

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560550

研究課題名(和文)大都市国際空港を対象としたアスファルト舗装のライフエクステンション技術の開発

研究課題名(英文)Development of a life extension method for asphalt pavements in urban international airports

研究代表者

高橋 修 (TAKAHASHI, OSAMU)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：60236263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、大型航空機の運行回数が多い大都市国際空港におけるアスファルト舗装の破損形態を調査し、その長寿命化方策を検討することが目的である。東京国際空港のアスファルト舗装を調査したところ、エプロン付近の誘導路にけるわだち掘れ損傷が顕著であることがわかった。そして、わだち掘れが発生し難いアスコンを設計するため、骨材の骨格構造に留意した分級骨材の配合割合を決める具体的要領について検討した。その結果、耐久性の高いアスファルト混合物を配合設計するための体積特性値、および主要な骨材パラメータとその推奨値を提案した。

研究成果の概要(英文)：This study investigated a main failure form in asphalt pavements of domestic international airports and discussed a method for life extension. The field investigation on Tokyo International Airport showed that rutting damage in the taxiway near apron area was serious. To design a durable asphalt concrete, procedures for a rigid aggregate structure in asphalt mixtures were studied using classified stone particles.

A guideline of design parameters and their recommended values for deciding the appropriate balance of air voids and asphalt film was suggested from the discussion.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：アスファルト混合物 配合設計 空港アスファルト舗装 塑性流動抵抗性 Superpave Bailey骨材パラメータ

1. 研究開始当初の背景

わが国は、成長戦略の強化策の一つとして、東京国際空港（羽田空港）がアジアのハブ空港となるべくその地位を高めようと、第4の滑走路を増設するとともに、国際線ターミナルも設置して航空需要の活性化を図っている。その結果、航空機の発着回数、すなわち航空機荷重の交通量が増加して、空港舗装の損傷を加速している。特に、空港アスファルト舗装は損傷が顕著で、その長寿命化（ライフエクステンション）が求められている。

空港アスファルト舗装のライフエクステンションには、アスファルト混合物の耐久性が重要であり、わが国の気象条件や天然資材の制約に基づいた配合設計法の検討が必要とされている。しかしながら、わが国の舗装技術は、先進諸外国のなかでもかなり遅れており、半世紀以上も前に開発された設計法をいまだに因習的に運用している。

2. 研究の目的

以上の背景に基づいて、本研究ではわが国の大都市国際空港の実状に基づいた体積設計法を策定し、具体的なガイドラインを整備することによって、大都市国際空港におけるアスファルト舗装のライフエクステンションを実現することを目的としている。

3年間の研究期間において、具体的に以下の課題について検討した。

- a) 航空機の空港基本施設（滑走路と誘導路）の違いに対するアスファルト舗装の損傷形態を比較し、実態を調査する。
- b) 航空機のタイヤ荷重に即したアスファルトコンクリート（アスコン）供試体の締固め仕様を見直し、策定する。
- c) 耐久性を重視した骨材構造の選定法（分級骨材の組合せ割合を決める方法）を開発する。
- d) 耐久性を重視したアスファルト量決定法の体積特性値（設計パラメータ）とその基準値を設定する。
- e) 以上で検討した設計手順、設計要領の妥当性を確認し、ガイドラインの素案を作成する。

3. 研究の方法

a)の課題については、既に個々の空港で蓄積されている舗装損傷データを収集し、データを各空港の滑走路と誘導路ごとに取りまとめた。そして、アスファルト舗装の主要な損傷形態であるひび割れ、わだち掘れ、平坦性とその程度を調査した。また、これらの結果を羽田空港と関西国際空港と比較して、統合的に考察した。

b)の課題では、実際の空港舗装からアスコンの切り取りサンプルを採取し、航空機荷重の載荷回数と表層アスコンの締固め固まり程度との関係を調べて、配合設計におけるアスコン供試体の具体的な締固め仕様を決定した。本研究では、締固めにニーディングコンパクタ

