

再生材の利用促進並びにアスファルト舗装耐久性向上に関する研究報告



※米倉亜州夫¹・PM研究会空港舗装WG²

1：広島大学名誉教授（元広島工業大学教授）（〒730-0049広島市中区南竹屋町5-12-301）

2：多相材料(PM：Polyphase Materials)研究会、会長：米倉亜州夫

空港舗装WG：鹿島道路（株）、東亜道路（株）、NIPPO（株）、日本道路（株）前田道路（株）、西川ゴム工業（株）、昭和瀝青工業（株）

要旨：空港基本施設（滑走路・誘導路）の表層は、耐久性・安全性の問題から、再生材の利用が進んでいない。本研究では、表層への再生材の有効利用の可能性を究明するため、強度増進と長寿命化を図ることの出来る廃ゴム乾留炭化物をアスファルトに添加した密粒アスファルト混合物の物性について、従来技術の新材のみで、廃ゴム炭化物無しの場合と実験的に比較検討した結果について報告する。廃ゴム乾留炭化物を添加したポーラスアスファルト舗装では、既に1～5年を経過した多くの試験施工等から、その添加効果が確認されている¹⁾。

キーワード：空港基本施設、舗装表層、再生材利用、廃ゴム乾留炭化物、アスファルト舗装

1. まえがき

空港基本施設の舗装表層では、数百tもある航空機が離発着等に利用し、特に滑走路は高速で利用され、場合によっては着陸時に衝撃的な荷重が加わることがある。そのため、耐久性、安全性の問題から、品質が保証されて実績もある新規材料で舗装しているのが現状である。しかし、今後は、再生材の表層への再利用の取り組みを積極的に行なっていく必要がある。舗装を改築した場合、廃材の廃棄場所の確保が困難となっている。道路舗装の場合、再生材は、90%以上のリサイクルがなされており、アスファルト舗装の表層への適用も進んでいる。

空港舗装の場合、空港整備の基準となる現行の「空港土木工事共通仕様書」では、再生アスファルト混合物を空港基本施設（滑走路、誘導路）の基層に使用する場合、再生材混合率の上限は40%となっている。また、表層での使用もしくは、基層での再生材の混入率を40%以上とする場合にはその性状を十分に確認して用いることになっている。

本研究では、空港舗装表層への再生材の有効利用の可能性を究明するため、道路ポーラスアスファルト舗装で強度増進と長寿命化が確認されている廃ゴム乾留炭化物を添加し、さらに、再生材を20%および40%用いた密粒アスファルト混合物の物性について、従来の舗装と比較

検討した。その際、PM研究会空港舗装WGの7社が各種実験を分担した。

2. 廃ゴム乾留炭化物

廃ゴム乾留炭化物（RCB：リサイクルカーボンブラック、以降RCBと表記）は、ゴム製品の切れ端などの廃ゴムを、乾留装置を使って空気を絶った状態で強く加熱し、有機物を分解、揮発させることによって残留した

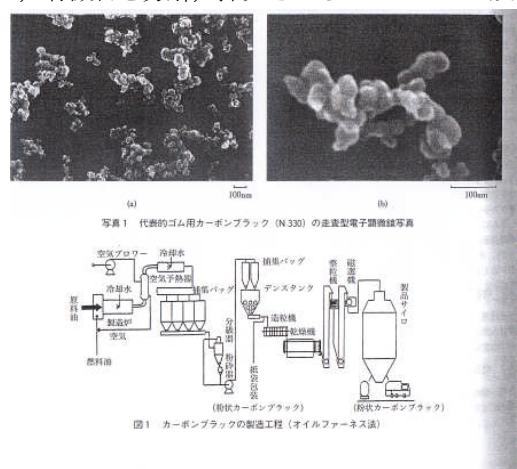


図1 カーボンブラック
不揮発性の超微粒子のカーボンブラックのことである。

図1にカーボンブラックおよびその製造装置を示すが、カーボンブラックは0.1 μm 以下の超微粒子炭素粉末であり、ブドウの房状のダマになっている場合が多い。これをゴムタイヤに混合することにより、わずか1,000km走行の寿命であったものが、一躍60000km以上の寿命にも達するといわれている。

