

組成が異なる再生用添加剤を用いた 再生アスファルト混合物の特性

高橋 修¹・八谷好高²

¹正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 土質部滑走路研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 土質部滑走路研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

発生材の混入率が高い再生アスファルト混合物を製造する場合、再生用添加剤を用いて劣化した旧アスファルトの機能を回復させている。再生用添加剤の品質についてはプラント再生舗装技術指針に標準値が示されているが、現在流通しているものにはかなりの種類があり、実際に活用する場合には再生用添加剤の特性を把握したうえで配合設計を行う必要がある。本研究では再生用添加剤の成分に着目し、その違いが再生アスファルト混合物の配合と混合物性状に及ぼす影響について検討した。その結果、混合直後におけるバインダーの針入度が同じになるように配合設計を行った場合、再生用添加剤の種類によって添加量が大きく異なっており、また混合物の老化に伴って性状の変化に多少の差違が生じることが明らかになった。

Key Words : *recycling additives, ingredient, recycled asphalt mixture, accelerated aging*

1. はじめに

わが国では循環型社会の実現を目指して、産業界では資材のリサイクルが推進されている。建設分野では天然資材の使用量が膨大であり、自然環境や地域社会に与える影響が大きいことから、リサイクル材料の積極的な活用が重要な技術課題に設定されてきた。運輸省港湾局でも、平成8年から平成13年にわたる「港湾の技術開発五箇年計画」において策定された重点技術開発テーマの一つに、「リサイクル材料の実用化」が挙げられている¹⁾。その結果、建設材料のリサイクル率は年々増加しており、特にアスファルト発生材については多数の地域で既に90%を超えている²⁾。ただし、アスファルト塊を破碎して、再度同じ用途であるアスファルト混合物として活用する、本来の意味合いでのリサイクルの比率は30~40%程度である³⁾。

しかしながら、アスファルト発生材のリサイクル、すなわち再生アスファルト混合物の活用は、主に道路舗装において積極的に行われてきたことであって、空港舗装においては一部の空港で航空機が走行しない限られた箇所のみに使用される程度であった⁴⁾。空港舗装で再生アスファルト混合物があまり活用されなかった理由としては、

- ①空港舗装において、再生アスファルト混合物を使用し
て構築した舗装体の耐久性が明らかになっていない、
- ②空港では安全が最優先されることから、耐久性や安定性が明確になっていない材料を積極的に運用することが難しい、

③空港内において、まとまった量のアスファルト発生材の発生とまとまった量の混合物の使用がタイミングよく行われることが難しい、

④再生アスファルト混合物に関する空港舗装の管理基準、積算基準が策定されていないため、実質的な運用に多少の抵抗がある、

等が挙げられる^{4),5)}。いずれにしても、空港舗装に運用することを前提とした再生アスファルト混合物に関する検討が、これまで十分に行われていなかったことが根元的な原因と指摘される。

このような状況下、東京国際空港(羽田空港)では旧ターミナル地区の滑走路やエプロンの解体に伴って舗装発生材が大量に発生することから、これらをリサイクル材料として有効利用することになった。そして、アスファルト発生材の積極的なリサイクル化として、再生アスファルト混合物を使用したフルデプス舗装で新しい滑走路と誘導路を建設した⁶⁾。東京国際空港の場合は沖合展開事業⁷⁾という、国内では他に例を見ない大規模な空港施設の拡張工事に伴うものであり、不要施設の解体と新規施設の建設が一環して行われたものであった。これほどの大規模プロジェクトは、今後当分の間は実施されないにしても、国内外における空港需要の拡大傾向に基づくならば、中小規模の補修工事や拡張工事が今後において頻出するものと予想される。

アスファルト発生材を積極的に活用しようとする、必然的に発生材の混入率を高く設定せざるを得ないが、発生材の混入率が高い再生アスファルト混合物を製造する場合、再生用添加剤を用いて劣化した旧アスファ

表-1 再生用添加剤の性状

項 目	A	B-1	B-2	C	標準値
動粘度 60 °C (mm ² /s)	526	202	175	45.95	80~1000
引火点 (°C)	327	232	258	276	230 以上
粘 度 比	1.10	1.37	1.19	1.028	2 以下
質量変化率 (%)	-0.07	-1.78	-0.30	-0.56	±3 以下
密 度 (g/cm ³)	0.974	1.011	1.007	0.884	—
アスファルテン (%)	0.2	2.0	0.0	0.0	—
飽和分 (%)	8.7	51.9	57.2	90.3	—
芳香族分 (%)	83.5	33.2	38.2	8.7	—
レジン分 (%)	7.6	12.7	4.6	1.0	—