を使用するため、締固め仕様としては、設計ニーディング回数 N_{des} を求めることになる。

この課題については、実際の空港で使用されている骨材、アスファルトと同等の素材を入手し、室内締固め試験を実施して、アスファルト混合物の締固め固まり特性を供用開始時、およびいくつかの供用期間中におけるアスコン密度とリンクさせて、必要な締固めエネルギーを定量化した。そして、この締固めエネルギーに基づいて、配合設計プロセスにおけるアスコン供試体の締固め仕様を具体化した。

本研究において、最も重要な検討項目はc)の課題であり、検討すべき事項が多岐にわたっていた。主に室内実験によってデータを蓄積し、それらを分析することで検討を行った。

耐久性の高いアスコン層を構築するには、素材である主骨材が相互に接触しながらも、それらによる空隙を別の小さな粒径の骨材が充填するような骨材構造（粒子集合体）が重要である。すなわち、中間サイズ、小サイズの骨材が主骨材相互の接触を阻害しないように、かつ空隙を密に充填するように、骨材サイズのバランスを考慮して各骨材粒子の比率を決めることが求められる。そのため、まず主骨材を限定し、その主骨材が作り出す空隙の大きさを空間体積で定量化し、それを効果的に充填する骨材サイズとの関係を調査した。そして、この検討を順次小さいサイズの骨材に繰り返していった。つまり、骨材粒子の組合せは無数に存在するので、アスファルト混合物としての集合体とした場合に、空港舗装の基準を満足できる条件について、骨材パラメータをパラメトリックに変化させた室内実験で模索する方法である。

本検討では、上記b)の課題において入手した運用実績のある骨材を使用し、骨材サイズと空隙サイズ、およびそれを充填する骨材サイズの相互関係を骨材の締固め実験（ドライロッド法）によって求めた。そして、骨材粒度を特性化する7つのBailey骨材パラメータを参考に、これらのパラメータが配合設計時の体積特性値である空隙率、骨材間隙比VMA（骨材とそれ以外の空気、アスファルトとの体積比）、飽和度VFA（骨材間隙に占めるアスファルトの体積比）に与える影響を定量的に調査した。つまり、Baileyの骨材パラメータにわが国の空港舗装に対する推奨範囲を設定することによって、骨材の組合せをコントロールすることを考えた。

課題d)では、国際空港で必要とされるアスコンの耐久性とこれらの体積特性値の関係を、わが国の各空港の交通条件、気象条件、材料条件に基づいて調査し、体積特性値に対する管理基準値を策定した。検討方法は、課題b)およびc)で収集した空港舗装データと現場材料を活用し、わだち掘れとひび割れが生じ難い条件としての空隙率、VMA、VFAを、空港舗装基準とも照らし合わせて室内試験によって見つけ出した。室内試験では、課題

c)で選定した骨材配合に対して、空港舗装の実データに基づいてアスファルト量をパラメトリックに変化させ、さまざまなパターンの空隙率、VMA、VFAを有するアスコン供試体を作製して、わだち掘れとひび割れの抵抗性能について評価した。

課題(e)では、以上の成果を取りまとめて、国内外の論文集、技術雑誌等に投稿するとともに、設計要領および設計手順についての技術提案の形式で整備することを検討した。本研究では、検討対象のケーススタディとして羽田空港を選定していることから、羽田空港の関係技術者、研究者へのヒヤリングを実施した。これらを受けて、実際の空港管理者からの意見や要望を取り入れ、現行の設計法も考慮して、実務ガイドに対する今後の課題について提案した。

4. 研究成果

(1) 空港アスファルト舗装の損傷状況

羽田空港はわが国を代表する空港で、規模、カバレッジ（航空機荷重の通過回数）ともわが国で最も大きく、他の国内空港の規範となっている。a)の課題に対する研究成果として、羽田空港におけるアスファルト舗装の損傷状況を示す。

