

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検討

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

1. はじめに

アスファルトコンクリート（アスコン）層に発生したき裂は荷重等の繰返し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を表す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¹⁾、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できる。しかし、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し、試験装置も大規模となるため、複雑で高価な試験法の一つに位置づけられる。

本研究では、低温時におけるアスコンのひび割れ抵抗性を評価する手法である半円形供試体曲げ試験（SCB試験）をき裂進展速度の評価に応用することについて検討した。SCB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試験法で、本来はひび割れの進展過程を評価するものではない。一部の国外研究者が常温に近い条件でひび割れ抵抗性の評価に試用した事例も報告されているが、我が国では実績がほとんどなく、知見が乏しいのが実状である。試験法が簡便であることの優位性を考えると、アスコンのひび割れ抵抗性の評価法として有望か否か検討する価値はある。

本研究の目的は、SCB試験から求めたき裂進展速度の結果と既往の曲げ疲労試験から求めたき裂進展速度の結果を比較し、これらの相関性を評価するとともに、SCB試験データから得られる有効な評価パラメータを提案することである。

2. クラックゲージを用いた曲げ疲労試験によるき裂進展速度の評価

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は、ひずみ制御による両振りで载荷を行う。本研究では、クラックゲージを供試体の両側面に貼り付け、応力制御による片振りで载荷を行った。応力制御での試験は、载荷回数が多くなるに従って変位が大きくなり、き裂開口部の変形も大きくなるため、クラックゲージでのき裂進展の過程が容易に計測できる。さらに、片振りでの载荷は進展したき裂が閉じることないため、安定してき裂進展を測定することができる。

本研究での疲労試験は2点支持2点载荷の条件で実施し、クラックゲージは共和電業社製のKV-25Bを使用した。クラックゲージの測定可能範囲にき裂が生じるように、**図-1**に示す幅1mm、長さ7mmの疑似き裂を中央部の端面に導入した。**写真-1**に試験の実施状況を示す。

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、最大骨材粒径が5mmの密粒度アスコンとし、バインダにはストレートアスファルト60/80（ストアス）、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**に試験条件をまとめる。

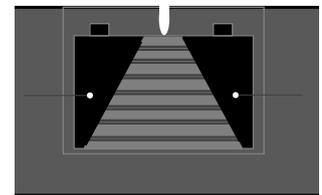


図-1 疑似き裂の導入状況



写真-1 曲げ疲労試験の実施状況

表-1 曲げ疲労試験の条件

| 項目 | 条件 |
|-----------|-----------------|
| 载荷方法 | 両端固定片振り 2点载荷 |
| 寸法(mm) | 50×50×400 |
| 疑似き裂長(mm) | 7 |
| 载荷波形 | 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 |

2. 2 試験結果および考察

両側面のクラックゲージで測定したき裂長さの平均値をとり各種アスコンのき裂進展速度について評価した。き裂進展の様子を表す結果の一例として、ストアス供試体の試験温度 15°C の場合における荷重回数とき裂長さの関係を図-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。これらの結果は、試験温度が低いほどき裂進展速度は遅く、またストアス、改質H型、改質II型の順序でき裂進展速度が遅くなっている。これは経験的知見に沿った結果となっており、クラックゲージを用いた曲げ疲労試験によってき裂進展速度を評価できていると言える。

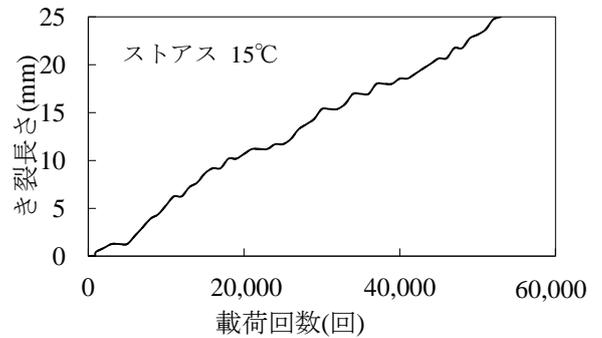


図-2 荷重回数とき裂長さの関係(ストアス, 15°C)

