

再生骨材の品質管理における新しいバイнда性状評価試験の導入

長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 ○中村 健

1. はじめに

供用中のアスファルト混合物は、交通荷重の他に紫外線への暴露や大気による酸化など様々な外力にさらされるが、巨視的にみて、これら外力を受けて変形もしくは変質するのは、アスファルト混合物の構成材料のうちアスファルトバイнда (以降、バイнда) のみである。また、アスファルト混合物の性能を語る上で、対候性や曲げ特性等、骨材の骨格構造が寄与しない範疇ではバイндаの性能が支配的であり、バイнда性状を正しく評価・把握することは大変重要である。一般的に、再生骨材に付着したバイндаは経年劣化によって脆化しているため、再生混合物の性能面では疲労ひび割れ抵抗性の低下が懸念されており、ストレートアスファルト (以降、ストアス) が主に使用されていた当時では、針入度試験によって発生材に付着した旧アスファルト (以降、旧アス) の「かたさ」を規定し、針入度が 20 (1/10mm) 以上でなければ再生骨材として使用できないとされてきた。その一方で、針入度試験や軟化点試験といった旧来からのバイнда性状試験は、どれもアスファルト混合物の性能を直接指し示すものではなく、レオロジー特性の異なるバイнда種間では相互評価を行うことが困難であった。1990 年代に入り改質アスファルトが登場して以降この問題は顕在化し、低針入度のバイндаに対してそれが経年劣化に伴う脆化によるものなのか、改質効果 (高粘度化) によるものなのかの判別ができず、再生骨材として使用可能かの採否が困難となった。これは、粘弾性体であるバイндаに対してコンシステンシーによる評価しかできていないためである。

このような状況を受けて、これまでの研究¹⁾にてバイндаのレオロジー特性に着目した新たなバイнда評価試験として、荷重測定型伸度試験 (Force Ductility Test : 以降、FDT) を提案している。本試験によって得られる FD 値は、対象となるバイнда種を問わず、混合物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おり、従来の針入度による規定に代わり、旧アスの FD 値が 800(N・mm) 以上の再生骨材を用いることで、新規ストアス混合物相当の疲労破壊回数を有する再生混合物を作製可能であることが確認されている。

一方で、平成 22 年改訂版の舗装再生便覧では、針入度による規定の他に圧裂試験を用いた新たな規定を設けるに至っている。すなわち、旧アスの針入度が 20 (1/10mm) 以上、もしくは対象発生材のみで作製した供試体の圧裂係数が 1.70 (MPa/mm) 以下のいずれかを満足すれば、再生骨材として使用可能となった。²⁾ 圧裂係数は混合物の変形抵抗性を示し、あまりに「かたい」混合物ではひび割れ抵抗が懸念される結果となる。

しかし、従来の針入度試験 (もしくは FDT) 用に発生材からバイндаを抽出するだけでなく、圧裂試験実施用に供試体を作製する必要があると煩雑であると同時に、圧裂試験の結果は骨材の骨格構造に大きく影響を受けるため精度が低く、また供試体作成時における骨材配合に規定がないため、同一バッチの再生骨材を用いた場合でも異なる試験結果を導くことが可能である。さらに、同一の対象発生材に対して針入度による規定は満足する一方で圧裂係数による規定は満足しない、もしくは逆の現象が発生するなど、本来評価すべき旧アスの性状に関しては、十分に評価できているとは言い難い。

そこで本研究では、再生骨材の品質管理における評価試験の一元化を目標に、圧裂試験と FDT との比較検証を行った。すなわち、バイнда性状の違いに着目した圧裂試験を実施すべくアスファルト量および骨材配合等の条件を固定し、FDT と圧裂試験の結果とを比較することで、FDT の試験結果から圧裂係数を推測可能か検討した。この結果より、FDT の妥当性を検証し再生骨材の品質管理における評価試験の一元化を目指すものである。

キーワード リサイクル、針入度、圧裂係数、改質アスファルト

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡 1603-1 環境・建設系 TEL. 0258-47-9627 E-mail : takec@vos.nagaokaut.ac.jp

2. 試験対象

本研究では、ストレートアスファルト(60/80)とポリマー改質アスファルトⅡ型を対象バイндаとし、マンホールヒーター内で180℃の定温攪拌を施し、熱による促進劣化を132時間にわたって実施した。12時間毎に試料採取を行い、新規のものを含む計24種の試料を用意した。圧裂試験においては一般的な密粒度混合物(13)を採用し、同一骨材配合・アスファルト量(5.4%)のもと供試体を作製した。

