

繰り返し再生を考慮した旧アスファルトの再生方法に関する研究

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 ○岩崎 友哉
長岡技術科学大学 環境社会基盤系 正会員 高橋 修

1. はじめに

現在、我が国では、道路等の維持修繕工事によるアスファルト廃材を回収し、アスファルト混合物に再利用する取り組みが広く普及している。これは旧アスファルトを柔らかくするために再生用添加剤を加えることで再資源化している。近年では、アスファルト混合物の全製造量に占める再生混合物の割合が70%を超えており¹⁾、再生骨材の繰り返し利用が増加している。それに伴い、現在の品質基準を満足しない基準外再生骨材が増加しており、今後においては再生基準に満たさない旧アスファルトの再生方法について検討する必要がある。

旧アスファルトの再生基準には、アスファルトの柔らかさを示す指標である針入度が使用されている。劣化により針入度が低下した旧アスファルトに再生用添加剤を浸透させて軟化し、軟らかさを示す指標である針入度を新規アスファルトと同程度まで回復させる方法が広く普及している。しかし、針入度が著しく低下した旧アスファルトを新規アスファルトと同程度の針入度まで回復させるためには、多量の再生用添加剤が必要になってしまう。我が国で一般的に使用されているナフテン系の再生用添加剤を過度に使用すると、旧アスファルトの柔らかさは改善されても、骨材粒子をつなぐ粘着力は完全に改善されず、再生アスファルト混合物で構築した舗装は供用中にひび割れが発生しやすくなることが知られている²⁾。

既往の研究³⁾によると、針入度を基準にして繰り返して劣化と再生を行った場合、アスファルトバインダの疲労破壊抵抗性は繰り返し回数に伴って低下することが明らかになっている。また、針入度のみに着目した再生方法では、アスファルトの力学的性状を十分に考慮することができず、疲労破壊抵抗の回復には高分子材料(ポリマー等)が効果的であることが示されている。

本研究では、通常の再生用添加剤に高分子材料を加えた添加剤(以下、複合型再生用添加剤)を使用し、

その性状回復効果を評価するとともに、複合型再生用添加剤による繰り返し再生の有効性について検討を行った。

2. FDT によるバインダ評価方法

本研究では、アスファルトバインダの力学的性状をより多面的に評価する方法として Force Ductility test (以下、FDT) を行った。FDT は伸度試験機にロードセルを取り付けたもので、アスファルトを引き延ばす際の荷重と変位の時系列データからアスファルトの変形に対する抵抗性および荷重のピーク後に発生する粘着力について評価することができる。FDTによって図-1に示す荷重と変位の関係が得られ、その評価パラメータ FD, DR について、既往の研究³⁾により、以下の事項が明らかになっている。

・劣化レベルの異なるアスファルトに再生用添加剤を用いて設計針入度 70 を基準に再生を行った場合、再生前の劣化アスファルトの針入度が小さいほど FD が小さく、その再生混合物はひび割れ抵抗性が低い。そのため、FD はひび割れ抵抗性の評価パラメータとして適している。

・FD はアスファルトの劣化程度や再生方法によって大きく変化し、針入度との相関性はほとんどない。そのため、針入度のみに着目した再生方法では、ひび割れ抵抗性を回復させた混合物の再生を行うことができない。

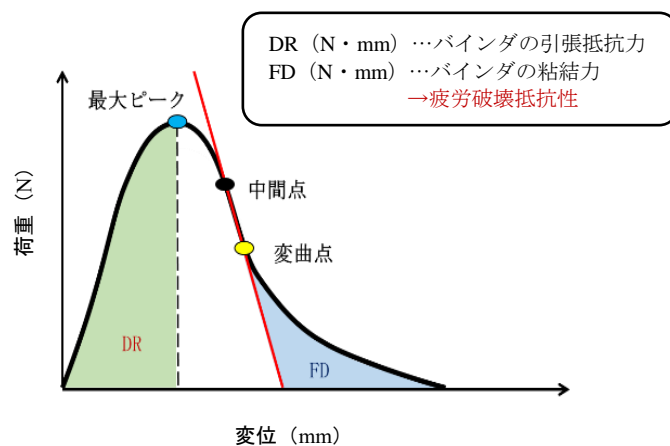


図-1 FDT から得られる変位と荷重の関係

3. 使用材料

本研究では、新規のアスファルト（以下、ORG）としてストレートアスファルト、一般的な基準外再生骨材の旧アスファルトと同程度まで加熱促進劣化させたアスファルト（以下、劣化アスファルト）、および我が国で広く普及しているナフテン系の再生用添加剤を使用した。再生用添加剤に混合する高分子材料については、水素結合によって熱に対する抵抗性を強化したもので、ゴム弾性を高める材料 A、粘度が高くゴム弾性を高める材料 B、粘度の上昇を抑えて流動性を高める材料 C の 3 種類を使用した。

