

アスファルト混合物の繰り返し再生に適した再生用添加剤に関する検討

田湯文将・新田弘之・川上篤史・川島陽子

1. はじめに

アスファルト舗装に用いられている、アスファルト、粗骨材（粒径 $\geq 2.36\text{mm}$ ）、細骨材（ $2.36\text{mm} > \text{粒径} \geq 0.075\text{mm}$ ）、フィラー（粒径 $< 0.075\text{mm}$ ）からなるアスファルト混合物（以下「混合物」という。）は、99.5%が再資源化されており、その内の約77%が再生アスファルト混合物（以下「再生混合物」という。）として再利用されている¹⁾。このような再生利用技術は、1980年代には広く使われるようになり²⁾、近年は使用される混合物の8割近くを再生混合物が占めるまでになっている³⁾。これからも、この再生利用が進められていくことから、今後は混合物を何度も繰り返し再生することが想定されるが、繰り返し再生されて著しく劣化したアスファルトを含む混合物を使用した再生混合物の品質は十分に分かっていない。そのため、繰り返し再生による再生混合物への影響を明らかにし、これを踏まえた再生技術を開発することが求められている。

土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループおよび道路技術研究グループ舗装チームでは、これまでに繰り返し再生したアスファルトの性状について調査をしてきた。その結果、再生時に用いる再生用添加剤（以下「添加剤」という。）の成分組成によって、再生アスファルトとその混合物の性状が異なる傾向にあることを明らかにしてきた⁴⁾。このことからアスファルトの繰り返し再生に適した添加剤の成分組成について検討する必要があると考えられた。

そこで本報では、成分の異なる添加剤を用いて、アスファルトの繰り返し再生試験を行い、諸性状を評価することにより、繰り返し再生に適した添加剤を明らかにしたので、その結果を示す。

2. 再生混合物の一般的な製造方法

再生混合物の製造方法にあたっては、まずアス

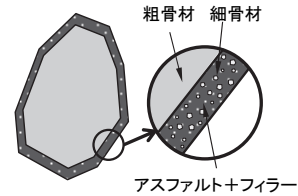


図-1 アスファルト再生骨材の断面のイメージ



図-2 再生アスファルト混合物の原材料

ファルトコンクリート塊を破碎してアスファルト再生骨材（以下「再生骨材」という。）を製造する。この再生骨材は図-1 に示すとおり、粗骨材の周りにアスファルト・細骨材・フィラーが混合したアスファルトモルタルが付着している。このうち、アスファルトは長期供用により劣化して硬化しており、再生にあたっては軟化させる必要があるため、添加剤が広く使用されている。再生混合物は、図-2 に示すとおり他の原材料も加えて、アスファルトプラントにおいて加熱混合して製造される。

3. 試験方法

3.1 概要

本検討では、成分組成の異なる添加剤を用いて再生アスファルト及び再生混合物を作製し、性状試験を実施した。試料の調製方法は下記の2通りとした。

- ・試料作製法①：室内で促進劣化と再生を5回繰り返し、再生アスファルトを作製し、アスファルトの性状試験に供する。
- ・試料作製法②：3回の繰り返し再生に相当する劣化アスファルトを再生した上で、これを

表-1 ストレートアスファルト60/80(ORG)の性状

密度(g/cm ³)	1.039
針入度(1/10mm)	70
軟化点(℃)	46.5
伸び15℃(cm)	100+

表-2 再生用添加剤の密度と四成分組成

	添加剤A	添加剤B	添加剤C	添加剤D	添加剤E
密度(g/cm ³)	0.975	1.013	0.909	0.948	0.863
組成 (%)	アスファルテン分	0.1	0.2	0.0	0.6
	レジン分	6.1	3.7	2.5	2.1
	芳香族分	88.1	91.1	47.7	47.4
	飽和分	5.7	4.9	49.9	49.8

用いた再生混合物を作製し、ひび割れ抵抗性の評価に供する。

3.2 使用材料

本検討に用いたアスファルトは、国内の道路舗装で多く使用されているストレートアスファルト60/80（以下「ORG」という。）とした。表-1 に新規のORGの性状、表-2 に添加剤の密度と四成分組成を示す。ここで、アスファルトや添加剤は化学的性質としてアスファルテン、レジン分、芳香族分、飽和分（飽和炭化水素）の四成分に分けることができる。本検討では、四成分組成の中で、特に芳香族分と飽和分の比率に着目し、成分の組成比が異なる添加剤Aから添加剤Eまでの5種類を用いた。添加剤Aおよび添加剤Bは芳香族分の割合が約90%となっており、芳香族分を多く含む添加剤となっている。添加剤Cおよび添加剤Dは飽和分と芳香族分の割合が約50%を占めるものとなっている。添加剤Eは実工事で使用されるものではないが、飽和分の影響を見るために使用した。