3. 試験概要

A) FDT

バイндаの把握力・粘結力を評価する試験として、タフネス-テナシティ試験が挙げられる。この試験では、半球状の金属塊を規定温度のバイндаに浸し、規定速度で引き抜く際に要した力と変位を記録する。しかし、凝集力の高いバイндаの場合、半球面より剥脱するという問題点があった。

本研究で用いるFDTは、前述したタフネス-テナシティ試験と同様の試験概念、データ処理を行うものである。FDTは、従来の伸度試験機にロードセルを搭載したもので、バイндаが延伸される際の荷重と変位を求めることができる。試験方法は従来の伸度試験機試験法(舗装調査・試験法便覧A043)に準拠し、試験温度15℃、延伸速度は毎分50mm、サンプリングレートは200msとした。試験結果の一例を図-1に示す。出力として、タフネス-テナシティ試験の結果と酷似したグラフが得られ、最大荷重を示すプロットを第1ピーク、バイнда破断時のプロットを第2ピークとした場合、バイндаの劣化に伴い、第1ピークと第2ピークを結ぶ直線は包絡線を描くとされている。既往の研究より、第1ピーク以降を数値積分した引張仕事量をFD値(N・mm)と定義すると、バイнда種およびバイндаの劣化状況を問わず、混合物の曲げ疲労試験における疲労破壊回数との間に高い相関性を有することが確認されており、混合物の疲労破壊抵抗性(総散逸エネルギー)に着目した評価が可能である。一方で、第1ピークに至るまでの間、荷重と変位は線形性を有しており弾性的挙動を示していることから変形に対する抵抗性を表していることが予想されている。³⁾ よって、第1ピークまでを数値積分した値をDR(：Deformation Resistance)値と定義し、圧裂係数との比較を実施した。(図-2参照)

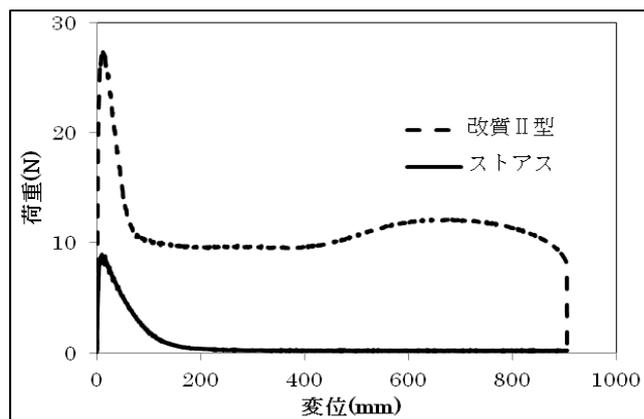


図-1 FDT試験結果の一例

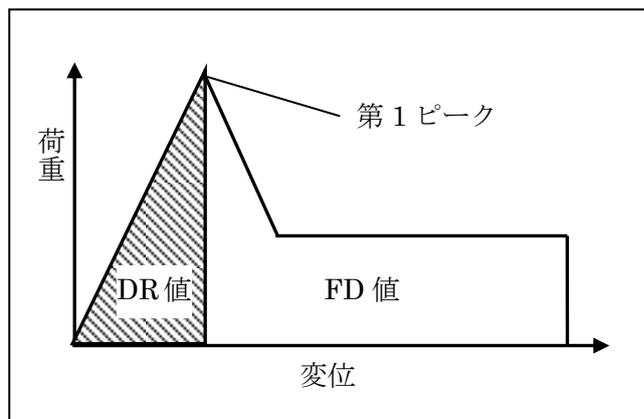


図-2 FDTのデータ処理概念図

B) 圧裂試験

供試体には前述の促進劣化に供したバイнда群を用い、骨材配合およびアスファルト量一定のもと「マーシャル安定度試験用供試体の作成方法」(舗装調査・試験法便覧B001)を順守し作製した。試験法および試験条件は「アスファルトコンクリート再生骨材の圧裂係数の求め方」(再生舗装便覧付録)に準拠した。試験結果より、最大荷重(圧裂強度)を変位で除し圧裂係数(MPa/mm)を求める。なお、各供試体における試行回数は5回とし、その平均値を採用した。圧裂試験の実施状況を写真-1に示す。

4. 試験結果

圧裂試験によって得られた圧裂係数と FDT より得られた DR 値とを比較した結果を **図-3** に示す。なお、試験結果の妥当性を検証すべく、中間処理場にて採取した素性不明の舗装発生材 2 種を加えて評価を行った。グラフではプロットのばらつきも若干みられているが、総じて骨材の移動等に起因するものと推測され、アスファルト混合物の評価試験としては妥当な精度であり、バインダの種別や劣化状況を問わず、両者は良好な相関性を有すると判断できる。また、バインダの劣化が進行すると伴に圧裂係数および DR 値は上昇し、規定値である圧裂係数 1.70 (MPa/mm) に相当する DR 値はおよそ 1100 (N・mm) となることが分かった。一方で、**図-4** に示したとおり FD 値と圧裂係数との間には相関性を確認するには至らなかった。

