

再生アスファルト混合物の長期供用性に関する研究

交通工学研究室 和田 広海
指導教官 丸山 暉彦

1. はじめに

わが国では、舗装廃材は産業廃棄物に指定されており、環境保全等の見地から制約が厳しくなっている。このような状況のもと、リサイクルがその有効な対応策として注目されており、「再生資源の利用の促進に関する法律」が平成3年に施行されたこともあって、各分野でリサイクルへの新たな取り組みが始められている。それを受けて、廃材の適正処理および資源の有効利用を目的として、舗装廃材の再生利用に関する研究が始められ、全国各地で実用化に至っている。

しかしながら、舗装廃材の再利用方法の現状は、路盤材や盛土材として再利用されていることが少なくない。これは、再生加熱アスファルト混合物（以下、再生混合物）の評価方法と管理基準が明確になっていないことから、再生混合物の利用に対して積極的になれず、このような現状になっているものと考えられる。また、再生混合物の長期供用性を対象とした調査・研究は、試験施工におけるわだち掘れ、平坦性、たわみ量等の測定結果に過ぎず、長期的な物理性状の把握が十分に行われていないという経緯もあって、それについての検証が急務とされている。

そこで4年前から、屋外暴露による再生添加剤を用いた再生混合物および新アスファルトのみを用いた再生混合物の物理性状評価を行っており、名古屋¹⁾、北村²⁾、平方³⁾によって随時報告がなされている。しかし、現在までの報告は、暴露2年半までのものしかなく、舗装の疲労寿命が10年と考えても、屋外暴露長期における再生混合物の性状については未解明である。

以上のことから本研究は、屋外暴露長期における再生混合物の性状を解明し、屋外暴露期間と再生混合物の性状との関係、再生骨材混入率（以下、混入率）と供用性の関係、屋外暴露期間の経過に

伴う再生混合物中のバインダの劣化を評価することを目的とした。

2. 供試体作製

表-1に示すように再生骨材混入率を変化させた、新規および再生密粒度アスファルト混合物（13）をそれぞれ作製した。

再生用添加剤を用いた再生混合物の配合設計はプラント再生舗装法技術指針⁴⁾に準拠した。再生骨材は、約3年半屋外暴露したアスファルト混合物を使用した。再生用添加剤を用いた再生混合物の設計針入度は一般地域で用いられている50(1/10mm)を目標値に設定した。なお、再生骨材混入率は、全国で20~50%の範囲内で施工されている現状を考慮し、最低値である20%と全国平均の40%の2とおりとした。添加剤の選定については、既往の研究によって明らかにされているストレートアスファルト60/80の劣化前と劣化後の組成成分を考慮して、劣化して増加したアスファルテンを分散解膠させる芳香族分を多く含む添加剤を用いた。図-1に本研究で使用したストレートアスファルト(60/80)の代表的な成分組成⁵⁾と再生用添加剤の成分組成⁶⁾を示す。

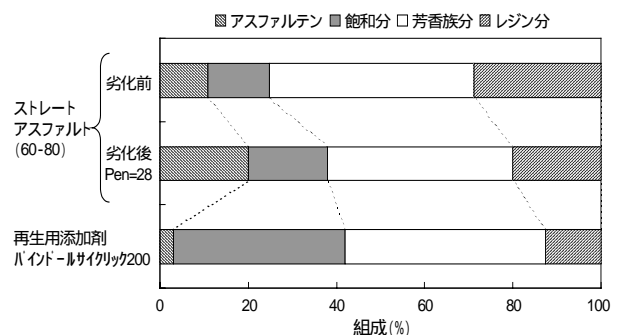


図-1 ストレートアスファルト60/80および再生用添加剤の成分組成

再生用添加剤を用いない再生混合物については、新・旧アスファルトの配合比率は再生骨材の混入率に合わせた。また、使用するアスファルトも混入率によって種類を変えず、ストレートアスファルト 60/80 を用いることとした。再生骨材混入率は、全国平均が 40%である現状、再生用添加剤を用いている再生混合物との比較のため、また更なるリサイクルの積極的な取組みへの期待などから 20%、40%、60%の3配合とした。

