

半円形供試体曲げ試験によるアスコンのき裂進展速度評価法に関する研究

長岡技術科学大学 環境社会基盤工学専攻 ○尾谷 力
長岡技術科学大学 環境社会基盤工学専攻 高橋 修

1. はじめに

アスファルト層に発生したき裂は荷重等の作用によって徐々に進展し、舗装の構造体としての強度を低下させる。アスファルトコンクリート（アスコン）層のき裂はアスファルト舗装を管理する上で重要な破壊形態であり、本研究ではひび割れ抵抗性に関する一つの評価指標としてき裂進展速度に着目した。

アスコンのき裂進展速度の評価方法として、曲げ疲労試験がある。曲げ疲労試験は舗装調査・試験法便覧に規定されており、供試体側面にクラックゲージを設置することで、き裂進展速度を直接計測することが出来る。しかし、4点曲げ疲労試験は、供試体の準備も含め試験時間に多大な時間を要するため、複雑な試験法の一つに位置づけられる。

本研究では、アスコンのひび割れ抵抗性評価手法として提案された半円形供試体曲げ試験（SCB 試験）に着目した。この試験は、欧州と米国で標準化されており低温時のひび割れ抵抗性を簡便に評価するための評価法で、伝播について評価するものではない。また、一部の研究者が常温に近い温度で実施した事例も報告されているが、我が国では実績や知見に乏しいものとなっている。しかしながら、試験法が簡便であることの優位性を考えると、検討の余地があるものと本研究では判断した。

本研究の目的はき裂進展速度と相関関係をもつ指標を SCB 試験から求め、SCB 試験でのき裂伝播評価に対する妥当性について検討することである。

2. クラックゲージを用いた曲げ疲労試験による評価

2.1 曲げ疲労試験の概要

舗装調査・試験法便覧に規定されている曲げ疲労試験の方法は、ひずみ制御による両振りで載荷を行う。しかしながら、本研究ではクラックゲージを供試体両側面に貼り付け、応力制御による片振りで載荷を行った。応力制御での試験は載荷回数が多くなるに従って変位が大きくなり、き裂開口変位も大きくなるため、クラックゲージでのき裂進展の計測が容易になる。さらに、片振りでの載荷では進展したき裂が閉じることなく、安定してき裂長さを測定することができる。

本研究で使用したクラックゲージは図-1 に示す形状寸法で、疲労き裂が上から下に向かって進展することを想定している。また、本研究での疲労試験は2点支持2点載荷の条件で実施し、写真-1 に試験実施状況を示す。クラックゲージの測定可能範囲にクラックが生じるように、上端面の中央部に幅 1mm、長さ 7mm の擬似き裂を導入した。供試体は、骨材配列による結果のばらつきを小さくするために、最大骨材粒径を

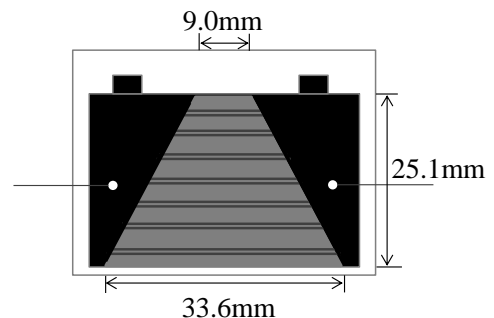


図-1 クラックゲージの概要



写真-1 4点曲げ疲労試験の実施状況

5mmとし、バインダにストレートアスファルト 60/80 (ストアス) とポリマー改質アスファルト II 型 (改質 II 型)、ポリマー改質アスファルト H 型 (改質 H 型) の 3 種類を使用した。表-1 に試験条件を示す。

荷重振幅の決定については、予備実験として表-2 に示す試験条件で静的曲げ試験を行った。試験から得られた試験結果を表-3 に示す。最大荷重の平均値が 522.65N であり、試験装置の荷重分解能も考慮して 150N と設定した。

表-1 4点曲げ疲労試験の条件

荷重方法	両端固定片振り2点荷重
寸法(mm)	50×50×400
疑似き裂長(mm)	7
荷重波形	sin波
周波数(Hz)	10
制御条件	応力制御
試験温度(°C)	10, 15, 20
荷重振幅(N)	150