ルトの機能を回復させることになる。再生用添加剤の品質については、プラント再生舗装技術指針⁸⁾に標準的なものが示されているが、この指針で記されている品質は、必要とされる各種特性の限界値を主に規定しているものであり、さらに目安となる特性値の項目も数が少ない。基本的には、再生されたアスファルトの品質が新規アスファルトの品質と同程度となるようにすることが重要で、活用する側としては再生後のアスファルトの品質、あるいは製造した再生混合物の性状にこだわる必要がある。

しかしながら、再生用添加剤はバインダーが有する種々の特性に着目し、プラント再生舗装技術指針の品質規定を踏まえて、様々な種類のものが開発され、現在流通している。再生後のアスファルトの品質は再生用添加剤の成分によってかなり影響されることから、再生用添加剤の成分と再生アスファルトの物理特性の関係、および再生用添加剤の成分と再生アスファルト混合物の性状の関係を調査したうえで、実際に運用する必要があると考えられる。再生用添加剤とそれを使用した再生アスファルト混合物の性状の関係については、それぞれの開発メーカーによって明らかにされているようであるが^{9),10)}、再生用添加剤の成分に着目して客観的に評価した事例はあまり多くない¹¹⁾。再生アスファルト混合物におけるアスファルト発生材の混入率が高くなるに従って、必然的に再生用添加剤の添加量も多くなることから、再生アスファルト混合物の性状やコストに占める再生用添加剤の影響は、今後ますます増大するものと予想される。したがって、今後において再生アスファルト混合物を積極的に活用していくためには、利用者サイドの基礎知識として、再生用添加剤の成分と再生アスファルトの物理特性および再生アスファルト混合物の性状の関係について検討しておく必要がある。

本研究では、再生用添加剤の成分の違いによる再生

アスファルト混合物の配合と物理性状の差異について検討した。再生用添加剤の成分を分析する方法には、主なものとしてカラムクロマトグラフィー法（石油学会法）とロスラー法があるが¹²⁾、本研究ではより一般的なカラムクロマトグラフィー法に基づいて成分を評価した。すなわち、再生用添加剤の成分をアスファルテン、飽和分、芳香族分、レジン分の割合として、その違いについて着目した。再生アスファルト混合物の配合設計においては、再生用添加剤の添加量はプラント再生舗装技術指針の方法で決定し、マーシャル安定度試験に対する基準値は空港土木工事共通仕様書¹³⁾に基づくものとした。そして、再生アスファルト混合物の性状は、マーシャル安定度試験と曲げ試験による特性値によって評価した。実際の舗装では長期供用に伴う老化によって混合物の性状が変化するが、本研究では老化による性状変化の違いについても着目して再生アスファルト混合物の性状を評価した。

本研究は、空港舗装においても再生アスファルト混合物を積極的に利用していくことを念頭において、必要とされる基本研究の充実、基礎資料の整備を目指すものである。本研究の目的は、再生用添加剤の成分の違いが再生アスファルト混合物の性状に及ぼす影響について評価することであり、再生アスファルト混合物を運用する際に必要とされる、再生用添加剤に関する基礎事項を明らかにする、といった位置づけである。

2. 再生用添加剤の選定

再生用添加剤はアスファルト系、石油潤滑油系、動植物油系、アスファルト乳剤系に大別されるが、現時点ではアスファルト系と石油潤滑油系のものが主として使用されている。これらのなかでも、流通している再生用添加剤には多くの製造業者による様々なものがあり、本研究では成分が異なる4種類のものを選定した。

表-1 に選定した再生用添加剤の性状と成分を示す。

一般に、アスファルトが老化すると、アスファルトの成分はアスファルテンが増加して、芳香族分が減少する傾向にある。そのため、再生用添加剤の組成としては、アスファルテンを減少させて、かつ芳香族分を補うようなものが推奨されている¹⁴⁾。ここではアスファルトの劣化による成分の変化に関する既往の知見に基づいて、変化させる成分として①飽和分と②芳香族分+レジン分に着目し、これらを上下に組み合わせるようにして選定した。選出した再生用添加剤は4種であるが、成分が近い組合せがあるため実質的な添加剤成分の種類としては3種ということになる。同じような成分を用いた理由は、両者の結果を比較することによって、ここで注目した成分の影響程度が考察できるからである。以下、再生用添加剤の種別は表中の記号で表すものとする。表中の右端に記してある標準値は、プラント再生舗装技術指針に記されている値である。添加剤Cは動粘度が小さく、標準値の範囲を下回っている。再生用添加剤の組成と物理特性の関係としては、飽和分が多く芳香族分とレジン分が少ないものほど動粘度が小さくなっている。

