

ポリマー改質アスファルトの等値換算係数に関する一考察

ニチレキ株式会社 正会員 ○飯高 裕之  
 ニチレキ株式会社 正会員 上野 貞治  
 ニチレキ株式会社 後藤 洋平

1. はじめに

我が国におけるアスファルト舗装の構造設計は、殆どが T<sub>A</sub>法で行われており、表・基層に用いる加熱アスファルト混合物の等値換算係数は、改質アスファルト混合物であってもストレートアスファルト混合物と同じ a=1.00 が用いられている。しかし、舗装設計便覧（平成 18 年度）（以下、設計便覧）には、「表・基層の加熱アスファルト混合物に改質アスファルトを使用する場合には、その強度に応じた等値換算係数 a を設定する」とある。

そこで、弾性理論に基づき、混合物の曲げ疲労特性および弾性係数から、改質アスファルト混合物の等値換算係数を算定する方法を検討した。本論文は、改質アスファルト混合物における等値換算係数の算定方法および算定結果を報告するものである。

表-1 曲げ疲労試験条件

項目	条件
載荷方法	両端固定2点載荷
供試体寸法	4×4×40 cm
スパン	30 cm
試験方法	ひずみ制御
試験温度	15°C
載荷周波数	5Hz
試験ひずみ	200～1600μ
試験槽	水冷方式
載荷波形	サイン波

2. 疲労ひび割れに関する混合物試験

(1) 曲げ疲労試験

舗装設計便覧には、「舗装の設計期間は、疲労破壊によりひび割れが生じるまでの期間として設定される」と記述されている。

そこで、混合物に一定のひずみを一定の曲率で繰返し与え、疲労によりひび割れが生じるまでの回数を測定する「曲げ疲労試験」の結果から、等値換算係数を算定することとした。試験条件を表-1 に示す。

(2) 使用したバインダ

供試体の混合物は、ストレートアスファルト（60/80）を用いた混合物（以下、ストアス混合物）、ポリマー改質アスファルト II 型を用いた混合物（以下、改質 II 型混合物）、および試作品を用いた混合物（以下、試作品混合物）の 3 種類である。使用したバインダ性状を表-2 に示す。なお、混合物の粒度は密粒度アスファルト混合物（13）「両面 50 回突き」とした。

表-2 バインダ性状

評価項目	ストアス	改質 II 型	試作品
針入度 (1/10mm)	69	55	95
軟化点 (°C)	47.0	58.5	90.0
損失弾性率 (G'・sinδ) ※ (Pa)	4.82 × 10 <sup>6</sup>	4.32 × 10 <sup>6</sup>	1.08 × 10 <sup>6</sup>

※：舗装調査・試験法便覧 (A062 ダイナミックアラメータ試験法による)  
 試験温度：15°C、平行円盤径：8mm、試料厚：1mm  
 周波数：10rad/sec、ひずみ量：1%

(3) 試験結果

各混合物の破壊回数と繰返し与えたひずみとの関係を図-1 に示す。

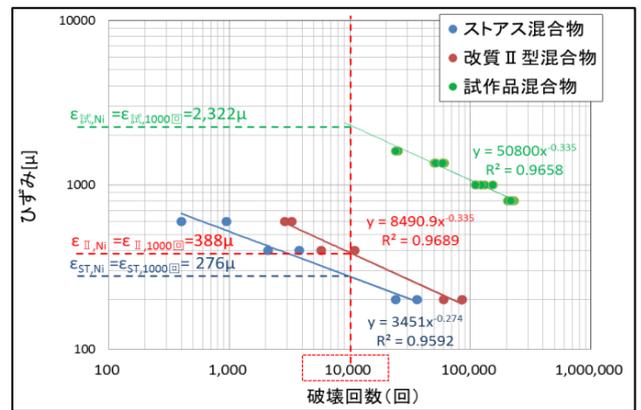


図-1 破壊回数とひずみとの関係

3. 等値換算係数の算定式の誘導

曲げ疲労試験の供試体に生じるモーメントと曲率の関係は、式(1)で表され、この式から供試体に生じるひずみ ε は、式(2)のようになる。

$$M = E \cdot I \cdot \Phi = E \cdot I \cdot \frac{2 \cdot \epsilon}{h} \quad \dots (式1)$$

