

再生骨材の繰返し使用における劣化・再生のプロセスが再生アスファルト混合物の物性に及ぼす影響

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学分野 ○佐藤 真
長岡技術科学大学大学院 社会環境・生物機能工学分野 小林 靖明
長岡技術科学大学 環境社会基盤系 高橋 修

1. はじめに

我が国における全アスファルト混合物の出荷量に対する再生アスファルト混合物（以下、再生混合物）の出荷割合は7割を超えており、2022年度の実績値は74%に達している¹⁾。さらに、再生混合物における再生骨材の配合率（以下、R率）も全国的に増加傾向にあり、関東地方では平均60%、北陸地方では40%に達している。そのため、再生混合物に使用される再生骨材のうち、複数回にわたって再利用されるものが増加していることとなる。

しかしながら、再生骨材の繰返し利用は、再生のプロセス毎に旧アスファルトが徐々に蓄積し、それらの劣化が更に進行することになるため、再生混合物の品質低下が懸念されている。これは、再生のプロセスで旧アスファルトに再生用添加剤を使用して再生しても、新規アスファルトと同等の性能に復元できているという保証がないためである。すなわち、再生混合物の再生アスファルトは、バインダーとして新規アスファルトと同等な性能を有しているか否か不明であるということである。

本研究では、劣化・再生のプロセスが再生混合物の再生アスファルトに与える影響を把握することを目的に、劣化程度の異なる4種類の再生骨材を使用して再生混合物を製造し、これらに更に劣化作用を施して再生アスファルトのバインダー性状を測定した。そして、このような劣化・再生のプロセスによる再生アスファルトへの影響が、再生混合物の物性にどのように波及するのか評価した。

2. 本研究の検討要領と使用した再生骨材

本研究の検討フローを図-1に示す。劣化程度が異なる再生骨材を使用した再生混合物において、再生アスファルトのバインダー性状を把握するため、まず、供用による劣化年数が10年、15年、20年、30年に相当するように、回収アスファルトの針入度が26, 16, 12, 6となる再生骨材（以下、Pen26, Pen16, Pen12, Pen6）を製造した。そして、これらのR率を60%とした再生密粒度アスファルト混合物（13）を、それぞれ配合設計して作製した。その後、再生アスファルトのバインダー性状、特に力学的性質と混合物の物性について把握した。

バインダー性状の評価では、再生骨材の旧アスファルトを想定した劣化アスファルトに再生用添加剤と新規アスファルトを添加

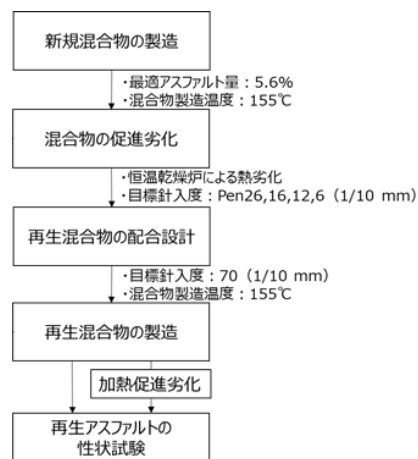


図-1 本研究の検討フロー

して再生アスファルトを作製し、荷重測定型伸度試験（以下、FDT）²⁾およびダイナミックシェアレオメータ試験（以下、DSR）を実施した。また、再生混合物の長期供用後の物性について検討するため、その再生アスファルトを使用して再生混合物の供試体を作製し、さらに加熱促進劣化を施した上で供用性に関する評価試験を実施した。そして、その促進劣化後の供試体からバインダーを回収し、再度FDTとDSRを行って、バインダー性状と再生混合物の物性との相関性について検討した。促進劣化の手続きはAASHTO R30に準拠した。すなわち、材料を混合して135±3℃で4時間加熱し、締固め後に85±3℃で

120 時間加熱するという手続きを実施した。

本研究では、供用劣化年数に応じた再生骨材として Pen26, Pen16, Pen12, Pen6 を作製したが、劣化年数の設定は、①国税庁の耐用年数規定においてアスファルト舗装の法定耐用年数が 10 年とされていること、②再生骨材の品質指標において針入度 20 (1/10 mm) が再利用の可否を判断する基準とされていること、の 2 点に基づいている。このため、初回再生を供用 10 年後 (Pen26)、供用 15 年後 (Pen16)、2 回目再生を 20 年後 (Pen12)、3 回目再生を 30 年後 (Pen6) と想定し、再生混合物の性状を検討することで、再生プロセスの繰り返しの伴う旧アスファルトの劣化進行を評価できると考えた。さらに、利用不能となる劣化レベルを明確化することで、再生利用の限界を示すことについても着目した。