3. 再生アスファルト混合物の配合設計

混合物性状の評価に用いるアスファルト混合物は、空港土木工事共通仕様書の基準値に準拠するものとし、空港舗装の表層に用いる場合を想定して配合設計を行った。したがって、骨材の粒度は基本施設の表層タイプI、骨材の最大粒径は13mmとし、マーシャル安定度試験に対する基準値は①表層のものとした（表層タイプI、①表層とは、大型航空機が走行する一般地域における舗装の表層という意味である）。ただし、再生アスファルト混合物における再生骨材の品質基準と再生用添加剤の添加量決定は、プラント再生舗装技術指針に準拠した。また、再生アスファルト混合物における再生骨材の混入率は、市中の再生プラントにおける実状と既往の検討^{5),15)}に基づいて40%と設定した。

(1) 使用材料

a) 再生骨材

本研究で使用したアスファルト発生材は、東京国際空港の旧ターミナル地区の撤去に伴って発生したものを使用した。したがって、この発生材を破碎し分級して調整した再生骨材は、少なくとも新規に混合された当時は空港土木工事共通仕様書に規定されているアスファルト舗装用骨材の品質を満たしていたことになる。本研究の評価に用いるアスファルト混合物は最大骨材粒径を13mmと設定したため、再生骨材の最大粒径も

表-2 再生骨材の品質と粒度

項 目			測定値
粗骨材	比重	表乾	2.662
		かさ	2.633
		見掛	2.713
	吸水量 (%)		1.12
細骨材	比重	表乾	2.597
		かさ	2.547
		見掛	2.683
	吸水量 (%)		1.99
理論最大密度 (g/cm ³)			2.478
粒 度 (加積通過 百分率%)		13.2mm	100.0
		4.75mm	73.1
		2.36mm	49.5
		600μm	28.9
		300μm	19.4
		150μm	9.4
		75μm	6.2
抽出アスファルト量 (%)			5.95
回 収 ア の ス 性 状	針入度 (1/10mm)		35
	軟化点 (℃)		56.0
	伸度 15℃ (cm)		8
	粘度 60℃ (Pa·s)		761
	密 度 (g/cm ³)		1.045

13mmとして0~13mmの範囲で調整した。

調整した再生骨材の品質と粒度、および回収したアスファルトの性状を 表-2 にまとめる。骨材の比重、吸水率については共通仕様書の規定を満足しており、旧アスファルトの含有量と針入度についてはプラント再生舗装技術指針の基準値を満たしている。

b) 新規アスファルトと新規骨材

新規アスファルト混合物と再生アスファルト混合物に使用する新規のアスファルトは、一般的なストレートアスファルト60/80を使用した。また、新規の骨材についてもふるい分け試験と比重吸水試験を実施して、必要なデータを収集した。比重、吸水率、スクリーニングスの粒度、および石粉の粒度とも、すべて共通仕様書の規定を満足していた。

(2) 再生用添加剤の添加量

再生アスファルト混合物に対しての再生用添加剤の量は、再生後のアスファルト針入度が設計針入度となるように調整するプラント再生舗装技術指針の方法に準拠して決定した。技術指針に記されている方法では、