4. 試験結果および考察

(1) 既往研究との比較

ORG および劣化アスファルトに通常再生用添加剤を用いて作製した再生アスファルトと、材料 A を 5% 添加した複合型再生用添加剤を用いて作製した再生アスファルトに対して、舗装調査・試験法便覧の要領^{4)~6)}に従って性状試験を実施した。各種性状試験および FDT の結果を表-1 に示す。通常再生用添加剤を用いて作製した再生アスファルトは FD について十分な回復効果が確認できず、通常再生用添加剤のみを使用した再生方法では FD の回復は困難である。それに対して複合型再生用添加剤を用いて作製した再生アスファルトは、新規アスファルトの値には及ばないが FD の回復に寄与している。

通常再生用添加剤と材料 A を 5% 混合した複合型再生用添加剤の旧アスファルトに対する添加率と添加後の針入度の関係を図-2 に示す。また、複合型再生用添加剤に混合する材料 A の割合を 0, 5, 10% と変化させて、旧アスファルトに対してそれぞれ 5, 10, 15% 添加した際の添加率と針入度の関係を図-3 示す。図-2 より、材料 A を混合した複合型再生用添加剤は通常再生用添加剤と比べ、添加による針入度の回復効果が低下した。また、図-2, 図-3 より、材料 A の混合量が多いほど針入度の回復効果が低いことが確認できる。これは、高分子材料を加えたことにより、基材である再生用添加剤の量が減少し、高分子材料がアスファルトに含まれるマルテン成分を過剰に吸収して再生用添加剤の再生効果を阻害したも

のと考えられる⁷⁾。このことから、高分子材料の過度な添加は針入度の調整に影響を及ぼすと考えられ、繰り返し再生に用いる複合型再生用添加剤においては、高分子材料の添加量について針入度に与える影響が少ない 5% を基準に検討することとした。

表-1 各アスファルトの性状試験及び FDT の結果

	針入度 (1/10mm)	軟化点 (°C)	伸度 (cm)	FD	DR
ORG	73	48.5	100	98.0	37.1
劣化アスファルト	15	69.0	0	—	—
再生用添加剤を用いた再生アスファルト	72	50.5	75	37.4	76.8
複合型再生用添加剤を用いた再生アスファルト	73	51.0	70	87.5	65.2

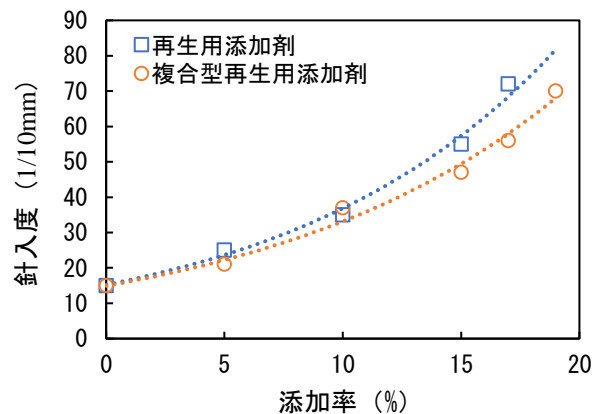


図-2 各再生用添加剤の添加率と針入度の関係

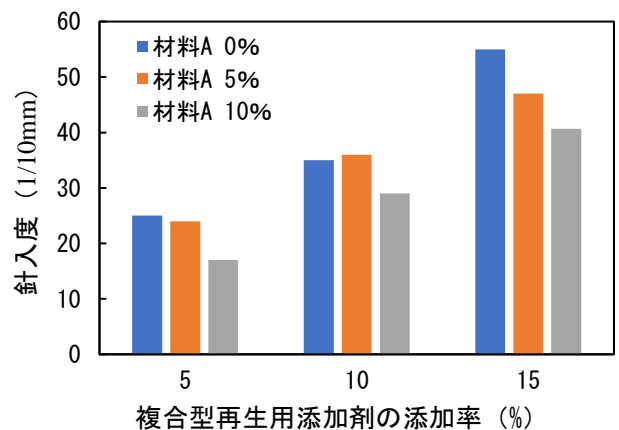


図-3 材料 A の混合割合ごとの添加率と針入度の関係

(2) 高分子材料の種類に関する検討

再生用添加剤に材料 A, B, C をそれぞれ 5%混合した 3 種の複合型再生用添加剤を用いて、それぞれ再生アスファルトを作製して FDT を実施した。各再生アスファルトの FD を図-4 に示す。図-4 より、材料 A を混合した再生アスファルトは、FD が大幅に回復することが確認できる。また、材料 B, C を混合した再生アスファルトについては、通常の再生用添加剤のみを用いた再生アスファルトとほぼ同じ FD であり、高い回復効果が確認できない。これについては、材料 A は材料 B, C と異なり水素結合を有する SEBS に分類されることが原因と考えられる。SEBS は物質と溶媒の相溶性の目安となる SP 値（成分間で値の差が小さいほど相溶しやすい）が飽和分と近く⁸⁾、飽和分を多く含むナフテン系の再生用添加剤との親和性が高いことから、高い再生効果が確認されたものと考えられる。