研究で用いた乾留炭化物は車のドア緩衝シール材として用いられた廃ゴムを乾留することによって、カーボンブラックを得たものであり、カーボンブラック以外に約30%の石灰系不純物が含まれており、再度ゴム製品には使用できない。そのため、廃ゴムや廃タイヤは燃料として利用されており、二酸化炭素排出の原因の1つと成っている。アスファルトもゴムと同じように炭化水素であることから、アスファルトと乾留炭化物との親和性が優れており、乾留炭化物をアスファルトに混合すれば、その強度や耐久性を改善できる。また、カーボンブラックは紫外線遮蔽効果が大きく、アスファルトの紫外線劣化も抑制でき、アスファルト舗装の長寿命化が期待できる。

ポーラスアスファルト混合物（排水性混合物）に混入すると動的安定度が向上し、比較的安価なポリマー改質アスファルトII型を使用することができる。これにより、高価なポリマー改質アスファルトH型の代わりに初期製造コストの低減、長寿命化によるライフサイクルコストの低減から経済性の向上が期待できる。

しかし、図1に示すように、カーボンブラックは粒子径0.1 μm 以下の超微粒子であるため、凝集してブドウの房状になっている。そのため、アスファルト中で均一に分散しにくい。十分に分散できていなければカーボンブラックの架橋効果と紫外線遮蔽効果を十分発揮できないことになる。現在、乾留炭化物と石粉をアスファルトに混合する前に事前混合して、分散性を増大するようにしている²⁾。

3. 実験概要

1) 研究内容

- ① 再生材利用アスファルト混合物への廃ゴム乾留炭化物(RCB)の添加による特性を従来の新材を用い、RCBを添加した場合と比較検討。
- ② 各種品質試験結果によるライフサイクルコスト等の検討。

2) 使用材料

本研究は、当初鳥取県米子空港での試験施工を実施することを目的としていたため、米子地区で調達できる再生材、新規骨材およびフィラーとした。

また、国土技術政策総合研究所の文献³⁾では「再生材料の原材料が空港舗装に使用されていたものである場合に限り、再生アスファルトコンクリートを表層へ適用できるものと考えている。」とあるが、米子地区では空港舗装の撤去材の調達が困難であったため、再生骨材も米子地区の工場で作られた材料とした。

一方、RCBは、中国地方でアスファルト混合物に混入して施工実績のある広島市安佐北区の工場で作られた材料とした。これらを表-1に示す。使用材料はいずれも各材料の品質基準を満足するものを使用した。

表-1 使用材料

材 料 名 , 材 質		産 地
新規骨材 粗骨材	5号砕石(硬質粘板岩)	岡山県久米郡久米南町
	6号砕石(硬質粘板岩)	〃
	7号砕石(硬質粘板岩)	〃
新規骨材 細骨材	砕砂(硬質粘板岩)	〃
	粗砂(丘砂)	島根県安来市広瀬町
	細砂(丘砂)	鳥取県東伯郡北栄町
再生骨材	R13~0	鳥取県米子市古豊千古道
フィラー	石粉	岡山県新見市足立
アスファルト	ストレートアスファルト60/80	兵庫県姫路市網干区
	ポリマー改質アスファルトII型	兵庫県姫路市網干区
再生用添加材		三重県四日市市
RCB		広島県広島市安佐北区安佐町大字久地

RCBは、炭素分74%、灰分26%、75 μm 通過分99.1%、密度1.81g/cm³、熱に対する安定性(200 $^{\circ}\text{C}$)は変化なしである。

3) 配合設計

新材のみ使用したアスファルト混合物および再生骨材使用アスファルト混合物にそれぞれRCBを添加して空港基本施設の表層への適用性の検討するため、表層用混合物の配合設計を行う。表-2に表層の仕様を示す。

