

## 温度が混合物の疲労破壊特性に与える影響に関する一考察

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○丸山 記美雄  
正会員 田高 淳

## 1. 背景と目的

アスファルト混合物層の疲労破壊を予測するためには、供用中の様々な温度における疲労特性の変化を把握しておく必要がある。そこで、様々な温度条件下における混合物の疲労破壊回数と、複素弾性率、貯蔵弾性率、損失弾性率、位相角、散逸エネルギーを測定してこれらの関係性を評価する。

## 2. 試験概要

曲げ疲労試験は4点繰返し曲げ疲労試験装置により行った。供試体はアスファルト安定処理混合物(0-30)で作成した寸法 $5 \times 5 \times 40\text{cm}$ の上下左右4面カットのものである。試験温度とひずみレベルおよび試験数量を表-1に示す。温度を $-10^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$ に設定した恒温槽で6時間以上養生後に試験を行った。制御方法はひずみ制御、載荷周波数は10Hz、正弦波両振りであり $100 \mu \sim 500 \mu$ の範囲で各温度条件に適したひずみ条件で試験を行った。破壊回数による評価に加えて、変位波形と荷重波形の両者を取得し、リサーチ曲線から複素弾性率、貯蔵弾性率、損失弾性率、位相角、散逸エネルギーを式(1)～(5)によって算定した。なお、本報告で示す各種弾性率および初期散逸エネルギーは載荷回数1000回の値であり、散逸エネルギーの測定と解析においては既往の文献<sup>1),2),3)</sup>を参考にした。

$$\text{複素弾性率: } |E^*| = \sigma_0 / \varepsilon_0 \quad (1)$$

$$\text{貯蔵弾性率: } E' = |E^*| \cos \delta \quad (2)$$

$$\text{損失弾性率: } E'' = |E^*| \sin \delta \quad (3)$$

$$\text{位相角: } \delta = \sin^{-1}(I/L) \quad (4)$$

$$\text{単位散逸エネルギー } w_0 = \pi \sigma_0 \varepsilon_0 \sin \delta \quad (5)$$

ここで、 $\sigma_0$  : 応力(MPa),  $\varepsilon_0$  : ひずみ,  $\delta$  : 位相角(rad)

表-1 試験条件と試験数量

| ひずみ<br>温度           | 100 $\mu$ | 200 $\mu$ | 300 $\mu$ | 400 $\mu$ | 500 $\mu$ |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $-10^\circ\text{C}$ |           |           | 3本        | 3本        | 3本        |
| $0^\circ\text{C}$   |           | 3本        | 3本        | 3本        |           |
| $+10^\circ\text{C}$ | 3本        | 3本        | 3本        | 3本        |           |
| $+20^\circ\text{C}$ | 3本        | 3本        | 3本        | 3本        |           |
| $+30^\circ\text{C}$ |           | 3本        | 3本        | 3本        |           |
| $+40^\circ\text{C}$ |           | 3本        | 3本        | 3本        |           |

注)  $40^\circ\text{C}$ 時の破壊回数は未測定

## 3. 試験結果および考察

## 3. 1 温度と破壊回数の関係

破壊回数とひずみの関係を両対数紙上に温度ごとに表すと図-1のようになる。図-1より、破壊回数は温度によって変化し、破壊回数の対数表示で1オーダーの範囲にばらつくことがわかる。同じひずみ量で比較した場合、疲労破壊回数は温度が $20^\circ\text{C}$ の測定値が最も小さくなっており、温度と破壊回数は単純に相関しているものではないこともわかる。