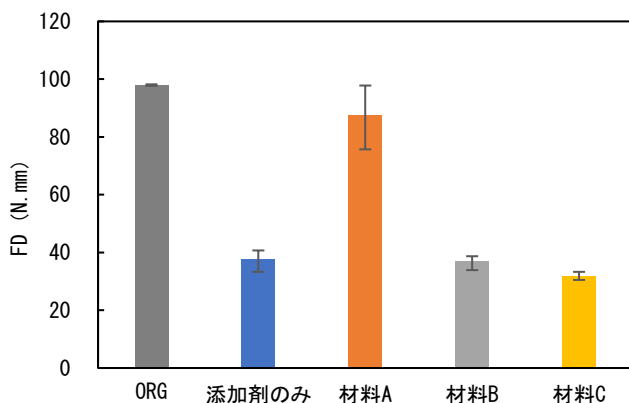


図-4 各複合型再生用添加剤を添加した再生アスファルトのFDの比較

(3) 繰り返し再生を考慮した再生方法の検討

繰り返し劣化・再生を再現するため、旧アスファルトの配合率は全国的な平均値である 50%(以下, R50) を基準として、材料 A を 5%混合した複合型再生用添加剤を用いて、劣化アスファルトの再生を行い、加熱促進劣化により繰り返し劣化・再生を行った。繰り返し劣化・再生したアスファルトの性状結果として、針入度、軟化点、FD, DR をそれぞれ図-5, 図-6, 図-7, 図-8 に示す。

図-5, 図-6 より、R50 における繰り返し劣化・再生では高分子材料の有無による針入度、軟化点への

影響は確認できなかった。

図-7 より、通常の再生用添加剤を用いた再生アスファルトの FD は、1 回目の再生時に大きく低下し、繰り返し劣化・再生に伴って徐々に低下している。複合型添加剤を用いた再生アスファルトの FD は、繰り返し劣化・再生に伴って性状を徐々に低下させたが、FD の低下は通常の再生用添加剤を用いた再生アスファルトと比べるとわずかであり、繰り返し劣化・再生後も通常の再生用添加剤を用いた再生アスファルトの FD を上回っていることが確認できる。

図-8 より、通常の再生用添加剤を用いた再生アスファルトの DR は、2 回目の劣化・再生までは増加しているが、それ以降の繰り返し再生に伴って減少している。これに対して、複合型再生用添加剤を使用した再生アスファルトの DR は、劣化・再生ごとに増加している。本研究で使用した高分子材料に含まれるスチレンは、アスファルトに含まれるアスファルテンを吸着して膨張する⁷⁾。アスファルテンは固く脆い性状を有しており、アスファルトの熱劣化に伴って増加する。高分子材料がこの脆性を有するアスファルテンを結びつけることで、アスファルトの改質に寄与している。図-8 で確認された DR の上昇は、高分子材料が繰り返し劣化することで増加するアスファルテンと過剰に結びつき、高分子材料の脆性が増加したためであると考えられる。

以上のことから、繰り返し再生時に高分子材料を針入度に影響を与えないよう添加した場合、アスファルト自体の組成を回復することは出来ないが、粘結力の回復に寄与できるものと考えられる。

