

# 旧アスファルトの性状に基づいた再生混合物の疲労破壊抵抗性の 推定法に関する研究

交通工学研究室 野本 陽  
高橋 修  
中村 健

## 1. はじめに

従来のバインダ評価指標として、針入度が広く採用されている。針入度はバインダのコンシステンシーを表すもので、劣化の進行に伴ってバインダは脆化するために、バインダの劣化程度を評価する場合にも流用されている。しかしながら近年では通常のバインダとレオロジー特性が異なる改質アスファルトが広く普及したことより、針入度による評価では異なるバインダ種間での評価が困難となっている。

既往の研究ではバインダ種に影響されない評価試験として荷重測定型伸度試験(Force Ductility Test : 以下, FDT)が提案されている。FDT の試験結果より求められる引張仕事量 FD 値は混合物を曲げ疲労試験に供した際の疲労破壊抵抗性との間に高い相関性を有することが確認されている。疲労破壊回数は混合物の疲労破壊抵抗性を示す指標として一般的に用いられているが、曲げ疲労試験の試験温度や与えるひずみ等によって変動する。一方、混合物にエネルギーの概念を適用し、総散逸エネルギーを指標に用いることで、試験条件の違いに影響を受けず供試体固有の疲労破壊抵抗性を評価可能であり、連続粒度混合物において FD 値と総散逸エネルギーとの間に高い相関性が確認されている。

本研究では以上の成果を再生混合物へ適用することを検討し、旧アスファルト(以下, 旧アス)の性状に基づいて再生混合物の疲労破壊抵抗性を推定することを目的としている。新規混合物の

疲労破壊抵抗性を推定する場合とは異なり、再生混合物中のバインダには旧アスおよび新規投入アスファルト(以下, 新アス)の 2 種類が含まれているため、再生混合物中のバインダを如何に再現するかが課題となる。この課題に対して再生混合物中と同一の配合率となるよう新アスと旧アスを混合した「混合バインダ」を作製し、混合バインダの FD 値を用いて再生混合物の総散逸エネルギーが推定可能か妥当性を検討した。この検討にあたって、混合バインダ中における旧アスの混合状態と再生混合物中における旧アスの混合状態がことなるように、両者には旧アスの混合均質性が異なることが予想される。したがって、混合均質性が混合物に及ぼす影響を検討するべく、旧アスのバインダ種や劣化程度を変えて検証を行った。

## 2. 荷重測定型伸度試験(FDT)

FDT は従来の伸度試験機にロードセルを搭載し、バインダが延伸される際の変形量と荷重を測定する試験である。本試験では、従来の我が国における伸度試験の実施要領に準拠して FDT を行った。

新規アスを促進劣化に供して旧アスを模した劣化アスファルトを作製した。促進劣化にはマントルヒーターを用いた加熱促進劣化を採用しており、バインダを 180°C に加熱し攪拌しながら所定の加熱時間まで促進劣化を行う。改質 II 型を促進劣化した場合、FDT で得られる荷重と変位の結

果を図-1 に示す. 劣化の進行に伴い荷重の最大荷重が上昇し, 変位置量が低下する傾向にある.

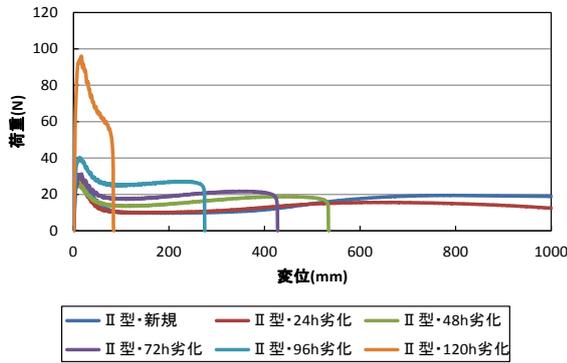


図-1 促進劣化によるグラフの変化

FD 値の算出については, 同様の試験機構・結果が得られるタフネス・テナシティ試験を参考にし, テナシティ(粘結力)を示す領域を FD 値とした. FDT の試験結果と FD 値を赤色で示したグラフが図-2 である.

