

FDT の旧アスファルト性状に基づく 再生アスファルト混合物の配合設計に関する研究

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○齋藤 悠斗
長岡技術科学大学大学院 正会員 小林 靖明
長岡技術科学大学 正会員 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占め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、2025 年度では約 75 %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、再生骨材が複数回にわたって再利用され、再生混合物の品質低下が懸念されている。また、近年では舗装の長寿命化や脱炭素化を目的に、改質アスファルト（以下、改質アス）や各種添加剤の使用が増加しており、再生骨材に含まれる旧アスファルト（以下、旧アス）が多様化している。

現在、再生混合物の供用後早期のひび割れ防止を重視して、再生骨材の品質規格に旧アス針入度と圧裂係数が運用されている。しかしながら、針入度はストレートアスファルト（以下、ストアス）を対象としたものであり、針入度のみで改質アスファルトの劣化程度を評価することは困難である²⁾。また、圧裂係数を求める圧裂試験は、再生混合物の品質低下の要因である再生骨材に付着した旧アス以外にも、骨材の骨格構造（粒度や粒子形状）にも影響を受けてしまう。

そこで本研究では、再生骨材旧アスの多様化を考慮し、ストアスおよびストアスと改質アスファルトⅡ型（以下、改質Ⅱ型）を混合したアスファルト（以下、混合アス）を劣化させ、これらに荷重測定型伸度試験（以下、FDT）を行って再生骨材中の旧アスの性状を評価した。そして、その性状に基づいて再生混合物を適正に配合設計するための要点について考察した。

2. 検討概要

本研究の検討フローを図-1 に示す。再生骨材の旧アスとしては、ストアスに加えて混合アスも検討対象とした。混合アスの混合割合は、現在の改質混合物の製造比率³⁾から、ストアス：改質Ⅱ型＝80%：20%とした。

まず、これらのバインダを使用した混合物を練り混ぜ、空気恒温槽を用いて加熱促進劣化を施して、劣化程度の異なる 4 種類の再生骨材を作製した。これにより、再生骨材の劣化程度の違いが旧アスの性状に及ぼす影響を考慮した。再生骨材の促進劣化条件は、屋外暴露試験の結果から劣化相当年数が 10 年、15 年、20 年、30 年相当となる 110℃で 1 日間（110℃-1day）、110℃で 3 日間（110℃-3day）、110℃で 7 日間（110℃-7day）、163℃で 1 日間（163℃-1day）とした。これらの再生骨材から旧アスを回収して FDT を実施し、そのバインダ性状を評価した。

また、2 種類のバインダで作製した混合物を 4 段階のレベルで劣化させた再生骨材（計 8 種）を使用し、R 率を 20%、40%、および 60%とした再生混合物（R20%、R40%、R60%、計 24 種）を作製して混合物試験を実施することで、再生混合物で懸念されるひび割れ抵抗性の評価を行った。以上の旧アスのバインダ性状と再生混合物の物性から、十分なひび割れ抵抗性を有する再生混合物を配合設計するための知見について検討した。

3. 評価試験の実施要領

3.1 旧アスに対する荷重測定型伸度試験（FDT）⁴⁾

現在、再生骨材の品質規格とされている針入度は、バインダのコンシステンシーを表す指標であり、バインダの粘弾性を十分に評価できていないため、レオロジー特性の異なるバインダ種間では、針入度のみで力学的特性を適切に評価することは限界があるとされている。そのため、多様なバインダを包括的に評価できる試験法が必要とされる。そこで本研究では、バインダの引張時の力学的特性を評価できる FDT を実施した。

