

再生アスファルト混合物の
新たな評価法に関する基礎研究
共同研究報告書

令和 8 年 1 月

国立研究開発法人土木研究所

道路技術研究グループ 舗装チーム

先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ

出光興産株式会社

Copyright© (2026) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

再生アスファルト混合物の 新たな評価法に関する基礎研究 共同研究報告書

要旨

わが国のアスファルト混合物のリサイクル率は 100% 近い状況にあり、今後も高いリサイクル率の維持が望まれている一方で、近年では繰り返し再生等による再生混合物の性能低下が懸念されている。しかし、このような再生アスファルト混合物の性能の変化を的確に評価できる試験方法が無いのが現状である。

そこで、再生アスファルト混合物に対する新たな評価法を提案することを目的に、海外で利用実績のある評価方法やこれまで再生混合物に課していない試験方法を検討し、再生用添加剤の種類を変えた再生混合物の疲労寿命評価の可能性について確認を行った。その結果、間接引張応力及び初期ひずみと疲労寿命の関係で整理すると、混合物の性能に差異がみられる結果が得られた。またこの結果と添加剤と旧アスファルトの混合性、圧裂仕事量との相関性が確認されており、新たな評価指標として可能性があると考えられる。

キーワード：再生骨材、スラッシュ試験、圧裂仕事量、間接引張疲労試験

共同研究期間（報告書とりまとめ等の期間を除く）

令和2年11月から令和6年3月まで

共同研究参加者名簿

機関	氏名	所属・役職	担当期間
国立研究開発法人 土木研究所	藪 雅行 ^{※1}	道路技術研究グループ（舗装） 上席研究員	R2.11-R6.4
	渡邊 一弘	道路技術研究グループ（舗装） 上席研究員	R6.5-R7.7
	川上 篤史	道路技術研究グループ（舗装） 主任研究員	R2.11-R5.3 R7.4-R7.7
	綾部 孝之	道路技術研究グループ（舗装） 主任研究員	R5.4-R6.3
	横澤 直人	道路技術研究グループ（舗装） 研究員	R6.4-R7.7
	新田 弘之 ^{※2}	材料資源研究グループ 上席研究員	R2.11-R5.3
	百武 壮 ^{※3}	材料資源研究グループ 上席研究員（特命事項担当）	R5.4-R7.7
出光興産株式会社	川島 陽子 ^{※4}	材料資源研究グループ 主任研究員	R2.11-R6.3
	瀬尾 彰 ^{※5}	先進マテリアルパニー 機能舗装材事業部 アスファルト技術課長	R2.11-R4.3
	小松 泰幸	先進マテリアルパニー 機能舗装材事業部 アスファルト技術課長	R4.4-R7.7
	佐野 昌洋	先進マテリアルパニー 機能舗装材事業部 アスファルト技術課	R2.11-R7.7
	呉 悦樵	先進マテリアルパニー 機能舗装材事業部 アスファルト技術課	R2.11-R7.7
	安藤 秀行 ^{※6}	先進マテリアルパニー 機能舗装材事業部 アスファルト技術課	R2.11-R6.3 R6.4-R7.7
	澤山 拓	先進マテリアルパニー 機能舗装材事業部 アスファルト技術課	R6.4-R7.7

※1 現 国立研究開発法人土木研究所 理事

※2 現 国立研究開発法人土木研究所 材料資源研究グループ グループ長

※3 現 国立研究開発法人土木研究所 材料資源研究グループ 上席研究員（先端材料・高度化担当）

※4 現 国立研究開発法人土木研究所 企画部研究企画課 副参事

※5 現 京都大学 経営管理大学院 インフラ物性産学協同講座 特定教授

※6 現 国立研究開発法人土木研究所 材料資源研究グループ 交流研究員（令和6年4月以降）

共同研究参加者の主な役割分担

機関	氏名	主な役割
国立研究開発法人 土木研究所	藪 雅行	研究課題の企画及び試験結果の分析に関する総括
	渡邊 一弘	報告書の作成に関する総括
	川上 篤史	研究課題の企画及び試験結果の分析
	綾部 孝之	研究課題の企画及び試験結果の分析
	横澤 直人	報告書の作成
	新田 弘之	研究課題の企画及び試験結果の分析並びに報告書の作成に関する総括
	百武 壮	研究課題の試験結果の分析及び報告書の作成に関する総括
出光興産株式会社	川島 陽子	研究課題の企画及び試験結果の分析
	瀬尾 彰	研究課題の企画及び試験の実施に関する総括
	小松 泰幸	試験結果の分析及び報告書作成に関する総括
	佐野 昌洋	室内試験の実施及び分析 報告書の作成
	呉 悦樵	試験結果の分析
	安藤 秀行	試験結果の分析 報告書の作成
	澤山 拓	報告書の作成

内容

1. はじめに.....	1
2. 研究目的.....	3
3. 研究方法.....	4
3. 1. 研究の概要.....	4
3. 2. 使用材料.....	4
3. 2. 1. 新アスファルト.....	4
3. 2. 2. 再生用添加剤.....	4
3. 2. 3. 新骨材.....	5
3. 2. 4. 再生骨材.....	5
3. 3. 試験方法.....	6
3. 3. 1. 旧アスファルトと再生用添加剤の混合性評価：スラッジ試験.....	6
3. 3. 2. 再生混合物の圧裂試験による圧裂仕事量.....	8
3. 3. 3. 再生混合物の間接引張疲労試験.....	9
4. 試験結果：アスファルト試験.....	12
4. 1. 再生用添加剤添加量の決定.....	12
4. 2. 再生アスファルトの性状.....	12
4. 3. 旧アスファルトと再生用添加剤の混合状態評価（スラッジ試験）結果.....	13
4. 4. アスファルト試験 まとめ.....	14
5. 試験結果：混合物試験.....	15
5. 1. 圧裂試験.....	15
5. 1. 1. 圧裂試験の結果.....	15
5. 1. 2. 圧裂試験結果の考察.....	15
5. 2. 繰り返し間接引張疲労試験.....	16
5. 2. 1. 試験結果.....	16
5. 2. 2. 考察.....	18
6. 本研究で実施した試験結果の相関について.....	21
7. 総括.....	23
8. おわりに.....	25
付録 再生混合物の配合設計.....	27

1. はじめに

国内の舗装再生を取り巻く環境

道路の適切な維持管理は、円滑な人々の移動及び物流を確保する上で重要な役割を担っており、舗装打ち換えなどの修繕が必要に応じて実施できる体制が必要である。舗装用アスファルト混合物は敷設後の供用に伴い、有機材料であるアスファルトが紫外線や水、酸素によって酸化劣化し、硬く脆くなり、ひび割れ、ポットホール等の損傷発生に繋がる。損傷した舗装の打ち換えにより発生する舗装廃材の一部は再生骨材として再利用される。再生骨材を材料の一部に用いた合材は再生合材と呼ばれ、新合材と同様、加熱製法で製造され、化学反応のような特殊なリサイクル処理を必要としない。また再生骨材は地産地消が原則のため、材料輸送にかかるエネルギーも小さいことから、再生合材製造におけるCO₂排出量は、通常の合材製造と同等以下と報告されている。再生骨材のリサイクル率は、2000年以降、100%近くとなっており、加えて国内の合材製造量に占める再生合材の割合は、2005年頃から70%を超え、近年では75%程度を推移しており、国内の舗装再生の仕組みはSDGsの観点からも優れた持続可能なシステムであると考えられる。

近年では、一度再生された合材を二度、三度再生する繰り返し再生利用するケースが増加しており、更には、再生合材に占める再生骨材配合率（以下、R率）の国内平均は、2015年頃から50%を超えてきている。一方で、再生骨材に付着した劣化アスファルト（以下、旧アスファルト）の針入度は低針入度化が進行しており、低針入度化に対応した利用方法の検討が行われている。

再生合材の性能や評価法に関する技術検証

繰り返し再生回数やR率等が再生合材の性能に及ぼす影響については、様々な機関による検討が報告されており、近年では、高温カンタブロ試験などによる再生混合物の評価方法が提案されている⁽¹⁾が、再生アスファルト混合物の性能の変化を的確に評価できる試験方法が無いのが現状である。今後も高いリサイクル率を維持し、再生合材の適切な運用を行うためには、性能低下要因の特定に向けて、さらなる評価方法の検討が必要となる。

今後の再生合材の適切な運用には、再生合材の性能評価の新たな視点として、耐流動性、マーシャル試験のような圧縮荷重による混合物の塑性変形以外に、耐水性や荷重試験における疲労抵抗性など、これまで再生合材に課していない評価や、すでに先行して海外で利用実績のある評価方法を用いて、異なる仕様で再生された合材の性能差異を確認し、必要な合材性能を確保できる材料、製法を正しく見出すことがますます重要となると考えられる。

例えば、国内で一般的な混合物試験であるマーシャル安定度試験において、新規混合物と再生混合物に明確な差が見られることはほとんどなく、ホイールトラッキング試験においては再生混合物が良好な結果を示すケースが多く見られている。舗装の損傷は、交通荷重による繰り返し荷重で混合物にひずみが蓄積し、ひび割れやポットホールなどにつながると考えられているが、再生混合物では、前述のホイールトラッキング試験では良好な結果が得られるケースがあり、このような損傷に対する性能評価が正しくできていない可能性がある。