3.3 アスファルトの劣化と再生方法

3.3.1 促進劣化方法

本検討におけるアスファルトの促進劣化は、舗装調査・試験法便覧⁵⁾A046およびA059に示される薄膜加熱試験（以下「TFOT」という。）および加圧劣化試験（以下「PAV」という。）によって行った。TFOTは混合物の製造および施工時の劣化を想定したもの、PAVは長期供用後の劣化を想定したものである。

3.3.2 アスファルトの繰り返し再生方法

図-3左にアスファルトを劣化させ再生する試験手順を示す。ORGを繰り返し劣化させ再生する試験（以下「繰り返し再生試験」という。）を実施し、再生アスファルトを作製した（試料作製法①）。繰り返し再生試験に関して以後、n回繰り返し再生

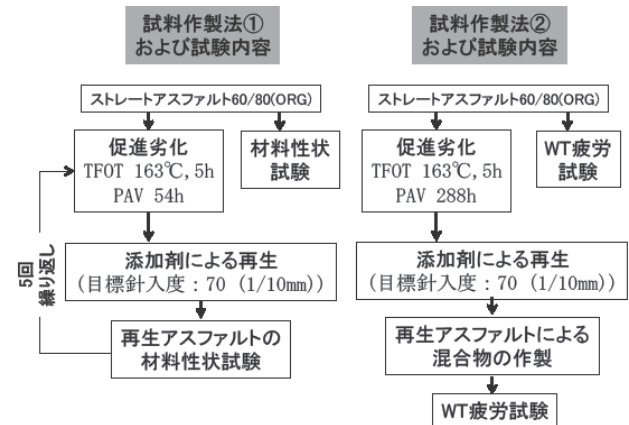


図-3 アスファルトを劣化させ再生する試験手順

表-3 各種性状試験

試験項目	関連・性能等	試験方法
針入度試験	アスファルトの硬さ	舗装調査・試験法便覧 A041 ⁵⁾
軟化点試験	軟化温度	舗装調査・試験法便覧 A042 ⁵⁾
伸び試験	延性、ひび割れ	舗装調査・試験法便覧 A043 ⁵⁾

したものを再生nと表す。促進劣化させたアスファルトを再生する際には、添加剤を用いて針入度が70となるように調整した。なお、本試験は添加剤の影響を強調するために、一般的な再生混合物とは異なり、新規アスファルトは使用せずに添加剤のみで再生して検討を行った。

3.3.3 再生混合物用アスファルトの劣化と再生方法

図-3右に再生混合物用アスファルトを劣化させ再生する試験手順を示す（試料調整法②）。本試験の劣化と再生は1回であるが繰り返し再生試験における再生3の性状に相当することを既往研究⁶⁾により確認している。本方法は、繰り返し再生の作業を省力化するために行ったものであり、試料調整法①と同様に添加剤のみで再生して再生アスファルトを作製した上で、混合物に用いた。

3.4 各種性状試験方法

3.4.1 アスファルトの材料性状試験方法

再生アスファルトに対して表-3に示す各種アスファルト性状試験を実施し、繰り返し再生試験において各再生アスファルトの性状を確認した。

3.4.2 WT疲労試験方法

再生アスファルトを混合物に用いたときの、ひび割れ抵抗性を比較するために、試料調製法②により作製した再生混合物にてホイールトラッキング疲労試験（以下「WT疲労試験」という。）を実施した。表-4にWT疲労試験条件、図-4にWT疲労試験の模式図を示す。WT疲労試験は、厚さ5cmのシリコンゴムの上に供試体を設置して、その上

表-4 WT疲労試験条件

試験温度(℃)	40
走行速度(往復/min)	21
接地圧(MPa)	0.67
下層ゴム板硬度(JIS K6253 準拠)	15
供試体寸法(mm)	300×300×50
測定項目	車輪走行部のひび割れ率(%)
走行回数と測定条件	500回毎測定