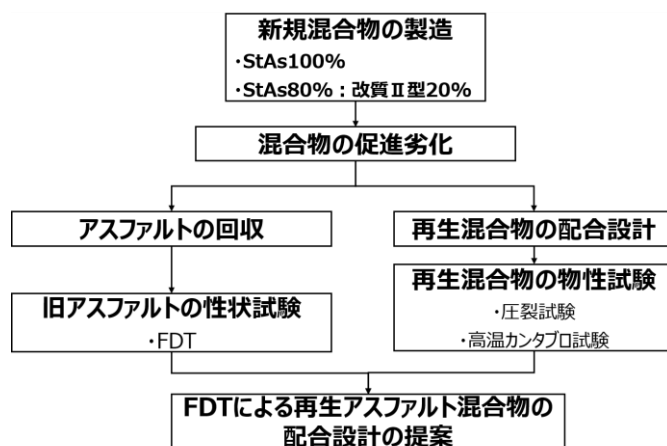


図-1 本研究の検討フロー

FDT では、伸度試験機にロードセルを搭載することで、バインダの延伸過程における荷重と変位を測定する。図-2 に試験結果の一例と評価値 FD の定義を示す。FD はバインダの粘結力を表すものであり、アスファルト混合物の疲労破壊抵抗性と相関性があるとされている⁵⁾。既往の研究では、試験温度は 15℃で実施しているが、劣化が進行している 110℃-7day, 163℃-1day の旧アスでは、荷重がピークに達した後、直ちに破断して変曲点が現れない。そのため、本研究では試験温度を 25℃に引き上げて実施することにした。

表-1 に試験温度が 15℃と 25℃の場合に対する各旧アスの FD を示す。15℃の条件では劣化程度による FD の違いを明確に表現できないところがあるが、25℃とすることで劣化の進行による粘結力の低下をより顕著に表すことができている。また、バインダの延伸速度は、舗装調査・試験法便覧の A043 伸度試験方法に準拠して、 5.00 ± 0.25 cm/min とした。

3.2 再生混合物に対する評価試験

再生混合物では、旧アスが劣化により硬化することで変形追従性が低下し、ひび割れ抵抗性の低下が懸念される。R 率の違いが再生混合物のひび割れ抵抗性に及ぼす影響を評価するため、R20%, R40%, R60%の再生混合物に対して、圧裂試験と高温カンタブロ試験を実施した。

3.2.1 圧裂試験

圧裂試験は舗装調査・試験法便覧 B006 に準拠して行った。試験温度は、0℃と 60℃の 2 条件とした。本研究では、ひび割れ抵抗性の指標として圧裂強度比 (0℃の圧裂強度/60℃の圧裂強度) を採用した。既往の研究により、圧裂強度比は値が大きいほど塑性流動抵抗性が低く、小さいほどひび割れ抵抗性が低いとされており、圧裂強度比が 20 以下になると多くの実道でひび割れが発生したことが報告されている⁶⁾。本研究では、この圧裂強度比 20 以上を再生混合物の要求性能の一つと考えた。

3.2.2 高温カンタブロ試験

高温カンタブロ試験は、舗装調査・試験法便覧 B010 に従って試験を実施した。試験条件は、供試体温度 60℃、ロサンゼルス試験機内温度 30℃、回転数 300 回 (30 回/min) とした。既往研究によると損失率が 1.14 %まで増加すると、ひび割れが発生しやすいとされている⁷⁾。この損失率 1.14 %以下についても、本研究では再生混合物の要求性能の一つと設定した。

4. 試験結果および考察

4.1 FDT

ストアスと混合アスの各劣化条件における FD の結果を図-3 に示す。FD はストアスと混合アスのどちらも劣化の進行に従って低下した。110℃-1day と 110℃-3day の劣化程度では、混合アスはストアスよりもかなり大きな FD の値であり、110℃-7day と 163℃-1day の劣化程度では同程度の値であった。このことから、劣化が比較的進行していない条件であれば、改質アスを含む旧アスのほうが粘結力は優れていることがわかる。