$$\epsilon = \frac{6M}{b \cdot h^2 \cdot E} \quad \dots (式2)$$

$$\epsilon_{ST} = \frac{6M_{ST}}{b \cdot h_{ST}^2 \cdot E_{ST}} \quad \dots (式3)$$

$$\epsilon_{II} = \frac{6M_{II}}{b \cdot h_{II}^2 \cdot E_{II}} \quad \dots (式4)$$

$$\frac{\epsilon_{II, Ni}}{\epsilon_{ST, Ni}} = \frac{\frac{6M_{II}}{b \cdot h_{II}^2 \cdot E_{II}}}{\frac{6M_{ST}}{b \cdot h_{ST}^2 \cdot E_{ST}}} = \frac{h_{ST}^2 \cdot E_{ST}}{h_{II}^2 \cdot E_{II}} \quad \dots (式5)$$

$$\frac{h_{ST}}{h_{II}} = \sqrt{\frac{\epsilon_{II, Ni} \cdot E_{II}}{\epsilon_{ST, Ni} \cdot E_{ST}}} \quad \dots (式6)$$

M: 与えた荷重によって生じるモーメント  
 E: 供試体の弾性係数  
 I: 供試体の断面2次モーメント (1/12)・(b・h<sup>3</sup>)  
 h: 供試体の高さ  
 b: 供試体の幅  
 φ: 供試体の曲率  
 ε: 供試体に生じるひずみ

キーワード 構造設計, TA 法, 等値換算係数, 改質アスファルト, 曲げ疲労試験, ダイナミックモジュラス試験  
 連絡先 〒329-0412 栃木県下野市柴 272 ニチレキ(株)技術研究所 TEL 0285-44-7111

したがって、ストアス混合物と改質Ⅱ型混合物に生じるひずみ  $\epsilon_{ST}$  と  $\epsilon_{II}$  は、それぞれ式(3)、式(4)で表される。次に、曲げ疲労試験結果の図-1から、ストアス混合物と改質Ⅱ型混合物の疲労破壊回数  $N_i$  が等しくなるひずみを  $\epsilon_{ST,N_i}$ 、 $\epsilon_{II,N_i}$  (例えば、疲労破壊回数が10,000回となるストアス混合物のひずみ  $\epsilon_{ST,10000}$  は  $276 \mu$ 、改質Ⅱ型混合物の  $\epsilon_{II,10000}$  は  $388 \mu$ ) とした場合、与えるモーメント  $M$  を等しくすると、 $\epsilon_{II,N_i}$  を  $\epsilon_{ST,N_i}$  とするには、ストアス混合物を厚くする必要がある。

この疲労破壊回数  $N_i$  を等しくするストアス混合物と改質Ⅱ型混合物のひずみの関係は、式(5)のように、それぞれの厚さと弾性係数で表すことができる(この場合、モーメント  $M$  と供試体幅  $b$  は等しい)。

したがって、式(5)を変形した式(6)より算定される、疲労破壊回数  $N_i$  が等しくなるときの改質Ⅱ型混合物の厚さ  $h_{II}$  に相当するストアス混合物の厚さ  $h_{ST}$  の比率は、「破壊疲労回数  $N_i$  のときの改質Ⅱ型混合物のストアス混合物に対する等値換算係数」と理解することができる。

表-3 DM試験条件

項目	条件
载荷方法	繰返し圧縮
供試体寸法	$\phi 100 \times h 150 \text{mm}$
試験方法	ひずみ制御
試験温度	0~40℃
载荷周波数	0.1~25Hz
試験ひずみ	100 $\mu$
側圧	50kPa
载荷波形	サイン波