また、疲労抵抗性の評価には、繰り返し载荷疲労試験による舗装体の疲労寿命評価が注目されている。この疲労ひび割れ損傷に至る過程を模擬した評価方法に、繰り返し曲げ疲労試験（4点曲げ疲労試験）がある。この方法では、縦横 4cm 四方、長さ 40cm 角柱に対して繰り返し载荷を行い、破断するまでの载荷回数を測定することで供試体の寿命を評価する。しかしながら、この方法には供試体中における粗骨材の分布等などの影響により、測定結果のばらつきが大きいという課題がある。

一方で、EN 規格では、EN12697-24 ANNEX-E に規定される円柱供試体を用いた間接引張試験を繰り返し载荷にて行う方法が規定されている。この方法では円柱形のアスファルト混合物への適用を想定していることから、日本国内で一般的に用いられるマーシャル供試体でも実施が可能である。従来の繰り返し曲げ疲労試験よりも、測定結果のばらつきが小さい、または簡便に評価を行える疲労試験法となる可能性があり、また载荷中の供試体の変化も観察可能であることから破壊に至るまでの経過を観察し損傷要因の解析も期待できる。

以上より、本共同研究では再生合材の新たな評価方法についての検討として、UTM (Universal testing machine) 試験機を用いた EN12697-24 ANNEX-E 評価を行い、その有効性の確認を行うこととした。本報告書では、得られた疲労寿命評価結果とその考察について報告するものである。

2. 研究目的

本研究では、再生合材の新たな評価方法となりうる新しい試験方法の検討を目的とする。主に、EN12697-24 ANNEX-E に規定された繰り返し間接引張疲労試験に着目し、その有効性を確認するとともに、既往検討にて性能差が確認できた圧裂試験、および再生用添加剤と旧アスファルトの混合性を評価するスラッジ試験の結果との関係性を確認する。具体的には、供用 10 年以上が経過したと考えられる再生骨材に対して、組成の異なる 3 種類の再生用添加剤を使用し、再生アスファルトの基本物性や混合性を評価した。その後、各再生用添加剤を用いて作製した再生混合物に対して圧裂試験、繰り返し間接引張疲労試験を実施し、結果を考察するものとした。

3. 研究方法

3. 1. 研究の概要

本研究では再生合材の新たな評価方法の検討として、種類の異なる再生用添加剤 3 種を用いて再生した再生アスファルト及び新アスファルトの性状評価と、これらを用いて作製した再生混合物及び新合材の混合物評価について以下の通り試験を実施した。

- ① バインダ試験：針入度、軟化点、伸度、組成、スラッジ試験
- ② 混合物試験：圧裂試験、繰り返し間接引張疲労試験（EN12697-24 ANNEX-E）

3. 2. 使用材料

3. 2. 1. 新アスファルト

市販のストレートアスファルト 60/80（出光興産製）を使用した。表 3-2-1 に新アスファルトの性状を示す。

表 3-2-1 新アスファルト（ストレートアスファルト 60/80）の性状

項目		規格	性状
針入度 (25°C)	1/10mm	60 を超え 80 以下	69
軟化点	°C	44.0～52.0	48.0
伸度 (15°C)	cm	100 以上	100+
トルエン可溶分	%	99.0 以上	99.90
引火点	°C	260 以上	364
薄膜加熱質量変化率	%	0.6 以下	-0.02
薄膜加熱針入度残留率	%	55 以上	62.3
蒸発後の針入度比	%	110 以下	97
密度 (15°C)	g/cm ³	1.000 以上	1.036

3. 2. 2. 再生用添加剤

組成の異なる 3 種類を用いた。再生用添加剤とその性状を表 3-2-2 に示す。ダイアナフレシア NP-250（以下、NP250）とフレッシュゾール MV（以下、MV）はどちらも主成分が飽和分であるが、NP250 は炭素原子が環構造を形成するナフテン成分を多く有し、MV は炭素原子が直鎖状であるパラフィン成分を多く有する点が異なる。リプロバイタル 500（以下、RV500）は、芳香族分が主成分である。

表 3-2-2 再生用添加剤の性状

試験項目	単位	RV500	NP250	MV	
成分	—	芳香族分	飽和分	飽和分	
			ナフテン系	パラフィン系	
密度 (15°C)	g/cm ³	0.973	0.909	0.901	
動粘度 (60°C)	mm ² /s	485	85.3	213	
引火点	°C	320	258	288	
薄膜加熱質量変化率	%	-0.03	-1.20	0.01	
薄膜加熱後の粘度比	-	1.1	1.2	1.0	
組成	飽和分	%	18.9	78.8	72.8
	芳香族分	%	78.3	14.9	26.3
	ビジ分	%	2.7	4.8	0.8
	アスファルテン分	%	0.1	0.8	0.1

3. 2. 3. 新骨材

出光興産（株）が所有する各種骨材を使用した。材質及び産地を表 3-2-3 に示す。

表 3-2-3 新骨材の材質及び産地

使用材料	材質	産地
6号砕石	硬質砂岩	東京都青梅市
7号砕石		
砕砂		
細目砂	洗い砂	千葉県四街道市
石粉	石灰岩（炭酸カルシウム）	東京都西多摩郡奥多摩町

3. 2. 4. 再生骨材

国土技術政策総合研究所が保有する試験走路の舗装打換え工事に伴って発生した再生骨材の提供を（国研）土木研究所が受け、それを出光興産（株）に提供したものをを使用した。試験走路の舗装の供用年数は10年以上と推定される。再生骨材の性状を表 3-2-4 に示す。混合物製造に用いる際には、再生骨材を 13-5 と 5-0 に分級し、それぞれ 50 : 50 での比率で配合して使用した。

表 3-2-4 再生骨材の性状

項目	再生骨材の種類	
	13-5	5-0
回収アスファルトの針入度 (1/10mm)	14	
アスファルト量 (%)	3.25	6.83
最大比重 (g/cm ³)	2.553	2.411
ふるい目サイズ	通過質量百分率 (%)	
13.2 mm	100	100
4.75 mm	35.5	99.9
2.36 mm	24.6	78.5
0.6 mm	17.9	51.5
0.3 mm	6.4	35.2
0.15 mm	-	22.6
0.075 mm	-	16.1

3. 3. 試験方法

本共同研究におけるアスファルト及び混合物の評価は、(公社)日本道路協会『舗装調査・試験法便覧』に準拠して実施した。表 3-3-1 に実施試験の一覧を示す。また本節では、本研究で実施した当該便覧に記載のない試験法や評価基準について述べる。

表 3-3-1 実施試験一覧

試験分類	項目	試験規格
バインダ試験	針入度	JIS K 2207
	軟化点	JIS K 2207
	伸度	JIS K 2207
	組成	JPI-5S-70-2010
	スラッジ試験	文献(2)の方法
混合物試験	圧裂試験	舗装調査・試験法便覧 B006
	繰り返し間接引張疲労試験	EN12697-24 ANNEX-E

3. 3. 1. 旧アスファルトと再生用添加剤の混合性評価：スラッジ試験

旧アスファルトと再生用添加剤の親和性評価を目的としたスラッジ試験は文献(2)の方法に従って行った。この評価は、ISO10307-1に規定されるC重油の混合安定性評価方法である実在ドライスラッジ試験を参照し、

検討したものである。実在ドライスラッジ試験では、重油中でアスファルテンが十分に解膠、分散できていればスラッジは発生せず、解膠・分散が不十分な場合はスラッジが析出するという原理を利用し、組成の異なる重油の混合時におけるスラッジ発生の有無によって、混合安定性の良否を判定する。再生アスファルトにおいても、アスファルトと組成が異なる再生用添加剤が、旧アスファルトのアスファルテンを十分に解膠、分散することで、アスファルトの機能を発揮すると考えられる。以上より、この方法によって再生用添加剤と旧アスファルトの混合性を評価できるものと考えた。

図 3-3-1 に試験器具の模式図を、表 3-3-2 に評価試料の混合条件を示す。

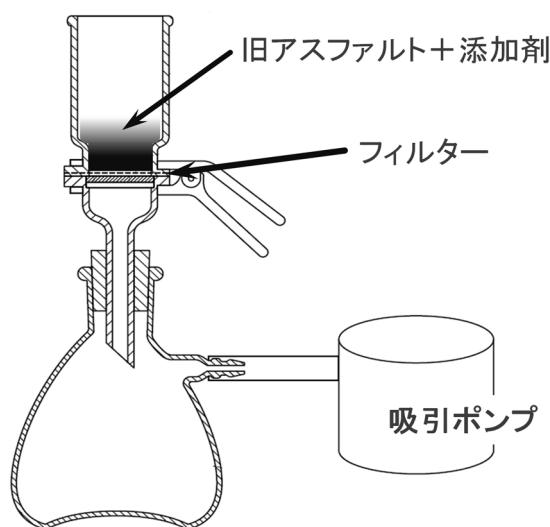


図 3-3-1 スラッジ試験模式図

表 3-3-2 添加剤と旧アスファルトの混合条件

再生用添加剤 (g)	27
旧アスファルト (g)	3
再生用添加剤の温度 (°C)	常温
旧アス温度 (°C)	130°C
混合条件	スパチュラで1分攪拌
混合後養生条件	130°Cで1時間保持