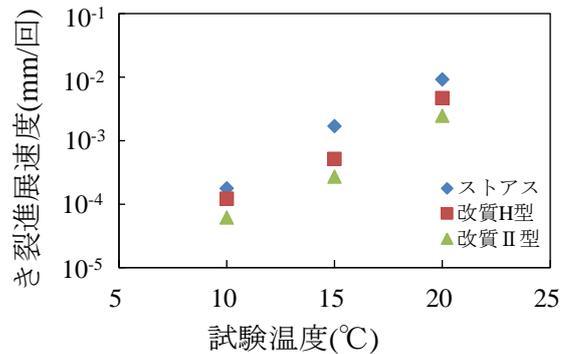


図-3 各供試体の試験温度とき裂進展速度の関係

3. SCB 試験によるき裂進展速度の評価

3. 1 SCB 試験の概要

SCB 試験は欧州標準化委員会 (CEN) で策定された基準²⁾や米国 AASHTO の基準³⁾があり、低温条件でのアスコンのひび割れ抵抗性評価を目的に実施されている。4点曲げ疲労試験では、アスコンが実際に長期間供される常温域でのき裂進展を評価したことから、これらの相関関係の検討には同じ温度条件で試験を行う必要がある。本研究での SCB 試験の条件を表-2 に示す。また、写真-2 に SCB 試験の荷重状況を示す。

3. 2 試験結果および考察

SCB 試験から得られた荷重-変位曲線の一例を図-4 に示す。AASHTO 基準では破壊エネルギー G_f を評価パラメータとして採用しており、その値をもってひび割れ抵抗性を評価している。破壊エネルギー G_f 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^2) である。また、 W_f は次の式で与えられる。

$$W_f = \int P du \quad (2)$$

ここに、 P : 荷重荷重 (N)、 u : 変位 (m) である。

本研究では、き裂進展の挙動に着目しているため、荷重-変位曲線の荷重ピーク以降の範囲で G_f を求めた。ピーク以降では変位が大きくなるにつれ、荷重荷重が急激に減少していく。この範囲においてき裂が進行し、供試体の有効

表-2 SCB 試験の条件

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



写真-2 SCB 試験の実施状況

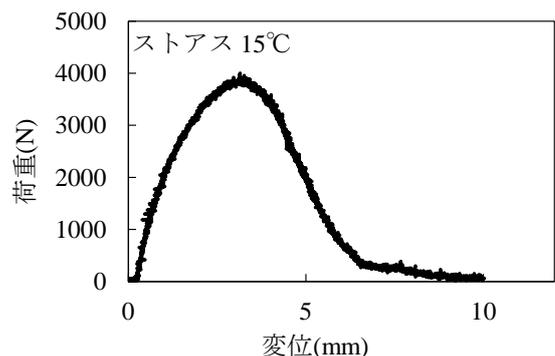


図-4 SCB 試験の結果(ストアス, 15°C)

断面が減少して、荷重が低下したものと判断される。各アスコン供試体に対する各破壊エネルギーの値を図-5 に示す。バインダごとの温度変化による G_f の変化は少ないことが分かる。これより、 G_f のみでアスコンの物性評価は困難であると言える。

4. 曲げ疲労試験のき裂進展速度と SCB 試験の結果との相関関係

4.1 G_f との比較

曲げ疲労試験のき裂進展速度と SCB 試験から得られる G_f の比較を行う。各供試体の結果を散布図で表すと、図-6 に示すとおりである。この結果からは、両者に相関関係が認められない。 G_f は荷重-変位曲線の積分値で求められ、き裂進展速度が大きいほど荷重が急激に低下するため、 G_f 値は小さくなるはずである。すなわち、き裂進展速度と G_f は負の相関があるものと想定される。しかしながら、例えばき裂進展速度が小さく、荷重低下が緩やかでも、スティフネスが小さくて荷重ピークの値が小さければ、 G_f も小さく計算されることになり、想定どおりとならない。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いえない。