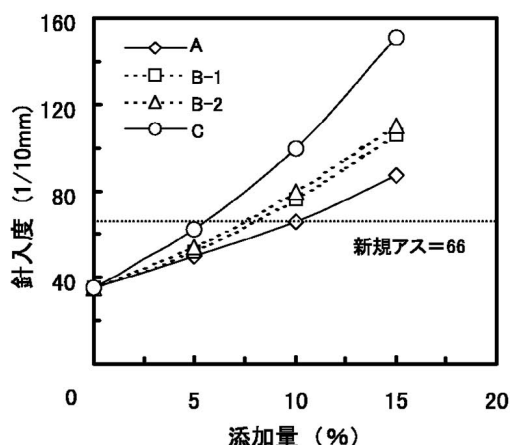


図-1 添加量と針入度の関係（暫定添加量の決定）

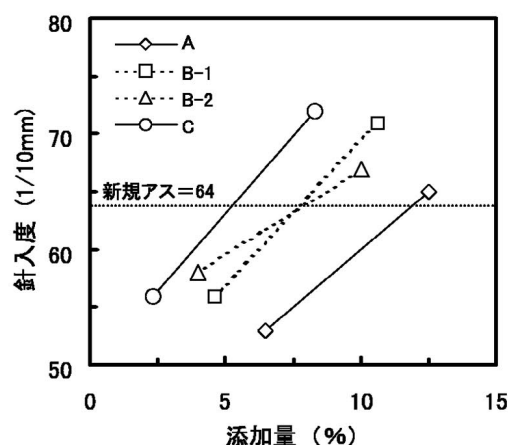


図-2 添加量と針入度の関係（添加量の決定）

設計針入度を舗設箇所の条件（交通条件や環境条件等）に基づいて任意に設定し、旧アスファルトに再生用添加剤を添加したものが設計針入度と同じになるように添加量を決定している。この場合、製造された再生混合物には、旧アスファルトと再生用添加剤に加えて新規アスファルトが混入されることになるので、新規アスファルトの針入度が設計針入度と異なっていれば、当然のことながら再生アスファルトの針入度も設計針入度と同じにならない。また、仮に新規アスファルトの針入度が設計針入度と同じであっても、加熱混合時の劣化によって製造直後の混合物における再生アスファルトの針入度は設計針入度よりも低下する。そして、その針入度低下の度合いは旧アスファルト、再生用添加剤、新規アスファルトの量（混入割合）と質によって異なるものと予想される。

そこで本研究では、各種添加剤による再生アスファルト混合物の性状を、新規アスファルト混合物の性状を基準として評価することから、練り上がった時点での新規加熱混合物の針入度と添加剤を混入した再生加熱混合物の針入度が同じになるように再生用添加剤の添加量を決定した。つまり、加熱混合による熱劣化の差異を考慮し、針入度をそろえる段階を各混合物が練り上がった状態としている。

以上のように針入度を調整するために、パグミルミキサで加熱混合する前と後で添加量を上下に変動させて針入度を測定した。具体的な決定方法を以下に示す。

- ①再生骨材から回収した旧アスファルトに再生用添加剤を5%、10%、15%の3とおり添加し、それら再生アスファルトの針入度を測定する。
- ②上記①の結果に基づいて添加量（%）と針入度の関係をグラフに表し、その関係曲線から新規アスファルトの針入度に対応する暫定添加量を決定する。

表-3 再生用添加剤の添加量

項目（%）	A	B-1	B-2	C
暫定添加量	9.5	7.6	7.0	5.3
決定添加量	12.0	7.7	8.0	5.3
差	+2.5	+0.1	+1.0	±0.0

③旧アスファルトに対して再生用添加剤を暫定添加量±3%添加し、ミキサを用いて再生混合物を製造する。そして、製造した2種類の再生混合物からアスファルトを回収して、針入度をそれぞれ求める。

④上記③の結果に基づいて添加量（%）と針入度の関係をグラフに表し、予め求めておいた新規混合物の製造後回収アスファルトの針入度に対応する添加量をグラフから求めて、それを再生用添加剤の決定添加量とする。

次に、以上の手順に従って決定した再生用添加剤の添加量について示す。選定した4種類の再生用添加剤に対して、上記の②と④によって求めた添加量と針入度の関係を図-1と図-2にそれぞれ示す。暫定添加量を定める際の新規アスファルトの針入度は66（1/10mm）であり、添加量を最終的に決定する際の新規混合物に対する製造後回収アスファルトの針入度は64（1/10mm）であった。（アスファルトプラントで混合物を製造した場合、残留針入度は一般に70～80%と報告されている¹⁶⁾。ここでの検討で製造後の針入度低下が小さかったのは、室内の小型パグミルミキサで材料を練り混ぜる際に、混合温度を低めに設定したこと、および骨材の加熱温度を混合温度よりも高くしなかったことによるものと考えられる。）図-1では、飽和分が多い再生用添加剤ほど再生アスファルトの針入度が大きくなってい

表-4 マーシャル安定度試験の結果

項 目	新 規	A	B-1	B-2	C	基準値
OAC (%)	5.8	5.4	5.4	5.4	5.4	—
密度 (g/cm ³)	2.383	2.422	2.411	2.417	2.410	—
空隙率 (%)	2.7	2.2	2.7	2.5	2.7	2~5
飽和度 (%)	83.1	84.9	82.4	83.5	82.3	75~85
安定度 (kN)	12.9	16.1	15.1	14.1	14.1	8.8以上
フロー値 (1/100cm)	37	36	37	35	37	—

