

# 熱劣化がアスファルト混合物の疲労特性に及ぼす影響と载荷休止によるヒーリング効果

Fatigue characteristics of asphalt mixtures affected by healing and thermal aging

土木工学専攻 14号 小林祐介

KOBAYASHI Yusuke

## 1. 背景

アスファルト混合物は粘弾性特性などの複雑な性状を持ち合わせているため、アスファルト混合物の疲労メカニズムに関して未解明な部分が多い。また供用中の舗装は太陽からの紫外線や舗装の温度上昇にともなう熱などによる外部環境の影響を受けるためアスファルト混合物の疲労性状を把握することが難しいとされている。

既往の研究では前川<sup>1)</sup>がアスファルトの劣化が混合物の疲労挙動に及ぼす影響を、試験温度 10°C、周波数 5Hz において検証した。その結果アスファルト混合物が繰返し载荷によって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けていると確認された。しかし休止による回復を示すデータは無く、未解決の課題である。

## 2. 目的

本研究では push-pull 一軸疲労試験装置を使用した室内実験を実施し、ストレートアスファルト混合物(以下 StAs 混合物)、熱劣化を伴ったストレートアスファルト混合物(以下熱劣化 StAs 混合物)、改質 II 型混合物の疲労性状の把握を目的として、混合物のスティフネス  $S$  に着目した検討を行った。

## 3. 試験概要

### 3.1. push-pull 一軸疲労試験概要

push-pull 一軸疲労試験は、SHRP で Lytton らによって採用され、その後 Di Benedetto や Kim らによって改良された。

この試験の特徴は、供試体の中央部断面に一様な応力とひずみが作用することである。

本検討で使用した push-pull 一軸疲労試験装置は、写真-1(a)および写真-1(b)に示すとおりであり、载荷装置、試験槽、制御装置および記録装置から構成されている。供試体に生じるひずみは、写真-1(b)に見られるように、供試体の円周上に 120° 間隔で配置した 3 基の差動トランス (ゲージ長さ 80mm) から、そ

の平均ひずみとして得られる。また本装置は、これら 3 基の差動トランスをフィードバック制御のループに含めることで、低ひずみレベル (20 $\mu$ m/m 程度) での制御を可能にしている。



写真-1(a) 疲労試験機 写真-1(b) 差動トランス  
(全体図)

### 3.2. 供試体概要

push-pull 一軸疲労試験の供試体は、混合物を所定の密度となるよう 300×300×100mm に成型し、その中央部分を写真-2(a)に示すように円筒形 (直径 75mm×高さ 120mm×3本) に横からくり抜いた後、写真-2(b)に示す研磨装置を用いて上下面が平行となるよう研磨したものをを用いた。熱劣化混合物はストレートアスファルトと骨材の練り混ぜ後にバットに敷きならした後、120°C の恒温槽に 24 時間、48 時間養生したものを未劣化のものと同様の作製手法で作製したものである。

円筒形の供試体は、上下面が治具に接着され、油圧制御による繰返し载荷 (引張-圧縮) を受ける。



写真-2(a) 円筒形供試体 写真-2(b) 研磨装置

### 3.3. 試験条件

本研究に用いたアスファルト混合物の寸法，配合と試験条件について表-1 に示す．制御モードはひずみ制御である．

表-1 試験条件

試験	
供試体寸法	円筒形 直径75mm, 高さ120mm
供試体配合	ストレートアスファルト(60/80), 骨材最大粒径13mm
バインダ種	StAs(未劣化, 24時間劣化, 48時間劣化) 改質Ⅱ型
試験温度	10°C
制御モード	ひずみ制御
載荷波形	正弦波 5Hz
ひずみ振幅	100 $\mu$ , 120 $\mu$ , 150 $\mu$ , 170 $\mu$ , 200 $\mu$ , 250 $\mu$

### 3.4. 試験結果の評価方法

ひずみ制御による一軸疲労試験では，StAs のステイフネス  $S$  は図-1 のように低下することが知られている．本研究では既往の研究を参考に，ステイフネス  $S$  が応力の安定する初期ステイフネス  $S_s$  (載荷 500 回) の 50% 低下した時を破壊とみなし，その時の回数を破壊到達載荷回数とした．

