

繰り返し再生されたアスファルト混合物の曲げ疲労特性に関する一検討

(国研) 土木研究所 舗装チーム 正会員 ○川上 篤史
五十君 隆次
正会員 藪 雅行

1. 目的

わが国のアスファルト舗装の再生利用は 40 年以上継続して行われており、アスファルト混合物（以下、混合物）はその間、複数回繰り返して再生利用されている場合もあると考えられる。そこで土木研究所では、アスファルトおよび混合物が繰り返し劣化・再生された際の性状変化等について調査・研究を行っている。本稿は、アスファルトおよび混合物を実験室内で繰り返し劣化・再生させ、その混合物性状の変化把握の一つとして行っている曲げ疲労試験結果、および新たな指標として Energy ratio の適用について報告するものである。

2. 検討方法

(1) アスファルト混合物の繰り返し劣化・再生方法

試験フローを図-1 に示す。はじめに、新規混合物（密粒度アスファルト混合物（13））を作製した後、熱風循環乾燥炉を用いた促進劣化により針入度 20 程度まで低下（劣化）させてこれを再生骨材とし、この劣化したアスファルトの針入度が 70 程度になるように再生用添加剤（以下、添加剤）を加え、所定の再生骨材配合率（以下、R 率）となるように新規骨材および新アスファルト（以下、ORG）を加えて再生混合物を製造した。これを 7 回繰り返す。再生 1, 3, 5, 7 回毎に供試体を作製して混合物性状等を把握した。再生混合物の R 率は 80 および 60% である。添加剤は四成分 (SARA) 組成に注目し、表-1 に示す芳香族分が多い添加剤 A と芳香族分と飽和分がそれぞれ半分程度の添加剤 B の 2 種類を用いた。

(2) 曲げ疲労試験方法

繰り返し劣化・再生された混合物の性状を把握するため、低温時の疲労破壊抵抗性として曲げ疲労試験を行った。試験方法は、(公社) 日本道路協会調査・舗装試験法便覧 B01T に準拠し、試験条件は表-2 に示すとおりである。曲げ疲労試験における破壊の定義として、複素弾性率が急激に低下したときとし、破壊回数 (N_{FE}) を算出した。また、新たな指標として Energy ratio (R_n) ¹⁾ により破壊回数 (N_{FR}) を算出し N_{FE} と比較した。 R_n は下記式(1)より算出することができる。また、図-2 に示すとおり R_n は上に凸の放物線状になり、その最大値にあたる载荷回数が疲労破壊回数となる。多項式回帰曲線のフィッティングが良く容易に計算できる。

$$R_n = n \times E_n$$

式(1)

ここに、 R_n : Energy ratio, n : 载荷回数, E_n : 载荷 n 回目の複素弾性率 [MPa]

キーワード アスファルト, 舗装, 繰り返し再生, 曲げ疲労試験, 再生用添加剤, Energy ratio

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 舗装チーム TEL : 029-879-6789

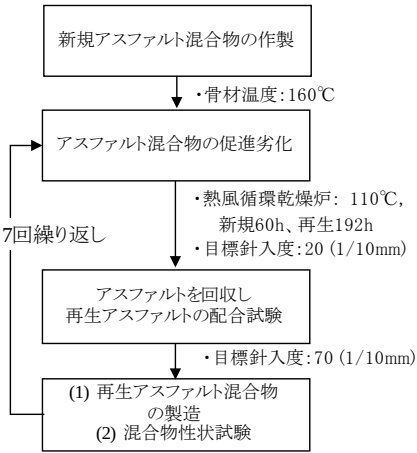


図-1 繰り返し再生の手順

表-1 ORG および添加剤の組成

		ORG	添加剤A	添加剤B
組成 (%)	密度 (g/cm³)	1.039	0.975	0.909
	飽和分	3.9	5.7	49.9
	芳香族分	61.4	88.1	47.7
	レジン分	17.7	6.1	2.5
	アスファルテン分	17	0.1	0

表-2 試験条件

制御方式	ひずみ制御
ひずみ	400 [μ]
波形	正弦波
周波数	5 [Hz]
試験温度	0 [°C]