るが、これは飽和分が多い再生用添加剤ほど粘度が小さいことに起因しているものと考えられる。再生用添加剤の成分によって針入度変化の割合がかなり大きく異なっていることから、新規アスファルトの針入度に対応する添加剤の量もかなりの差が認められる。また、**図-2**によると、成分がよく似ているB-1とB-2の再生用添加剤による再生アスファルトでは直線の傾きが多少異なっている。**図-1**に示したバインダーレベルでの添加量と針入度の関係では、B-1とB-2はほとんど同じ傾きであったが、ミキサ混合後の混合物レベルでの関係では、B-1がB-2よりも傾きが大きくなっていた。このことは、すなわち成分がよく似ていても加熱混合時の劣化程度に差があることを示している。これらのグラフから求めた暫定添加量と決定添加量をまとめると**表-3**に示すとおりである。針入度変化の割合が小さい再生用添加剤Aでは、暫定添加量と決定添加量とで2.5%も異なっている。さらに、決定添加量の間でも2倍以上もの差異が認められる。したがって、これらの結果より、再生用添加剤の違いによって再生用添加剤の添加量がかなり異なり、芳香族分が多く粘度の高い再生用添加剤では添加量が多く必要となることがわかる。また、加熱混合による熱劣化の程度も再生用添加剤によって差があることから、添加剤量の決定にはこのことについても考慮する必要があるといえる。

(3) 配合設計の結果

新規アスファルト混合物と再生アスファルト混合物の骨材粒度は、ともに空港土木工事共通仕様書に規定されている基本施設の表層タイプI、骨材の最大粒径13mmの粒度範囲に基づき、その中央値を目標粒度として決定した。再生混合物には再生骨材を40%混入するため、再生混合物の間では骨材粒度が同じであるが、新規混合物と再生混合物では若干異なっていた。

また、アスファルト量はマーシャル安定度試験の結果によって決定したが、その基準値は同仕様書の①表層のものに基づいた。新規混合物と4種類の再生混合物についての、最適アスファルト量（OAC）に対する

マーシャル安定度試験の結果を**表-4**に示す。新規混合物と再生混合物では骨材粒度が多少異なっているため、OACが同じとなっていない。マーシャル安定度試験の結果はどの混合物ともほとんど同じであり、すべての混合物が基準値を満足している。

4. 混合物性状の評価

練り上がりりがほとんど同じ物性となるように配合した計5種類のアスファルト混合物に対して、締固めを行った混合物レベルでの性状を比較するために曲げ試験を行って評価した。ここでは再生アスファルト混合物の長期供用に対する耐久性についても注目するために、作製直後の供試体に加えて老化を促進させた供試体に対しても試験を実施した。

(1) 試験方法

曲げ試験は、舗装試験法便覧¹⁷⁾に準拠した方法で実施した。ただし、供試体の形状寸法と試験温度、載荷速度は便覧と異なるものとした。供試体は、ローラコンパクタで締め固めて作製した300×300×50mmの試料から、ダイヤモンドカッタを使って300×50×50mmのものを切り出した。混合物を促進老化させる場合は、300×50×50mmに切り出す前に老化の作用を施した。標準の載荷速度は50mm/minであるが、空港舗装の場合、荷重がフルに作用する滑走路端部や誘導路では航空機の走行速度が遅いことから、ここでは10mm/minと設定した。試験温度については、当初-10、0、10、20、30℃と変動させて試験を実施していたが、脆化点を明確にするために後に-10、0、5、10、20℃と変化させた。試験結果は、破壊時の曲げ強度と破壊時のひずみを求め、これらを特性値として整理した。

(2) 老化促進方法

バインダーレベルで老化を促進させる方法には標準化されているものがいくつかあるが^{17),18)}、締固めた混合物レベルでの老化促進方法には標準化されたものがなく、