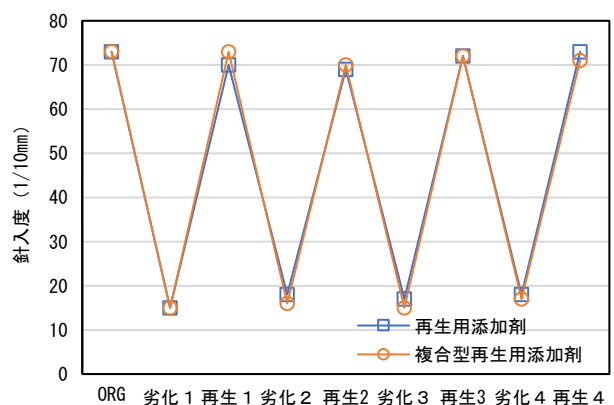


図-5 劣化・再生アスファルトの針入度試験結果

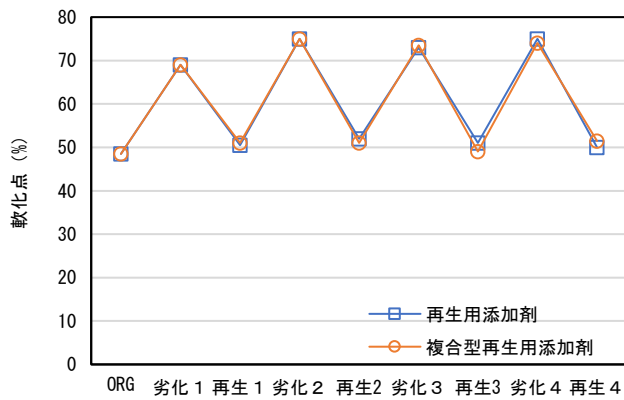


図-6 劣化・再生アスファルトの軟化点試験結果

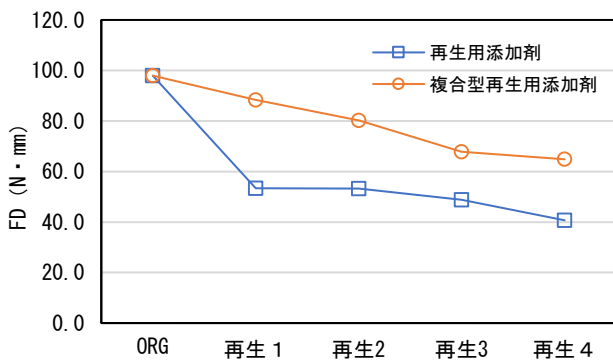


図-7 劣化・再生アスファルトのFD

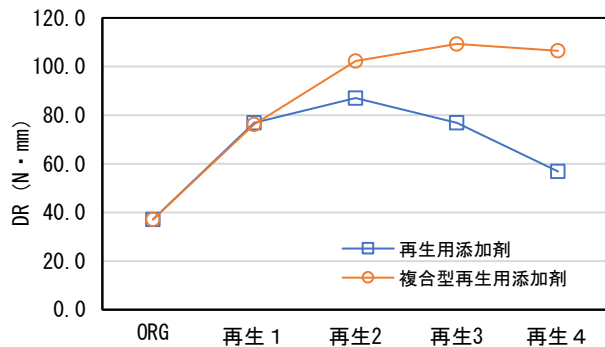


図-8 劣化・再生アスファルトのDR

5. まとめ

本研究では、過度に劣化した基準外再生骨材の旧アスファルトに対して複合型再生用添加剤を使用し、繰り返し再生する方法について検討を行い、各種の力学的性状試験を実施して評価した。本研究によって得られた知見をまとめると以下のとおりである。

(1) 旧アスファルトの再生時に高分子材料を再生用添加剤とともに加熱混合することで、通常の再生用添加剤のみを用いた再生アスファルトを上回る回復

効果が得られる。

(2) 高分子材料を旧アスファルトの再生時に使用する際には、設計針入度を考慮して適切な配合率について検討する必要がある。

(3) ナフテン系の再生用添加剤を用いて再生アスファルトを作製する際、SEBSに分類される高分子材料を添加することで高い再生効果が期待できる。

(4) 全国的な再生アスファルトの旧アスファルト割合である50%において、複合型再生用添加剤を用いて再生アスファルトを作製することで、通常の再生用添加剤を用いた再生アスファルトより高い回復効果が確認できた。

参考文献

- 1) 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材製造数量，2023.
- 2) (一般社団法人) 日本道路建設協会：第7回道路技術シンポジウム道路建設における再生資源の有効利用，p.24，1992.
- 3) 山田智也：繰返し再生を考慮した旧アスファルトの再生方法とその評価方法に関する研究，長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文，2021.
- 4) (社) 日本道路協会：針入度試験方法，舗装調査・試験法便覧 [第2分冊]，pp.145-155，2019.
- 5) (社) 日本道路協会：軟化点試験方法（環球法），舗装調査・試験法便覧 [第2分冊]，pp.156-163，2019.
- 6) (社) 日本道路協会：伸度試験方法，舗装調査・試験法便覧 [第2分冊]，pp.164-172，2019.
- 7) Shingo Kamiya, Shigeru Tasaka, Xiaomin Zhang, Dewen Dong, Norihiro Inagaki, Compatibilizer Role of Styrene-butadiene-styrene Triblock Copolymer in Asphalt, Polymer Journal, Vol.33, No.3, pp.209-213, 2001.
- 8) 永田涼希：基準外再生骨材に対する各種再生用添加剤の再生効果に関する研究，長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文，2023.