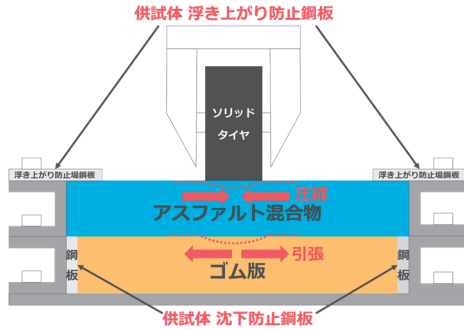


図-4 WT疲労試験模式図

で車輪を走行させて車輪走行による繰り返し荷重を再現したものである。試験方法・条件は既往研究⁷⁾を参考に設定し、500回走行毎にタイヤ走行部のひび割れ率を測定することで、混合物のひび割れ抵抗性を検討した。ひび割れ率は、試験後の供試体のタイヤ走行部を真上から写真撮影した画像を5mm四方のメッシュで切り、ひび割れが含まれるメッシュ数を全体メッシュ数で除して算出した。なお、混合物の種類は骨材の最大粒径が13mmの密粒度アスファルトとし、同一の試料において3つの供試体からデータを取得して平均した値を試験結果として用いた。

4. 試験結果と考察

4.1 繰り返し再生したアスファルトの軟化点

図-5に各再生アスファルトの軟化点を示す。なお、凡例中のA~Eは使用した添加剤の種類を表す。繰り返し再生試験においては、再生回数が増えるにつれて劣化に伴い軟化点が上昇し、ORGとの差が大きくなる傾向が見られた。特に、飽和分が多い添加剤C、D、Eの軟化点は、芳香族分が多い添加剤A、Bと比較して、劣化3以降に顕著に軟化点が上昇した。一方で、芳香族分が多い添加剤A、Bの軟化点は、再生3までは規格値上限である52℃程度で推移しており、再生5の時点でも軟化点が55~65℃程度と緩やかな上昇となった。したがって、芳香族分が多い添加剤A、Bでは、飽和分が多く含まれる添加剤C、D、Eと比較して軟化点がORGに近い性状まで回復するが、飽和分が多く含まれる添加

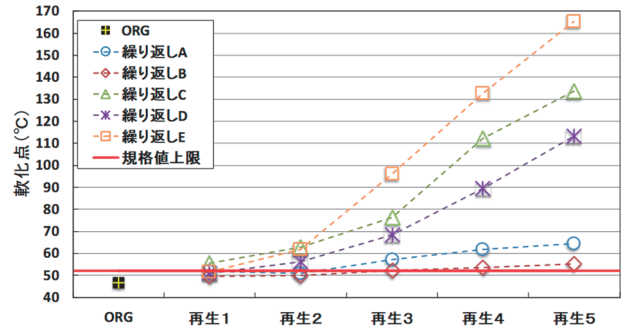


図-5 各再生アスファルトの軟化点

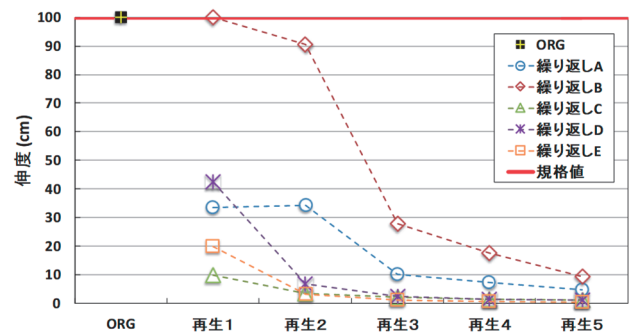


図-6 各再生アスファルトの伸度

剤C、D、Eでは、軟化点の回復効果が小さいと考えられた。

4.2 繰り返し再生したアスファルトの伸度

図-6に各再生アスファルトの伸度を示す。繰り返し再生試験においては、アスファルトの再生回数が増えると、劣化に伴いアスファルトの伸度が低下する傾向が見られた。特に、飽和分の多い添加剤C、D、Eの伸度は、再生2以降ほとんど回復が見られなかった。一方で、芳香族分が多い添加剤A、Bの伸度は最低でも再生2までは、回復する傾向が見られた。しかし、伸度が規格値である100まで回復したのは添加剤Bの再生1のみであった。これは、本試験が通常の再生とは異なり新規アスファルトの添加がない非常に厳しい条件であるためと考えられた。したがって、芳香族分が多い添加剤A、Bは飽和分の多い添加剤C、D、Eと比較して伸度の回復効果が高いことが分かった。アスファルトの伸度は混合物のひび割れやすさと相関があるとされているため、これより、芳香族分が多い添加剤A、Bは、混合物としたときのひび割れ抵抗性も高い可能性が示唆された。