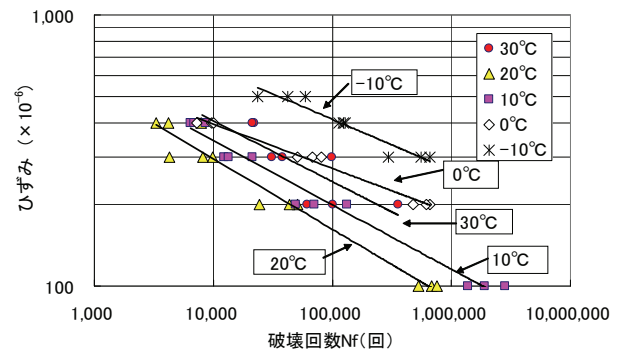


図-1 試験条件と試験数量

## 3. 2 温度と各種の弾性率の関係

様々な試験温度における各種の弾性率の測定値を図-2に、損失弾性率のみを抜粋したものを図-3に示す。温度に対応して各弾性率が変化していることがわかる。アスファルト混合物の見かけ上の弾性係数に相当する複素弾性率は温度の上昇とともに低下する一方で、アスファルト混合物の粘性項を表す損失弾性率は、 $-10^\circ\text{C}$ から温度が上昇するに伴って値が増加し、 $20^\circ\text{C}$ 付近で最も大きな値を示し $20^\circ\text{C}$ 以上では温度が高くなるに従い低下する傾向を示すことがわかる。

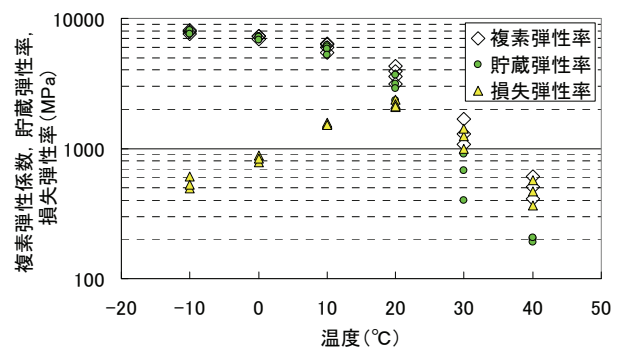


図-2 試験条件と試験数量

キーワード：曲げ疲労試験、疲労破壊、散逸エネルギー

連絡先：〒062-0912 札幌市豊平区平岸1条3丁目 Tel.011-841-1747 @Fax.011-841-9747

### 3. 3 温度と散逸エネルギーの関係

1000回載荷時の単位散逸エネルギーを初期散逸エネルギーと呼ぶこととし、温度と初期散逸エネルギーの関係を図-4に示す。初期散逸エネルギーは各ひずみレベル毎に20℃付近をピークとして、対数軸において直線の折れ線状となる関係が認められる。この関係は、図-3に示した温度と損失弾性率の関係に似ており、式(3)と式(5)の両者が  $\sin \delta$  の関数となっている点を考慮すれば理解ができる。

### 3. 4 破壊回数と散逸エネルギーの関係

単位散逸エネルギーは図-5に示すように繰返し回数の増加に伴い徐々に増加し、一定の回数を経過すると急激に低下し、破壊に至る。破壊に至るまでの単位散逸エネルギーを積分したものを総散逸エネルギーと定義すれば、図-5に斜線で示した四角形の面積を求めることに等しい。破壊に至るまでの単位散逸エネルギーを積分して求めた総散逸エネルギーと破壊回数の関係は図-6に示すとおりで、温度やひずみレベルが異なっても対数紙上でほぼ同一の直線関係として表現される。この関係性は温度、周波数、バインダの種類、制御方法によらず直線の関係が得られることが報告されており<sup>1),2)</sup>、本研究においても同様の結果が得られたといえる。

次に、破壊回数と初期散逸エネルギーの関係を図-7に示す。初期散逸エネルギーと破壊回数も両対数紙上で直線の相関関係を示し、この関係は温度やひずみレベルが変化しても成立していることがわかる。

### 4. まとめ

疲労破壊特性は繰返し破壊回数とひずみの両対数紙上で直線の関係として表現される場合が多いが、温度に応じてその直線は大きくシフトし温度との相関関係が単純ではない。一方、破壊回数と散逸エネルギーの関係は温度やひずみレベルが変化しても同一の式で表現可能と考えられ、疲労破壊特性の評価に散逸エネルギーの概念を取り入れることの有効性が確認できた。