表-2 空港基本施設アスファルト舗装表層(新材)の仕様(大型機対応)

骨材の粒度	最大粒径	20mm
アスファルト	ストレートアスファルト	60-80
マーシャル試験	突固め回数(回)	75
	マーシャル安定度(kN)	8.80以上
	フロー値(1/100cm)	20~40
	空隙率(%)	2~5
	飽和度(%)	75~85
	残留安定度(%)	75以上

表層用混合物は密粒度アスコン(20)とし、表-2を満足する配合とする。

4) 配合条件

RCB添加量を実績のある2%と0%(無添加)とし、再生骨材混入量は0%(無添加)、40%、その中間の20%とした。また、アスファルトの種別はストレートアス

表-3 配合条件

アスファルト種		ストレートアスファルト60/80	ポリマー改質アスファルトII型			
RCB添加量		0%(無添加)	2%	0%(無添加)	2%	
再生骨材混入率	A	0%(無添加)	A0	A	A0-II	A-II
	B	20%	B0	B	B0-II	B-II
	C	40%	C0	C	C0-II	C-II

アルト60/80とポリマー改質アスファルトⅡ型（耐久性向上を期待）とした。表-3に配合条件の一覧を示す。

5) 骨材配合割合および合成粒度

密粒度アスコン(20)の配合粒度は基本的に中央粒度分率とし、グレーピングの角欠けや潰れを考慮して上限である90%、100%を目標として設定した。

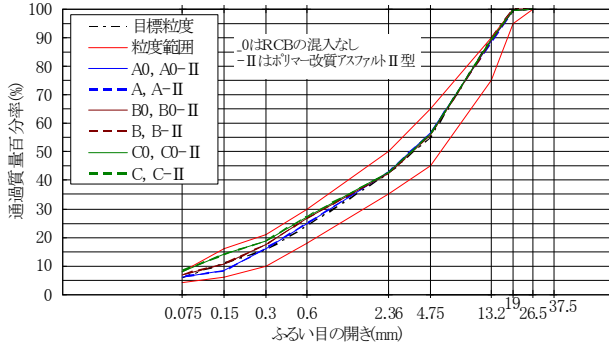


図-2 各配合の合成粒度

6) アスファルト混合物性状試験 (表-4 参照)

各種混合物物性状試験方法および条件を表-4, 5に示す。

表-4 配合条件 (表-3) における混合物性状試験

試験項目	試験方法	試験条件	備考
ホイールラッキング試験	「舗装調査・試験法便覧」 B003 準拠	試験温度 60℃	
カンタブロ試験	「舗装調査・試験法便覧」 B013 準拠	供試体温度 -20℃ 試験温度 -20℃	
曲げ試験	「国土技術政策総合研究所 研究報告 No.7 March 2003」 準拠	試験温度 -10, 20℃ 載荷速度 10mm/min 支間 20cm, 2点支持 1点載荷	供試体 5cm × 5cm × 30cm
圧裂試験	「舗装調査・試験法便覧」 B006 準拠	試験温度 20℃	
アスファルト混合物の曲げ疲労試験	「舗装調査・試験法便覧」 B018T 準拠	5 混合物	表-6 参照
円形供試体を用いた引張試験	「日本アスファルト協会」 JEAT-5 準拠	改質型乳剤 試験練り実施 8 混合物 試験温度 20℃ 載荷速度 10mm/min	改質型乳剤は「タックファインE」する。

7) 再生用添加剤の添加量

再生骨材中に含まれる旧アスファルトの針入度を70

(1/10 mm) まで回復させるため、再生用添加剤の添加量を針入度試験により求めた。針入度試験結果を図-3に示す。

表-5 曲げ疲労試験条件

項目	試験条件
供試体寸法	幅 40mm × 厚さ 40mm × 長さ 400mm
制御方法	変位制御方式
試験温度	10℃
載荷速度	滑走路舗装 10Hz の正弦波
載荷方法	2点支持, 2点載荷
設定ひずみ	400 μ
試験頻度	3 供試体/条件