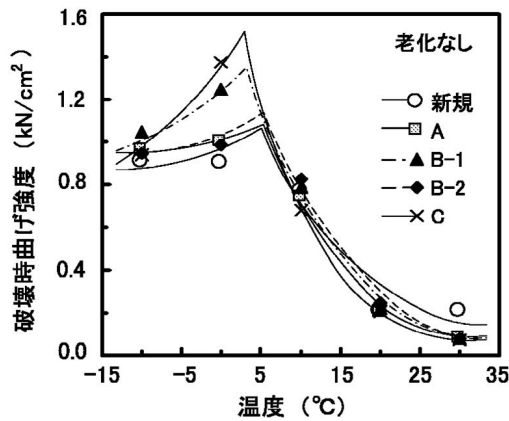


図-3 温度と破壊時曲げ強度の関係（老化促進なし）

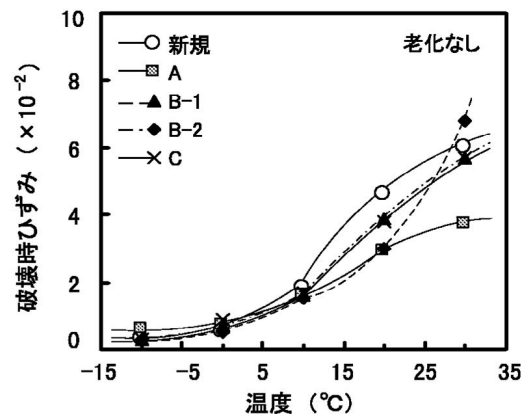


図-4 温度と破壊時ひずみの関係（老化促進なし）

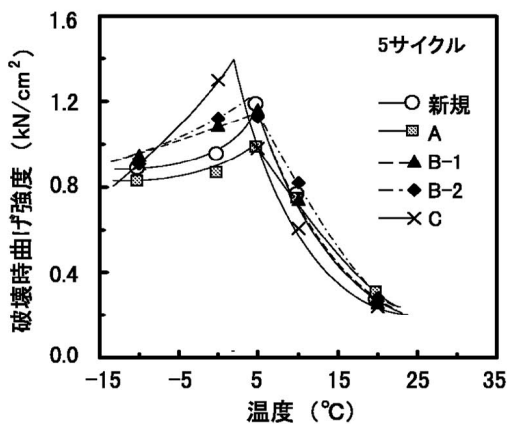


図-5 温度と破壊時曲げ強度の関係（5 サイクル）

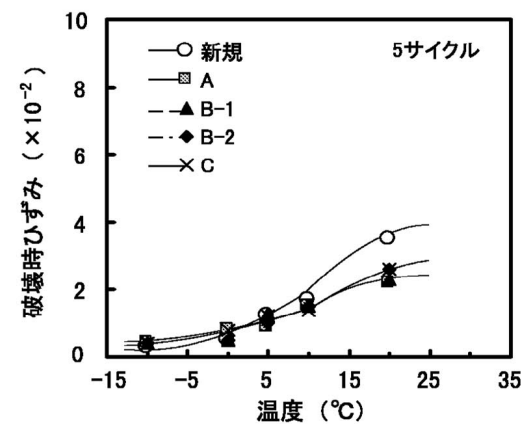


図-6 温度と破壊時ひずみの関係（5 サイクル）

それぞれの研究機関において種々の方法が採られている。本研究では、混合物の舗設後の老化促進に適している野村らが提案した方法¹⁶⁾を採用することにした。すなわち、60℃に調整した真空乾燥炉内に300×300×50mmの試料を置き、真空ポンプで乾燥炉内の空気を除去したうえで酸素を充填して、そのまま24時間放置する方法である。この操作を1サイクルとして、老化を施さないもの、5サイクル施したもの、20サイクル施したものの3とおりの老化程度に対して評価試験を実施した。

(3) 試験結果および考察

老化促進を施していない場合の温度と破壊時曲げ強度の関係を 図-3 に示し、温度と破壊時ひずみの関係を 図-4 に示す。この老化条件では温度5℃の試験を実施していないので、脆化点を限定することが難しいが、添加剤Cを使用した再生混合物は他のものよりも低いようである。脆化点よりも温度が高い領域では、破壊時曲げ強度に明確な差は見られないが、脆化点よりも低温域では、添加剤Cを使用したものと添加剤B-1

を使用したものが新規混合物よりも曲げ強度が大きい。この傾向は、特に脆化点に近い温度で顕著であり、かなりの違いが認められる。全体的な傾向としては、再生混合物は新規混合物よりも破壊時の曲げ強度が大きい。破壊時のひずみについては、温度が高い条件で混合物による違いが現れている。添加剤Cを使用したものと添加剤B-1を使用したものは新規混合物の結果と大きな差はないが、添加剤Aを使用したものは新規混合物に比べて破壊時ひずみが小さい。これらのように、混合物に劣化が生じていない条件では、破壊時曲げ強度は低温域で、破壊時ひずみは高温域で、添加剤成分の違いによる性状の違いが認められる。

同様に、老化促進の作用を5サイクル施した場合のそれぞれの結果を 図-5、図-6 に示し、20サイクル施した場合の結果をそれぞれ 図-7、図-8 に示す。劣化が進行するに従って、各混合物間の性状の違いが小さくなっている。老化促進を施さない場合は、脆化点よりも低温域で破壊時曲げ強度に、高温域で破壊時ひずみに各混合物間の差が認められたが、老化の程度が高く

