

赤外分光分析を用いたアスファルト舗装の劣化診断

川島陽子・新田弘之・西崎 到

1. はじめに

アスファルト舗装の破損は繰返し荷重による疲労などの力学的な作用だけでなく、紫外線や熱などによって引き起こされる酸化劣化でも誘発される。供用中のアスファルトの酸化劣化の状態を、破損が顕在化する前に評価することができれば、修繕に適切な時期の把握や対応策の事前検討が可能になる等、効率的な維持管理につながるため、舗装の安全性確保に役立つと期待される。しかし、図-1(左)に示すように、アスファルトの酸化劣化を調べるためには、舗装から採取したコアからアスファルトを抽出回収し、性状試験を実施する必要があり、一連の工程に多くの手間を要するため、現状では供用中のアスファルト舗装の劣化診断は、ほとんど行われることはない。

そこで、土木研究所先端材料資源研究センターではアスファルト舗装の酸化劣化診断の簡便化と省力化を目指し、赤外分光分析を利用したアスファルトの劣化評価手法の有効性について検証してきた(図-1、右)。本手法は、抽出回収等の手間を出来る限り省くとともに、少量でアスファルトの劣化度合いを評価するものである。



図-1 簡易な劣化診断手法のイメージ

本報では、赤外分光分析による劣化診断手法の有効性、および、本手法を利用したアスファルト舗装内部の劣化度合いについて検証したので報告する。

2. 赤外分光分析による劣化度合いの評価

2.1 赤外分光分析

アスファルトの劣化診断を簡便化するために、フーリエ変換赤外分光分析(以下「FTIR」という。)を利用した。FTIRは、物質に赤外光を照射した時の吸収スペクトルから物質の構造解析や定量などを行うもので、本研究では、アスファルトの劣化によって変化する官能基を分析するために用いた。

FTIRによる測定手法としては、透過法(溶解法)および全反射測定法(以下「ATR法」という。)¹⁾による測定を行った。それぞれの測定法の模式図を図-2に示す。透過法とは、2枚のKBr窓板内に溶解したアスファルトを挟み込み、赤外光を照射後、透過光のスペクトルから、アスファルトの吸光度を評価する。一方、ATR法とは赤外光がプリズム内で全反射する際に生じる、試料への光のもぐり込みを利用して得た全反射スペクトルから、アスファルトの吸光度を評価する。ATR法で測定する際には、プリズムを試料を直接押し当てればよいので、透過法と比べると前処理がなく、簡便な手法である。

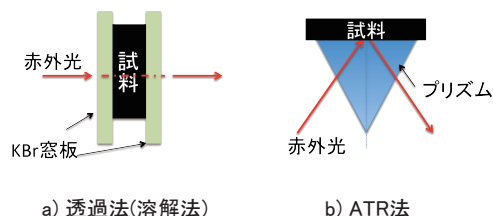


図-2 赤外分光分析の測定方法の模式図

2.2 測定方法による比較

前述の2種類の測定手法とサンプリングの組み合わせにより、5通りの測定方法を比較検討した。それぞれの測定方法を表-1に示す。

なお、アスファルト混合物を”混合物”、骨材を

表-1 比較検討した測定方法

凡例	サンプリング	測定方法
① ATR (混合物)	混合物のまま	φ2 mmのATRのプリズムと同程度の大きさのアスファルト混合物を直接セルに押し当て測定
② ATR (溶媒)	骨材に被膜しているアスファルトを溶媒(クロロホルム)にて溶解	①と同様にプリズム上にアスファルト混合物を置き、クロロホルムを2、3滴滴下して乾燥させた後に測定(図-3)
③ ATR (バイнда)	抽出回収したバイнда	アスファルト混合物から抽出回収したバイндаをプリズムに押し当て測定
④ 透過 (混合物)	混合物20g/10mLの濃度でクロロホルムに溶解し、0.45μmフィルターで濾過	0.45μmフィルターで濾過後の試料を、透過セルによって測定
⑤ 透過 (バイнда)	抽出回収したバイндаを0.75g/5mLの濃度でクロロホルムに溶解	溶解した試料を、透過セルにて測定