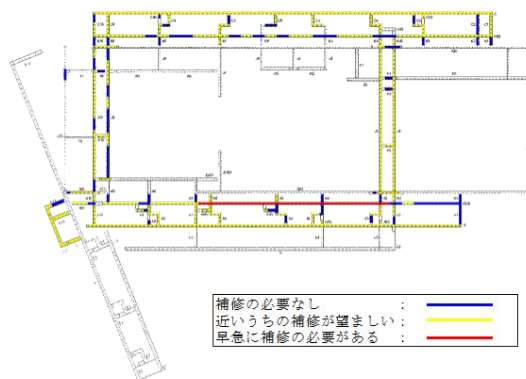


図-1 1999年のわだち掘れ評価結果

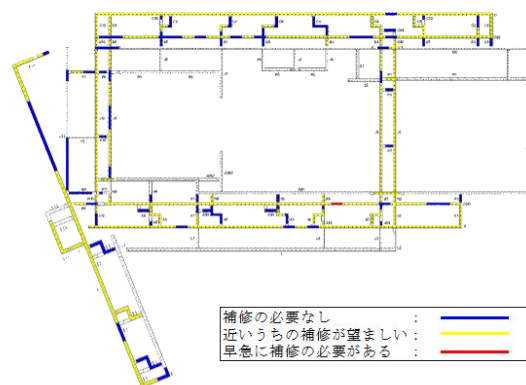


図-2 2004年のわだち掘れ評価結果

わが国の空港は、滑走路と誘導路は主にアスファルト舗装であり、アスファルト舗装の主な損傷形態はひび割れ、わだち掘れ、および平坦性である。1999年と2004年に実施し

た路面性状データが入手できたので、これらの損傷形態について取りまとめた。ひび割れと平坦性については、ほぼ良好な状態で、問題となる箇所は確認されなかった。わだち掘れの程度について図-1に1999年の、図-2に2004年の評価結果をそれぞれ示す。

評価は、わだち掘れ深さが大きく、状態が悪いほど、補修に対する緊急性の度合いが高い表現となっている。これらの評価結果より、滑走路と平行誘導路は特に問題ないが、ターミナルビルの前、エプロン付近の誘導路では「早急に補修の必要がある」という評価であった。実際にこの部分は、1999年の調査の後に補修を実施したにもかかわらず、その5年後の2004年の評価でも再度同じ悪い評価となっていた。

以上のことから、羽田空港におけるアスファルト舗装の主要損傷はわだち掘れであり、航空機が低速で数多く通行するエプロン付近の誘導路で深刻であることがわかった。

(2) 供試体の締固め仕様の策定

羽田空港のエプロン付近誘導路からアスコンの切取りサンプルを採取し、航空機荷重による締固めエネルギーの増加とそれに伴うアスコン密度の変化を対応させて、配合設計の際に用いる供試体締固めエネルギーを推定した。

供用開始から4年8ヶ月(4.67年)、および6年8ヶ月(6.67年)を経過した時点において、航空機荷重が作用するほぼ同じ位置からサンプルを採取した。サンプルそれぞれのかさ密度の平均値は、4.67年経過が 2.424g/cm^3 、6.67年経過が 2.408g/cm^3 であった。また、供用開始前の管理データとして同種の値が残されており、このとき、すなわち供用開始0.0年のかさ密度は 2.366g/cm^3 であった。

次に、実舗装で使用した骨材およびアスファルトと同じ品質のものを同一の生産者から入手し、実舗装と全く同じ配合で専用コンパクタによって締固め試験を行った。2つの供用期間のデータから求めた N_{des} は125.7回と77.5回であり、これらを平均して大きめの数値に丸めて105回を本研究での提案値とした。

(3) 配合設計パラメータとその推奨値

空港アスファルト舗装の表層用混合物は連続粒度の骨材配合であり、舗設厚と施工機械、およびわだち掘れ抵抗性の関係で、骨材の最大粒径(nominal maximum particle size: NMPS)は20mmが用いられている。空港舗装に使用する骨材は、JIS規定のふるいによって分級して供給され、NMPSが20mmのアスファルト混合物の場合は、5号、6号、7号の粗骨材、粗砂と細砂の細骨材、およびフィラーが使用される。さらに交通量が多い場合は、細骨材としてスクリーニングも加えられる。すなわち、合計7種類の分級骨材を組み合わせ合わせて全体的な骨材粒度を構成すること