再生骨材混入量0%および40%ストアスおよび再生材混入量40%の改質Ⅱ型で曲げ疲労試験

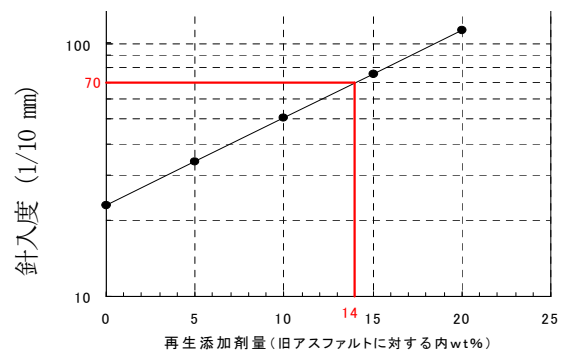


図-3 針入度試験結果 (再添加剤量)

4. 物性試験結果

1) 最適アスファルト量

表-4の各配合についてマーシャル安定度試験より最適アスファルト量を求めた結果を図-4に示す。最適アスファルト量は、RCBを添加することで若干増大し、再生骨材の混入量を増大すると低下する傾向になった。これは、RCBが超微粒子で、これを混入すると、アスファルトのダレが著しく小さくなることと再生材に付着しているアスファルトの量が影響しているものと思われる。

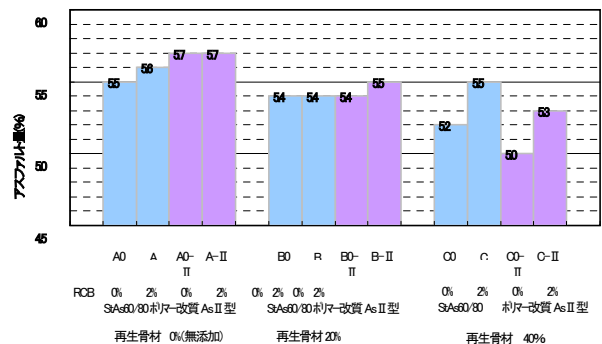


図-4 最適アスファルト量

2) マーシャル安定度

図-5から、マーシャル安定度は、RCB入りおよびポリマー改質アスファルトII型の場合が大きく、再生骨材を混入しても性能はぜんぜん低下せず、むしろやや増大傾向にあることが認められる。

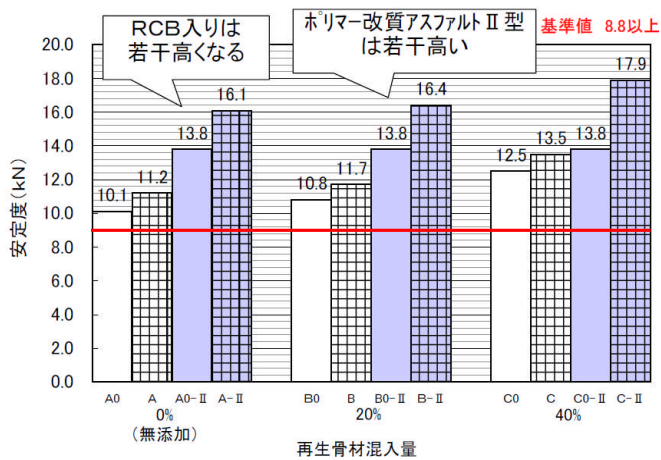


図-5 マーシャル安定度

3) フロー値および残留安定度

フロー値は、A-II、B-IIで48および42で基準値範囲(20-40 1/100 cm)をややオーバーするものもあったが他は基準値の範囲内であった。残留安定度は表-3に示す基準値75以上を満足し、RCBや再生骨材混入による性能低下は認められなかった。