3. 3. 2. 再生混合物の圧裂試験による圧裂仕事量

舗装調査・試験法便覧 B006 に従い圧裂試験を実施した。試験機には、島津製作所製の万能力学試験機オートグラフ AG-8000 を使用した。試験機の外観を図 3-3-2 に、条件詳細を表 3-3-3 に示す。



図 3-3-2 圧裂試験機：オートグラフ AG-8000（島津製作所）

表 3-3-3 試験条件

載荷速度 (mm/min)	50 ± 5
試験温度 (°C)	20 ± 1

本研究では圧裂試験の解析において、一般的な指標である圧裂係数の他に、「圧裂仕事量」についても算出したため、その考え方について以下に記す。

圧裂試験における荷重と変位の関係を図 3-3-3 に示す。圧裂仕事量は、供試体に加えた応力により、供試体内部に発生した引張応力等に供試体が抗しきれず破断するのに要するエネルギーと定義した。その値は赤色の三角形の面積と近似し、圧裂試験における最大荷重 (N) と変位量 (mm) の積を 2 で除して算出する。圧裂仕事量が大きいほど供試体の引っ張り強度及び接着力が高いと考えられるため、異なる再生用添加剤を使用した供試体ごとに圧裂仕事量を算出し、比較した。

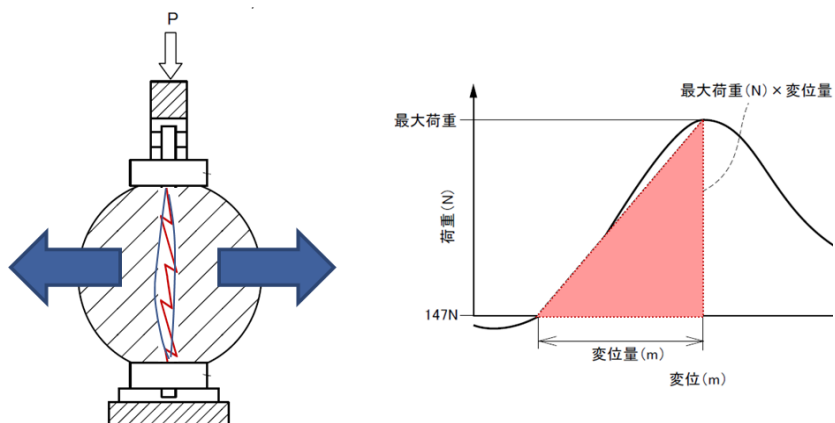


図 3-3-3 圧裂試験の模式図と荷重－変位曲線

3. 3. 3. 再生混合物の間接引張疲労試験

評価は EN12697-24 ANNEX-E に従い、繰り返し载荷による供試体の疲労寿命について測定、比較を行った。試験機には Controls 社の UTM-30 (万能試験機) を使用した (図 3-3-4)。供試体は EN 試験法に規定されたもの (直径 100 ± 0.3 mm の円柱状) ではなく、通常のマーシャル供試体 (直径 101.5 mm×高さ 63.5 mm 円柱状) を用いて行った。試験条件は、表 3-3-4 の通りである。



図 3-3-4 UTM-30 試験機外観

表 3-3-4 荷条件及び試験温度

荷時間 (s)	0.1
休止時間 (s)	0.4
荷波形	ハーバーサイン
試験温度 (°C)	20
間接引張応力 (kPa)	250、350、450 (3水準)

EN12697-24 ANNEX - E の試験状況を図 3-3-5 に示す。表 3-3-4 に示す間接引張応力とは、垂直方向の圧縮荷 P によって供試体に生じる水平方向の引張応力であり、圧縮荷を供試体の断面積で除したものである。本試験では発生する間接引張応力が表 3-3-4 に示した大きさとなるように荷荷重を制御して繰り返し荷荷を行い、供試体が破断するまでの荷回数的大小を疲労寿命として評価する。

この方法では、供試体に繰り返し荷荷をして、供試体が破断に至るまでの荷回数求め、この回数的大小を疲労抵抗性として評価する。試験中の供試体内部においては、荷荷によって骨材を接着するアスファルトにも引張応力が発生し、アスファルトの接着が剥がれる、もしくは破断することで供試体が疲労破壊するものと考えられ、当該試験においてはアスファルトそのものの疲労抵抗性が反映されるものと推測する。

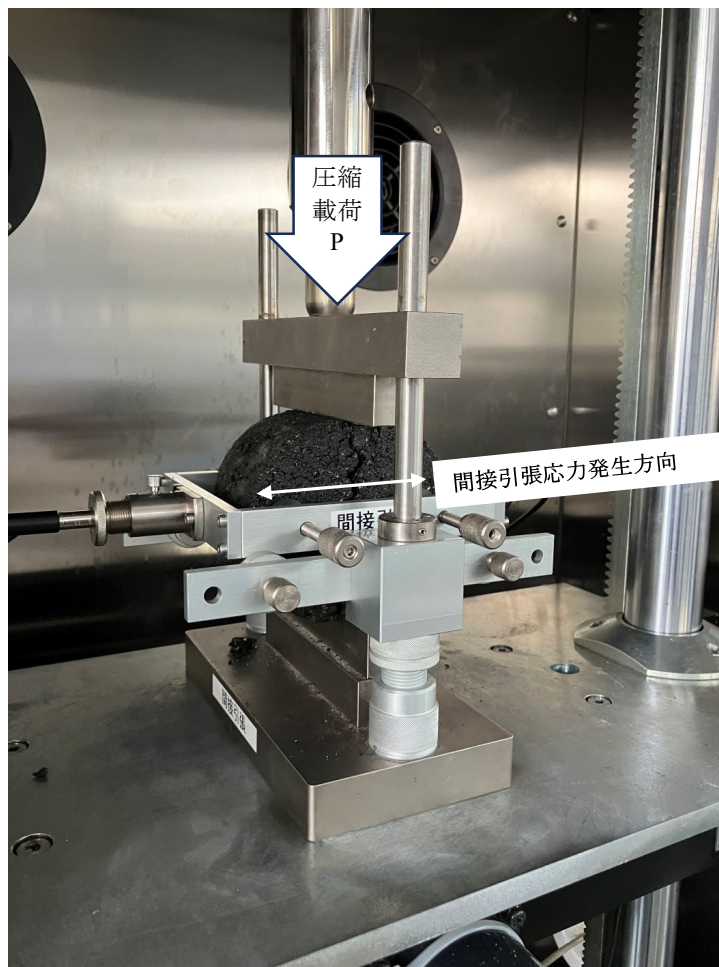


図 3-3-5 間接引張疲労試験の試験状況

また疲労寿命の決定に関して、本検討では EN12697-24 ANNEX-E の Method2 を採用した。まず、繰り返し間接引張試験の結果から、载荷回数を横軸、弾性ひずみを縦軸に取ってグラフを作成すると 図 3-3-6 のようになる。次に 図 3-3-6 から、载荷回数をひずみで割り返した値を縦軸に取って、载荷回数との関係をプロットすると 図 3-3-7 のようになる。図 3-3-7 の縦軸は Energy ratio と定義され、この値が極大を示す载荷回数を疲労寿命とした。

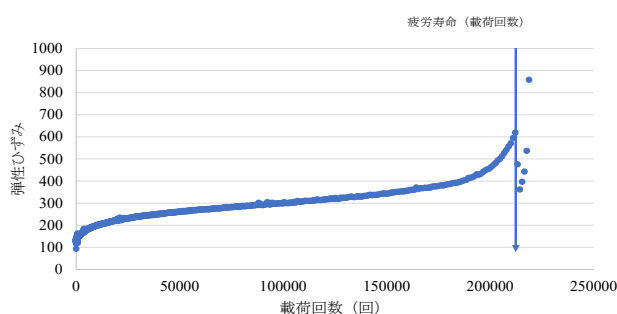


図 3-3-6 弾性ひずみと载荷回数の測定結果の例

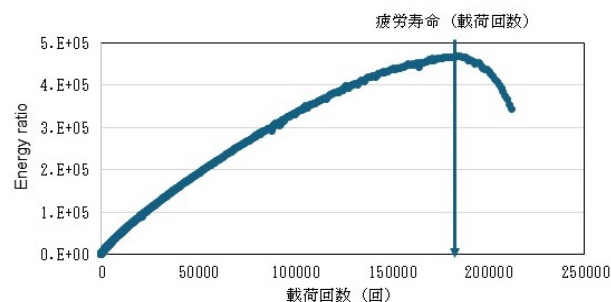


図 3-3-7 疲労寿命測定結果の例

EN12697-24 ANNEX-E における評価では、各条件において最低 5 個以上の供試体を用いて、多数の供試体に対して試験を行った結果に基づいて疲労寿命と初期ひずみの関係を表す近似式 (Fatigue line) を算出し、これを用いて疲労寿命が 10^6 回となる初期ひずみ値及び近似式の相関係数を整理することになっている。ここで初期ひずみとは、载荷回数が 98~102 回における供試体の全ひずみの平均値から、载荷回数が 60~64 回の残留ひずみの平均値を引き算した値と定義される。今回はこの評価を基本とし、以下の 2 つの項目について評価・考察を実施した。