それぞれの最適アスファルト量（以下、O.A.C）はマーシャル安定度試験によって決定した。作製した試体寸法（縦×横×厚さ）は 300×300×40mm、300×400×40mm および 150×400×40mm とした。

3. 屋外暴露試験

作製した供試体を写真-1のように5階建てビルの屋上に屋外暴露した。隣り合う供試体はできるだけ密着させ、端部においては合板を用いて横方向からの劣化を極力防止するように設置した。表-2に示した所定の暴露期間経過後、それらの一部を回収し、各試験供試体寸法にカットして評価試験に用いた。本研究では、屋外暴露 48 ヶ月の試

験を実施した。試験項目を表-3に示す。

表-1 作製した供試体

略称	再生骨材混入率 (%)	再生用添加剤	O.A.C (%)
新規	0	×	6.0
再生 20 添	20		6.0
再生 40 添	40		5.9
再生 20	20	×	5.3
再生 40	40	×	5.1
再生 60	60	×	5.0



写真-1 屋外暴露状況

表-2 試験頻度

試験 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	
暴露期間(months)	0	1	3	6	12	18	30	48	
試験年月 (年/月)	再生用添加剤あり	98/3	98/4	98/6	98/9	99/3	99/9	00/9	02/3
	再生用添加剤なし	99/6	99/7	99/9	99/12	00/6	00/12	-	03/6

表-3 評価試験

バインダ性状試験	針入度試験
	軟化点試験
混合物性状試験	静的曲げ試験
	繰返し曲げ試験
	カンタブロ試験

4. 試験方法

4.1 針入度試験・軟化点試験

切り出した供試体から、アブソン法を用いてアスファルトを回収し、舗装試験法便覧⁷⁾に準拠し

て針入度試験と軟化点試験を行った。また、アスファルトを回収する際に、供試体を上下2層に分割して回収し、上層・下層における針入度・軟化点も併せて測定した。

4.2 静的曲げ試験

供試体を 40mm×40mm×300mm の寸法にダイヤモンドカッターにより切り出し、静的曲げ試験を行った。試験は舗装試験法便覧⁷⁾に準拠して行い、試験温度は-10、-5、0、5、10、20 の6条件を基本とし、脆化点付近と予想され

る1条件を加えて全7条件で行った。

4.3 繰返し曲げ試験

本試験で用いた繰返し曲げ試験用治具のスパン長は300mmで、供試体を40mm×40mm×400mmの寸法になるように切り出した。载荷方式には2点支持1点载荷方式を用いた。また、試験の制御はひずみ制御方式を用いた。

試験方法として、試験温度は-10、0および10の3条件であり、設定ひずみは 300×10^{-6} 、 500×10^{-6} および 700×10^{-6} の3条件を基本とした。ただし、暴露期間が進むにつれ、大きなひずみに耐えられないことから、暴露期間48ヶ月の供試体のみ 200×10^{-6} 、 300×10^{-6} および 400×10^{-6} の3条件とした。载荷周波数は5Hzに固定した。

4.4 カンタブロ試験

供試体から、直径100mm、厚さ40mmのコアを切り取り、舗装試験法便覧(別冊)⁸⁾に準拠して骨材飛散抵抗性の評価のためにカンタブロ試験を行った。

5. 試験結果

5.1 バインダ性状

再生用添加剤を用いた再生混合物の屋外暴露期間と針入度の関係を図-2に示す。暴露期間の経過に伴う針入度は、どの混合物もややバラつきがある。しかしながら、それらを比較するため、舗装業界において慣例的に用いられている、片対数紙上での直線近似を行った。