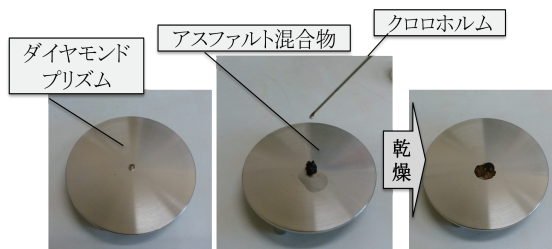


図-3 測定方法②の様子

分離してアスファルトバイндаのみとしたものを”バイнда”と表記している。なお、表中の抽出回収とは、アブソン抽出法により、アスファルト混合物から溶剤を用いてバイндаを抽出し、溶剤をエバポレータで揮発させてバイндаを回収したことを意味している。

①から③まではATR法、④および⑤は透過法による測定であり、徐々に工程が増える手法である。①の方法は最も簡便な手法であるが、プリズムと試料の接触が良いサンプルの選択が必要である。②の方法は、①の方法と比べて溶剤を使う手間があるが、プリズムへの負荷が少なく、サンプルを吟味する必要が無いため、比較的簡便であると判断し、検討対象とした。なお、ATR法にはダイヤモンドのプリズムを使用した。また、①および②のサンプルには、測定試料内にフィラー分が混在しており、フィラーの吸光度がアスファルトの劣

化指標となる吸光度等に影響を及ぼす可能性があることに留意する必要がある。⑤の方法は、従来からアスファルトの吸光度測定の際によく用いられ、最も実績の多い測定法である。

2.3 劣化によるアスファルトの吸光度の変化

ストレートアスファルト(以下「StAs」という。)を熱劣化(110℃、108時間加熱)させた時の劣化前後の吸光度を図-4に示す。劣化に伴いカルボニル基(C=O)が増加することで、1700cm⁻¹の吸光度は増加している。一方、1600cm⁻¹付近の吸光度はアスファルトに含まれている炭素の二重結合(C=C)に起因する吸収であり、基本的に劣化の前後で増減しない。そこで、劣化によって増加する指標として、カルボニルインデックス(以下「CI」という。)を式(1)から求めることとした。

$$\text{カルボニルインデックス(CI)} = \frac{1700\text{cm}^{-1}\text{付近のピーク高さ}}{1600\text{cm}^{-1}\text{付近のピーク高さ}} \quad \text{式(1)}$$

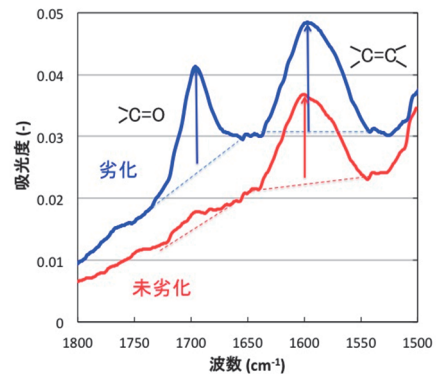


図-4 劣化による吸光度の変化

2.4 アスファルト混合物の吸光度

2.3と同条件で劣化させた試料を用いて、①および③の方法で測定したアスファルト混合物の吸光度を図-5に示す。アスファルト混合物の吸光度は全体的に低く、1600cm⁻¹と1700cm⁻¹のピーク高さも抽出回収したアスファルトに比べて小さくなる傾向にあった。これは、アスファルトの濃度が相対的に低いこと、および、フィラー等による吸収の影響が考えられた。この影響が見られたものの、酸化劣化の評価に重要な1600cm⁻¹および1700cm⁻¹のピークが得られたため、抽出回収したアスファルトと同様に、アスファルト混合物による測定でも、ある程度酸化劣化の評価は行えるものと判断した。