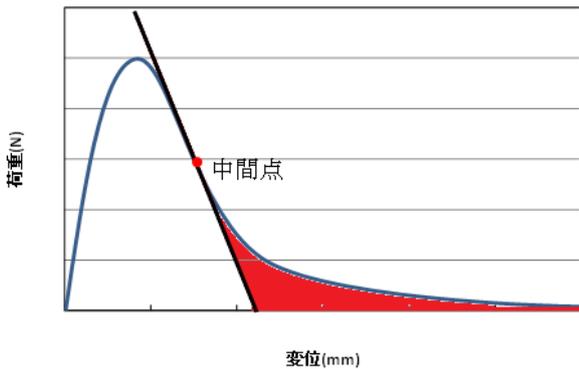


図-2 FDT の試験結果と FD 値

### 3. 混合物における総散逸エネルギーの適用

物体に繰返し荷重が加わった場合, 1 サイクルに単位体積当たりで散逸されるエネルギーが単位散逸エネルギーであり, 物体が破壊に至るまでの単位散逸エネルギーの総和が総散逸エネルギーである. 総散逸エネルギーは式 (1), (2) により算出する.

$$w_0 = \pi \cdot \sigma_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot \sin \phi \quad \dots \dots (1)$$

$$w_t = \sum_{N=1}^{N_f} w_0 \quad \dots \dots (2)$$

ここに,  $\sigma_0$ : 応力 (MPa),  $\varepsilon_0$ : ひずみ ( $\mu$ ),  $\phi$ : 位相角 (rad),  $w_0$ : 応力 1 周期当たりの単位散逸エネルギー ( $\times 10^{12} \text{J/m}^3$ ),  $w_t$ : 総散逸エネルギー

( $\times 10^{12} \text{J/m}^3$ ),  $N_f$ : 破壊に至るまでの荷重回数 (回),  $N$ : 荷重回数 (回)

### 4. FD 値と総散逸エネルギーの関係

本実験では再生骨材は, 性状が既知の旧アスを用いて混合物を作製し, 再度これをほぐしたものを用了. この後, 再生骨材に新規投入骨材と新アスを加え混合し再生混合物を作製する. 旧アスは新規改質 II 型及び改質 II 型を 48h, 96h, 144h, 192h, ストアスを 24h, 48h, 72h, 96h 加熱促進劣化を施したものを用意した. 再生骨材配合率を 30%と 50%と 2 パターンに分けた再生密粒度アスファルト混合物を作製し, 曲げ疲労試験に供した. それぞれの再生混合物に対応する混合バインダの作製も行い, FDT に供する.

従来の FD 値と総散逸エネルギーを示す座標上に, 今回の結果をプロットしたグラフを図-3 に示す.

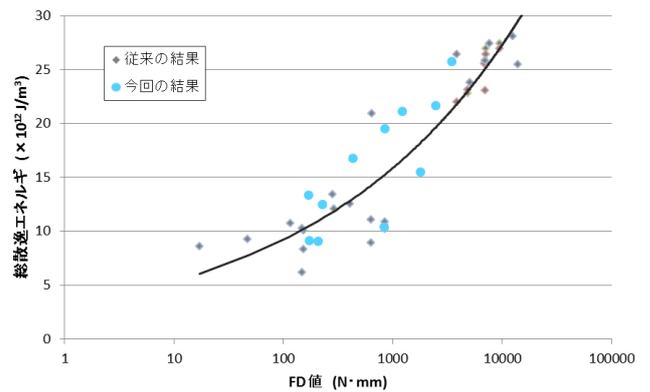


図-3 FD 値と総散逸エネルギーの関係

### 5. 混合均質性による影響の検討

図-3 より, 本実験結果は従来と同様の相関性を示していることが分かる. 再生混合物中における旧アスの混合均質性と混合バインダ中における旧アスの混合均質性が異なることが予想されたが, 試験結果より混合均質性が混合物に及ぼす影響が無視できるほど小さいといえる. さらに, 旧アスのバインダ種や劣化度合い, 再生骨材配合比などによって混合均質性が変化することが考