4) 動的安定度

ポリマー改質アスファルトII型を使用した場合のDS値は、全て舗装施工便覧に示される重交通道路における耐流動性の基準値を満足していた。また、再生材やRCBの混入により動的安定度が変化する明確な傾向はみられなかった。しかし、ストレートアスファルトを使用した場合、基準値を下回った配合が多く、一層の検討を要する。

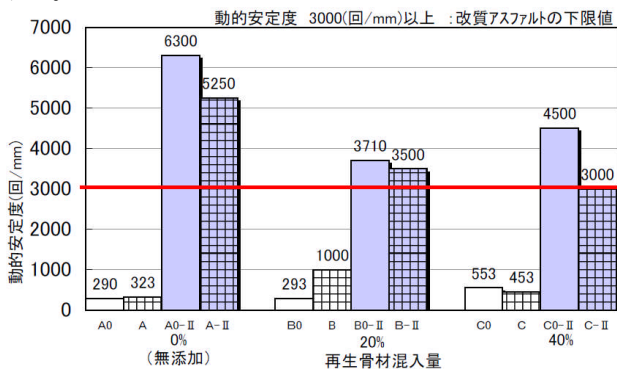


図-6 各配合条件における動的安定度

5) カンタブロ試験による骨材損失率 (図-7参照)

骨材飛散抵抗性をみるために、カンタブロ試験を行った。ストレートアスファルトのみでは基準値20%以上となる場合があったが、RCBの混入により骨材の損失率が少

なくなった。ポリマー改質アスファルトII型では、どの配合の損失率も基準値以下で、RCBの混入による差は現れなかった。また、再生材の混入量が増えることにより、ストレートアスファルトにおいては、損失率が少なくなる傾向があり、再生材の利用が可能であることが認められた。

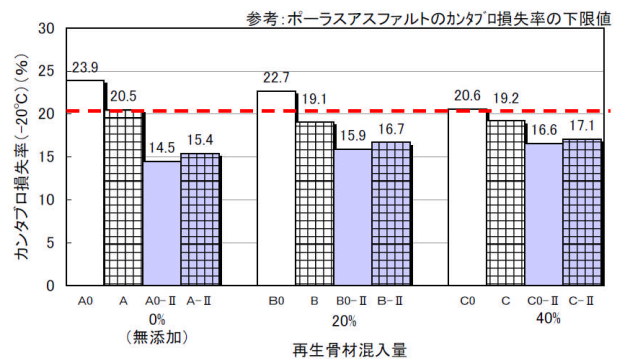


図-7 カンタブロ試験結果 (損失率)

6) 曲げ強度

曲げ強度の試験結果で、-10°Cの場合を図-8に、20°Cの場合を図-9に示す。低温の場合、強度は増大するが脆くなりやすいので、20°Cの試験だけでなく低温下での試験が必要である。

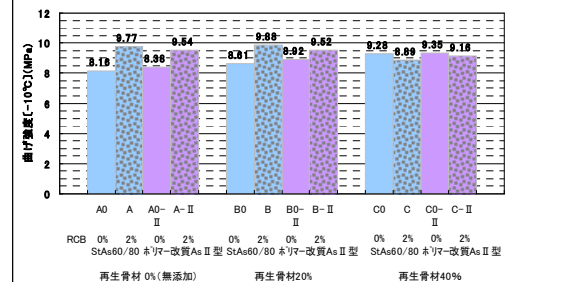


図-8 曲げ強度 (-10°C)