になる。

本研究では、上記7種類の骨材の配合割合を Bailey 法による骨材パラメータで評価、特性化し、どのパラメータをどのくらいの値に設定すれば、耐久性の高い骨材構造を選定できるのか検討した。

CALUW を選定する配合試験

Bailey 法では、骨材全体における粗骨材の割合を示す CALUW、粗骨材中における粗い部分の割合を示す CA、細骨材中における粗い部分の割合を示す FAc、細骨材中における細かい部分の割合を示す FAF の骨材パラメータによって粒子の詰まり方を特性化する。さらに細粒度タイプの場合は、New CA、New FAc、New FAF のパラメータも用いる。

まず検討の第一段階として、適切な CALUW を選定するための配合試験を行った。7種類の骨材の配合割合を調整し、CALUW が70~100%の範囲でほぼ10%刻みで変化するように、合計10とおりの骨材粒度を選定した。表-1に骨材配合の Bailey パラメータの値を示す。一つの CALUW に対して、他のパラメータが米国の推奨範囲内でいくつか変化するように、複数の粒度を設定した。ただし、CALUW が大きくなると全ての Bailey パラメータを推奨範囲内に納めることが難しく、選択肢が少なくなってくる。最大骨材粒径が20mmの場合、FAF と NewFAc は同一の値となる。「HND」は羽田空港で使用されている現行の配合である。また、No.8~No.10は、空港での使用実績がない新潟県産の骨材を使用したもので、素材の違いを考慮するために使用した。

表-1 骨材粒度の Bailey パラメータ

ID	CA LUW	CA	FAc	FAf	New CA	New FAc	New Faf
HND	71	0.48	0.60	0.50	0.44	0.50	0.34
No.1	70	0.60	0.50	0.40	0.61	0.39	0.35
No.2	70	0.70	0.42	0.43	0.69	0.43	0.39
No.3	80	0.70	0.46	0.42	0.71	0.42	0.39
No.4	80	0.60	0.43	0.41	0.60	0.41	0.37
No.5	90	0.69	0.41	0.43	0.60	0.43	0.41
No.6	90	0.70	0.44	0.44	0.60	0.44	0.43
No.7	100	0.66	0.41	0.45	0.40	0.45	0.47
No.8	70	0.70	0.44	0.45	0.60	0.45	0.42
No.9	80	0.70	0.44	0.45	0.60	0.45	0.42
No.10	90	0.70	0.44	0.45	0.60	0.45	0.43

表-2 配合設計後の体積パラメータ

ID	As量 (%)	VMA (%)	VFA (%)	米基準
HND	5.2	12.8	81.5	×
No.1	4.8	13.3	68.8	
No.2	5.5	14.3	73.1	
No.3	4.7	12.9	68.3	×
No.4	4.8	13.0	68.5	
No.5	5.3	14.2	72.1	
No.6	5.1	14.1	70.1	
No.7	5.4	14.6	76.1	×
No.8	5.5	14.4	72.2	
No.9	5.3	13.8	71.0	
No.10	5.1	13.6	70.6	

これらの骨材配合に対して、実際に配合設計を行って設計アスファルト量を決定し、そ

の場合におけるアスコンの体積パラメータを表-2に示す。HNDの配合はVMAおよびVFAの両方の米国基準を満足していない。この他にも、No.3とNo.7の配合は、米国基準を満足することができなかった。

アスコンのわだち掘れに対する抵抗性を評価するため、航空機荷重を想定したタイヤ接地圧力を再現できる空港用ホイールトラック(WT)試験を実施した。この試験装置では、わだち掘れ深さが20mmに達したときの載荷回数で抵抗性を相対的に評価する。表-1に示した羽田空港の骨材を使用したHNDおよびNo.1~No.7の配合に対して、20mmに達した載荷回数をCALUWに関連づけて図-3に示す。CALUWが70および90の配合において、現行配合のHNDよりもわだち掘れ抵抗性が優れている配合がある。その逆に、CALUWが70および90の配合でも、HNDよりもわだち掘れ抵抗性が劣るものも認められる。また、CALUWが大きいほど高いVMAを得られやすいが、VMAが大きいからといってわだち掘れ抵抗性が優れているとは限らないこともわかった。