初期ひずみと疲労寿命の関係 (Fatigue line) について

Fatigue line の傾きの大きさは、疲労寿命に対する初期ひずみの変化の大小を示していることから、傾きが小さいものほど、一定の疲労寿命における初期ひずみは大きくなる。この値について材料ごとの差異を確認することとした。

载荷荷重 (間接引張応力) 毎の初期ひずみと破壊回数 (疲労寿命) の関係について

供試体への载荷荷重 (間接引張応力) ごとの疲労寿命及び初期ひずみの値の整理を実施した。基本的に载荷荷重 (間接引張応力) が大きいものほど疲労寿命は短く、初期ひずみは大きくなると考えられ、材料毎の性能差を確認することとした。

4. 試験結果：アスファルト試験

再生混合物の配合設計実施に先立ち、再生骨材から回収した旧アスファルトに対する再生用添加剤の添加量の決定を行った。また再生アスファルトの物性や混合性も評価した。

4. 1. 再生用添加剤添加量の決定

図 4-1-1 に使用した旧アスファルトに対する各再生用添加材の針入度回復曲線図を示す。目標針入度 70 (1/10mm) となる添加量は、RV500 及び MV では 27%、NP250 では 21%となった。

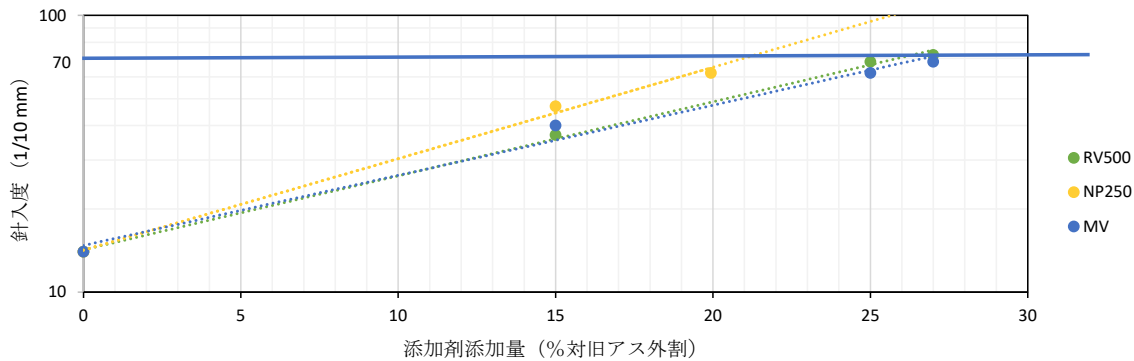


図 4-1-1 針入度回復曲線図

4. 2. 再生アスファルトの性状

前節で決定した添加量によって調製した再生アスファルトの性状を、旧アスファルト及び新アスファルトの性状と共に表 4-2-1 に示す。RV500 を用いた再生アスは、伸度が最も大きく、かつ軟化点が最も低くなり、新アスファルトに近い性状を示した。NP250 及び MV 用いた再生アスファルトは、伸度の回復が RV500 よりも小さく、どちらも『舗装再生便覧（令和 6 年版）』「表-2.4.11 再生アスファルトの品質」で規定される 100cm 以上に満たない結果を示した。また飽和分系でも、ナフテン主成分の NP250 は、パラフィン主成分の MV と比較すると軟化点の上昇が小さく、伸度の回復が大きくなった。




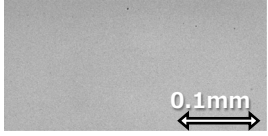
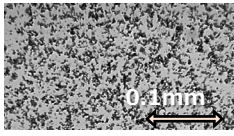

表 4-2-1 再生アスファルトの性状

試料		RV500	NP250	MV	スアス 60/80	旧アス
添加剤添加量 (対旧アス外割 %)		27	21	27	-	-
針入度 (1/10mm)		72	71	68	71	14
軟化点 (°C)		47.5	49.0	51.0	47.5	65.0
伸度 (cm)		145	27	9	145	3
組成	飽和分 (%)	9.0	15.4	18.0	5.7	5.7
	芳香族分 (%)	37.2	29.7	26.1	49.2	28.4
	レジジン分 (%)	33.1	33.3	33.4	17.7	38.4
	アスファルテン分 (%)	20.7	21.6	22.5	27.4	27.5

4. 3. 旧アスファルトと再生用添加剤の混合状態評価（スラッジ試験）結果

3. 2. 1で示したスラッジ試験によって溶解性の良否を確認した。表 4-3-1 に顕微鏡観察状況及びフィルター残留物（以下、スラッジ）の測定結果を示す。

表 4-3-1 顕微鏡観察及びスラッジ評価（溶解性評価）結果

再生用添加剤	RV500	NP250	MV
主成分	芳香族分	ナフテン	パラフィン
スラッジ量 (wt%)	0.1	0.7	3.6
フィルター			
顕微鏡写真			

芳香族分が主成分の RV500 では顕微鏡観察において粒子状物質は観測されず、フィルター堆積物も極めて少ないことから、旧アスファルトとの混合性が高い結果を示した。一方、飽和分が主成分の NP250、MV においては粒子状物質が観測され、フィルター堆積量も大きく、RV500 よりも混合性が低い結果となった。

スラッジ試験におけるスラッジ量は、表 4-2-1 に示す再生アスファルトの伸度と傾向が定性的に一致し、これら試験結果における順列は RV500、NP250、MV となった。川上ら⁽¹⁾によれば、伸度の値は高温カンタプロ試験や圧裂強度比と相関があり、高温カンタプロ試験は試験施工におけるひび割れ量とも相関を示すと報告されている。このことから、伸度試験と相関を示すスラッジ試験は、再生用添加剤の新しい評価手法として有効な可能性があると考えられる。

4. 4. アスファルト試験 まとめ

組成の異なる3種類の再生用添加剤を用いたアスファルトの評価結果を以下に記す。

- 針入度を70に回復させるために必要な再生用添加剤の添加量は、RV500とMVは同量となりNP250よりも添加量が多くなった。
- 再生アスファルトの伸度は、芳香族が主成分のRV500を用いたものが最も大きく、新アスファルトと同等となった。飽和分系が主成分の再生用添加剤であるMVやNP250を使用した場合は伸度の回復が不十分であったが、その中でもナフテンが主成分のNP250の方が、パラフィンが成分のMVと比較して伸度回復が大きかった。
- 旧アスファルトと再生用添加剤の混合性評価（スラッジ試験）では、RV500は旧アスファルトと混合してもスラッジの析出が見られず、スラッジ試験後のフィルターへの堆積量も小さかった。NP250やMVでは旧アスファルトと混合時にスラッジ発生が確認され、フィルター堆積量もRV500より多い結果を示した。これより、旧アスファルトとの混合性は、RV500が最も良好であると考えられる。
- スラッジ試験は、伸度試験と相関を示したことから、再生用添加剤の新しい評価手法として有効な可能性がある。

5. 試験結果：混合物試験

5. 1. 圧裂試験

5. 1. 1. 圧裂試験の結果

表 5-1-1 に圧裂試験結果を示す。試験は再生用添加剤ごとに n=5 で実施した。なおデータ除却については、最大荷重を示した際の変位量である最大点変位の最大と最小の値を除却し、3 個の平均値で判定した。

表 5-1-1 再生混合物の圧裂試験結果

再生用添加剤	最大荷重	最大変位量	圧裂仕事量	圧裂強度	圧裂係数	OAC	かさ密度	空隙率
	(N)	(mm)	(N・mm)	(MPa)	(MPa/mm)	(%)	(g/cm ³)	(%)
RV500	13090	1.860	12174	1.278	0.690	5.2	2.378	4.1
NP250	11724	2.000	11724	1.184	0.597	5.0	2.388	3.9
MV	10103	1.640	8285	0.991	0.607	5.2	2.382	3.7
スアス 60/80 ※新素材	16997	2.332	19819	1.662	0.720	5.5	2.361	4.5

最大荷重及び圧裂強度は、RV500 を用いた混合物が、飽和分系の MV 及び NP250 を用いた混合物よりも高い値を示した。また、これらの値は、MV を用いた混合物では最も小さく、NP250 を用いた混合物では RV500 と MV の中間の値を示した。

最大変位量は、NP250 を用いた混合物が最も大きい値となった。MV を用いた混合物が最も小さく、RV500 を用いた混合物はこれらの中間となった。

供試体の破壊エネルギーに相当すると考えられる圧裂仕事量は、RV500 を用いた混合物が最も大きい値を示した。MV を用いた混合物は圧裂仕事量が最も低く、NP250 が中間となった。