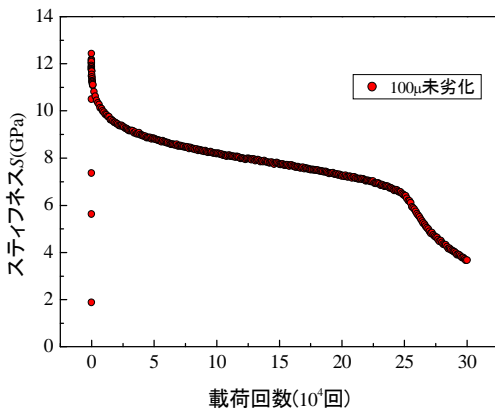


図-1 ステイフネスの変化例

## 4. 熱劣化が混合物の疲労挙動に及ぼす影響

### 4.1. 破壊到達載荷回数

未劣化混合物，熱劣化混合物，改質Ⅱ型に対してひずみ振幅 100, 120, 150, 170, 200, 250 $\mu$ において試験をおこなった．図-2 に未劣化・24 時間劣化・48 時間劣化，改質Ⅱ型における各ひずみレベルでの破壊到達載荷回数を示す．

図-2 よりひずみレベルが大きくなるにつれて，破壊到達載荷回数が小さくなっていることがわかる．また，概ね 150 $\mu$ 以上と比べて 150 $\mu$ 未満は，熱劣化により著しく破壊到達回数に差が見られる．小さなひずみレベル(100 $\mu$ 程度)であれば，熱劣化の方がステイフネス  $S$  の減少が緩やかで長寿命化する可能性があ

る．改質Ⅱ型に関しては他と比べ，破壊到達載荷回数が大きく，長寿命であると言える．

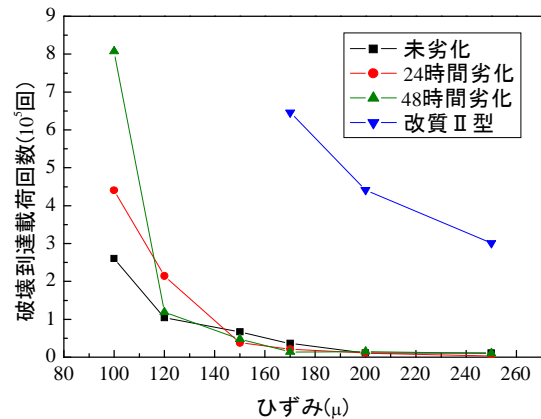


図-2 破壊到達載荷回数

### 4.2. 初期ステイフネス

図-3 に各ひずみレベルの初期ステイフネス  $S_s$  を示す．図-3 より 250 $\mu$ を除いた全てのひずみレベルで，48 時間劣化，24 時間劣化，未劣化，改質Ⅱ型の順に初期ステイフネス  $S_s$  が高くなっている．前述のとおり，破壊到達載荷回数に関しては，小さいひずみレベルのみ劣化の有無や劣化時間による差が見られたのに対して，載荷初期はすべてのひずみレベルでステイフネス  $S_s$  の上昇という形で劣化が影響していると考えられる．これは熱劣化によってステイフネス  $S$  が増加したと考えられる．

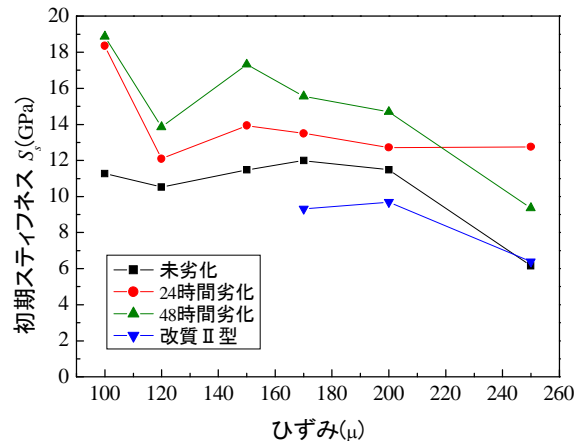


図-3 初期ステイフネス

### 4.3. 位相角

図-4 にひずみレベル 120 $\mu$ での載荷回数と位相角の関係を示す．未劣化と比べて劣化したものは，位相のずれが小さい．今回行ったすべての実験で，このような傾向が見られた．このことから劣化させることで，バインダの硬化など粘性が小さくなってい

ると考えられる。また 24 時間劣化, 48 時間劣化では位相角に大きな違いは見られない。

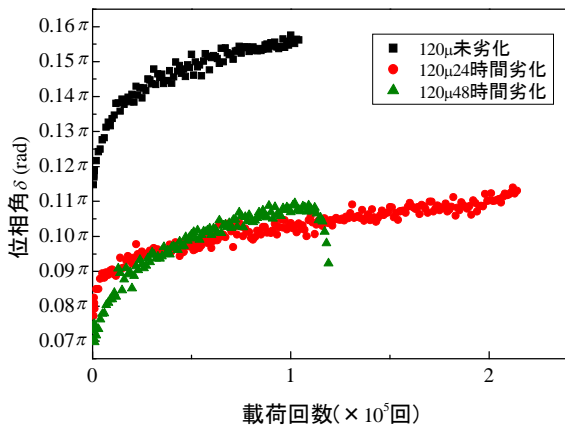


図-4 荷回数-位相角

#### 4. 4. 応力-ひずみ関係の経時変化

応力-ひずみ関係をより精緻に調べるため、いくつかの荷回数において荷重 1 サイクルあたりのヒステリシスループを描いた。先に述べた位相角は図-5 および式-1 から算出された。ひずみ制御では  $L_1$  が一定のもと、ループの傾きが小さくなることで  $L_2$  が大きくなり位相角が大きくなっていることが判明した。