再生40添の針入度は、暴露48ヶ月が経過しても、新規混合物のそれとほぼ等しいといえる。また、再生20添については、近似直線がやや下回っているものの、作製直後の針入度が2(1/10mm)低いことや、針入度試験の精度から考えてもほぼ等しいといえてよい。

図-3に、再生用添加剤を用いない再生混合物の屋外暴露期間と針入度の関係を示す。

再生混合物の針入度は、作製直後から新規混合物よりも大幅に小さく、また混入率が高いほど小

さい結果となった。また、再生40を例にすると、作製直後の予想針入度は49(1/10mm)であったが、実際には39(1/10mm)であった。これは、加熱混合時にバインダが受ける熱劣化によるものであると考えられ、加熱混合時の針入度の大幅な低下も考慮に入れて配合設計しなければならないということがいえる。

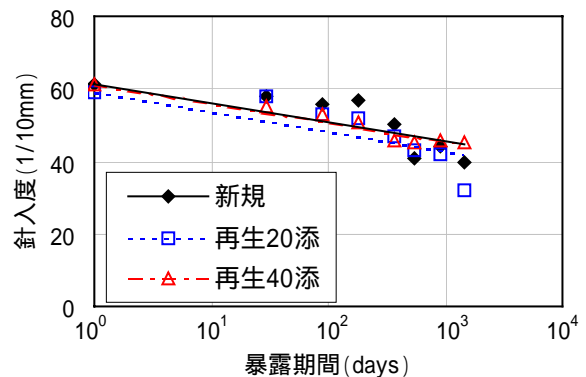


図-2 暴露期間と針入度の関係
(再生用添加剤を用いた再生混合物)

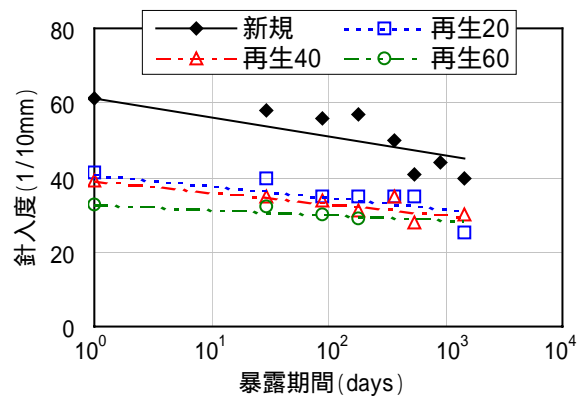


図-3 暴露期間と針入度の関係
(再生用添加剤を用いない再生混合物)

図-4に、暴露期間と上層・下層の針入度の関係を示す。なお、再生用添加剤を用いない再生混合物については作製直後の針入度に差がありすぎるため、作製直後の針入度が等しい、新規と再生40添とを比較した。新規は上下層で最大16(1/10mm)の差があるのに対し、再生40添は最大でも4(1/10mm)しかない。近似直線を見ても、

再生 40 添は厚さに対する性状のバラつきが小さいことがわかる。

なお、針入度と軟化点は強い相関関係があり、同様の試験結果が得られたため、軟化点試験結果については割愛する。

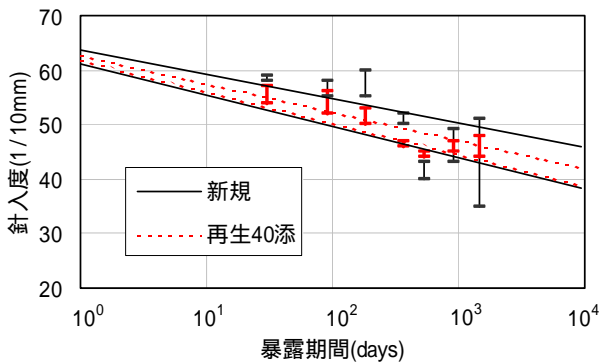


図-4 上層・下層の針入度

5.2 混合物性状

(1) 曲げ特性

図-5 に、再生用添加剤を用いた再生混合物の、試験温度 20 における暴露期間と破断ひずみの関係を示す。再生混合物の破断ひずみが新規混合物とほぼ一致していることがわかる。混入率の違いによる明確な差も無く、混入率 40%でも暴露 48 ヶ月まで新規混合物と同等の曲げ特性が得られることが明らかとなった。