5. まとめ

既往の研究より、ストアスが劣化する際に FD 値は 800 (N・mm) 程度を維持しながら推移しつつ、針入度が 20(1/10mm)を下回るに伴い急激に低下し、一方の改質アスファルトでは、劣化開始初期から徐々に FD 値が低下し続けることが分かっている。既往の研究で採用した促進劣化方法では再現できる劣化程度に限界があり、実路にて長期暴露された場合では FD 値が大きく低下することも示唆されているが、実験室にて再現可能な範囲では、そのオーダーはストアスと比較して大きく、如何に劣化が進行したとしてもその値が 800 (N・mm) を下回ることはないとされている。

FD 値はアスファルト混合物の曲げ疲労試験における疲労破壊回数との間に高い相関性を有しているため、舗装発生材を再生するにあたり、その目標性能を新規ストアス混合物相当と設定すると、舗装発生材に含まれる旧アスの FD 値が 800 (N・mm) 以上であれば再生骨材として使用可能であり、改質アスファルト由来の舗装発生材はすべて再生骨材として使用可能という結論に至る。しかし、これは再生混合物の疲労破壊抵抗性にのみ着目した結果であり、ワーカビリティ等の観点からすれば、改質アスファルト由来の舗装発生材のすべてを再生骨材として用いることができるとは限らないことは明白である。また、FD 値がバインダを延伸した際の荷重と変位を数値積分することで求めた値であるために、劣化に伴う脆化に起因した荷重の増加が、意図せず FD 値を増加させている場合も考えられる。したがって、再生骨材として使用可能かの採否においては混合物の疲労破壊抵抗性を