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着目した。図-7 に示すように、荷重がピークを迎えて低下し、低下の割合がほぼ一定となる範囲での近似直線をとることで傾きを求めた。この傾きは、一種のき裂進展速度と見なすことができる。この傾きと曲げ疲労試験より得られたき裂進展速度について比較を行う。供試体条件ごとに結果をまとめたものを図-8 に示す。この結果より、指数関数による近似ではあるが $R=0.87$ 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比較することで、き裂進展速度について評価できると考えられる。

4.3 クラックゲージを用いた SCB 試験による評価

荷重-変位曲線のピーク値以降の傾きとき裂進展速度の間には高い相関があることが分かった。そこで、今回着目した傾きの範囲における、実際のき裂進展状況を確認するために、SCB 供試体にクラックゲージを設置し、直接き裂進展状況を測定した。ここでは、き裂の発生から破断に至るまでの進展プロセスを計測するため、クラックゲージを

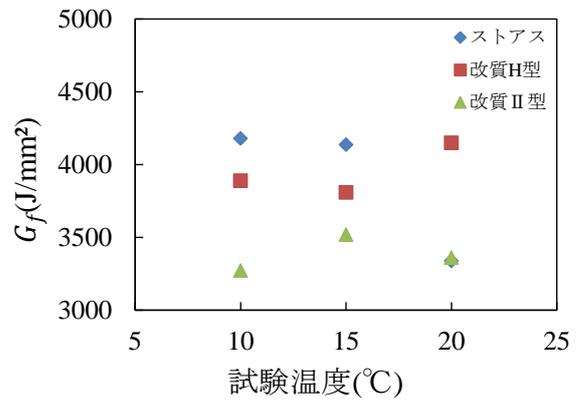


図-5 各供試体の試験温度と G_f の関係

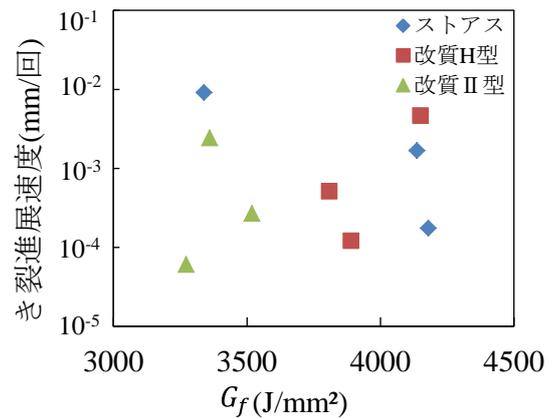


図-6 き裂進展速度と G_f の比較

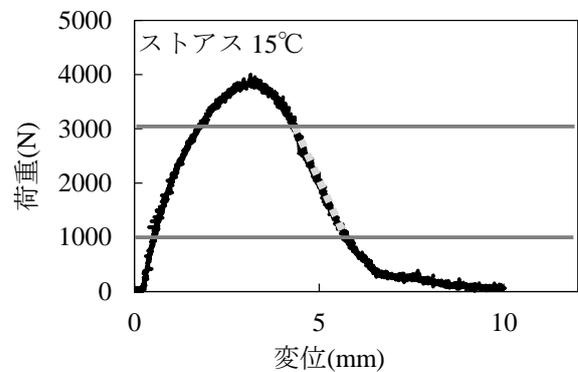


図-7 傾きを求める範囲

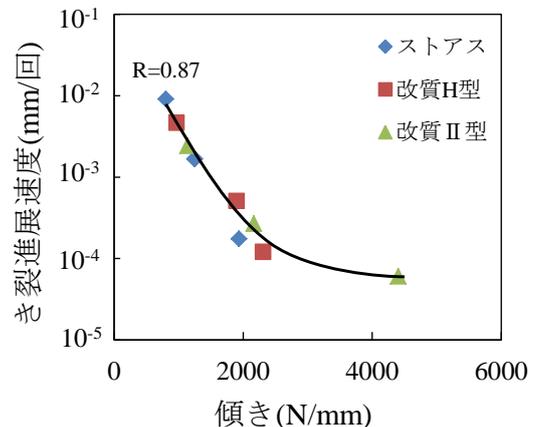


図-8 き裂進展速度と傾きとの関係

供試体片面に2枚重ねて設置した。写真-3にクラックゲージを設置したSCB供試体を示す。



写真-3 供試体へのクラックゲージ設置状況

クラックゲージの設置以外は先のSCB試験と同様に行った。試験中におけるき裂進展状況の一例を写真-4に示す。き裂発生から破断まで、クラックゲージの測定可能範囲内でき裂が進展している様子が分かる。