図-6 より荷重開始から破壊到達荷回数までは粘弾性挙動を示すが、破壊後荷重を続けると、ループの形が楕円形から平行四辺形のような形になり、形状の変化が見て取れる。四点曲げ試験でも同様の変状が見て取れた。この変状は供試体の劣化の有無に関係なく表れ、疲労の進行によりできた供試体内部の小さなひび割れが原因と考えられる。破壊後(ループの形状が変化後)において、この方法で求めた位相角は、アスファルト混合物の挙動を表す指標としてはふさわしくないと考えられる。

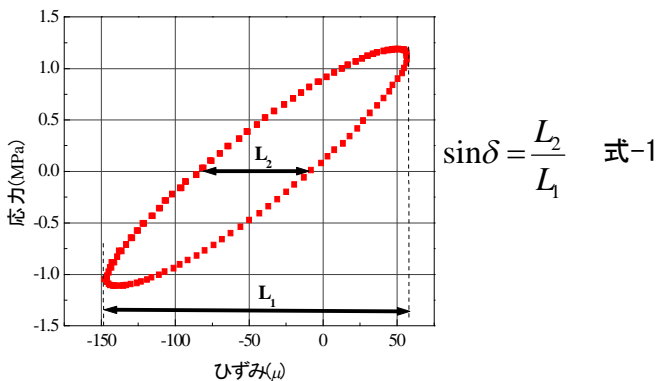


図-5 位相角の算出

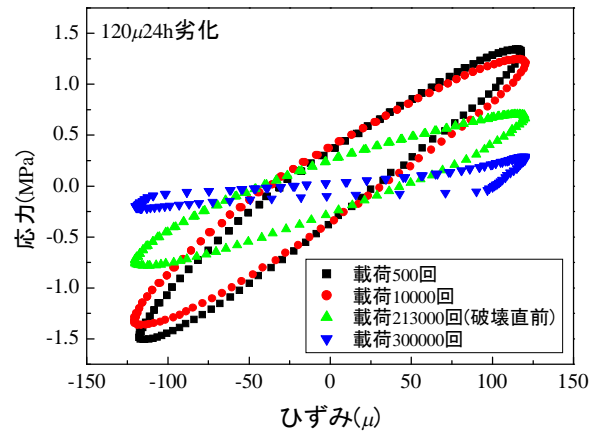


図-6 ヒステリシスループ

### 5. 休止が混合物の疲労挙動に及ぼす影響

#### 5. 1. 休止によるスティフネス回復率

150μで異なる休止時間(5分, 1h, 24h)を設け、疲労試験を行った。スティフネス回復率  $R$  を式-2 に定義する。また図-7 に結果を示す。

図-7 より休止時間が長くなるにつれて、スティフネス  $S$  が回復していることがわかる。しかし破壊到達荷回数について検討を行ったが、今回の試験条件(5Hz, 150μ)では休止の有無、また休止時間での大きな違いはなく、一度の休止では破壊到達荷回数に与える影響は小さいと言える。

$$R = \frac{S_{res}}{S_p} \quad \text{式-2}$$

$R$ :スティフネス回復率

$S_p$ : 3 万回荷重時のスティフネス

$S_{res}$ : 休止後のスティフネス

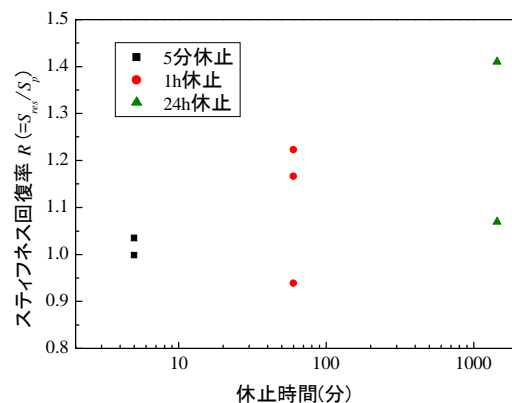


図-7 休止時間-スティフネス回復率

#### 5. 2. 破壊到達荷回数

休止が破壊到達荷回数に与える影響を調べるた

め、ひずみレベル  $150\mu$ において、1 万回载荷後に 1 時間休止を 1 セットとし、破壊到達までこの工程を繰返し行った。試験結果を図-8 に示す。図-8 より休止時間を設けることによって、疲労寿命が延びている事がみてとれる。また休止によるスティフネス回復率については、载荷回数が増加後も同程度の回復を見せている。

