend 1 とは異なることが予想された。図-6 の結果から設計アスファルト量は5.2%となり、表-1 で示した H14 工事のアスファルト量と同一となった。なお、この時の密度は2.433 g/m³、空隙率は2.8%、VFA は81.3%であった。

6. 配合設計法によるアスコン物性の比較

(1) 空港 WT 試験

前章において Superpave 法に基づいて設計した3種の配合と既往のマーシャル法で設計した1種の配合の、合計4種類のアスファルト混合物について、航空機荷重の接地



写真-2 空港 WT 試験機の外観

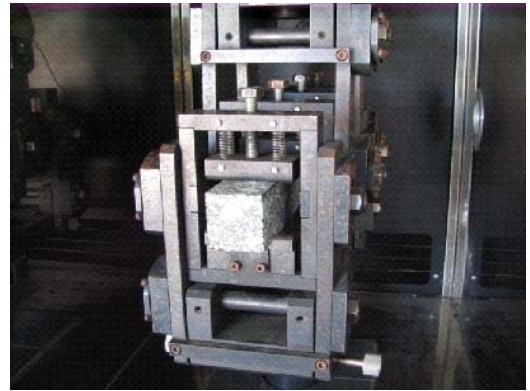


写真-3 繰返し曲げ試験の状況

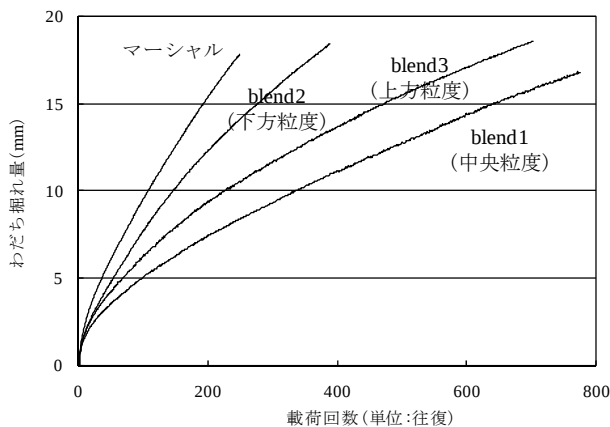


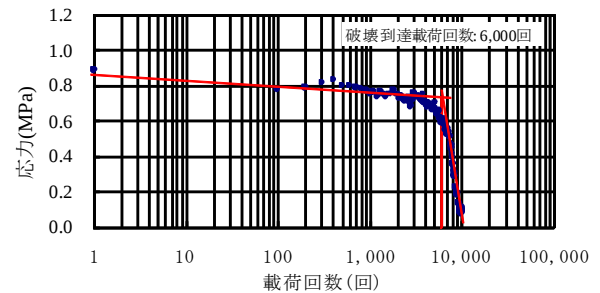
図-7 空港 WT 試験の結果

圧 1.4 MPa を再現した空港 WT 試験を行った。これらの供試体の特性値を比較することにより、設計法の違いによる塑性変形抵抗性の影響を確認した。本試験で使用した空港 WT 試験の載荷装置を写真-2 に示す。

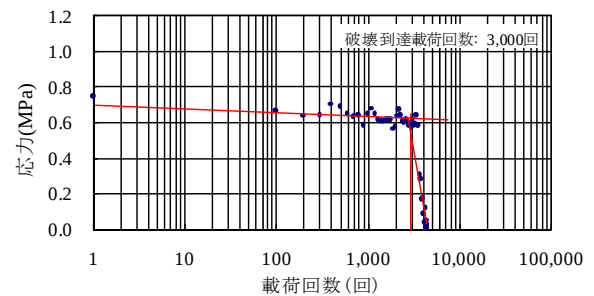
供試体の寸法及び作製方法は通常のホイールトラッキング試験⁵⁾と同一であり、試験条件あたりの供試体数を3体、試験温度を 60℃ として、わだち掘れ深さが試験機の許容限界である 15 mm に至るまで実験を継続した。載荷速度は試験機の最大速度である 20c m/s とした。試験結果として、載荷回数に対するわだち掘れ深さの推移を図-6 に示す。わだち掘れ深さの進行が小さい順に中央粒度の blend 1, 上方粒度の blend 3, 下方粒度の blend 2, そしてマーシャル法の配合となっている。Superpave 法で配合設計した混合物は、いずれもマーシャル法で設計したものよりも高い塑性変形抵抗性を示した。

(2) 繰返し曲げ試験

空港 WT 試験と同様に、4 種類のアスファルト混合物について繰返し曲げ試験を実施し、疲労破壊抵抗性を評価した。供試体の寸法及び作製方法は便覧⁵⁾のとおりとし、試験条件あたりの供試体数は3体とした。試験は2点支持2点載荷のひずみ制御方式とし、試験温度は 20℃、載荷周波数は 10 Hz とし、制御する設定ひずみは 400 μ とし



a) blend 3 の場合



b) マーシャルの場合

図-8 繰返し曲げ試験による応力の推移

表-4 繰返し曲げ試験の結果

配合	アスファルト量 (%)	破壊到達載荷回数		
		最小	最大	平均
blend1 (中央粒度)	4.9%	1,700	3,700	2,700
blend2 (下限粒度)	5.5%	1,650	2,900	2,280
blend3 (上限粒度)	4.3%	6,000	8,500	7,250
マーシャル法	5.2%	1,800	3,000	2,400