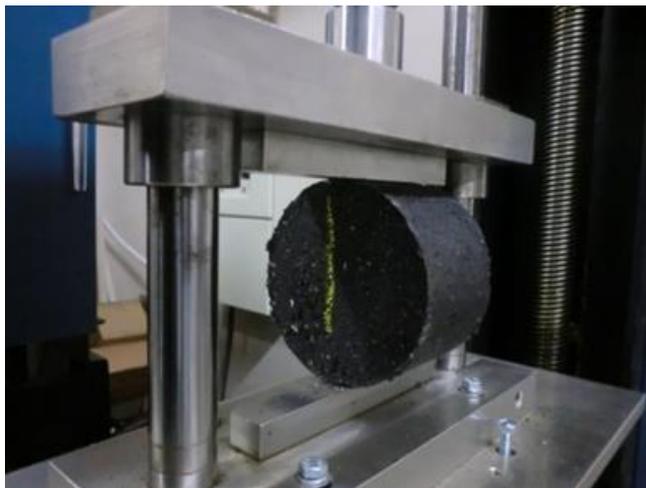


写真-2 圧裂試験の実施状況

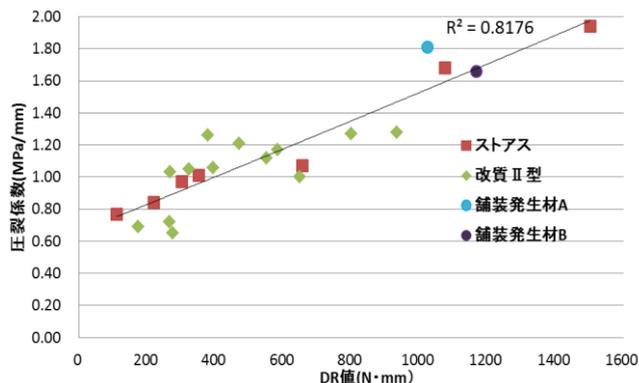


図-3 圧裂係数と DR 値の比較

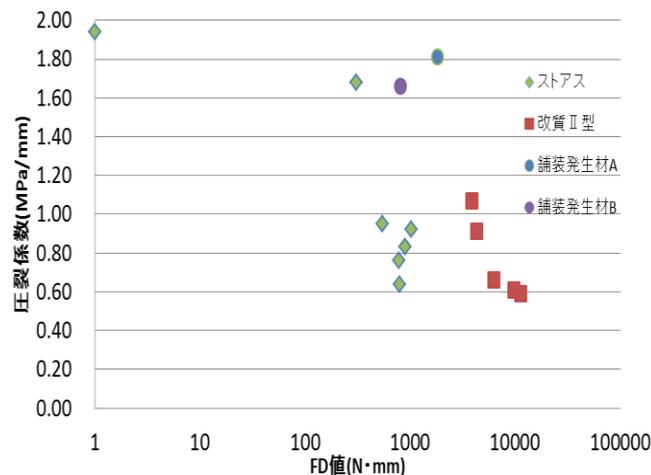


図-4 圧裂係数と FD 値の比較

表す FD 値のみでなく、バインダもしくはアスファルト混合物の「かたさ」を評価指標とし、改質アスファルト由来の舗装発生材の使用に制限を設ける必要がある。

以上を踏まえ、本研究における知見をまとめ、FDT を再生骨材の品質管理における新しいバインダ性状評価試験として導入する方策を記すことにする。

A) 圧裂係数に関して

骨材配合およびアスファルト量を固定し、バインダ性状の違いに着目した場合、圧裂係数と DR 値の間には良好な相関関係があることを確認できた。すなわち、DR 値より圧裂係数を推測することが可能であり、また骨材配合の違いに起因する圧裂係数の差を解消することが可能である。また、現行の規定値である圧裂係数 1.70 (MPa/mm) に相当する DR 値は 1100 (N・mm) であることが分かった。

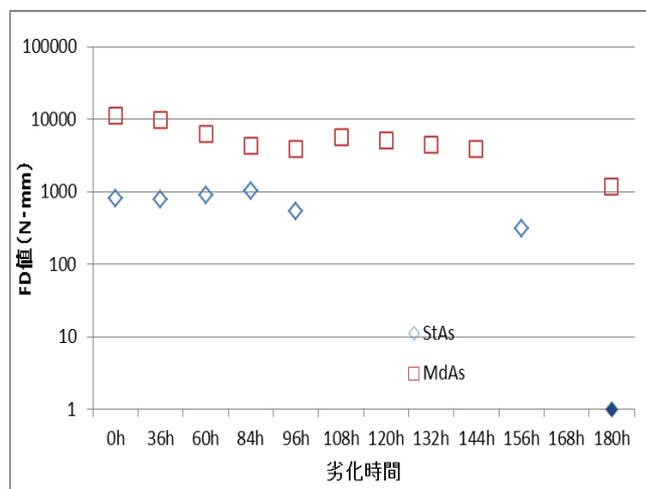


図-5 劣化時間と FD 値の比較

B) FDT の導入

バインダの劣化時間と FD 値, ならびに DR 値との関係を図-5, 6 に示した。図中では DR 値が 1100 (N・mm) 以上となったプロットのみ塗潰しとしてある。本研究における促進劣化では再現可能な劣化程度に限界があり、DR 値が 1100 (N・mm) 以上となるのは 180 時間促進劣化に供したストアスのみであるが、図-3 および図-6 より、十分に劣化が進行した場合には、改質アスファルトを用いた場合でも DR 値が 1100 (N・mm) を上回ることが推測される。したがって、FDT の導入にあたり、舗装発生材に含まれる旧アスの FD 値が 800 (N・mm) 以上かつ DR 値が 1100 (N・mm) 以下の場合、再生骨材として使用可能なものとする。

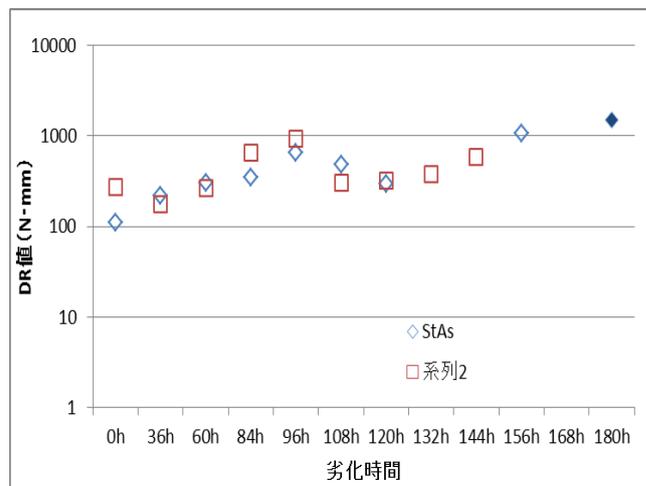


図-4 劣化時間と DR 値の比較

なお、本研究で用いた FD 値および DR 値は FDT の試験結果として得られるグラフからの算出方法に大きく依存しているため、その算出方法については検討の余地があり、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 中村健,藤井政人：舗装,pp15-19,2011.4
- 2) 日本道路協会：舗装再生便覧,pp10-11,2010.
- 3) 鈴木辰徳,中村健：第 31 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集,pp386-389,2013.11