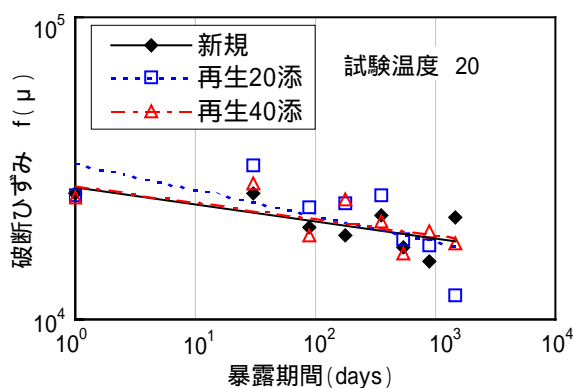


図-5 暴露期間と破断ひずみの関係
(再生用添加剤を用いた再生混合物)

また、図-6 に再生用添加剤を用いない再生混合物の、試験温度 20 における暴露期間と破断ひず

みの関係を示す。

新規混合物と比べて再生混合物の破断ひずみは小さく、混入率が高くなるほど破断ひずみが小さくなっていることがわかる。このことから、再生用添加剤を用いない再生混合物の硬化は新規混合物よりも早く進行しており、曲げ特性は新規混合物と比べて劣るといえる。

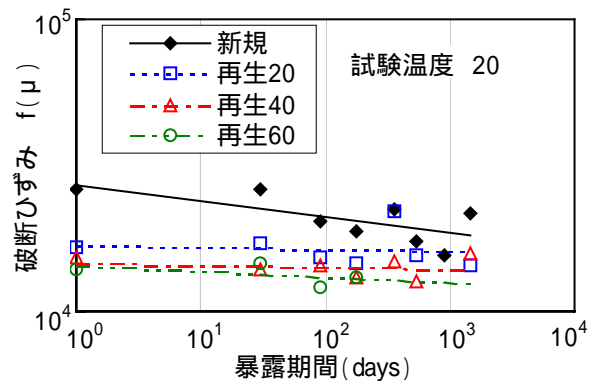


図-6 暴露期間と破断ひずみの関係
(再生用添加剤を用いない再生混合物)

(2) 疲労特性

まず、ここで採用した繰返し曲げ試験結果の整理方法について説明する。それぞれの暴露期間ごとに温度、あるいは設定ひずみなど、条件を種々変化させて繰返し曲げ試験を実施したが、これらの結果から、図-7 のように各暴露期間について破壊時のひずみと破壊回数の回帰直線を得る。それを、ある設定ひずみで切断し、破壊回数、暴露期間の平面に投影することで、あるひずみにおける破壊回数と暴露期間の関係を表している。

図-8 に、再生用添加剤を用いた再生混合物の試験温度 10、設定ひずみ 400×10^{-6} の暴露期間と疲労破壊回数との関係を示す。再生混合物の疲労破壊回数は、新規混合物とほぼ同等である。疲労破壊回数は、どの混合物も暴露 360 日(1年)を経過した頃から低下し始めており、このままの傾向で破壊回数が低下していくとすれば、およそ暴露 10 年程度で供用不可能になると予想される。これは、舗装の疲労寿命と一致する。