た。試験状況を写真-3 に示す。

試験結果の例を図-8 に示し、全体をまとめたものを表-4 に示す。破壊到達載荷回数は上方粒度の blend 3 がかなり大きく、他の3種類の配合はほぼ同程度となった。骨材粒度に注目すると、細粒度のほうが粗粒度よりも破壊到達載荷回数は多い傾向にあり、常識的な結果と一致し

ている。また、blend 1 とマーシャル配合の違いは設計アスファルト量のみであることから、0.3%ほどのアスファルト量の違いは破壊到達載荷回数にあまり影響を及ぼさないことが認められる。

7. まとめ

本研究では、空港用アスファルト混合物の配合設計法に新たな選択肢を設け、より実際に即した耐久性の高い空港アスファルト舗装を構築することを目的として、Superpave 法に基づく配合設計手法の構築を検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 空港における実際の工事記録と供用後のデータから、Superpave 法において設定すべき設計旋回数 N_{des} を具体的に 170 回と設定した。
- (2) 上記(1)に基づいて配合設計を行った 3 種類のアスコンについて、航空機接地圧を再現したホイールトラッキング試験を行い、既往のマーシャル法によるアスファルト混合物と結果を比較したところ、Superpave 法で配合設計したものはいずれもマーシャル法によるものよりも高い塑性変形抵抗性を有していた。
- (3) 上記(2)と同様に 4 種類のアスコンに対して繰返し曲げ試験を行った結果、破壊に至る載荷回数は上方粒度の blend 3 の配合が最も大きく、他の 3 種類の配合は同程度であった。

以上のとおり、本研究においては、Superpave 法を参考としつつ空港舗装独自の N_{des} を設定することなどにより、我が国の空港舗装を対象とした一連の配合設計法を具体化することができた。そして、試行として設計した 3 種類の配合によるアスコンが、いずれも室内載荷実験において既往のマーシャル法による供試体と同等、もしくはそれ以上の塑性変形抵抗性と疲労破壊抵抗性を有する結果が得られた。

N_{des} については、道路舗装では重交通路線で 100 から

125 であるが⁹⁾、一般的概念として空港舗装ではそれよりも大きくなると考えられることから、設計アスファルト量を定める基準空隙率に道路舗装のものをそのまま流用した場合、必ずアスファルト量は少なめに設定されてしまう。そのため、長期の耐久性、供用性についてより詳細な検討が必要である。また、実用化を考えるならば、有効な骨材粒度を選定するための具体的なガイドラインが必要となる。

今後は、より広範囲の骨材粒度とアスファルト量について評価試験を行い、ここで示した配合設計法の適用性を検証するとともに、実用化に向けた設計パラメータの選定とその規定値について検討する予定である。また、今回設定した N_{des} はいわば当該空港の誘導路に関するひとつの指標であるが、実用化のためには、空港規模や施設用途ごとの標準的な N_{des} の設定を示す必要がある。このようなガイドラインが示されれば、コア採取データのない空港においても当該配合設計手法を活用することができる。さらに、本研究では扱わなかった N_{ini} や N_{max} の規定値についても検討する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局：空港舗装設計要領及び設計例，pp.1-7，2008。
- 2) 八谷好高，早野公敏，竹内 康，今西健治，坪川将丈：空港アスファルト舗装の表面性状の実態，土木学会舗装工学論文集第 11 巻，pp.148-154，2006。
- 3) (財)港湾空港建設技術サービスセンター：空港土木工事共通仕様書第 2 編空港編，pp.2-33，2008。
- 4) Asphalt Institute：Superpave Mix Design, Superpave Series No.2 (SP-2)，pp.45-88，2001。
- 5) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，第 3 分冊，pp.3-166，2007
- 6) AASHTO: Superpave Volumetric design for Hot-Mix Asphalt (HMA), R35, 2004。

A STUDY ON A NEW ASPHALT MIXTURE DESIGN FOR AIRFIELD PAVEMENTS BASED ON SUPERPAVE DESIGN METHOD

Ryota MAEKAWA, Osamu TAKAHASHI and Yoshimi MATSUMOTO

The implementation of the Superpave mix design method has been applied for road pavements in US and some developed countries. This study investigated a new mix design method based on the Superpave mixture design guide to improve durability of airfield asphalt pavements. The design gyration number of compaction N_{des} was determined in accordance with densification of the airfield pavement. Three mixtures were designed following the new design protocol, and the four-point bending tests and the wheel-tracking tests were conducted for mixture evaluation. The results indicated that the performance of the mixtures designed by the new method is superior to that of the conventional Marshall design method.