表-2 静的曲げ試験の条件

荷重方法	両端固定1点荷重
供試体寸法(mm)	50×45×400
スパン(mm)	300
荷重速度(mm/min)	50
試験温度(°C)	20

表-3 静的曲げ試験の結果

供試体番号	1	2	3
最大荷重(N)	504.50	533.82	529.64
平均最大荷重(N)	522.65		

2. 2 試験結果および考察

両側面のき裂長さの平均値をとることにより、供試体の中央部のき裂長さとして評価を行った。結果の一例としてストアス、15°Cの場合における荷重回数とき裂長さの変化を図-2 に示す。この曲線の傾きがき裂進展速度を意味しており、傾きをとる範囲はき裂の進展が比較的安定している 5mm から 20mm の範囲とした。各バインダを使用した供試体に対するき裂進展速度の結果を図-3 に示す。結果より、温度が低いほどき裂進展速度は低く、またストアス、改質 H 型、改質 II 型の順でき裂進展速度が低いことが分かる。

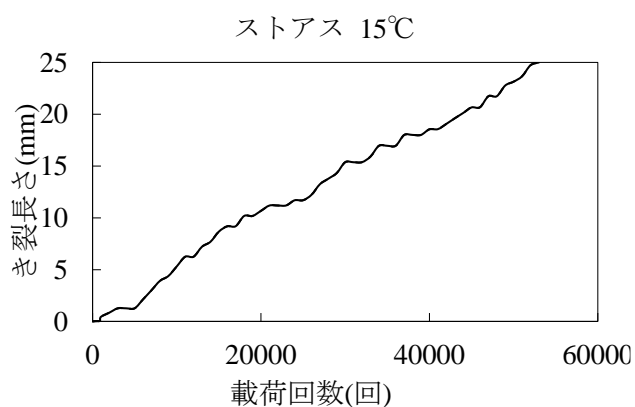


図-2 4点曲げ疲労試験結果

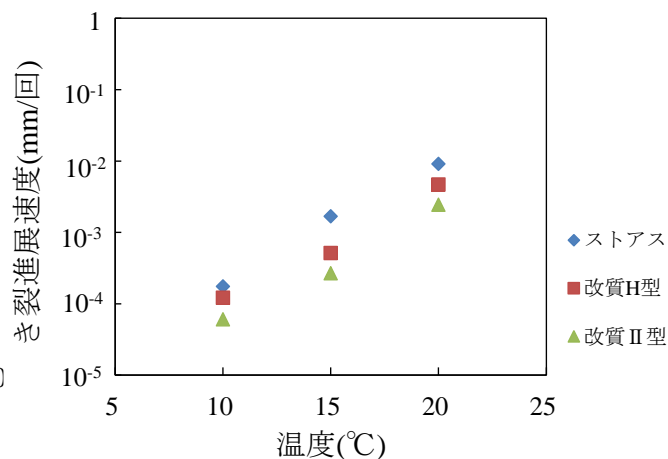


図-3 条件ごとのき裂進展速度

3. SCB 試験による評価

3. 1 SCB 試験の概要

SCB 試験は欧州標準化委員会 (CEN) で策定された規格²⁾や AASHTO の規格³⁾で規定されおり、低温条件でのアスコンの評価を目的に実施されている。4点曲げ疲労試験は 0°C 以上の常温域に実施されているため、これらの相関関係をみるためには同様の温度域で試験を行う必要がある。表-4 に試験条件を示す。