4.2 FD と混合物物性の関係

旧アスの FD と再生混合物の圧裂強度比との関係、および FD と高温カンタブロ試験の損失率 (以下、損失率) との関係をもとに比較・検討した。

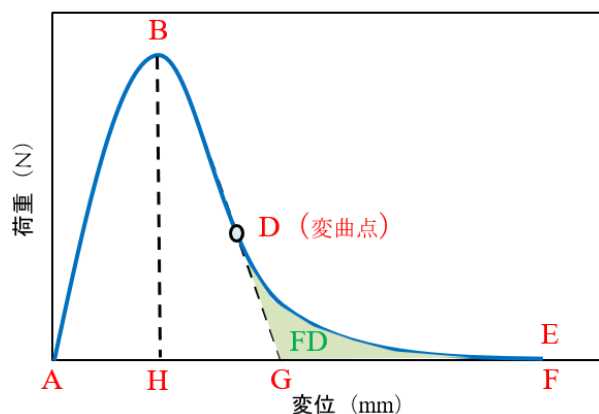


図-2 FDT の試験結果の一例と FD の定義

表-1 劣化旧アスの 15℃と 25℃の FD

劣化条件	FD(N・mm)	
	15℃	25℃
110℃-1day	77.3	238.1
110℃-3day	21.0	50.7
110℃-7day	0.8	15.0
163℃-1day	0.9	0.3

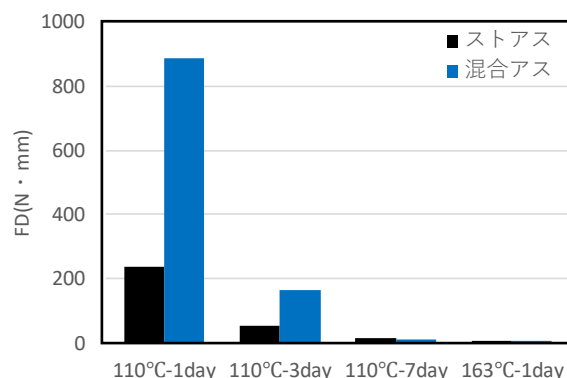


図-3 各旧アスの FD の結果

4.2.1 R20%の結果

再生混合物 R20%に対する FD と圧裂強度比の関係を図-4 に示す。R20%の圧裂強度比は 30 程度であり、ひび割れの発生が顕著となる圧裂強度比 20 よりも大きな値であった。また、FD と損失率の関係を図-5 に示す。再生混合物 R20%の損失率は、再生骨材旧アスの FD によらず、ひび割れ発生が増加する 1.14 %を下回る値であった。これらのことから、R20%において旧アスの劣化程度が再生混合物のひび割れ抵抗性に及ぼす影響は比較的小さいものと考えられる。

4.2.2 R40%

再生混合物 R40%における FD と圧裂強度比の関係を図-6 に示す。R40%の圧裂強度比は、いずれの再生骨材を使用した場合においても圧裂強度比は 20 を上回っていた。図-4 に示した R20%の結果と比較すると、圧裂強度比は小さくなっており、R 率の上昇によって再生骨材の劣化程度が大きく影響したものと考えられる。FD と損失率を図-7 に示す。損失率も同様に、すべての再生混合物で 1.14 %を下回っており、ひび割れ抵抗性は確保されていたと考えられる。

4.2.3 R60%の結果

再生混合物 R60%における FD と圧裂強度比の関係を図-8 に示す。R60%の圧裂強度比は、ほとんどの混合物で 20 よりも大きい値であったが、劣化が最も進行している再生骨材 163℃-1day を使用した再生混合物は、ストアスと混合アスのいずれにおいても 20 を下回っていた。また、これらのデータから近似式をつくり、圧裂強度比が 20 となるときの FD を求めてみると、ストアスでは 0.4 N・mm、混合アスでは 5.7 N・mm となった。FD と損失率の関係を図-9 に示す。損失率も同様に、再生骨材 163℃-1day を使用した再生混合物では、ストアスおよび混合アスのいずれの場合も 1.14 %を上回っていた。このことから、163℃-1day 相当まで劣化した再生骨材を R60%で配合した再生混合物はひび割れ抵抗性が低い可能性が示された。また、損失率が 1.14 %となる場合の FD の値を推定してみると、ストアスの場合は決定係数が小さかったことから 110℃-7day と 163℃-1day の実測値から 15 N・mm 未満と考えられ、混合アスの場合は近似式から 6.1 N・mm が得られた。