5. 1. 2. 圧裂試験結果の考察

5. 1. 1 の結果の通り、使用する添加剤により再生混合物の最大荷重（圧裂強度）及び圧裂仕事量は異なった。4 章のアスファルトの試験結果を振り返ると、伸度試験及びスラッジ試験（旧アスファルトと再生用添加剤の溶解性評価）においては RV500 が最も良く、次いで NP250、MV という順列を示しており、再生混合物の圧裂強度及び圧裂仕事量は伸度とスラッジ堆積量と同じ傾向を示していることが分かった。このことから、スラッジ堆積量の少ない混合性が良好な再生用添加剤を用いて再生した再生混合物は、引張強度及び接着力が相対的に高く、圧裂強度や圧裂仕事量が良好となったと考えられる。以上より、再生用添加剤の種類によって、再生混合物の性状が変化するものと考えられる。

なお、供試体の密度及び空隙率が圧裂係数や圧裂仕事量に影響を与えることが懸念されるが、同一の再生用添加剤を用いた再生混合物の密度は概ね同等であり、作成時のバラツキによる影響は小さいものと考えられる。

5. 2. 繰り返し間接引張疲労試験

5. 2. 1. 試験結果

(1) 初期ひずみと疲労寿命の関係 (Fatigue line)

図 5-2-1 に、各混合物における繰り返し間接引張疲労試験結果を、表 5-2-1 にそれぞれの近似式における決定係数及び疲労寿命が 10^6 回となる初期ひずみ値を示す。

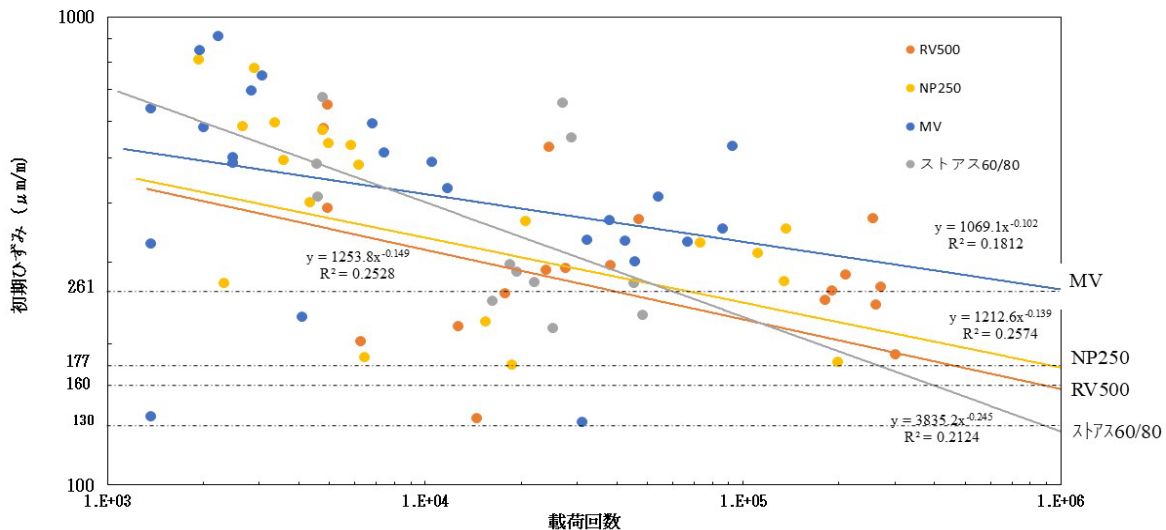


図 5-2-1 疲労寿命と初期ひずみの関係 (Fatigue line)

表 5-2-1 Fatigue line の相関係数と初期ひずみの計算値

項目	RV500	NP250	MV	ストアス 60/80
決定係数	0.2528	0.2574	0.1812	0.2124
载荷回数 10^6 時の初期ひずみ	160.0	177.7	261.2	130.0

試験は、再生混合物については各载荷条件において 5 個以上の供試体を用いて測定を行った。一方、比較用の新素材については、試験機に不具合によりデータ点数が不足した。具体的には、载荷条件 250kPa のみ 5 個以上で、350kPa では 1 個、450kPa では 2 個のデータのみの採取となった。そのため新素材の相関係数及び疲労寿命が 10^6 回となる初期ひずみ値については参考値とする。

図 5-2-1 に示す Fatigue line 及び表 5-2-1 の結果から、いずれの再生用添加剤を使用した場合でも相関係数は概ね 0.2 程度と同等であり、Fatigue line から外挿した载荷回数 10^6 回における初期ひずみの計算値は、MV が大きい結果となり、次いで NP250、RV500 の順に小さい値となった。

図 5-2-1 のグラフにおいて、疲労寿命となる载荷回数の分布をみると、RV500 のデータは NP250 及び MV と比較し载荷回数の多いエリアに分布しており、NP250、MV には存在しない 200,000 回以上の破壊回数となるデータが確認された。

(2) 載荷荷重（間接引張応力）ごとの疲労寿命と初期ひずみについて

ここまで初期ひずみと疲労寿命の関係を考察したが、供試体への載荷荷重（間接引張応力）による整理も実施した。図 5-2-2 に間接引張応力ごとの破壊回数を、図 5-2-3 に間接引張応力ごとの初期ひずみを示す。全ての混合物で、載荷荷重が大きいほど、破壊回数は少なく、初期ひずみは大きくなった。

間接引張応力を変えた疲労寿命の平均値は、RV500 を用いた再生混合物が最も大きく、次いで NP250 を用いた再生混合物、MV を用いた再生混合物が最も低い値を示した。

間接引張応力を 250kPa、350kPa、450kPa と変化させた場合の疲労寿命平均値は以下のようになり、各条件において疲労寿命の順位は変わらず、RV500 が最も寿命が長く、MV が最も寿命が短い結果を示した。

- ・ 250kPa における疲労寿命 RV500 = 約 200000 回, NP250 = 約 110000 回, MV = 約 50000 回
- ・ 350kPa における疲労寿命 RV500 = 約 25000 回, NP250 = 約 12000 回, MV = 約 7000 回
- ・ 450kPa における疲労寿命 RV500 = 約 13000 回, NP250 = 約 3900 回, MV = 約 2200 回