表-4 SCB 試験の条件

寸法(mm)	150×50
疑似き裂長(mm)	15
荷重速度(mm/min)	5
試験温度(°C)	10,15,20
支点間長(mm)	120

3. 2 試験結果および考察

SCB 試験から得られる荷重-変位曲線の一例を図-4 に示す。AASHTO の規定では破壊エネルギー評価パラメータとして用いて、ひび割れ抵抗性を評価する。破壊エネルギーは以下の式で求められる。

$$G_f = \frac{W_f}{A_{lig}} \quad (1)$$

ここに、 G_f : 破壊エネルギー (J/m^2)、 W_f : き裂による仕事 (J)、 A_{lig} : 有効面積 (m) とする。 W_f は次の式で表すことができる。

$$W_f = \int Pdu \quad (2)$$

ここに、 P : 載荷荷重 (N)、 u : 変位 (m) とする。

また、本研究ではき裂伝播に関する挙動に着目するため、荷重-載荷曲線のピーク荷重後の範囲で G_f を求めた。ピーク値以降では変位が進むにつれ、載荷荷重が急激に減少していく。これは供試体の有効断面積の減少による応力の減少を示していると考えられ、き裂進展の影響を受けていると考える。各破壊エネルギーの値を図-5 に示す。結果より、バイндаごとの温度変化による変化は少ないことが分かる。

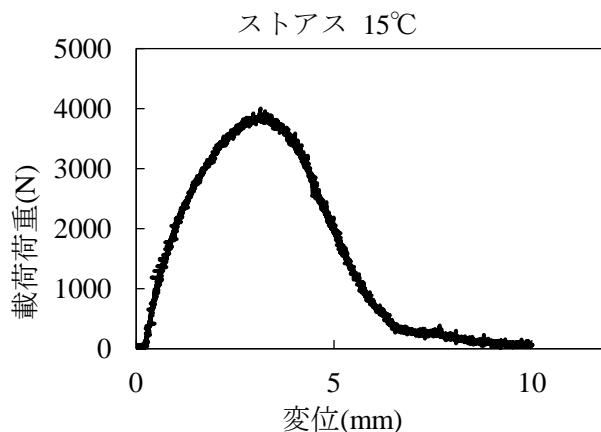


図-4 SCB 試験結果の例

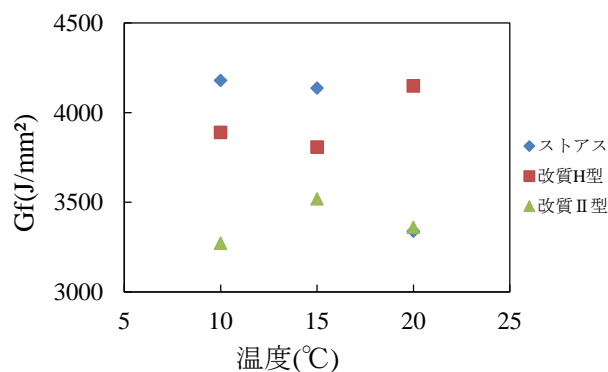


図-5 条件ごとの破壊エネルギー

4. き裂進展速度との相関関係

4. 1 破壊エネルギーとの比較

き裂進展速度と破壊エネルギーの比較を行う。条件ごとに結果をまとめたものを図-6 に示す。この結果からは、両者に相関関係が認められない。破壊エネルギーは荷重-変位曲線の積分値で求められ、き裂の進展挙動が異なる場合であっても破壊エネルギーの値がほぼ同じになることがある。この一例として、図-7 にストアスの温度による G_f の変化を示す。そのため、 G_f はき裂進展速度の評価パラメータとして適当とは言えない。

