

アスファルト混合物の疲労限界に関する検討

中央大学 正会員 ○ 向後 憲一
中央大学 和地 敬
中央大学 フェロー 姫野 賢治

1. まえがき

疲労ひび割れは、アスファルト舗装の主要な破損形態の1つである。道路上のアスファルト混合物は、車両通過時の荷重の繰返しにより疲労ダメージを受ける。そのダメージの一部は荷重と荷重の間の休止期間に回復するが、回復されずに残る疲労ダメージが累積することにより、アスファルト混合物は疲労破壊に至る。しかしながらアスファルト混合物は、休止期間だけでなく繰返し荷重により疲労ダメージを受けている間もそのダメージを常に回復しつつづけているとされ、荷重による疲労ダメージとその回復が等しくなり、疲労ダメージが全く増加しないひずみレベル（以下、疲労限界（Endurance Limit）という）が存在するとされている¹⁾。

本検討では密粒度アスファルト混合物を用いて低ひずみレベル（20～50 $\mu\text{m/m}$ ）で疲労試験を行い、スティフネスの変化率^{2), 3)}から疲労破壊回数を推定することにより疲労限界の存在の可能性について考察した。

2. 密粒度アスファルト混合物の疲労破壊特性

筆者らは、これまでpush-pull型疲労試験装置を用いて密粒度アスファルト混合物の疲労破壊特性について検討してきた⁴⁾。図-1は、ひずみ制御で実施した実験結果の一例である。ひずみ振幅の低下とともに破壊回数は両対数紙上で直線的に増加する。

また、粘弾性体であるアスファルト混合物に周期的な外力を加えると、測定される応力波形はひずみ波形よりも進んだ位相となる。ひずみ制御の疲労試験において、その位相差（以下、位相角という）は荷重回数とともに増加し、破壊回数を過ぎると急激に低下する（図-2）。ここで、位相角がほぼ直線的に増加する区間の傾きは図-3に見られるようにひずみ振幅と直線的な関係にあり、ひずみ振幅が小さいほど位相角の変化の傾きは小さく、50 $\mu\text{m/m}$ 付近ではほぼゼロとなる。当該混合物は、スティフネス 3000Mpa以上（本実験の範囲）でスティフネスの低下に伴って位相角は増加するという関係が確認されており³⁾、位相角に変化がなければスティフネスも変化しないものと考えられる。したがって、ひずみ振幅が50 $\mu\text{m/m}$ 以下では疲労ダメージによるスティフネスの低下は極めて小さいと考えられる。これは、10 $^{\circ}\text{C}$ における密粒度アスファルト混合物(13)の疲労限界がこの範囲に存在する可能性を示唆するものである。

3. 実験の概要

疲労ダメージによるスティフネスの低下が小さいと予想されるひずみレベル（20～50 $\mu\text{m/m}$ ）において、疲労試験を行った。試験条件は表-1に示すとおりである。push-pull型疲労試験の供試体は、密粒度アスファルト混合物を所定の密度となるよう300 $\times$ 300 $\times$ 10mmに成型し、その中央部分を円筒形（直径75mm $\times$ 高さ

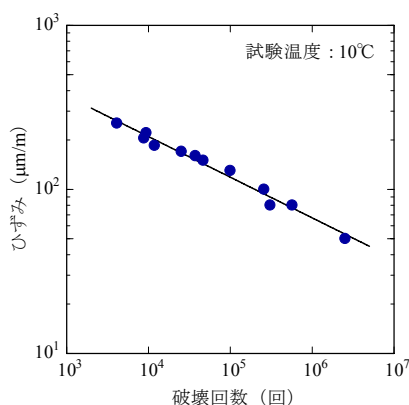


図-1 疲労試験結果

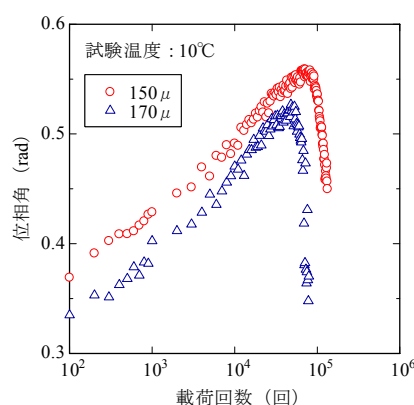


図-2 位相角の変化

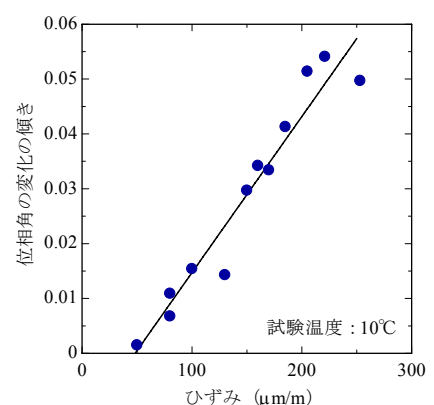


図-3 位相角の変化の傾き

キーワード アスファルト混合物, 疲労, 疲労限界, push-pull型疲労試験, 位相角

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 理工学研究科 TEL03-3817-1796

120mm×3 本) に切断した後, 上下面が平行となるよう研磨したものを
を用いた. ひずみ振幅は 20 μ m/m, 30 μ m/m, 40 μ m/m, 50 μ m/m とし,
載荷回数はそれぞれ 150 万回とした.

4. 実験結果

スティフネスの変化を図-4 に示す. スティフネスはひずみ振幅
20 μ m/m で最も大きく, ひずみ振幅の増加に伴って低下する. また,
スティフネスの変化は 20 μ m/m で最も小さく, ひずみ振幅の増加に伴
って大きくなる.