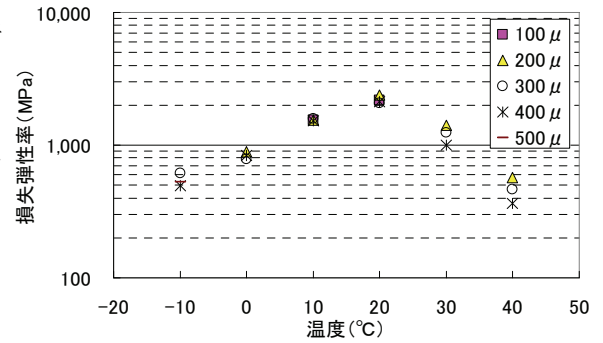


図-3 温度と損失弾性率との関係

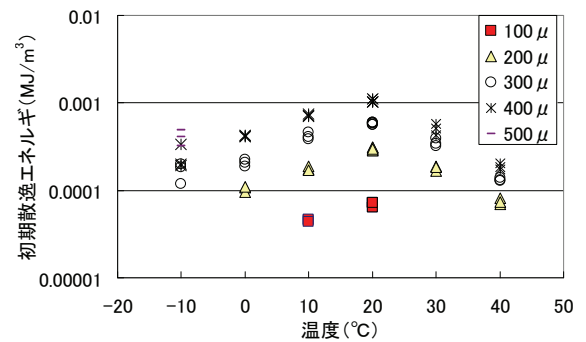


図-4 温度と初期散逸エネルギーの関係

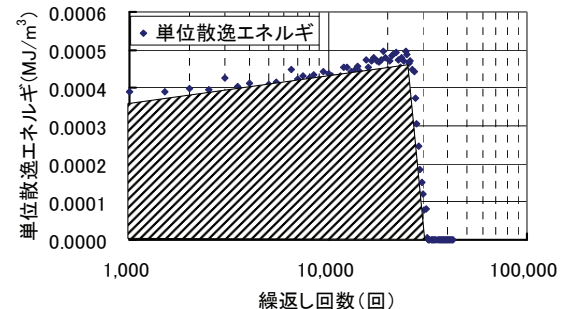


図-5 繰返し回数と単位散逸エネルギーの関係

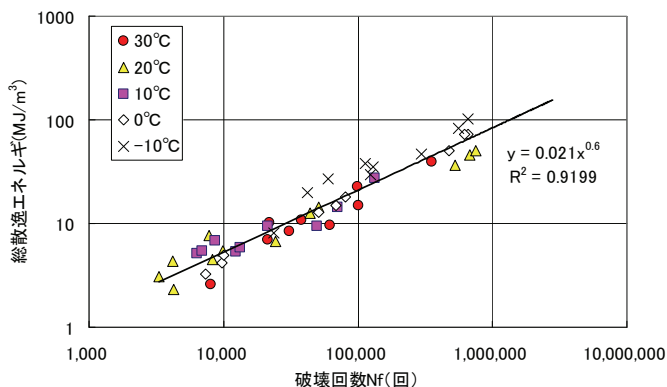


図-6 破壊回数と総散逸エネルギーの関係

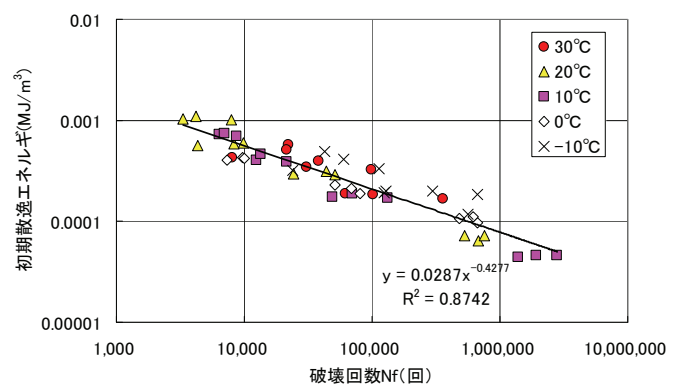


図-7 破壊回数と初期散逸エネルギーの関係

#### < 参考文献 >

- 1) Van Dijk, W.: The Energy Approach to Fatigue for Pavement Design, Proc. of AAPT, Vol. 46, pp38-74, 1975.
- 2) 姫野, 渡辺, 丸山: 低スティフネス状態におけるアスファルト混合物の疲労破壊特性に関する研究, 土木学会論文集 第366号, V-4, 1986年2月
- 3) Khalid A., Ghuzlan and Samuel H. Carpenter: Energy-Derived, Damage-Based Failure Criterion for Fatigue Testing, TRR Record 1723, pp141-149, 2000.