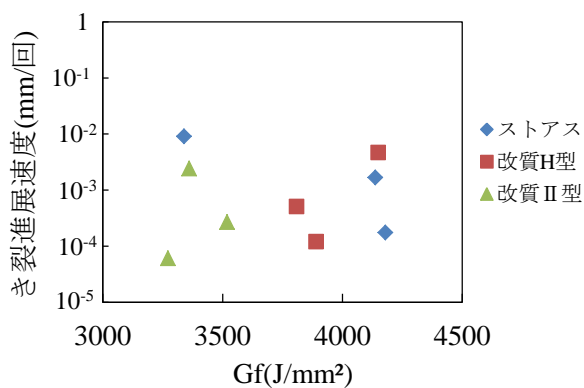


図-6 破壊エネルギーとの比較

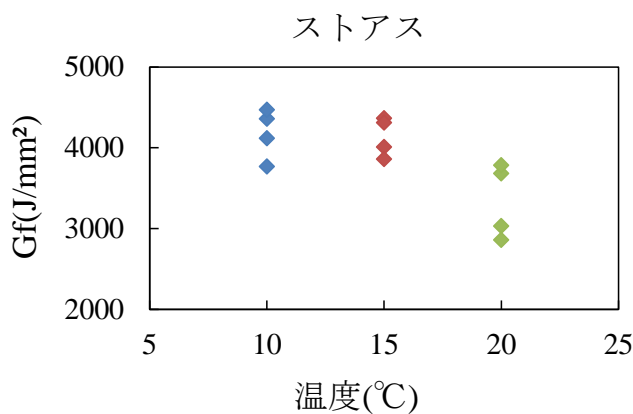


図-7 温度による破壊エネルギーの変化

4. 2 荷重－変位曲線の傾きとの比較

SCB 試験におけるき裂の進展挙動の差異をとらえる指標として、荷重－変位曲線のピーク値以降の傾きについて検討を行った。本研究では、**図-8**に示すように一定荷重範囲内の近似直線をとることで傾きを求めた。この傾きは、き裂発生後の荷重低下の割合を示しており、き裂進展程度と見なすことが出来る。この傾きとき裂進展速度について比較を行う。条件ごとに値をまとめたものを**図-9**に示す。この結果より、指数関数上ではあるが0.87と両者の間には高い相関関係があり、荷重－変位曲線のピーク値以降の傾きを用いることで、き裂進展について評価できると考えられる。

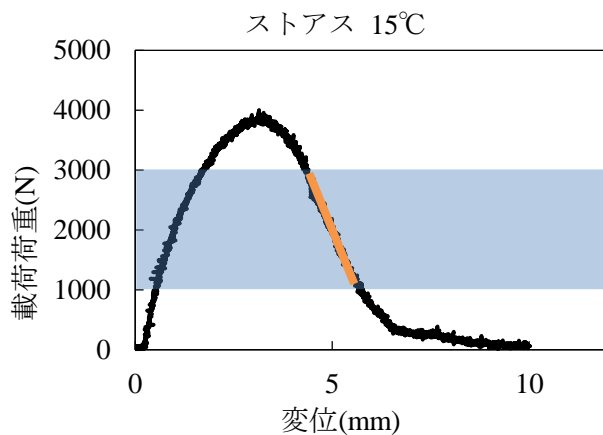


図-8 傾きの求め方

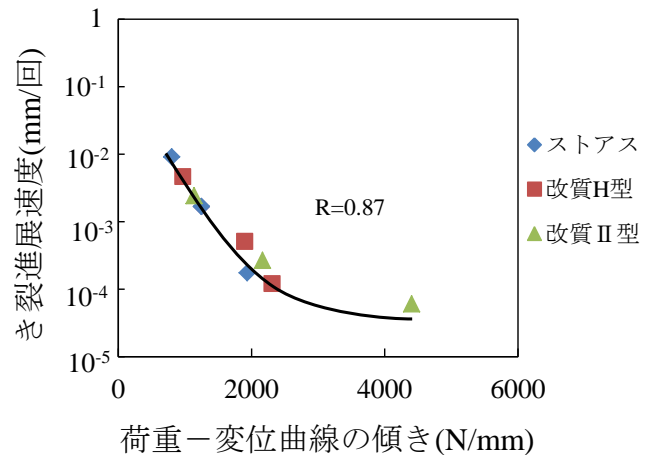


図-9 荷重-変位曲線の傾きとの比較

5. まとめ

本研究では、ひび割れ抵抗性の評価値としてき裂進展速度に着目し、4点曲げ疲労試験の結果に基づいて、簡便なSCB試験の結果から評価することについて検討した。き裂進展速度と破壊エネルギーの間には相関関係が認められなかったが、荷重－変位曲線のピーク値以降の傾きに着目してき裂進展速度との比較を行った。その結果、両者の間に指数関数上ではあるが高い相関関係が得られた。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，pp.[3]166-175，2007.6.8 初版
- 2) EN12697-44:2010，Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt -Crack propagation by semi-circular bending test
- 3) AASHTO TP 105-13 Standard Method of Test for Determining the Fracture Energy of Asphalt Mixtures Using the Semicircular Bend Geometry (SCB)