5. 試験結果に基づく配合設計に関する考察

本検討で得られた試験結果に基づいて、再生混合物の配合設計において配慮すべき再生骨材の運用仕様について考察する。

4.2 節で得られた再生骨材の旧アス FD と R 率ごとの混合物試験の結果より、いずれの劣化程度の再生骨材を使用しても R20%、R40%の再生混合物においては、ひび割れ抵抗性の指標である圧裂強度比 20 以上、損失率 1.14 %以下を満たしていた。このことから、本検討の範囲では、R 率 40%以下の再生混合物を配合設

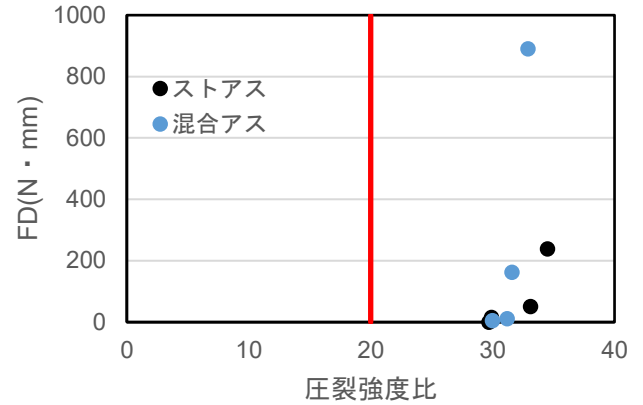


図-4 FD と R20%圧裂強度比の関係

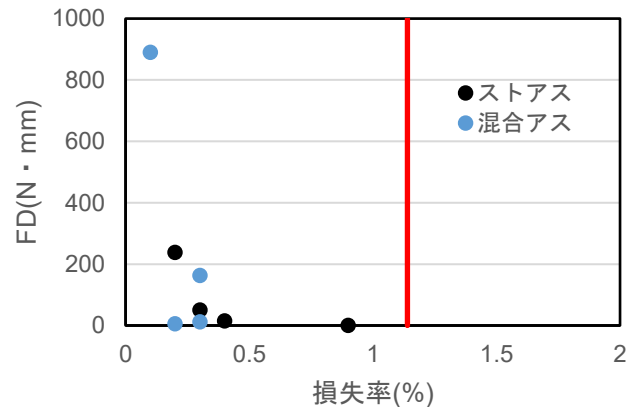


図-5 FD と R20%損失率の関係

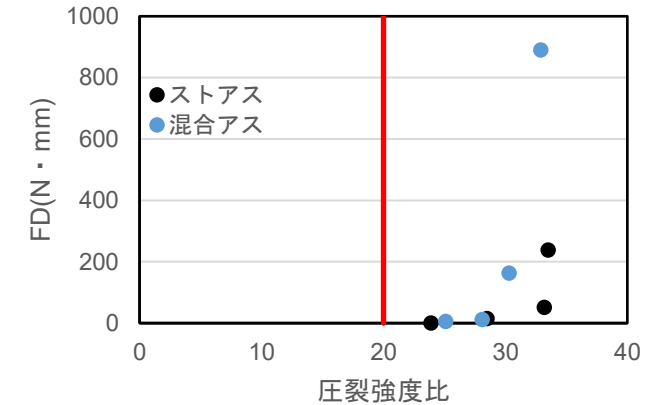


図-6 FD と R40%圧裂強度比の関係

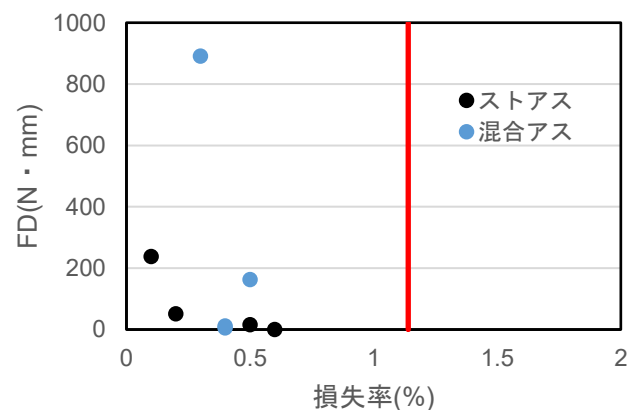


図-7 FD と R40%損失率の関係

計する場合、再生骨材の劣化程度によるひび割れ抵抗性への影響は小さく、十分なひび割れ抵抗性を有する再生混合物が設計できると考えられる。一方、R60%の再生混合物においては、旧アス FD が $15 \text{ N} \cdot \text{mm}$ 以上であれば圧裂強度比と損失率の要件を満足した。このことから、高い R 率で再生骨材を利用する場合には、旧アスの FD を指標の 1 つとして活用することで、ひび割れ抵抗性の確保に有効であることが示唆された。