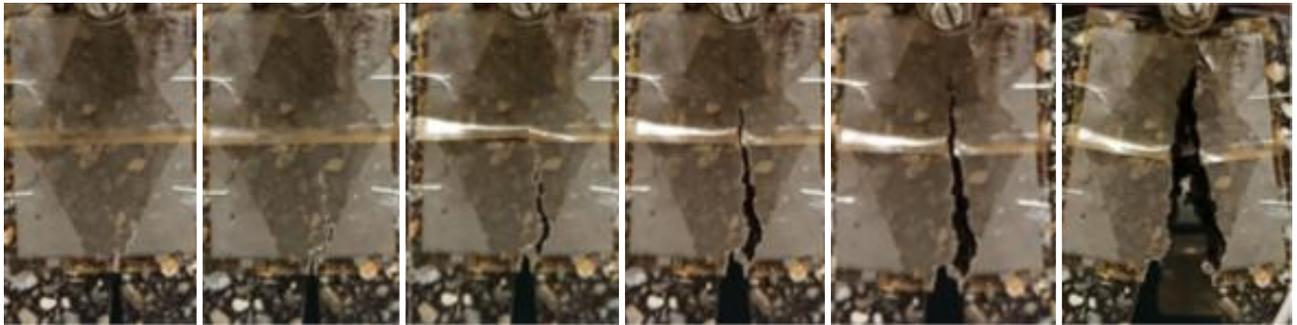


写真-4 き裂進展状況の例

図-9に荷重およびき裂長さの変位の関係を示す。き裂は、荷重-変位曲線がピーク値となる前の、傾きが変化したあたりから発生している。また、き裂長さの傾き、すなわちき裂進展速度に着目すると、前半のゲージ1に比べ後半のゲージ2のほうが遅くなっていることが分かる。これは、アスファルト混合物が持つ粘り強さが表れたものと考えられる。

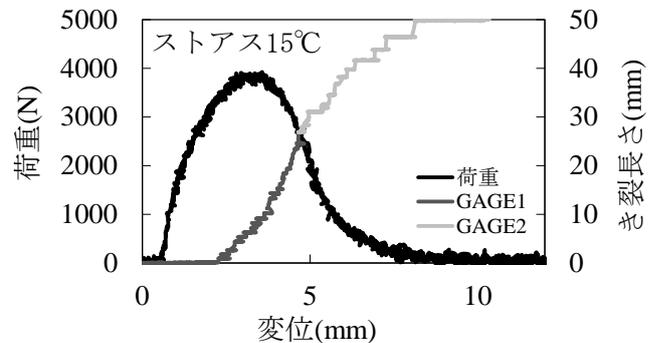


図-9 荷重-変位曲線とき裂長さの関係 (ストアス, 15°C)

き裂が発生し始めて進展していくプロセスにおいて、き裂進展速度がほぼ一様に推移している範囲は、き裂長さが15~35mmの範囲であり、図-7に示した荷重低下がほぼ一様となる範囲とほぼ重なっている。これより、前節で得た荷重-変位曲線のピーク値以降の傾きは妥当な範囲で得られた評価指標であったと言える。

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点曲げ疲労試験による実測値に基づいて、簡便なSCB試験の結果から推定・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ついて検討したところ、両者の間に相関関係が認められた。また、SCB供試体に直接クラックゲージを設置してき裂進展を直接測定することで、この傾きを求めた荷重-変位曲線の範囲が妥当であることを確認した。

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.
- 2) EN12697-44:2010,Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt -Crack propagation by semi-circular bending test, 2010.9.
- 3) AASHTO TP 105-13 Standard Method of Test for Determining the Fracture Energy of Asphalt Mixtures Using the Semicircular Bend Geometry (SCB), 2015.