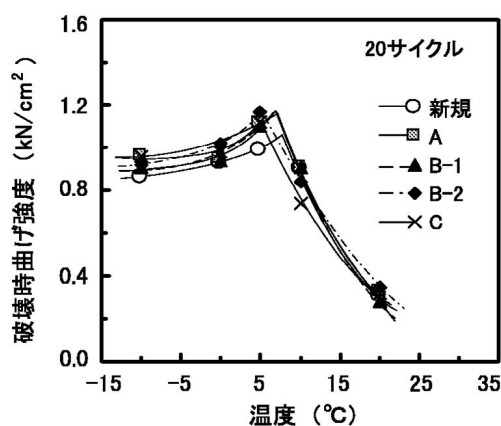


図-7 温度と破壊時曲げ強度の関係 (20 サイクル)

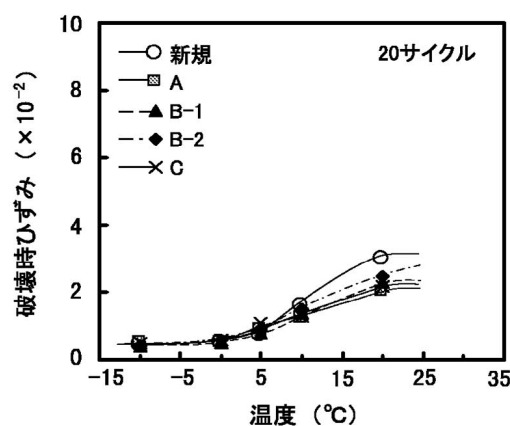


図-8 温度と破壊時ひずみの関係 (20 サイクル)

なるほどそれらの差が小さくなっている。そしてその結果、新規混合物と各再生混合物の差がかなり狭くなっている。各老化サイクルに対する温度と破壊時曲げ強度の関係を見比べると、20サイクルの結果は5サイクルの結果に比べて、全体的に脆化点が高温側にシフトしている。20サイクルの老化条件でも、添加剤Aを使用したもの以外の再生混合物のほうが、新規混合物よりも脆化点が低い。老化なしの条件において、脆化点に近い温度で曲げ強度が大きかった添加剤C、添加剤B-1を使用したものは20サイクルの老化促進を施した時点で曲げ強度がかなり低下している。これに対して、破壊時ひずみの変化はあまり明確でなく、老化が進行するに従って脆化点よりも高温域において破壊時ひずみが低下している。どの段階でも再生混合物の破壊時ひずみは新規混合物のものよりも小さい傾向にあり、そのなかでも添加剤Aを使用した混合物が全般的に破壊時ひずみが小さい。再生用添加剤の状態では、添加剤Aは他に比べて芳香族分が多く動粘度が大きいですが、老化させた混合物の状態では破壊時ひずみが他の混合物よりも小さな結果となっている。

本研究では、再生混合物の性状の変化を混合物レベルでしか評価しなかったが、各老化段階における各混合物のバインダー成分を分析し、バインダーレベルでも性状の変化を見ていくとさらに明確な知見が得られるものと予想される。この辺の検討は、今後の課題として明記しておく。

5. まとめ

本研究では、再生アスファルト混合物を活用する場合の、配合設計において重要となる再生用添加剤の基本的特性について検討した。ここでは再生用添加剤の成分に着目し、成分が大きく異なるいくつかの再生用

添加剤を用いて再生アスファルト混合物を設計し、再生用添加剤の成分の違いによる影響を混合物性状のレベルで評価した。再生アスファルト混合物の配合設計と老化を考慮した混合物の曲げ試験に基づいて検討した結果、通常のパインダー針入度をそろえる方法で再生用添加剤の添加量を決めた場合、再生用添加剤の種類によって添加量が大きく異なることがあり、また混合物の老化に伴う性状の変化に多少の差が現れることを定性的に明らかにした。

以下に、本研究で得られた主な知見をまとめる。

- (a)再生用添加剤の添加量を、混合直後におけるバインダーの針入度が同じになるように決定する方法では、再生用添加剤の成分の違いによって添加量がかかなり範囲で変化する。今回選定した4種類の再生用添加剤では、旧アスファルトの針入度を引き上げる効果が大きい飽和分の多い再生用添加剤ほど、添加量が少ない結果となった。
- (b)再生用添加剤の種類によって加熱混合による熱劣化の程度が異なるため、加熱混合前にそろえたバインダー針入度は混合後には多少異なる。変化する針入度の値は、添加量が多くなる飽和分が少ない再生用添加剤で大きい。
- (c)劣化が生じていない再生混合物では、再生用添加剤の違いによって破壊時の曲げ特性に差が認められるが、劣化が進行するに従ってその差は小さくなる。しかしながら、破壊時のひずみは劣化がかなり進行した状態でも、再生混合物のほうが新規混合物よりも小さい傾向にある。また、老化が進行するに従って、混合物の脆化点は高温側にシフトする。
- (d)再生用添加剤は一般に芳香族分とレジジン分の多いものが推奨されているが、このような再生用添加剤は