1 周期単位体積あたりの散逸エネルギーの変化を図-5 に示す. 散逸エ
ネルギーはひずみ振幅 20 μ m/m で最も小さく, ひずみ振幅の増加に伴
って増加する. また, 散逸エネルギーは 50 μ m/m で載荷回数に伴って低下
する傾向が認められるが, 40 μ m/m 以下ではほぼ一定である.

次に, 図-4 から求めたスティフネスの変化率を基に Di Benedetto ら
によって提案された解析手法を用いて²⁾, スティフネスの変化に寄与
する疲労ダメージ以外 (チキソトロピーや Self Heating など) の影響を
散逸エネルギーの変化率によって補正し, 疲労ダメージのみによるス
ティフネスの変化率 (SR) を求めた (SR の算出方法の詳細は参考文献 2),
3) を参照). 筆者らは既往の研究で SR と破壊回数 (N_f) の間に (1) 式
の関係があることを確認しており³⁾, これから N_f を推定して図-1 にプ
ロットすると図-6 となる.

$$SR \cdot N_f \approx 0.24 \quad (1)$$

ここで, 仮に 20 μ m/m ~ 50 μ m/m のひずみレベルに疲労限界が存在
すれば, 破壊回数の推定値は無限大となり図中の実測値の回帰直線か
ら大きく外れると考えられる. しかしながら, 今回の実験から得られ
た推定値は概ね回帰直線の延長上にあることから, この範囲に疲労限
界は存在しないと考えられる.

5. まとめ

今回実験を行った 20 μ m/m ~ 50 μ m/m のひずみレベルにおいて疲労
ダメージはかなり小さく, 20 μ m/m では破壊回数が 10^8 回以上と推定さ
れたが, 当該混合物の 10 $^{\circ}$ C における疲労限界は 20 μ m/m 以上には存在
しないと考えられる.

今後は, 温度が異なる場合の疲労限界の有無, バインダの種類や混
合物の配合が異なる場合の疲労限界の有無についても検討すること
としている.

〈参考文献〉

- 1) Soltani, A. and Anderson, D.A. : New Test Protocol to Measure Fatigue Damage in Asphalt Mixtures, International Journal of Road Materials and Pavement Design, Hermes Lavoisier, Paris, France, Vol.6, No.4, pp.485-514, 2005
- 2) Di Benedetto, H., de La Roche, C., Baaj, H., Pronk, A., and Lundström, R. : Fatigue of Bituminous Mixtures, RILEM TC 182-PEB 'Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials', Materials and Structures, Vol.37, pp.202-216, Apr., 2004.
- 3) 向後憲一, 姫野賢治: 載荷波形および休止時間の違いがアスファルト混合物の疲労挙動に及ぼす影響, 土木学会舗装工学論文集, Vol.12, pp.83-89, 2007.
- 4) 向後憲一, 姫野賢治: アスファルト混合物の一軸疲労試験, 土木学会第62回年次学術講演会, V-292, 2007.

表-1 試験条件

制御モード	変位制御
載荷波形	正弦波
周波数	5Hz
振幅	20~50 μ m/m
試験温度	10 $^{\circ}$ C

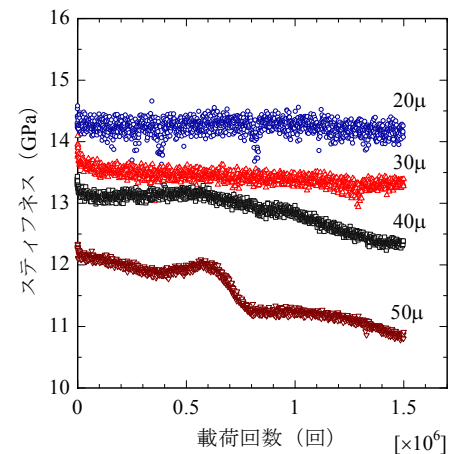


図-4 スティフネスの変化

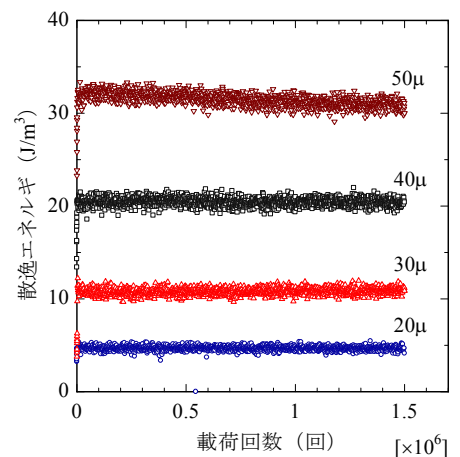


図-5 散逸エネルギーの変化

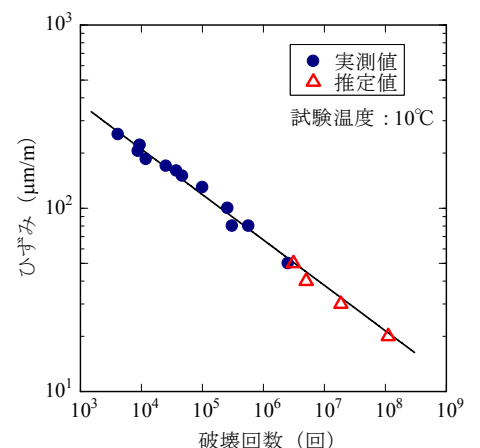


図-6 疲労試験結果