3. 試験の概要

3-1. 再生混合物の配合設計

本研究で作製した再生混合物は、芳香族分の多い再生用添加剤を使用し、設定針入度を 70 (1/10 mm) として調整した。また、新規アスファルトにはストレートアスファルト 60-80 を使用した。本研究では、最大骨材粒径が 13 mm の密粒度アスファルト混合物を検討対象にしており、再生骨材の品質ごとに舗装施工便覧に示される粒度範囲の中央粒度を目標として骨材配合比を決定した。図-2 に、新規混合物と各針入度の再生骨材を使用した再生混合物の粒度曲線を示す。粒度曲線のデータをもとに、新規混合物と各再生混合物に対してマーシャル安定度試験を行い、共通範囲法によって設計アスファルト量を決定した。設計アスファルト量は、新規アスファルトでは 5.6% であり、再生混合物では 5.2% ～ 6.0% の範囲内であった。

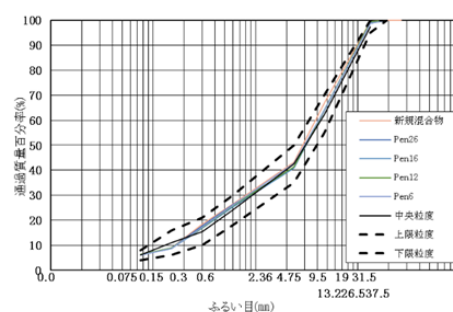


図-2 各種混合物の粒度曲線

に、新規混合物と各再生混合物に対してマーシャル安定度試験を行い、共通範囲法によって設計アスファルト量を決定した。設計アスファルト量は、新規アスファルトでは 5.6% であり、再生混合物では 5.2% ～ 6.0% の範囲内であった。

3-2. FDT とその評価指標

FDT の機器は従来の伸度試験機にロードセルを搭載したもので、図-3 に示すようにバインダーを延伸する際の荷重-変位の関係が得られ、評価値として DR 値と FD 値を求める。DR 値はバインダーの引張抵抗性を示し、圧裂係数と相関があるとされる。また、FD 値はバインダーの粘結性を示し、アスファルト混合物の疲労破壊抵抗性と相関があるとされている²⁾。本研究では、試験は舗装調査・試験法便覧 A043 に規定されている伸度試験の試験法に準拠して実施した。すなわち、試験温度は 15℃、延伸速度は毎分 40 mm とした。

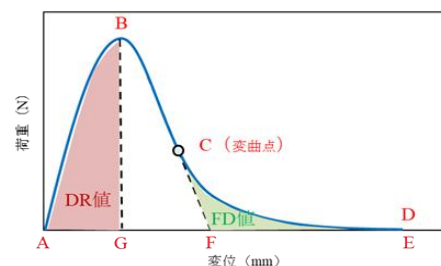


図-3 FDT での評価指標

3-3. 再生混合物の評価試験

再生混合物は、一般に塑性変形抵抗性が新規混合物よりも高いことから、重要視すべき物性はひび割れ抵抗性である。再生混合物のひび割れ抵抗性を評価するために、促進劣化を施した供試体に対して圧裂試験および高温カンタブロ試験を実施した。圧裂試験は舗装調査・試験法便覧 B006 に、高温カンタブロ試験は舗装調査・試験法便覧 B010 の規定に準拠してそれぞれの試験を実施した。高温カンタブロ試験については、試験条件は、供試体温度が 60℃、ロサンゼルス試験機内の温度が 30℃、回転数は毎分 30 回転で 300 回までとした。

4. 試験結果および考察

4-1. FDT の結果

各劣化程度の再生骨材を使用した再生混合物の再生アスファルトについて、促進劣化前後のバインダーの FDT により得られた DR 値と FD 値の結果をそれぞれ図-4、図-5 に示す。図-4 より、熱劣化未実施では各再生アスファルトの DR 値に有意差はなかったが、熱劣化後は再生骨材の旧アスファルト針入度が小さいもののほど DR 値は大きかった。

図-5 より、FD 値は、熱劣化未実施では劣化アスファルトの針入度が低いほど FD 値も小さく、熱劣化後も同様の傾向を示した。これは、図-6 に示すように、再生骨材の劣化が進行するほど飽和分と芳香族分の割合が減少し、バインダーが硬化することで、粘結力が低下したためであると考えられる。