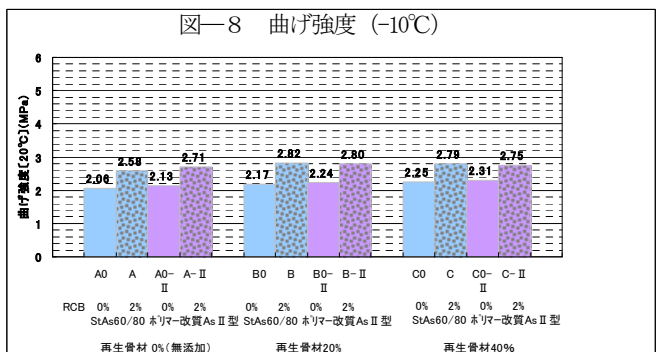
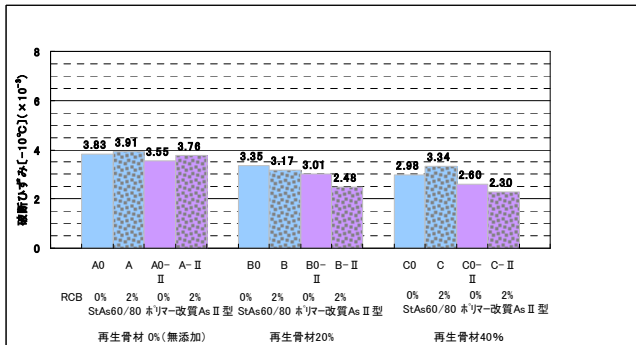


図-9 曲げ強度 (20°C)

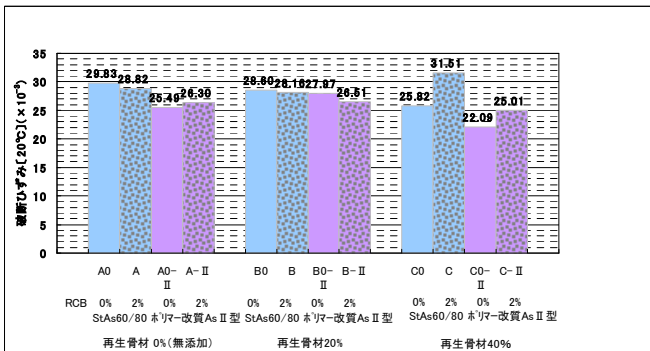
図-8および9より、低温下の曲げ強度は常温下の場合より、約3倍大きな値となり、RCBを添加した場合が再生材40%混入の場合以外は25-30%増大している。

7) 曲げ破断ひずみ

図一10および11に示すように、破断ひずみは、 -10°C の低温化では、 20°C の常温下の場合の1/10程度で、アスファルトの種類、炭化物や再生材の有無に関係なく、脆くなることが認められた。



図一10 曲げ破断ひずみ (-10°C)

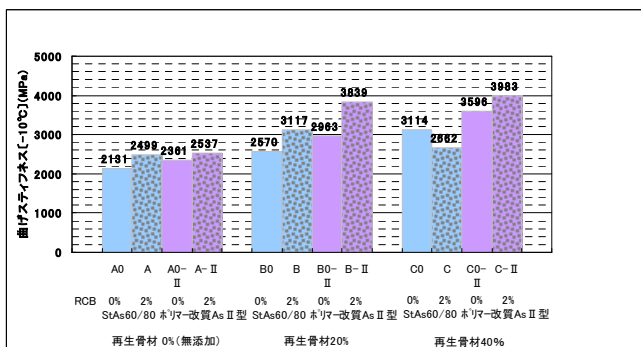


図一11 曲げ破断ひずみ (20°C)

8) 曲げスティフネス

図一12に -10°C で試験した場合の曲げスティフネスを示す。曲げスティフネスとは曲げ強度を最大曲げひずみで除したもので、曲げ仕事量とともに低温カンタプロ損失率と高い相関性があるといわれている。

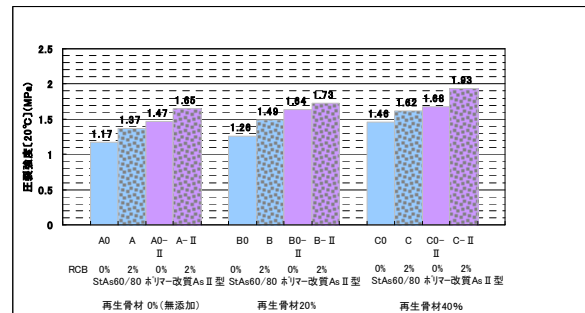
低温下では常温下よりも曲げ強度が増大し、最大曲げひずみが小さくなるので、曲げスティフネスが増大する。曲げスティフネスの値は、低温下では、ポリマー改質アスファルトII型を用い、RCBを用い、再生骨材混入率が增大するほど大きくなること認められた。常温下でも同様な傾向が認められた。