4.3 WT疲労試験結果

写真-1にWT疲労試験後の供試体の表面状態の様子を示す。写真のように本試験では、表面から走行方向にひび割れが発生した。各混合物における

ひび割れ率を図-7に示す。ORGおよび芳香族分が多い添加剤A、Bで再生した混合物は、走行回数の増加で緩やかにひび割れ率が増加した。これに対して飽和分が多い添加剤C、D、Eで再生したものは早期にひび割れ率が増加した。特に添加剤Eでは、ひび割れの進行が早くなった。以上より、芳香族分が多い添加剤A、Bは、飽和分が多い添加剤C、D、Eと比較して、混合物のひび割れ抵抗性が高いことが分かった。

5. まとめ

成分組成の異なる再生用添加剤を使用して繰り返し再生したアスファルトの性状試験結果から、新規アスファルトに近い性状を示すのは芳香族分が多い再生用添加剤であることが分かった。また、ホイールトラッキング疲労試験結果からも、芳香族分が多い再生用添加剤を使用した再生アスファルト混合物ではひび割れ抵抗性が高くなることが分かった。これより、四成分組成における芳香族分が多く含まれる再生用添加剤は、アスファルトの繰り返し再生に適していることが明らかとなった。

実際の製造現場では、飽和分の多い再生用添加剤を選定されることが多いのが現状である。これは、液体で使用しやすい、施工性が良いなどの利点があるためである。芳香族分の多い再生用添加剤は、これらの点で劣る場合があるため、今後改善を図る、あるいは両者の使い分けの検討が必要であると考えられる。また、本検討では、再生用添加剤のみで再生を繰り返したが、実際は新しいアスファルトと再生用添加剤を併用されるため、このような状態での性状の確認も必要である。以上のことを踏まえつつ、今後の成果を舗装再生便覧の改訂に反映させ、持続的な再生技術の発展に貢献していきたいと考えている。

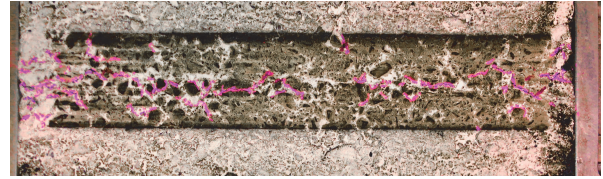


写真-1 混合物の表面状態（ひび割れ率20%）
（図中赤線:ひび割れ部分）

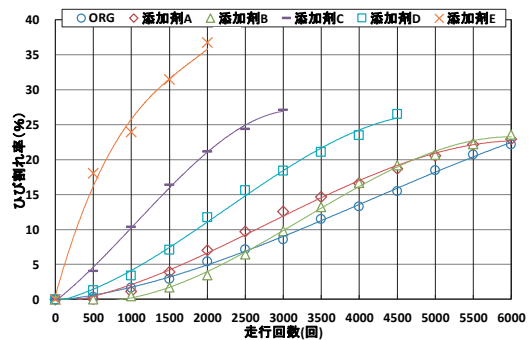


図-7 WT疲労試験結果

参考文献

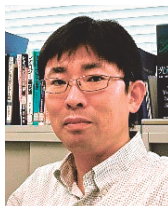
- 1) 国土交通省、平成30年度建設副産物実態調査結果参考資料、p.11、2018
- 2) 河野宏、吉兼秀典：舗装廃材の再生利用の現状について、土木学会論文集、第390号、V-8、pp.23～34、1988
- 3) (一社) 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報、p.3、2018
- 4) 新田弘之、田湯文将、川島陽子、川上篤史：繰り返し再生したアスファルトの性状における再生用添加剤の組成の影響、土木学会論文集E1、第75巻1号、pp.59～67、2019
- 5) (公社) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、2007
- 6) 田湯文将、新田弘之、川島陽子、川上篤史：アスファルトの繰り返し再生に適した再生用添加剤選定における省力化の検討、土木学会論文集E1、第75巻2号、pp.I_209～I_213、2019
- 7) 平戸利明、姫野賢治、村山雅人、高橋将人、高橋修：応力緩和に着目した縦表面ひび割れの発生メカニズムとその要因、土木学会論文集E1（舗装工学）、第72巻3号、pp.I_203～I_210、2016

田湯文将



研究当時 土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ交流研究員、現 大成ロテック(株)技術研究所
TAYU Fumimasa

新田弘之



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員、博士(工学)
Dr. NITTA Hiroyuki

川上篤史



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員、博士(工学)
Dr. KAWAKAMI Atsushi

川島陽子



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 主任研究員、博士(農学)
Dr. KAWASHIMA Yoko