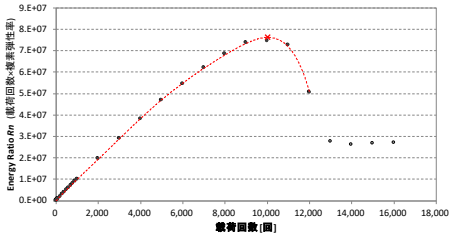


図-2 Energy ratio のデータ例

3. 試験結果

(1) 繰り返し劣化・再生されたアスファルト混合物の破壊回数

N_{FE} の推移を図-3に示す。縦軸の破壊回数は対数表示であるが、芳香族分の多い添加剤 A で再生された混合物は、再生回数が進んでも新規混合物 (ORG) と同等であったのに対し、飽和分が多い添加剤 B を用いた場合は、再生回数が進むほど、再生骨材配合率が高くなるほど増加した。既往研究²⁾では試験温度 20℃で再生骨材配合率を変化させて曲げ疲労試験を行っているが、これと同じ傾向となった。次に、初期複素弾性率 E_{ini} (载荷 1000 回) の推移を図-4に示す。図より、いずれの再生混合物も再生回数が進むにつれて低下した。この傾向は再生骨材配合率が高いほど、添加剤 A より B のほうが顕著になり、特に添加剤 B により 7 回繰り返し再生された混合物は ORG に比べ 40%以下となった。この低い複素弾性率の混合物については、基層に比べて表層の複素弾性率が相対的に小さい場合には表層表面近くに最大ひずみが発生し、舗装表面から入るひび割れの発生要因になる³⁾ことが指摘されていることから、複素弾性率の急激な低下や高温時 (低い複素弾性率) におけるひび割れ抵抗性への影響が懸念される。なお、曲げ疲労試験には応力制御とひずみ制御があり、前者は複素弾性率の大きいもののほど発生するひずみが小さく疲労寿命は長くなり、後者は複素弾性率の大きいもののほど発生する応力が大きく寿命は小さくなる³⁾。本試験はひずみ制御で行っていることから E_{ini} と N_{FE} の関係 (図-5) は前述のとおり負の相関関係となった。

(2) Energy ratio による破壊回数

N_{FR} と N_{FE} の関係を図-6に示す。両指標とも両対数表示上で直線となる関係にあることがわかる。 N_{FE} の算出には、複素弾性率の急激な低下前後で接線を設定して交点を計算する必要があるのに対して、 N_{FR} は前述のとおり計算が容易なことから、今後は N_{FE} の代わりに N_{FR} も活用可能と考えられる。

4. おわりに

繰り返し劣化・再生された混合物の曲げ疲労試験の結果、再生骨材配合率や再生用添加剤の種類によって、破壊回数や複素弾性率の明確な変化が確認できた。また、疲労破壊を定義する新たな指標として Energy ratio が有効であることを確認した。今後も異なる再生骨材配合率での試験や高温時のひび割れ抵抗性試験により繰り返し再生された混合物の影響について引き続き検討を行う予定である。

参考文献

- 1) M. N. Partl et al.: Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials, RILEM State-of-the-Art Reports 9, RILEM, 2013. 2) 高橋ほか: 品質基準を下回る再生骨材を使用した再生アスコンの性能評価に関する一検討, 土木学会論文集 E1, 舗装工学論文集第 23 巻, 2018. 3) 丸山ほか: アスファルト混合物の疲労特性, アスファルト, Vol. 44 No. 208, pp. 9-15, 2001.

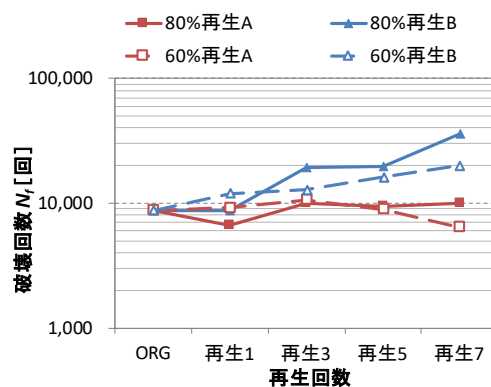


図-3 破壊回数 N_{FE} の推移

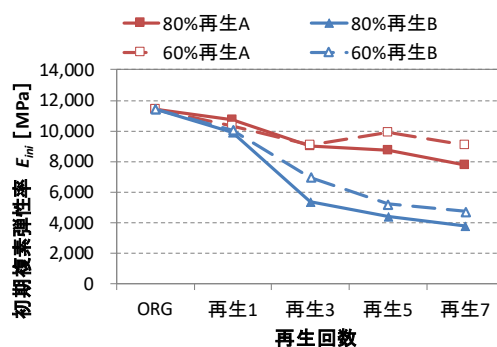


図-4 初期複素弾性率 E_{ini} の推移

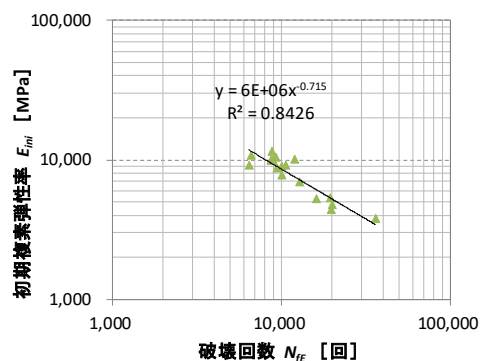


図-5 N_{FE} と E_{ini} の関係

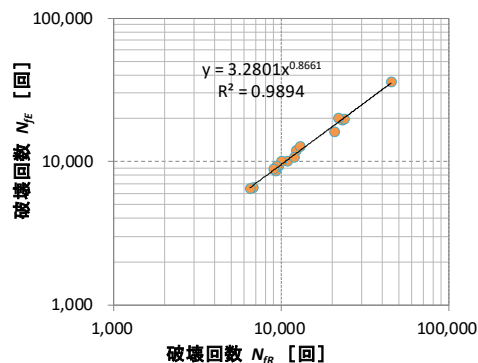


図-6 N_{FE} と N_{FR} の関係