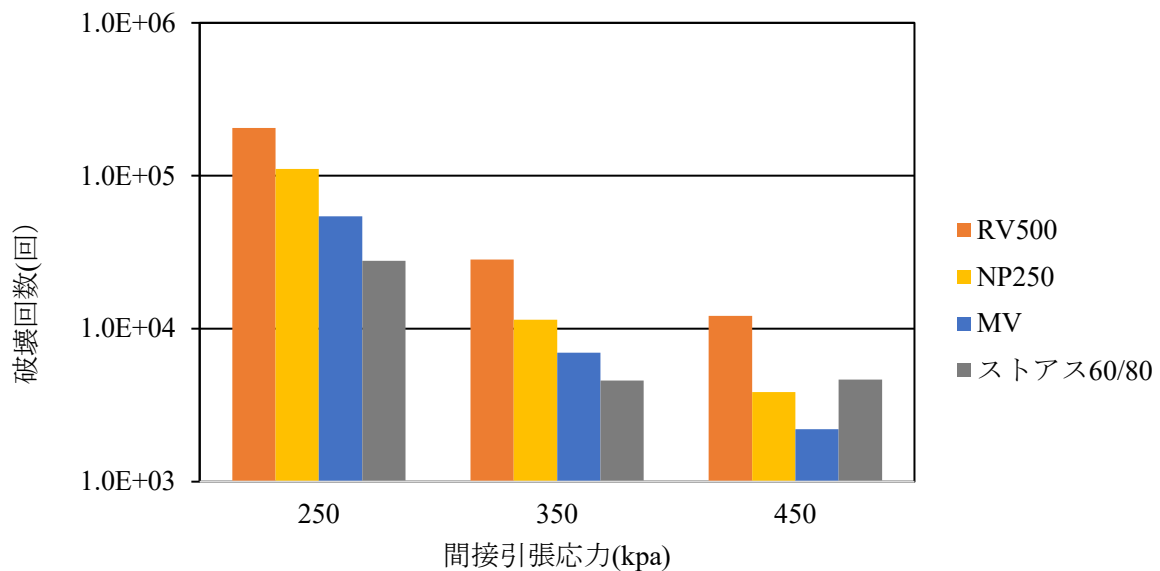


図 5-2-2 間接引張応力ごとの破壊回数の平均値

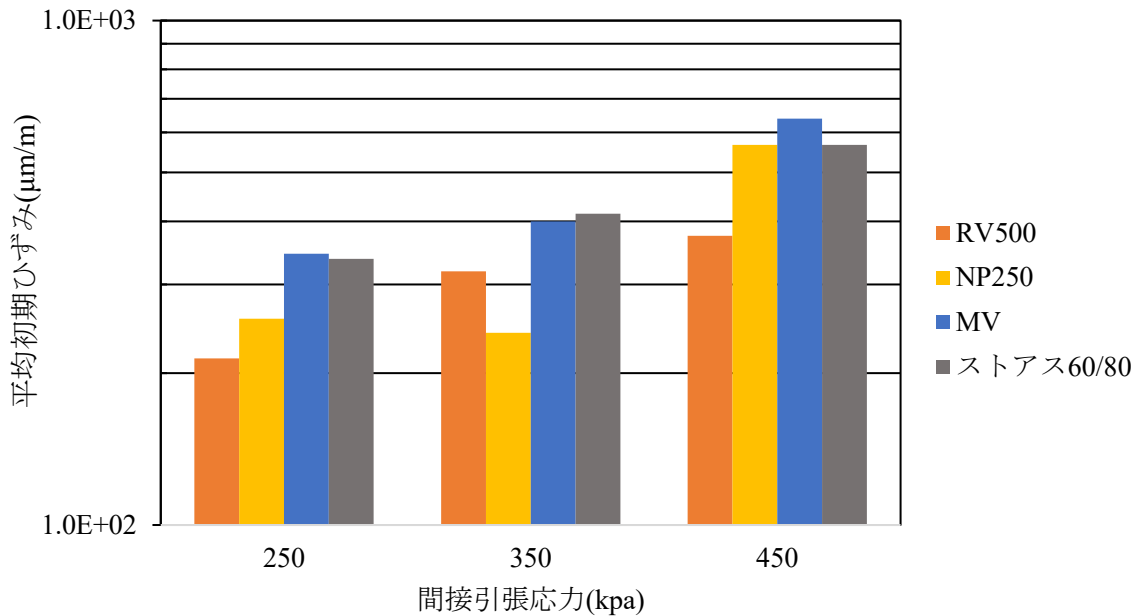


図 5-2-3 間接引張応力ごとの初期ひずみの平均値

5. 2. 2. 考察

(1) 図 5-2-1 に示す Fatigue line の結果について

Fatigue line の傾きの大きさは、疲労寿命に対する初期ひずみの変化の大小を示しており、傾きが小さくなると、Fatigue line を外挿して求める 10^6 回の疲労寿命における初期ひずみは大きく見積もられる。今回の結果において、再生混合物はほぼ同様の傾きとなったが、表 5-2-1 に記載のグラフの外挿により求める、 10^6 回の疲労寿命となる初期ひずみの値は、MV を用いた混合物が最も大きくなった。

しかし、近似式の決定係数 R^2 値はいずれも 0.2 程度と非常に低いことから、初期ひずみの大きさの違いから性能差異を論じることは適当でないと考えられる。今回の評価は温度条件を 20°C 、間接引張応力を前述の 3 点としたが、条件設定の最適化により、相関係数が変化する可能性はあると考えられる。

なお、本試験法では、初期ひずみの上限は $400\mu\text{m/m}$ と定めているが、NP250、MV では載荷荷重の大きい条件（初期ひずみが大きい）にて初期ひずみの値がこれを上回るものが確認された。これについて、試験法に照らし合わせると荷重設定として不適當ではあるが、本研究は再生合材への適用性確認の初期検討であるため、これらのデータも考察の対象とした。

(2) 載荷荷重（間接引張応力）毎の初期ひずみと破壊回数（疲労寿命）の関係について

全ての混合物で、載荷荷重が大きいほど、破壊回数は少なく、初期ひずみは大きくなった。間接引張応力を変えた疲労寿命の平均値は、RV500 を用いた再生混合物が最も大きく、次いで NP250 を用いた再生混合物、MV を用いた再生混合物が最も低い値を示した。

次に初期ひずみに着目すると、間接引張応力 250kPa において全ての再生合材の初期ひずみは $200\sim 350\mu\text{m/m}$ 程度の範囲にあり、 350kPa においては $200\mu\text{m/m}$ から $400\mu\text{m/m}$ 超の範囲となっている。 350kPa における NP250 の初期ひずみの値は、 250kPa の値よりも小さくなっており、異なる傾向を示した。これについては試験数を

増やした確認が必要と考えられる。RV500とMVの比較では、MVを用いた混合物の初期ひずみはRV500を用いた混合物の概ね1.3~1.7倍となった。間接引張応力450kPaでは、RV500を用いた再生合材の初期ひずみは380程度であるのに対し、NP250とMVでは550 $\mu\text{m}/\text{m}$ 以上と、RV500の1.5倍程度の初期ひずみを示した。

これらの結果から、RV500とMVの比較においては前述の圧裂試験における圧裂強度や圧裂仕事量の順列とほぼ一致することがわかった。NP250についても250kPa及び450kPaの間接引張応力では同様の傾向であることが確認できた。RV500を用いた再生混合物において、間接引張応力が大きい領域で初期ひずみが小さくなる要因としては、引張载荷時アスファルトの弾性変形領域が大きく、除荷後の形状回復に優れているためと考えられる。これは4章で述べた旧アスファルトと再生用添加剤の混合性の違いが原因していると考えられており、再生混合物中の再生アスファルトにおいて再生用添加剤と旧アスファルトがマイクロに均一混合できているが故の効果であると考えられる。これにより、载荷毎の永久ひずみの蓄積が小さく（塑性変形が小さく）なることで、繰り返し载荷における混合物の塑性変形を小さくすることとなり、ひび割れ、ポットホール等の形成等に対する耐久性が高くなる可能性があると考えられる。

一方で、250kPaや350kPaでの繰り返し間接引張疲労における初期ひずみには450kPaでの結果ほどの顕著な差が見られないことから、载荷荷重が小さく初期ひずみが小さい領域ではアスファルトの変形が小さく、どの添加剤を用いた再生混合物においても、弾性変形領域内のひずみとなっていたことが推測される。そのためこれらの結果は圧裂試験の結果と必ずしも一致しないと考えられる。

新合材では、概ね再生合材よりも、各载荷荷重における疲労寿命が小さく、初期ひずみが大きい傾向となり、ひび割れ抵抗性が最も低い結果を示した。ただし、新合材については、再生混合物とは異なり、試験のN数が少ない（間接引張応力250kPaでは5個のデータであるが、間接引張応力350kPa条件では1個、同じく450kPaでは2個）ため詳細な議論を行うことはできず、本試験では新合材と再生合材を比較することが難しい、または結果や試験条件の補正が必要な可能性があると考えられる。

(3) まとめ

繰り返し間接引張疲労試験によって得られた再生混合物3種の考察まとめを以下に記す。

- EN試験法に従って整理すると、「破壊回数が 10^6 となる初期ひずみ」は、RV500が最も小さく、次いでNP250、MVの順に大きくなる結果となった。本評価法においては一定の破壊回数となる供試体の初期ひずみが大きいほど破壊に必要なエネルギー量が大きく長寿命であると考えられるが、これは再生アスファルトの伸度や、再生合材の圧裂試験での順列と一致しない。また、EN試験法では、「破壊回数が 10^6 となる初期ひずみ」を確認する旨の記載になっているが、値について規定はない。今回の結果からEN試験法に従った整理では結果に差異は見られるものの適切な評価ができない可能性があると考えられる。
- 疲労寿命を間接引張応力で整理すると、間接引張応力が大きいほど破壊回数が小さくなった。いずれの間接引張応力においても、RV500を用いた再生合材が最も大きく、次にNP250となり、MVが最も小さくなった。

- 初期ひずみを間接引張応力で整理すると、間接引張応力が大きいほど初期ひずみが大きくなった。載荷荷重が 250kPa の条件では RV500 のひずみが最も小さく、次いで NP250、MV の順にひずみが大きくなるが、RV500 と NP250 の差異に比べて、NP250 と MV では差異が大きくなった。350kPa の条件では RV500 の値が NP250 よりも大きい結果となった。しかし NP250 の値は間接引張応力 250kPa におけるひずみよりも小さくなっている。前述の通り、全体的にひずみの値は間接引張応力が大きくなると増加する傾向であり、間接引張応力 350kPa における NP250 の測定結果のみが他の傾向と異なっていることから、測定バラつき影響と推測した。450kPa においては RV500 の初期ひずみが小さく、NP250 では 1.5 倍、MV の初期ひずみは RV500 のおよそ 1.7 倍となった。

6. 本研究で実施した試験結果の相関について

本研究における試験結果一覧を表 6-1-1 に示す。文献(2)より、再生アスファルトの伸度が大きいほど、高温カンタブロ試験の損失量、及び実道におけるひび割れが少ないことが報告されていることから、本研究で用いた再生用添加剤においては、RV500、NP250、MV の順にひび割れ抵抗性が高いものと仮定し、他の試験結果との関係性を考察する。

- 旧アスファルトと再生用添加剤の混合性を評価するスラッジ試験において、値が小さいほど良好とされるスラッジ量は、伸度と同じ傾向を示し、RV500 が最も少なく、MV が最も大きい結果となった。
- 再生合材の圧裂試験では、破壊時の強度である圧裂強度、及び破壊に要するエネルギーに相当すると考えられる圧裂仕事量が、伸度及びスラッジ量と同じ傾向を示した。これは再生アスファルトの伸度や、再生用添加剤と旧アスファルトの混合性に起因する可能性があると考えられる。
- 繰り返し間接引張疲労試験において、EN で規定された評価指標である破壊回数 10^6 となる初期ひずみは、RV500 が最も小さく、次いで NP250、MV の順に大きい結果となり、伸度やスラッジ試験、圧裂試験とは異なる傾向を示した。また本指標の算出に使用する近似式の相関係数がいずれも 0.2 程度であった。以上より、今回適用した試験条件において、EN 法の整理では再生合材のひび割れ抵抗性を適切に評価できていない可能性が示唆された。
- 繰り返し間接引張疲労試験結果を載荷荷重ごとに整理すると、破壊回数は、250kPa、350kPa、450kPa いずれの条件においても RV500 が最も大きく、次いで NP250 となり、MV が最も小さい結果となった。なおこの結果は、添加剤と旧アスファルトの混合性に対応するスラッジ量、および再生混合物の圧裂仕事量との相関を示すことが確認された