以上のことから、再生骨材の評価においては、従来の針入度に加え、FDT による FD も加味して再生骨材の劣化度を適正に評価し、劣化程度に応じた再生骨材 R 率で配合設計を行うことで、現行の要求性能を満たさない再生骨材の有効利用につながる可能性が示された。

6. まとめ

本研究では、FDT によって再生骨材の旧アス性状を評価し、その性状に基づいて再生骨材の R 率を適正に制限することで、ひび割れ抵抗性を有する再生混合物を配合設計することについて検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 試験温度 15°C の FDT では、劣化が進行している旧アスの FD を測定することができないが、試験温度を 25°C とすることで旧アスの FD を測定して劣化度を適正に評価できる。
- R 率が 40%以下の再生混合物では、再生骨材の旧アス性状によらず、ひび割れ抵抗性を有した混合物が作製できる可能性がある。
- 旧アスの FD を指標の 1 つとして活用することで、再生混合物のひび割れ抵抗性を確保できる可能性が示された。

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量推移，2026，
https://www.jam-a.or.jp/images/activity/act02/act02_suii_202608.pdf，（参照 2026-10-12）。
- 2) 日本道路協会：舗装再生便覧，pp.10-11，2010。
- 3) 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報，pp.30-33，2023。
- 4) 中村 健：再生骨材の品質管理における新しいバインダ性状評価試験の導入，アスファルト，pp.24-27，2019。
- 5) 吉田裕，高橋修，中村健：バインダの引張仕事量によるアスファルト混合物の総散逸エネルギー量推定に関する検討，長岡技術科学大学修士論文，p.41，2015。
- 6) 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。
- 7) 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骨材配合率の影響，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.76, No2（舗装工学論文集第 25 巻），I_251-I，2020。

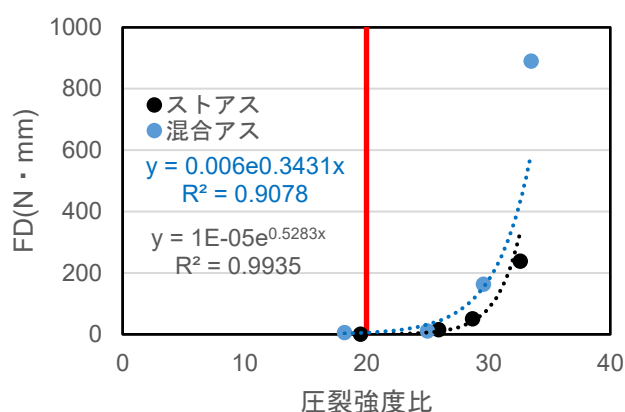


図-8 FD と R60%圧裂強度比の関係

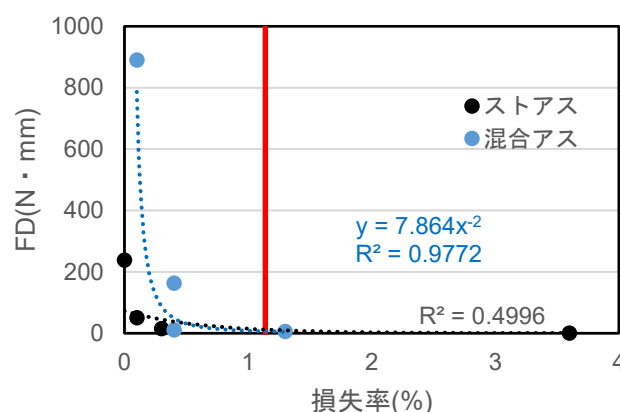


図-9 FD と R60%損失率の関係