図一12 曲げスティフネス (-10°C)

9) 圧裂強度および圧裂スティフネス

図一13に圧裂強度を示す。圧裂スティフネスも圧裂強度と同様な傾向となった。



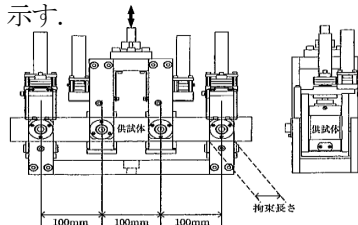
図一13 圧裂強度 (20°C)

圧裂強度試験はコンクリートの割裂引張試験に類似しており、圧裂スティフネスは、圧裂強度を変位で除したものである。圧裂強度および圧裂スティフネス共に、RCBを用い、再生材混入率を増大させるほど大きくなっている。

10) 曲げ疲労試験

アスファルト混合物が繰り返し荷重を受けた場合の疲労抵抗性を評価するために曲げ疲労試験を行った。破壊回数はRCBを添加することで1.4倍程度まで向上した。一方、再生骨材混入量が40%ではRCBを添加しても差は見られなかった。

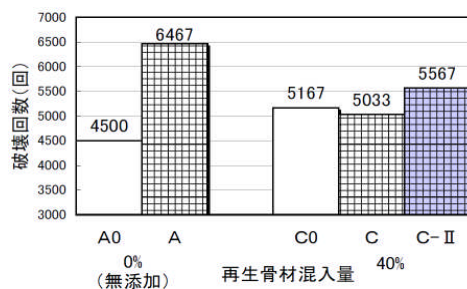
図一14に曲げ疲労試験の図を、図一15に試験結果を示す。



図一B018・1 試験治具の構造の一例

図一14 曲げ疲労試験 (舗装調査・試験法便覧³⁾より)

供試体を3等分する点で支持し、支持点が上下に動くことで供試体に曲げひずみを繰り返し与える。



図一15 最適アスファルト配合条件における破壊回数

5. プラントミキサーでの試験練り

4. での試験結果は室内における試験であったが、同一配合で、実際のプラントミキサーで練り混ぜた混合物が、室内で作製した供試体の場合と同様な物性になるか

否かの試験を行なった。その結果、ほぼ同様な結果が得られた。

6. ライフサイクルコストの試算

当初米子空港誘導路での試験施工を考えていたために米子周辺で得られる再生材を用いて室内実験を行ったのと米子空港の現地踏査を平成22年2月に行なった。誘導路は1995年（平成7年）に建設され、現在15年を経過しているが大規模な補修は行なわれていないが、現在大型航空機乗り入れに伴う、舗装の嵩上げおよび拡幅工事が行なわれていた。

1) アスファルト舗装の紫外線劣化

試験に使用したRCBには約75%のカーボンブラックが含まれているが、カーボンブラックの紫外線遮蔽効果が大きいことにより、RCBをアスファルトに添加することにより、アスファルトの紫外線劣化を抑制することが出来ること、ポラスアスファルト舗装の試験施工してから1～5年経過した舗装から明らかとなっている。アスファルト舗装の劣化の度合いを表す指標として、回収したアスファルトの進入度がある。進入度が20（1/10mm）以下になると劣化が進んでいるとされている⁴⁾。