以上より、伸度と同様の傾向を示したスラッジ試験によるスラッジ量、圧裂試験における圧裂強度及び圧裂仕事量、繰り返し間接引張疲労試験における載荷荷重ごとの破壊回数は、再生混合物または再生用添加剤の新たな評価法となりうる可能性があると考えられる。

一方、繰り返し間接引張疲労試験における EN 法での評価指標 (Fatigue line) は、再生混合物の新たな評価法として適用するには、載荷圧力や温度といった試験条件の最適化などの追加検討が必要な可能性があることがわかった。

表 6-1-1 試験結果一覧

試験種類	項目	単位	RV500	NP250	MV
バインダ試験	軟化点	℃	47.5	49.0	51.0
	伸度	cm	145	27	9
	スラッジ量	wt%	0.1	0.7	3.6
圧裂試験	圧裂強度	MPa	1.3	1.2	1.0
	圧裂仕事量	N・mm	12174	11724	8285
繰返し 間接引張 疲労試験	10 ⁶ 初期ひずみ	μm/m	160.0	177.7	261.2
	破壊寿命 (250kPa)	10 ³ 回	200	110	50
	初期ひずみ (250kPa)	μm/m	214	256	345
	破壊寿命 (350kPa)	10 ³ 回	25	12	7
	初期ひずみ (350kPa)	μm/m	318	240	399
	破壊寿命 (450kPa)	10 ³ 回	13	3.9	2.2
	初期ひずみ (450kPa)	μm/m	374	566	639

7. 総括

本共同研究の結論を以下に記す。

- 再生混合物の新たな性能評価指標として、EN12697-24 ANNEX - E を用いた疲労試験の検討、その他物性と比較した結果以下のことが分かった。
 - 今回の検討においては、EN12697-24 ANNEX - E法に従った結果整理では、初期ひずみと疲労寿命との決定係数 R^2 が低く、再生混合物の新たな性能評価指標とするには課題があることが分かった。試験温度、載荷荷重条件の再設定などの検討により相関係数が良好になる条件を見出す必要があると考えられる。
 - 繰り返し間接引張疲労試験の結果について、間接引張応力及び初期ひずみと疲労寿命の関係で整理すると、混合物の性能に差異がみられる結果が得られた。またこの結果は、添加剤と旧アスファルトの混合性に対応するスラッジ量、および再生混合物の圧裂仕事量との相関を示すことが確認されたことから、新たな評価指標として可能性があると考えられる。
- 評価結果から、再生用添加剤の組成の違いにより、再生混合物の以下の3点の性能差異が確認できた。
 - 旧アスファルトと再生用添加剤の混合状態が異なることが、光学顕微鏡による観察によって示された。更に、フィルター濾過によるスラッジ試験により定量化でき、芳香族分主体の添加剤は、飽和分が主成分の添加剤よりも旧アスファルトとの混合性が高いことが確認された。
 - 圧裂試験において、最大荷重及び圧裂仕事量が再生用添加剤の組成により違いがあることが確認され、芳香族分が主成分の添加剤を用いた再生混合物は、飽和分系の添加剤を用いた場合よりもこれらの値が大きいことが示された。
 - 繰り返し疲労試験における破壊に至るまでの載荷回数が添加剤組成により異なり、間接引張強度が大きい条件ではよりこの差が顕著になることが示唆された。

旧アスファルトとの混合性が高い再生用添加剤を使用した再生混合物は、混合性が低い添加剤を用いた場合と比較して、圧裂仕事量や圧裂試験の最大荷重、また繰り返し間接引張疲労試験での同じ載荷荷重における破壊回数が大きい結果を示した。このことから、再生用添加剤を選定する際には、本研究で実施したスラッジ試験などにより、旧アスファルトとの混合性を確認し、混合性が高い材料を選定する事が重要である可能性が示唆された。

旧アスファルトと再生用添加剤の混合性が、再生混合物の性状に影響した要因については、以下のよう

に考察する。
疲労寿命の長い混合物中の再生アスファルトは、劣化により変化した旧アスファルト成分が均一混合することで、硬くなりながらも靱性が付与され、間接引張強度が高く破壊しにくい性質を有したため疲労寿命が長くなったと推測される。一方で硬化した旧アスファルトがあっても均一に分散させられない再生アスファルトでは靱性が不足し、脆いアスファルトとなったため、早期に破断したと考えられ、こ

れが性能差異の要因になったと考えられる。これより、添加剤を用いた再生混合物においては、添加剤により旧アスファルトを均一に分散させることが重要であると考えられる。

8. おわりに

本研究で実施した繰り返し間接引張疲労試験のサンプル数は、EN12697 - 24 ANNEX - Eにおいて合計 15 個から 18 個が推奨されており、1つの載荷荷重において 5 個から 6 個実施することが望ましいと読み取れる。本研究では試験機不具合などの事情により、一部の配合において N 数を満足することができなかつたため、今後追加データを採取し、考察を深める必要があると考えられる。

また繰り返し間接引張疲労試験は応力制御であり、弾性率の異なる合材を比較する場合には、結果の取り扱いに注意する必要がある。今回比較検討した再生混合物は、弾性率が異なっていると考えられ、これを考慮して評価する必要があると考えられる。

本研究では、再生アスファルトの伸度を基準とした各試験法及び指標の適用性に関する考察に留まり、実道における再生合材性能との直接的な相関の確認には至っていない。今後は、試験施工などにより、圧裂仕事量や、繰り返し間接引張疲労試験の破壊回数、設定条件などについて、実道との相関の確認、相関する場合は好ましい水準などを検討する必要がある。

参考文献

- (1) 川上篤史, 新田弘之, 藪雅行, 掛札さくら, 川島陽子: 繰り返し再生したアスファルト混合物への再生用添加剤と再生骨材配合率の影響, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.76, No.2, pp. 251 – pp. 259, 2020.
- (2) 佐野昌洋, 瀬尾彰: 再生混合物の性能向上に関する一検討, 平成 29 年度土木学会全国大会 第 72 回年次学術講演会 前刷り, V-103 (2017)