4-2. FD 値と混合物試験結果の相関

FDT から得られた FD 値と圧裂試験から得られた圧裂強度比 (0°C/60°C) の相関関係を図-7 に示す。圧裂強度比は、その値が大きいと塑性変形抵抗性が低く、圧裂強度比が小さいとひび割れ抵抗性が低いとされている。特に、圧裂強度比が 20 程度に低下すると、多くのアスファルト舗装でひび割れが発生することが分かっている³⁾。図-7 より、熱劣化前後に関わらず、再生骨材の品質が低下して FD 値が減少すると、圧裂強度比も低下した。すなわち、再生混合物に使用する再生骨材の品質が低下するほど再生アスファルトの粘結力が低下して FD 値も減少し、再生混合物はひび割れが発生しやすくなることが示唆される。

次に、FD 値と高温カンタブロ試験から得られた損失率の相関関係を図-8 に示す。損失率は、値が大きいほど早期にひび割れが発生しやすく、特に損失率が 1.14% 以上の場合は実道においてひび割れが発生しやすいとされる⁴⁾。図-8 より、再生骨材の品質が低下して FD 値が低下すると、熱劣化前の再生混合物では、FD 値が 100 (N・mm) 程度までは再生混合物に使用する再生骨材の品質による損失率に有意な差は確認されなかった。しかし、再生骨材の品質が低下して FD 値が 100 (N・mm) を下回ると、損失率は顕著に増加した。熱劣化後の再生混合物では、再生骨材の品質が低下して FD 値が低下すると、損失率も低下した。

以上より、熱劣化前後に関わらず、Pen6 を使った再生混合物では、圧裂強度比が 20 以下となっており、損失率も 1.14% を超えているため、供用中においては高温時にひび割れが発生しやすいと考えられる。