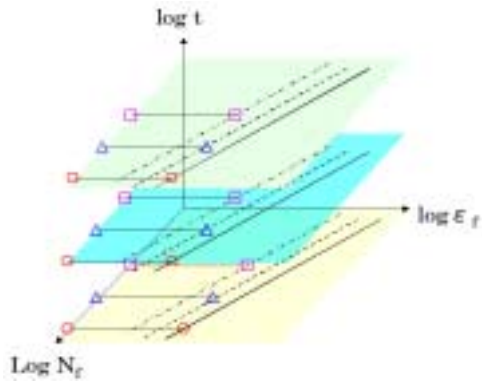


図-7 繰返し曲げ試験結果整理方法の概念図

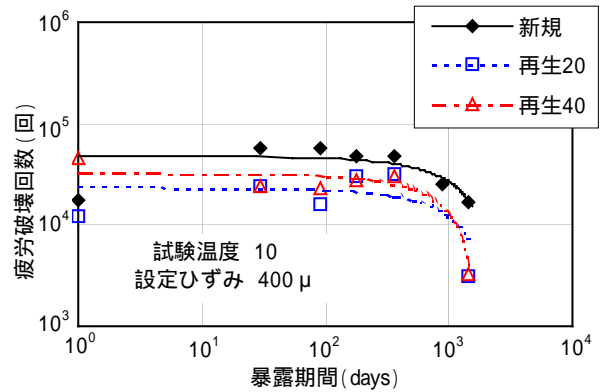


図-9 暴露期間と疲労破壊回数との関係
(再生用添加剤を用いない再生混合物)

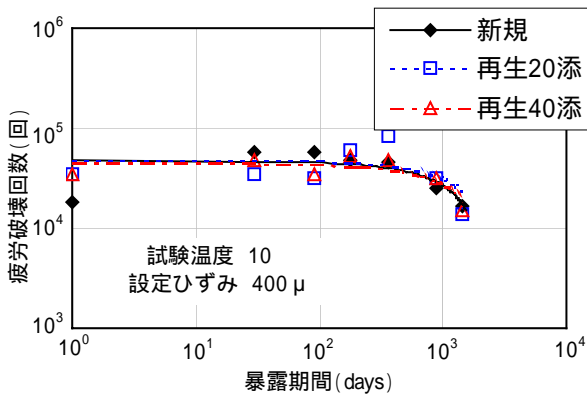


図-8 暴露期間と疲労破壊回数との関係
(再生用添加剤を用いた再生混合物)

図-9 に、再生用添加剤を用いない再生混合物の試験温度 10 ，設定ひずみ 400×10^{-6} の暴露期間と疲労破壊回数との関係を示す。

新規混合物と同様に、暴露 360 日（1 年）を経過した頃から破壊回数は低下し始める。また、再生混合物の方が新規混合物よりも著しく減少する傾向にある。再生 20 と再生 40 の暴露 48 ヶ月における供試体を見ると、すでに大きなクラックを生じているものもあり、繰返し曲げ試験に耐え得る供試体は少なかった。すなわち、暴露 48 ヶ月の試験結果はあるものの、かろうじて繰返し曲げ試験を行うことができた供試体の結果であり、実際にはもっと破壊回数は小さいものと考えられる。このような状況を考慮すると、暴露 48 ヶ月ではほぼ供用不可能であるといえる。

(3) 骨材飛散抵抗性

図 10 に、再生用添加剤を用いた再生混合物の暴露期間とカンタブロ損失率の関係を示す。どの混合物も暴露 1 年を経過した頃からカンタブロ損失率が増加し始める傾向にある。また、再生混合物のカンタブロ損失率が、新規混合物よりも小さく、混入率の大きい再生 40 添のほうが、カンタブロ損失率が小さいということがわかる。したがって、再生用添加剤を添加することで、再生混合物は新規混合物よりも骨材飛散抵抗性が優れているといえる。すなわち再生用添加剤の添加量が多いほど骨材飛散抵抗性が優れると言える。また、暴露 4 年までの混合物も JH の規格値である 20% 以下をすべて満たしており、再生用添加剤を用いた再生混合物は、暴露 4 年まで新規混合物よりも優れた骨材飛散抵抗性を有することが明らかになった。