バックデータ

圧裂試験詳細データ

調査名・試験目的		【土研共同研究 混合物試験】									バインダー密度		A 1.030		供試体設計厚					6.35 cm				
調査条件等		R60再生混合物及び新素材									混合温度		160℃		試験年月日					2021年12月16日				
バインダー種別											締固め温度		140℃		試験場所					出光興産㈱				
混合物種別		密粒度混合物(13)及び再生密粒度混合物(13)									突固め回数		両面 75 回		試験者					佐野				
供試体情報	As量 (%)	高さ(厚) (cm)					直径 (cm)			空中重量 (g)	水中重量 (g)	表乾重量 (g)	容積 ⑥-⑤ (ml)	かさ密度 ④/⑦ (g/ml)	理論最大密度 (g/ml)	バインダー容積率 $\frac{(1) \times (8)}{A}$ (%)	空隙率 $(1 - \frac{(8)}{(9)}) \times 100$ (%)	骨材空隙率 ⑩+⑪ (%)	飽和度 ⑩/⑫ ×100 (%)	最大荷重 (N)	圧裂強度 (N/mm ²)	圧裂係数 (MPa/mm)	最大点変位 (mm)	
		h1	h2	h3	h4	平均	d1	d2	平均															
再生密粒度(13)規格値																	3~6		70~85					
RV500 O.A.C 5.2%	5.2	No. 1	440	456	462	421	6.445	10.15	10.15	10.15	1225.5	712.1	1227.0	514.9	2.380	2.478	12.0	4.0	16.0	75.0	12980	1.264	0.64	1.960
		No. 2	443	491	438	440	6.453	10.15	10.15	10.15	1227.0	712.0	1228.7	516.7	2.375		12.0	4.2	16.2	74.1	12560	1.221	0.75	1.630
		No. 3	449	462	472	446	6.457	10.15	10.15	10.15	1226.5	710.6	1228.1	517.5	2.370		12.0	4.4	16.4	73.2	12750	1.239	0.65	1.920
		No. 4	419	355	401	404	6.395	10.15	10.15	10.15	1225.4	712.5	1226.4	513.9	2.385		12.0	3.8	15.8	75.9	13600	1.335	0.74	1.810
		No. 5	412	395	462	441	6.428	10.15	10.15	10.15	1226.6	711.9	1227.7	515.8	2.378		12.0	4.0	16.0	75.0	12920	1.261	0.68	1.850
		No. 6	429	408	487	462	6.447	10.15	10.15	10.15	1224.7	710.9	1225.8	514.9	2.379		12.0	4.0	16.0	75.0	13060	1.271	0.66	1.920
		6.438					10.15			1226.0	711.7	1227.3	515.6	2.378		12.0	4.1	16.1	74.7	12978	1.265	0.69	1.848	
MV O.A.C 5.2%	5.2	No. 1	398	373	358	382	6.378	10.15	10.15	10.15	1223.6	712.9	1224.8	511.9	2.390	2.475	12.1	3.4	15.5	78.1	10010	0.985	0.66	1.500
		No. 2	422	402	385	418	6.407	10.15	10.15	10.15	1224.1	711.5	1225.5	514.0	2.382		12.0	3.8	15.8	75.9	10090	0.988	0.63	1.580
		No. 3	438	431	350	402	6.405	10.15	10.15	10.15	1224.1	710.4	1225.3	514.9	2.377		12.0	4.0	16.0	75.0	9870	0.967	0.58	1.670
		No. 4	371	349	411	424	6.389	10.15	10.15	10.15	1223.7	712.8	1225.0	512.2	2.389		12.1	3.5	15.6	77.6	9750	0.958	0.57	1.670
		No. 5	391	374	354	425	6.386	10.15	10.15	10.15	1224.0	712.7	1225.2	512.5	2.388		12.1	3.5	15.6	77.6	10350	1.017	0.61	1.670
		No. 6	355	415	378	369	6.379	10.15	10.15	10.15	1224.3	711.2	1225.4	514.2	2.381		12.0	3.8	15.8	75.9	10110	0.995	0.56	1.790
		6.391					10.15			1224.0	711.9	1225.2	513.3	2.385		12.1	3.7	15.7	76.7	10030	0.985	0.60	1.647	
NP250 O.A.C 5.0%	5.0		223	241	183	191	0.210	10.15	10.15	10.15	1194.4	693.4	1194.7	501.3	2.383	2.483	11.6	4.0	15.6	74.4	11812.5	1.194	0.67	1.791
			268	244	173	229	0.229	10.15	10.15	10.15	1196.7	694.6	1197.1	502.5	2.381		11.6	4.1	15.7	73.9	12071.9	1.216	0.68	1.791
			242	164	153	231	0.198	10.15	10.15	10.15	1197.3	697.0	1197.6	500.6	2.392		11.6	3.7	15.3	75.8	11581.3	1.173	0.57	2.042
			191	186	249	214	0.210	10.15	10.15	10.15	1193.3	692.2	1193.6	501.4	2.380		11.6	4.1	15.7	73.9	11834.4	1.196	0.54	2.209
			244	178	191	238	0.213	10.15	10.15	10.15	1197.5	696.9	1197.9	501.0	2.390		11.6	3.7	15.3	75.8	11518.8	1.163	0.54	2.167
		0.212					10.15			1195.8	694.8	1196.2	501.4	2.385		11.6	3.9	15.5	74.8	11763.8	1.188	0.60	2.000	
密粒度(13) St.As.60/80	5.5	1	388	424	415	433	6.415	10.15	10.15	10.15	1218.2	702.8	1218.6	515.8	2.362	2.481	12.5	4.8	17.3	72.3	17442.5	1.706	0.71	2.418
		2	444	409	436	440	6.432	10.15	10.15	10.15	1218.9	702.5	1219.3	516.8	2.359		12.5	4.9	17.4	71.8	17058.4	1.664	0.82	2.022
		3	416	398	374	375	6.391	10.15	10.15	10.15	1218.0	703.2	1218.3	515.1	2.365		12.5	4.7	17.2	72.7	16415.9	1.612	0.71	2.271
		4	454	433	446	406	6.435	10.15	10.15	10.15	1218.6	702.0	1218.9	516.9	2.358		12.5	5.0	17.5	71.4	16789.0	1.637	0.64	2.552
		5	418	418	385	393	6.404	10.15	10.15	10.15	1217.8	702.6	1218.2	515.6	2.362		12.5	4.8	17.3	72.3	17279.5	1.693	0.71	2.396
		6.415					10.15			1218.3	702.6	1218.7	516.0	2.361		12.5	4.8	17.3	72.1	16997	1.662	0.72	2.332	

付録 再生混合物の配合設計

前節で得られた再生用添加剤の添加量に従い、再生混合物の配合設計を実施した。

骨材配合

3.2に記載した新骨材及び再生骨材と、新アスファルト、再生用添加剤を用いた。最大粒径 13mm の再生密粒度アスファルト混合物 (13) の中央粒度に調整し、再生骨材配合率は 60% とした。付表 1 に混合物の骨材配合率及び合成粒度曲線を示す。

付表 1 骨材配合率と合成粒度分布

骨材の粒径加積曲線図(合成粒度)									
工 事 名	共同研究再生合材					試 験 年 月 日	令和2年6月		
混 合 物 の 種 類	再生密粒(13)R60					試 験 場 所	出光興産(株)アスファルト技術課		
						設 計 者	佐野		
常温骨材の合成粒度									
常温骨材 配合割合	6号碎石	7号碎石	粗目砂	細目砂	石 粉	13-0	5-0	合 成 粒 度	粒 度 範 囲
53 (mm)									～
37.5									～
31.5									～
26.5									～
19.0	100.0							100.0	～
13.2	97.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	～
9.5									～
4.75	7.3	90.9	100.0	98.4	100.0	35.5	99.9	0.0	～
2.36	1.1	9.1	85.6	95.0	100.0	24.6	78.5	0.0	～
0.6		1.3	29.1	85.4	100.0	17.9	51.5	0.0	～
0.3			13.2	61.5	99.8	6.4	35.2	0.0	～
(%)	0.15		3.2	12.1	96.3		22.6	0.0	～
	0.075		1.1	1.2	81.9		16.1	0.0	～

合成粒度曲線図

最適アスファルト量 (OAC) の決定

OACの決定方法は舗装施工便覧に従い、アスファルト量4.5%～6.5%の範囲において0.5%刻みでマーシャル供試体を作製し、マーシャル特性値を測定した。混合物作製の温度条件を付表2に示す。作製にあたっては、フリージアマクロス社製の縦型ミキサー（容量30kg）を使用した。各アスファルト量で作成した供試体の密度、空隙率、骨材間隙率（VMA）、飽和度、安定度、フロー値を付表3に示す。OACは、RV500及びMVでは52%、NP250では5.0%となった。

付表2 混合物作製条件

条件	新骨材	再生骨材	備考
養生温度・時間	160°C・5時間	130°C・3時間	舗装再生便覧準拠
混合温度・時間	155°C・ドライ2分、ウェット2分		
締固め温度	140°C		

付表3 各種添加剤を用いた配合設計データ

再生用添加剤:RV500(芳香族系)							
アス量を0.5%刻みに変化させて測定したマーシャル供試体の性状							
添加剤添加量27%(針入度72)			共通範囲4.85-5.5(%) OAC5.2%				
As量(%)	かさ密度(%)	空隙率(%)	骨材間隙率(VMA)(%)	飽和度(%)	安定度(KN)	フロー値(1/100mm)	
4.5	2.365	5.6	15.9	64.9	13.6	33.7	
5.0	2.384	4.1	14.5	71.9	14.3	34.7	
5.5	2.394	3.0	13.5	78.0	14.2	37.9	
6.0	2.403	1.9	12.4	84.5	12.5	42.8	
6.5	2.395	1.5	12.0	87.5	11.1	46.0	

空隙率 (%)

飽和度

再生用添加剤:NP250(飽和分系)							
アス量を0.5%刻みに変化させて測定したマーシャル供試体の性状							
添加剤添加量21%(針入度62)			共通範囲4.75-5.25(%) OAC5.0%				
As量(%)	かさ密度(%)	空隙率(%)	骨材間隙率(VMA)(%)	飽和度(%)	安定度(KN)	フロー値(1/100mm)	
4.5	2.371	5.3	15.7	66.4	12.6	29.1	
5.0	2.39	3.8	14.2	73.5	14.0	35.3	
5.5	2.407	2.4	12.9	81.6	13.7	39.0	
6.0	2.401	1.9	12.4	84.5	11.8	43.2	
6.5	2.391	1.6	12.1	86.7	10.7	50.8	

空隙率 (%)

飽和度

再生用添加剤:MV(飽和分系)							
アス量を0.5%刻みに変化させて測定したマーシャル供試体の性状							
添加剤添加量27%(針入度68)			共通範囲4.9-5.4(%) OAC5.2%				
As量(%)	かさ密度(%)	空隙率(%)	骨材間隙率(VMA)(%)	飽和度(%)	安定度(KN)	フロー値(1/100mm)	
4.5	2.36	5.6	15.9	64.8	12.5	33.9	
5.0	2.376	4.2	14.6	71.0	14.1	34.3	
5.5	2.396	2.7	13.2	79.3	13.4	38.0	
6.0	2.392	2.2	12.7	82.6	11.7	42.7	
6.5	2.384	1.9	12.3	84.8	10.3	42.8	

空隙率 (%)

飽和度