えられるが、同様に混合均質性による影響が軽微であることが分かった。

## 6. 再生混合物の疲労破壊抵抗性の推定

横軸に混合バインダのFD値から推定した総散逸エネルギー(推定値)、縦軸に再生混合物を曲げ疲労試験に供して得られた総散逸エネルギー(実測値)を取ったグラフを図-4に示す。

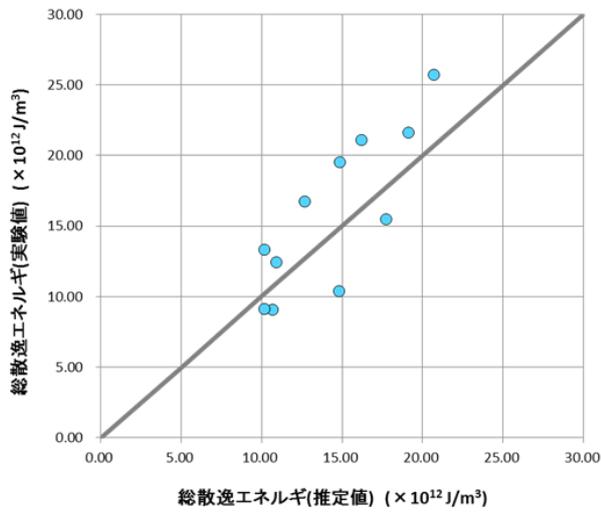


図-4より、推定値がおおよそ実測値を表す結果となった。このことより、再生混合物の総散逸エネルギーは混合バインダのFD値より推定が可能ということが分かった。

## 7. 旧アスの配合率とFD値の関係

混合バインダのFD値により再生混合物の総散逸エネルギーが推定できることは再生混合物の配合設計において大変有用であると考え、再生骨材配合率を変えることで混合バインダのFD値を任意に決定し、再生混合物の疲労破壊抵抗性を制御する方法について、旧アスの配合率と混合バインダのFD値の関係を求めることによって検討を行った。

新規改質II型及び改質II型を0h, 24h, 48h, 96h, 144h, ストアスを72h加熱促進劣化を施したバインダを旧アスとし、新アスと見立てた新規ストアスと30%, 50%, 70%の配合率で混合した

混合バインダのFD値を測定し、旧アスの配合率に対するFD値の相関性を検討する。

旧アスの配合率に対するFD値の関係を図-5に示す。

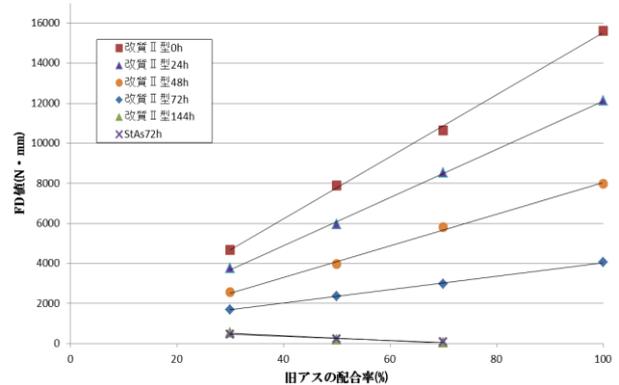


図-5 旧アスの配合率に対するFD値の関係

図-5より、旧アスの配合率と混合バインダのFD値には線形の関係があることが確認できる。また、旧アスのバインダ種や劣化程度によって傾きが変わることが分かる。新規改質II型や改質II型24時間劣化など、旧アスのFD値が高いものは正の傾きとなるが、改質II型144時間劣化やもとよりFD値が低いストアスに劣化を施したストアス72時間劣化のようなFD値の極めて低いバインダの場合は、負の傾きとなる。さらに、それぞれの関係の切片はFD値が約800N・mmの点に収束する傾向が見え、今回使用した新アスのFD値を示していることが確認できる。したがって、新アスのFD値と旧アスのFD値、さらにこれらの配合率から混合バインダのFD値の推定が可能ということが分かる。

## 8. 実証実験

実際の切削廃材を再生骨材として用いて、再生混合物の配合設計をする実証実験を行った。再生骨材の物性把握のため、旧アス付着量、抽出粒度、理論最大密度の測定を行った。旧アスの性状が不明なため抽出を行ってFD値を算出したところ、83N・mmと大変低い値であったため、FD値が