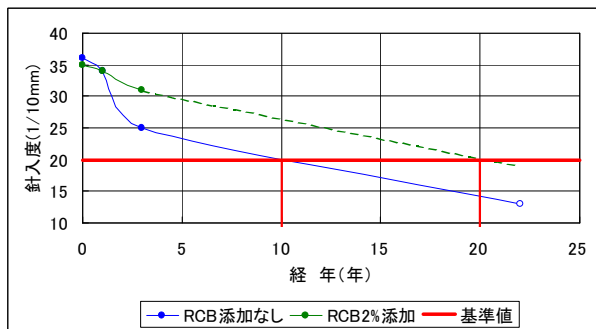


図-16 回収再生密粒度アスコンの針入度の経年変化
（広島市オメガプロジェクト研究会よりデータ提供）

広島市オメガプロジェクトでは、ポリマー改質アスファルトII型を使用した再生密粒度アスコンではあるがRCBの添加有無の回収アスファルト針入度経年変化について追跡調査を実施しており、図-16に示す結果を得ている。RCBを添加した場合は生ゴミ溶融スラグも混入され、有効活用されている。RCB添加の破線部分は推定線であるが、この図からRCBを添加することにより、舗装の寿命を従来の舗装の場合の2倍程度まで向上できることが期待される。

2) ライフサイクルコストの試算結果

試験に用いた各配合の混合物の補修までの周期を通常の舗装の場合評価値を1.00とし、RCBを用いた場合の各々の評価値の重み付けを疲労抵抗性0.67、紫外線抑制効果0.3、変形抵抗性0.03とし、構造的破損となる疲労抵抗性の重みを大きく、舗装面の破損である変形抵抗性を小さく設定し、重みの合計は1.00とした。以上の結果、ライフサイクルコストはおおくの推

定を含む概算であるが、図-17のようになった。ライフサイクルコストは、A0の場合を100とした場合、RCBを添加したAでは69.1、再生骨材40%添加したCの場合、76.1、さらにポリマー改質アスファルト、RCB2%および再生材40%を用いたC-IIの場合は、68.5となり、大幅にライフサイクルコストを低減できることになる。

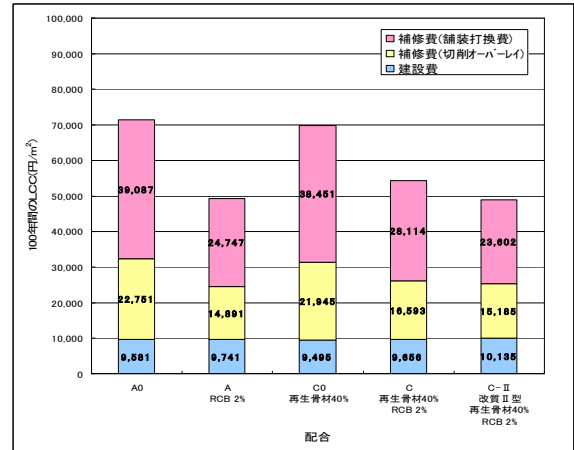


図-17 ライフサイクルコスト

7. まとめ

- 1) RCBを混入することにより、種々の物性が改善され、特に疲労抵抗性がストレートアスファルトで、新材のみ用いたAの配合で従来のA0のもの1.4倍となった。
- 2) 再生材を40%混入しても、RCBと併用することによって、品質の低下はほとんど認められなかったため、舗装表層に使用可能であることが期待できる。
- 3) ライフサイクルコストは、従来の舗装に比べて、約70%に低減できることが期待できる。
今後、試験施工をして、直射日光による紫外線劣化を生じさせながら、曲げ疲労試験を行い長寿命化が図れるか否かの検討が是非とも必要である。

8. あとがき

本研究は国土交通省中国地方整備局長と広島工業大学学長との技術包括協定に基づく共同研究として行われたものであり、研究費支援および研究に協力して下さった関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 米倉亜州夫：廃ゴム乾留炭化物を添加したポラスアスファルト舗装混合物の開発、アスファルト合材、アスファルトに関する随想、pp. 4-7, 2008. 10
- 2) 特許第4516982号 アスファルト舗装混合物の製造方法、2010. 5. 21
- 3) 国土技術政策総合研究所報告：再生アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性—室内試験による検討一、研究所報告No. 7, 2003. 3