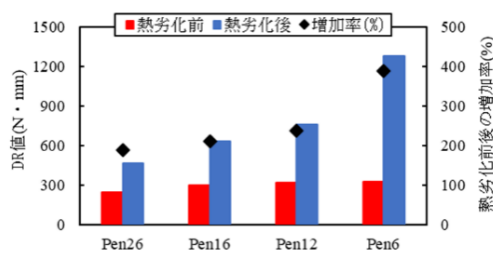


図-4 各種回収アスファルトの DR 値

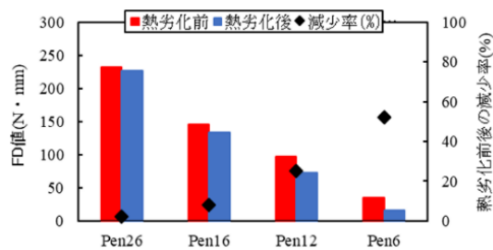


図-5 各種回収アスファルトの FD 値

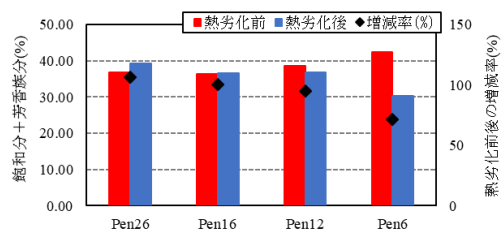


図-6 飽和分+芳香族分の推移

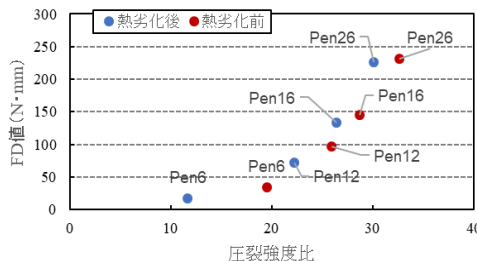


図-7 FD 値と圧裂強度比の関係

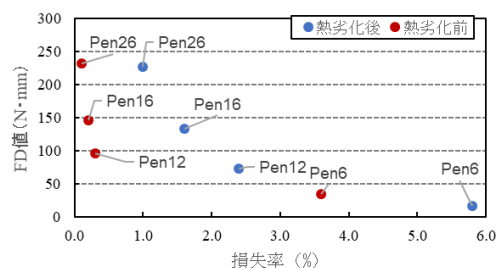


図-8 FD 値と損失率の関係

4-3. DSR 結果と混合物試験結果の相関

DSR から得られた $|G^*|/\sin\delta$ と圧裂試験から得られた圧裂強度比 ($0^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$) の相関関係を図-9 に、 $|G^*|/\sin\delta$ と高温カンタブロ試験から得られた損失率の相関関係を図-10 にそれぞれ示す。 $|G^*|/\sin\delta$ はアスファルトバインダーの変形抵抗性を評価する指標であり、Superpave 規格では、未劣化の場合は 1.0 kPa 以上、RTFOT 劣化後の場合は 2.2 kPa 以上を満たす必要がある。本研究では、AASHTO R30 に準拠して促進劣化を施したバインダーに対しては回転薄膜加熱試験 RTFOT 劣化後の基準である 2.2 kPa 以上を指標にして考察する。

図-9 より、熱劣化前では、すべての再生混合物が Superpave 規格の 1.0 kPa 以上を満たしており、圧裂強度比も概ね 20 以上であった。その一方で、熱劣化後では、Pen6 を使用した再生混合物は $|G^*|/\sin\delta$ が 2.2 kPa を大幅に上回り、圧裂強度比も規格値の 20 以上を大きく下回った。そのため、熱劣化後の Pen6 を使用した再生混合物は、高温時における変形抵抗性は高いものの、バインダーの弾性的性状が強く硬化しているため、ひび割れ抵抗性はかなり低い混合物であると評される。

次に図-10 より、熱劣化前では $|G^*|/\sin\delta$ はすべての再生混合物で Superpave の規格値を概ね満たしており、損失率も基準値である 1.14% 以下を概ね満足した。一方で、熱劣化後では Pen6 を使用した再生混合物は $|G^*|/\sin\delta$ が規格値の 2.2 kPa を大幅に上回り、損失率も規格値の 1.14% 以下を大きく上回った。そのため、熱劣化後の Pen6 を使用した再生混合物は $|G^*|/\sin\delta$ と圧裂強度比の相関性と同様に、ひび割れ抵抗性が低く、かつ高温時における変形抵抗性も低いといえる。

これらの結果からも、バインダー特性値である $|G^*|/\sin\delta$ は圧裂強度比や損失率と同様に、ひび割れ抵抗性および高温時変形抵抗性を評価する有効な指標であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、劣化・再生のプロセスが再生骨材の旧アスファルトの品質低下に繋がって、低品質の再生骨材の使用が再生アスファルトの性状および再生混合物の物性に及ぼす影響について検討した。ここでの検討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。

- ・本研究では、設計針入度 70 (1/mm) に調整して再生混合物を作製した。しかし、再生骨材の劣化度合いや加熱促進劣化の影響により、再生アスファルトの性状および再生混合物の物性に差異が生じた。
- ・上記のことから、針入度以外のバインダー性状を指標として、再生骨材の劣化度合いや配合率を考慮した再生混合物の配合設計方法について検討する必要がある。
- ・本研究での評価試験によって得られた $|G^*|/\sin\delta$ と圧裂強度比、および高温カンタブロ損失率の関係から、バインダー性状の指標である $|G^*|/\sin\delta$ は再生混合物のひび割れ抵抗性の評価に有益である。

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量推移。
- 2) 中村健：第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会論文集。pp.24-27, 2015。
- 3) 建設省関東技術事務所：昭和 56 年度試験道路における試験調査報告書，1982。
- 4) 川上篤史ら。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 (舗装工学論文集第25 巻)。pp. I_251-I_259. 2020。

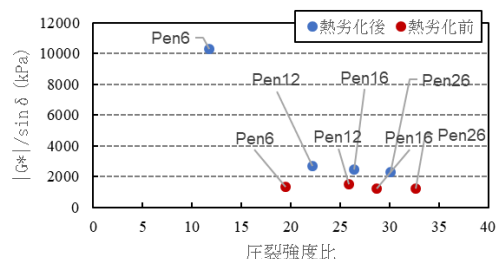


図-9 $|G^*|/\sin\delta$ と圧裂強度比の関係

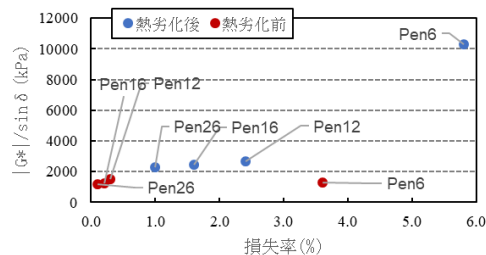


図-10 $|G^*|/\sin\delta$ と損失率の相関