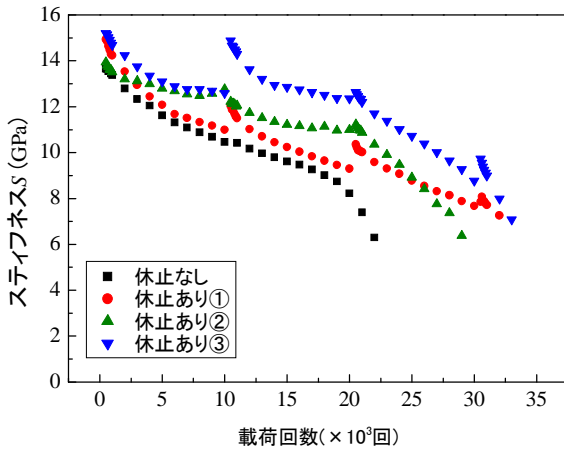


図-8 休止によるスティフネスの変化

### 5.3. 位相角

図-9 に休止の有無による位相角の推移を示す。休止時間を設けることで、一時的に位相角は小さくなるが、その後休止なしと同様の推移を示している。これは载荷により発生したマイクロクラックが回復し、一時的に位相角が小さくなったと考えられる。

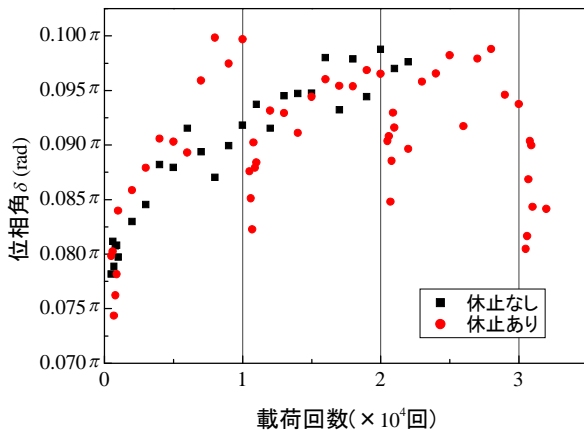


図-9 休止の有無による位相角の推移

### 6. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

#### \* 熱劣化について

- ・  $150\mu$ 以上と比べて  $150\mu$ 未満は、熱劣化により著しく破壊到達载荷回数に差が見られる。
- ・ 小さなひずみレベル( $100\mu$ 程度)では、熱劣化の方

がスティフネスの減少が緩やかで長寿命化する可能性がある。

- ・ 供試体を熱劣化させることで初期スティフネスを含めて相対的にスティフネスが高くなる。
- ・ 未劣化と比べて劣化したものは、位相のずれが小さい。このことから劣化させることで、バインダの硬化など粘性が小さくなっていると考えられる。
- ・ 载荷回数が増加し、ヒステリシスループの傾きが小さくなることで、位相角が大きくなっていくことがわかった。

#### \* 休止について

- ・ 休止時間が長くなるにつれて、スティフネスはより多く回復する。また载荷回数が増加後も休止によるスティフネス回復率は変化しないことが確認できた。
- ・ 休止時間を設けることで疲労寿命が延びることが確認できた。
- ・ 休止を設けることで一時的に位相角は小さくなる。これは载荷により発生したマイクロクラックが、休止時間を設けることで回復したことが原因と考えられる。

### 7. 結論

本研究により検討した結果、劣化の有無による初期スティフネス、位相角の顕著な差が確認できた。しかしながらスティフネスの変化、及び破壊到達载荷回数に関しては、小さなひずみレベルにおいてのみ劣化の有無による明確な差が確認できた。また休止時間を設けることで、スティフネスが回復し、疲労寿命が延びることが確認できた。この知見は今後、舗装をより効率的に維持管理していく上で、大きな影響を及ぼし得るものである。位相角の算出方法については、新しい方法で指標を作成するところまで至らなかった為、今後の課題としたい。

#### [参考文献]

- 1) 前川亮太：繰返し载荷実験に基づくアスファルト混合物の変形および疲労挙動に関する研究，中央大学博士論文，2012
- 2) 和地敬：バインダ性状の違いがアスファルト混合物の疲労挙動に及ぼす影響，中央大学修士論文，2010
- 3) 向後憲一：载荷条件の違いに着目したアスファルト混合物の疲労挙動に関する研究，中央大学博士論文，2009