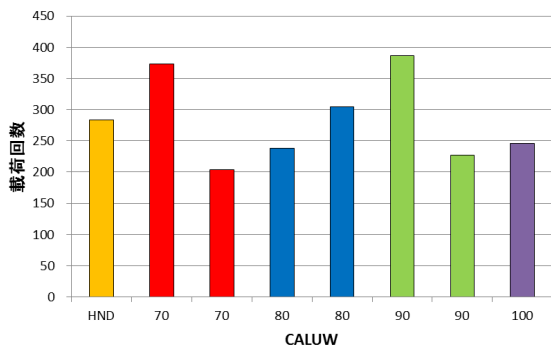


図-3 空港 WT 試験の結果

VMA と各骨材パラメータの関係

次にわだち掘れ抵抗性と関係が深いVMAの値に注目し、表-1に示したNo.1~No.10の配合におけるVMAと各Baileyパラメータの関係について検討した。FAc、FAf(New FAc)、New FAFについてはVMAとの傾向が認められたが、これ以外のCALUW、CA、New CAとVMAには関連性が見出せなかった。図-4、図-5、図-6にFAc、FAf(New FAc)、New FAFとVMAの関係をそれぞれ示す。VMAの米国基準は13~15%であり、図中の「推奨範囲」とそれぞれのBaileyパラメータの米国推奨範囲である。

VMAの値に対して、FAcは右下がり、FAf(New FAc)とNew FAFは右上がりの相関関係で、推奨範囲のほぼ中央値をターゲットにすれば、おおむねVMAの基準を満足できることが確認される。ただし、現在のBaileyパラメータの米国推奨値は範囲が広く、すべてのパラメータが推奨範囲に入っている、VMAの基準を満足するとは限らない。さらに、7つのBaileyパラメータは相互に関連して独立に設定することができないことから、