5790N・mm である改質Ⅱ型を新アスに使用し、目標 FD 値を 2000N・mm と設定した。これを満たす旧アス配合率は 70% となり、これを基に配合設計を行った。

旧アス配合率と旧アス付着量より換算した再生骨材配合率は 70% となった。表層舗装の混合物種として一般的である密粒度アスファルト混合物目標(13)の中央粒度を目標にし、各種骨材を配合したところ、表-1 となった。この配合における合成粒度を図-6 に示す。

表-1 骨材配合率

骨材類	6号	7号	粗砂	石粉	再生骨材
配合率	18%	6%	3%	3%	70%

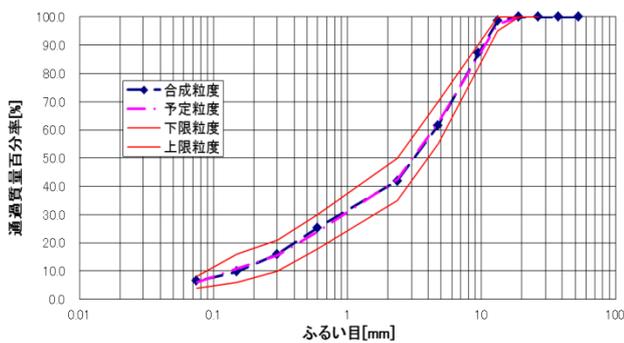


図-6 合成粒度

FD 値 2000N・mm より推定した目標総散逸エネルギーが  $18 \times 10^{12} \text{J/m}^3$  であるのに対し、今回配合設計を行った再生混合物の曲げ疲労試験によって得られた実験総散逸エネルギーは  $110 \times 10^{12} \text{J/m}^3$  となった。実験値が推定値を上回っており、安全側の評価となっているが、精度上に問題が残る結果となった。この要因として、旧アス抽出時のポリマー残留によって旧アスを過小評価してしまった影響や再生骨材の粒度による影響が考えられる。既往の研究により、新規に作成した SMA 混合物を対象にしたバインダの FD 値と総散逸エネルギーの関係は、連続粒度混合物における関係とは異なることが確認されている。SMA 混合物の試験結果

と本実証実験の試験結果をプロットしたグラフを図-7 に示す。

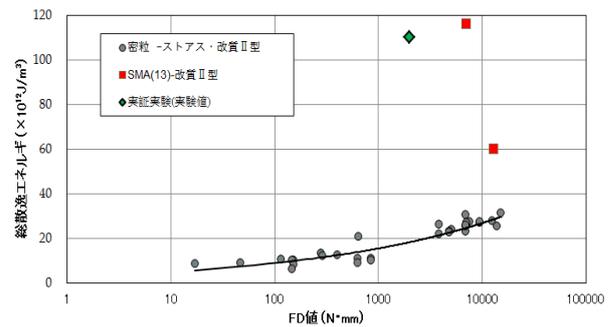


図-7 SMA と実証実験の試験結果

図-7 より、既往の研究によって SMA 混合物を対象にした FD 値と総散逸エネルギーの関係は連続粒度混合物における相関性を示さないことが確認できる。そして本実証実験の結果も同様に既往の相関性から逸脱していることが確認できた。旧アスを過小評価することによって実測値が推定値を上回ることが考えられるが、再生混合物の総散逸エネルギーの実測値があまりにも大きいことから、本実証実験で作成した再生混合物に粒度上の問題があった可能性がある。精度向上の方法として、旧アスの抽出方法の改善や新たな抽出方法の構築、再生骨材の粒度管理の改善や再生骨材を所定の粒度で分級し配合設計を行うことなどが挙げられる。

## 9. まとめ

既往の研究によって確認されている FD 値と総散逸エネルギーの関係を再生混合物に適用し、旧アスの性状に基づいた再生混合物の疲労破壊抵抗性の推定が可能であることを確認した。これを利用した新たな再生混合物の配合設計手法の構築を行ったが、現段階では精度が低いことが確認され、改善の必要がある。