図-11 に再生用添加剤を用いない再生混合物の暴露期間とカンタブロ損失率の関係を示す。ただし、再生 60 に関しては、試験を行った回数が少なく、暴露期間との明確な傾向がつかめないため割愛した。図-10 と同様に、どの混合物も暴露 1 年を経過した頃からカンタブロ損失率が増加し始め、再生混合物の増加割合は非常に大きい。試験を行った供試体については、JH の規格値である 20% 以下をすべて満たしているが、前述したような暴露 48 ヶ月における供試体の状況を考慮す

ると、再生 20、再生 40 については、暴露期間 4 年において 20%を上回ると予想される。

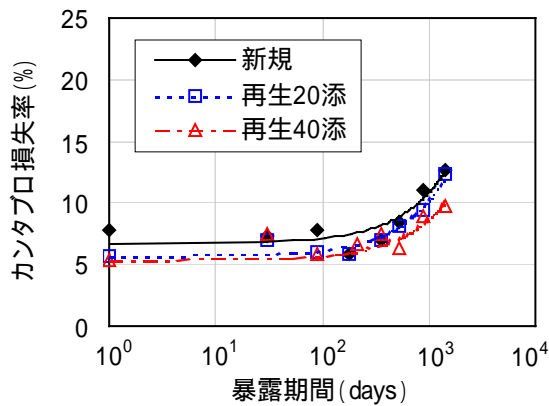


図-10 暴露期間とカンタプロ損失率の関係 (再生用添加剤を用いた再生混合物)

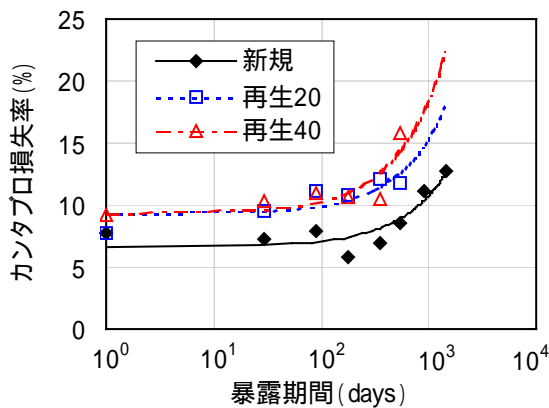


図-11 暴露期間とカンタプロ損失率の関係 (再生用添加剤を用いない再生混合物)

6. まとめ

本研究では、再生混合物のバインダ性状・混合物性状について、暴露期間の経過による傾向、再生用添加剤の有無による傾向を、長期の暴露期間と各パラメータから評価した。本研究で得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

再生混合物中のバインダ性状は、再生用添加剤を用いることで、新規混合物と暴露 48 ヶ月まで同等である。

再生用添加剤を用いたバインダは、厚さに対

する性状のバラつきが小さい。

再生混合物は適する再生用添加剤を添加することで、曲げ特性が新規混合物と同等である。

再生混合物は適する再生用添加剤を添加することで疲労特性は向上し、新規混合物のそれとほぼ同等である。

再生混合物は適する再生用添加剤を添加することで、骨材飛散抵抗性が新規混合物よりも優れる。

以上より、再生混合物は長期供用性に問題があるのではないかと懸念されていたが、再生用添加剤を添加することで、長期供用性の面から見ても新規混合物と同等に扱うことができることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 名古屋和史：ライフサイクルを考慮したアスファルト混合物のリサイクルに関する研究，長岡技術科学大学修士論文，1999.2
- 2) 北村浩靖：持続可能なリサイクルシステムの構築に関する研究，長岡技術科学大学修士論文，2000.2
- 3) 平方和幸：舗装用再生混合物の評価方法の開発に関する研究，長岡技術科学大学修士論文，2001.2
- 4) (社)日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，1992.12
- 5) 山田優：再生アスファルト混合物の性質と供用性に関する一研究，土木学会論文集第348号/V-1，pp.51-60，1984.8
- 6) 野村健一郎，鍛冶邦弘：再生添加剤の選定およびその添加・混合方法 道路建設 pp57-65，1989.10
- 7) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧
- 8) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧(別冊)