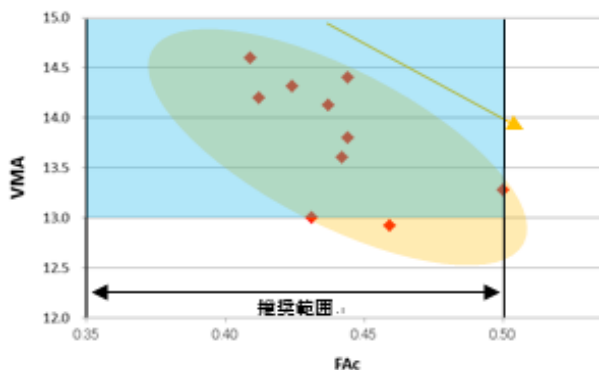


図-4 FAc と VMA の関係

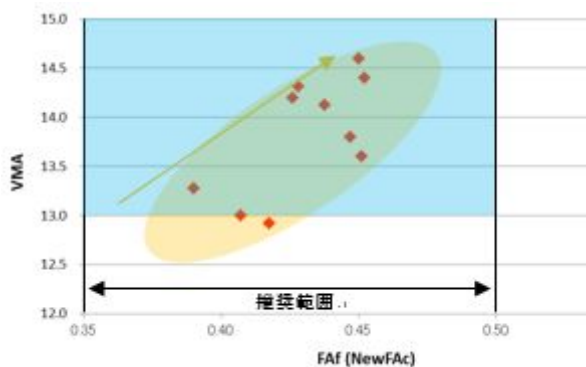


図-5 FAF (New FAc) と VMA の関係

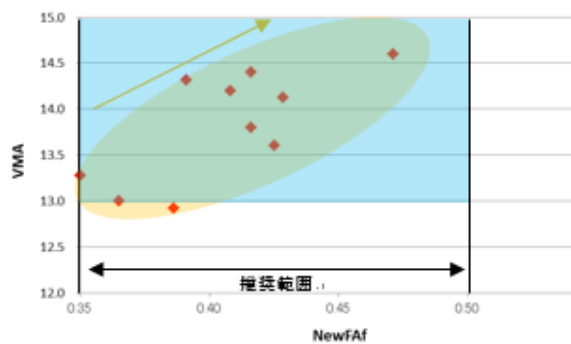


図-6 New FAF と VMA の関係

すべてのパラメータを同時に推奨範囲の中央値に設定することは不可能である。以上のことから、関連性が認められる FAc, FAF, New FAF をキーとなるパラメータと考え、これらは推奨範囲の中央値をターゲットとし、それ以外のパラメータは推奨範囲に入っていることの確認でよいと考えられる。また、CALUW は VMA に大きく関与しており、大きな値、すなわち粗骨材の量を多くしたほうが VMA を確保しやすいが、その反面、他の Bailey パラメータの自由度が狭くなってしまう。配合の設計しやすさを考えると、CALUW は 70% くらいが妥当と考察される。

(4) 設計 Bailey パラメータとその基準

次の検討として、CALUW の値を 70% で固

定し、それ以外の Bailey パラメータを推奨範囲内でパラメトリックに変化させた骨材粒度を新たに設計して、Bailey パラメータと VMA の関係をさらに調べた。新たに加えた骨材粒度は 8 とおりであり、これに表-1 に示した 2 つを加え、合計 10 とおりの骨材粒度を設定した。そして、同じ手続きで設計アスファルト量を決定し、そのときの VMA, VFA を求めた。

図-7~9 に FAc, FAF, New FAF と VMA の関係をそれぞれ示す。図中には 2 次曲線でフィッティングした場合の近似曲線と決定係数 R^2 も記載している。相関の高い Bailey パラメータは FAc であり、先の図-4 に示した傾向と同じ状況が確認される。その他の FAF, New FAF については、VMA との関係を確認することができない。

以上の結果を総合的に考察すると、骨材設

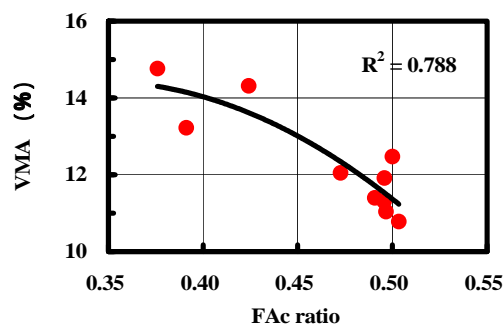


図-7 FAc と VMA の関係 (検討 2)

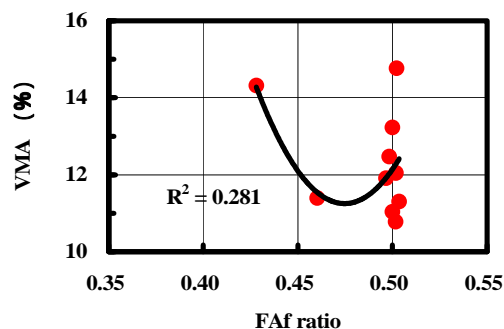


図-8 FAF と VMA の関係 (検討 2)

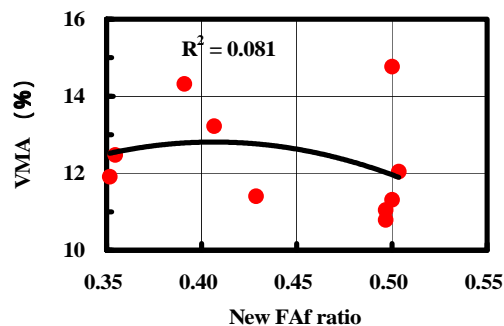


図-9 New FAF と VMA の関係 (検討 2)