添加量が多く必要となり、混合物の老化に伴って低温時の曲げ強度が低下し、破壊時ひずみも小さい傾向が認められた。

(e)逆に、芳香族分とレジン分が少なく、飽和分の多い再生用添加剤は、必要とされる添加量は少ないが、混合物の老化に伴って破壊時曲げ強度が低下する程度が大きい。

ここでの検討では、再生用添加剤の効果をマーシャル安定度試験と曲げ試験の結果のみから評価した。また、評価した再生用添加剤も著者らの独断で選定したものであり、数の面でも十分とは言い難い。今後の課題として、再生用添加剤の効果をさらに多くの評価方法、例えばバインダーレベルでの評価やもっと実際に即した混合物の評価法で検討を要することが指摘される。また、さらに多くの種類（成分割合が異なる）の再生用添加剤についても評価を行い、一般性を向上させる必要があるといえる。

謝辞：本研究で使用したアスファルト発生材は、運輸省第二港湾建設局東京空港工事事務所より提供していただいた。また、再生用添加剤の選定や配合設計、その他材料試験については、大成ロテック(株)技術研究所の方々から有益な助言をいただいた。ここに記して深甚なる感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局リサイクル推進会議：リサイクル読本，pp.5-31，2000.

- 2) 建設省廃棄物等対策推進：平成7年度建設副産物実態調査，1995.
- 3) 中村俊行，久保和幸，木村 慎：プラント再生舗装の現状と課題について，アスファルト，第184号，pp.4-8，1995.
- 4) 秋元恵一，金澤 寛，稻田雅裕，藪中克一：空港舗装発生材の新設滑走路舗装への再利用に関する検討，土木学会舗装工学講演論文集，第1巻，pp.213-222，1996.
- 5) 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.
- 6) 松下信夫：新B滑走路の建設工事，エアポートレビュー，No.107，pp.119-124，1999.
- 7) 藤崎治男：東京国際空港沖合展開事業の概要，土木技術，53巻10号，pp.24-29，1998.
- 8) (社)日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，pp.16-18，1992.
- 9) 永松洋之，島津和男，村上光博：アスファルト混合物の再生用添加剤に関する2，3の実験，舗装，18-7，pp.22-29，1983.
- 10) 手塚朗子，栗田 明，脇坂三郎：粉末再生添加剤を用いた再生混合物の性状，舗装，32-11，pp.8-12，1997.
- 11) 野村健一郎，鍛冶邦弘：再生用添加剤の選定およびその添加・混合方法，道路建設，1/10，pp.57-65，1989.
- 12) 荒木美民：再生用添加剤，アスファルト，Vol.32，No.161，pp.24-27，1989.
- 13) 運輸省航空局：空港土木工事共通仕様書，pp.4.12-4.16，1990.
- 14) 坂本浩行：再生用添加剤，アスファルト，Vol.27，No.141，pp.39-46，1984.
- 15) 八谷好高，梅野修一，中村 健，野田 工：再生アスファルト混合物の基本的性状，港湾技術資料，No.836，1996.
- 16) 野村健一郎，丸山暉彦，高橋光彦：アスファルトの劣化促進方法に関する研究，土木学会舗装工学講演論文集，第1巻，pp.223-230，1996.
- 17) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，1988.
- 18) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧別冊，pp.74-80，1996.

A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF RECYCLED ASPHALT MIXTURE USED DIFFERENT KIND OF RECYCLING ADDITIVES

Osamu TAKAHASHI and Yoshitaka HACHIYA

When a recycling additive is used in large-scale construction, characteristics of the additive have to be cleared. In this paper, the influences of additive on mix design and mixture characteristics of the recycled asphalt mixture are investigated from the view point of the ingredients. Through the procedure of mix design and bending test for aged and new mixtures, following results are obtained; a required quantity of recycling additive greatly depends on ingredients of the additive, and the ingredients of an additive affect the mixture characteristics of recycled asphalt, when the binder penetration of recycled asphalt is adjusted as the same value as that of plain mixture binder recovered from the mixture of production right after.