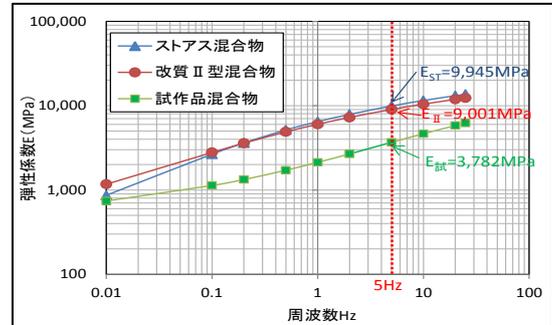


図-2 周波数と弾性係数の関係 (15℃)

表-3 等値換算係数の算定結果

疲労破壊回数 $N_i$ (回)	ストアス混合物		改質Ⅱ型混合物		等値換算係数 : a	試作品混合物		等値換算係数 : a
	破壊回数 $N_i$ に応じたひずみ $\epsilon_{ST,N_i}$ ( $\mu$ )	弾性係数 $E_{ST}$ (MPa)	破壊回数 $N_i$ に応じたひずみ $\epsilon_{II,N_i}$ ( $\mu$ )	弾性係数 $E_{II}$ (MPa)		破壊回数 $N_i$ に応じたひずみ $\epsilon_{試,N_i}$ ( $\mu$ )	弾性係数 $E_{試}$ (MPa)	
1,000	520	9,945	839	9,001	1.21	5,022	3,782	1.91
10,000	276		388		1.13	2,322		1.78
100,000	147		147		1.05	1,074		1.67
1,000,000	78		83		0.98	496		1.55
			平均		1.05	平均		1.70

4. 等値換算係数の算定

疲労特性(疲労強度)を加味した混合物の等値換算係数は、上述の式(6)より、混合物の疲労破壊回数  $N_i$  に対応するひずみと弾性係数から算定できる。

そこで、混合物の疲労破壊回数  $N_i$  に対応するひずみを図-1から求め、弾性係数をダイナミックモジュラス(以下、DM)試験により測定することで、改質Ⅱ型および試作品混合物の等値換算係数を算定した。

4-1 弾性係数の測定

混合物の弾性係数は、DM試験により測定した。本試験は、空気による側圧を加えた3軸の繰返し圧縮試験であり、温度および周波数を変えて測定することで、測定温度における混合物の周波数と弾性係数の関係が得られる。試験条件を表-3に、DM試験の結果を図-2に示す。試験の結果、曲げ疲労試験の温度15℃および周波数5Hzにおける各混合物の弾性係数  $E$  は、 $E_{ST}=9,945 \text{MPa}$ 、 $E_{II}=9,001 \text{MPa}$ 、 $E_{試}=3,782$ であった。

4-2 等値換算係数の算定結果

疲労破壊回数に応じた各混合物の「ひずみ  $\epsilon$ 」およびDM試験により測定した「弾性係数  $E$ 」を式(6)に代入し、改質Ⅱ型および試作品混合物の等値換算係数を算定した。算定結果を表-3に示す。

改質Ⅱ型および試作品混合物の等値換算係数は、疲労破壊輪数  $N_i$  が少ないほど、大きくなる傾向であった。これは、早期にひび割れが生じるような大きいひずみが生じる供用条件ほど、改質アスファルトの適用が効果的であることを示している。疲労破壊輪数  $N_i$  における等値換算係数を平均し、舗装設計便覧を参考に0.05のラウンド表示とした結果、改質Ⅱ型混合物の係数は1.05、試作品混合物の係数は1.70となった。

5. おわりに

本報告では、混合物の疲労ひび割れに着目し、ストアス混合物に対する改質アスファルト混合物の等値換算係数の算出方法を提案した。これにより、改質アスファルト混合物の特性を、 $T_A$ 法による構造設計へ反映することが可能となる。

今後は、算定した等値換算係数を用いて設計された舗装の現場における供用性を継続調査し、算定した係数の妥当性の検証を行うことで、係数の信頼性を高めていく考えである。

【参考文献】

1) 齋藤夏実, 丸山陽: AMPTを用いたアスファルト混合物の新たな評価方法, アスファルト, 233号, p.53, 2019年12月