計における Bailey パラメータの推奨基準は以下のようにまとめられる。設計プロセスで第一に決めなければならないのが CA LUW であり、この値は 70% が推奨される。そして、FAc が 0.4 程度となるように、他のパラメータが米国の推奨範囲に入るようにしながら骨材粒度を選定する。この段階でアスファルト量を決定してこれをベースラインの暫定配合とする。その後 VMA, VFA の値を確認して、暫定配合の調整を行う。図-7 の結果を参考に、VMA の値が大きいようであれば FAc が大きくなるように、VMA が小さいようであれば FAc が小さくなるように骨材粒度を修正する。この場合、VMA の値としては 1.3 ~ 1.4 が適正であり、CA LUW が 70% を大きく変動しないように注意する。

(5) 研究成果のまとめ

以上に記した研究成果、および紙面の都合で具体的に掲載できなかった研究成果をまとめると以下のとおりである。

- a) わが国を代表する空港である羽田空港では、エプロン入口付近の誘導路におけるわだち掘れが主な損傷形態である。このことは、関西国際空港でも同様な傾向が認められた。
- b) わだち掘れ抵抗性の向上には、骨材粒度設計の改善も有効であり、これまでわが国で因習的に使用されてきた連続粒度を見直すことも有効な手法と位置づけられる。
- c) 一般的概念として、わだち掘れ抵抗性の向上には、ギャップ粒度の配合が推奨されているが、表層に適用することを考えた場合、アスファルト量が多くなることから骨材の安定性が低下して、逆にわだち掘れ抵抗性が低下してしまう。そのため、CA LUW は 70% 前後が妥当である。
- d) 現在の体積設計法では、空隙率が 4% という条件下で VMA の下限側のみを規定している。しかし、VMA が大きすぎると骨材粒度のバランスが悪くなり、わだち掘れ抵抗性もひび割れ抵抗性も悪化してしまう。VMA の値としては 1.3 ~ 1.4 が適正である。
- e) 7 つの Bailey 骨材パラメータのうち、FAc がアスコンの VMA と最も高い相関性が認められた。したがって、VMA の基準を満足させるためには FAc の調整が有効である。ただし、その前段に CA LUW を選定しなければならないので、CA LUW の推奨値も含めて考える必要がある。
- f) Bailey 法では粒度評価のパラメータが 7 つあり、実務や汎用性を考えると、主要パラメータを限定して、効率的かつ系統的に骨材選定ができるような改善が必要である。
- g) 今後の課題として、VMA とわだち掘れ抵抗性を関連付ける、より実際的なデータが必要であり、この結果に基づいて VMA の適正值を設定する必要がある。また、素材としての各種骨材やアスファルトが変化

した場合の影響についても、今後検討が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

Goh Teck Shang, Osamu Takahashi and Ryota Maekawa : EFFECT OF THE BAILEY RATIOS IN SUPEPAVE GRADATION DESIGN FOR TOKYO INTERNATIONAL AIRPORT PAVEMENT, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 査読あり, vol.8, no.2, 2013, pp.98-106

Goh Teck Shang, Osamu Takahashi and Ryota Maekawa : RECOMMENDED COMBINATION OF THE BAILEY PARAMETERS IN SUPERPAVE GRADATION DESIGN FOR JAPANESE AIRFIELD PAVEMENTS, International Journal of Pavement Research and Technology, 査読あり, Volume 6/Number 6, 2013, pp.704-713

Ryota Maekawa and Kenji Himeno : Fatigue Failure of Asphalt Mixtures Affected by Binder Materials and Thermal Aging, 7th Japan-China Workshop on Pavement Technologies, 査読あり, Volume 7, 2013, pp.88-94

Shuhei Tada, Ryota Maekawa and Kenji Himeno : Investigation on Driver's Viewpoints in Driving Simulator, 7th Japan-China Workshop on Pavement Technologies, 査読あり, Volume 7, 2013, pp.95-102

[学会発表](計1件)

保倉貴文, 高橋 修 : Bailey 骨材パラメータによる Superpave アスファルト混合物の粒度設計に関する研究, 第 31 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2013 年 11 月 19 日, ハイブ長岡

6. 研究組織

(1)研究代表者

高橋 修 (TAKAHASHI OSAMU)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号 : 60236263

(2)研究分担者

前川 亮太 (MAEKAWA RYOTA)
中央大学・理工学部・助教
研究者番号 : 20455497