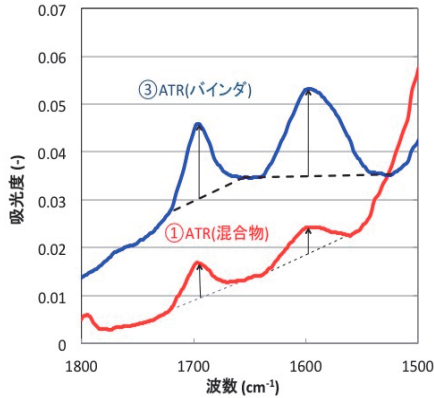


図-5 測定方法による吸光度の違い

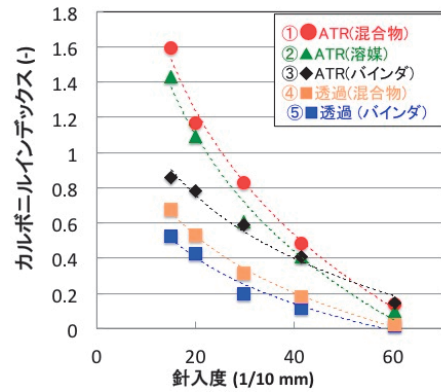


図-6 針入度と各測定方法との相関

2.5 各測定方法の評価

これまで、アスファルトの劣化は針入度で評価されてきたため、劣化の状態の異なるアスファルトを用いてFTIRによる劣化評価(表-1①から⑤)と針入度の相関を確認した。CIと針入度との相関を図-6に示す。測定手法によってCIの値に差はあるが、針入度とCIの間では、良好な相関が見出せた。

各測定方法の可否を検証するため、期待される軽減内容に基づき評価した。表-2に評価結果を示す。アスファルト混合物を使用した測定方法(①、②、④)の方が、抽出回収の負担や有機溶媒の使用量という観点からは、測定時の負担の軽減効果が高いと考えられる。また、透過セルによる測定は、測定前にフィルターなどを取り除くためのフィルタリングを必要とするため、ATR法による①から③の測定方法のほうが、サンプリング工程の軽減効果があると判断した。しかし、①の方法はATRセルのダイヤモンドプリズムに対する負荷が大きいと考えられる。以上より、測定方法②が最も劣化診断の省力化が見込まれ、簡便な測定方法であると言える。

2.6 赤外分光分析による省力化

本報で示した劣化診断手法の省力化を示すため、針入度による評価と赤外分光分析に必要な混合物量や有機溶媒量などを比較検討したものを表-3に

表-2 各測定方法の評価

期待される軽減内容	測定方法				
	①	②	③	④	⑤
抽出回収の負担	○	○	×	○	×
セルへの負荷	×	○	○	○	○
サンプリングの工程	△	○	○	×	×
有機溶媒量(抽出回収~測定)	○	○	×	△	×

示す。針入度を調べるために必要なアスファルト量を確保するためには、最低でも1kg以上のアスファルト混合物が必要となる。一方、赤外分光分析では少量の混合物で測定が可能である。また、実道からのコア採取からアスファルトの抽出回収にかかる日数も減らすことができる。さらに、アスファルトの抽出回収には多くの有機溶剤を必要とするが、赤外分光分析では、測定の際に少量の溶剤を用いればよいため、作業員への安全性確保の面からも優れている。針入度の測定は実験室で行われ、恒温水槽による温度管理が必要であるが、赤外分光分析は厳密な温度管理を必要としない。そのため、ポータブルタイプの測定機器の使用により、現場での測定も可能となり得る。なお、ここでは、赤外分光分析にクロロホルムを使用しているが、ATR法では有機溶剤の使用量が少なく、より安全な有機溶媒への代替が可能であることを確認している。これらの観点から、赤外分光分析による劣化診断は省力化が見込まれることが明らかとなった。

表-3 劣化診断手法の比較

	針入度による評価	赤外分光分析(測定方法②)
アスファルト混合物量	1 kg以上	数g程度
コア採取~試験日数	3日程度	数時間~1日
有機溶媒量	500mL程度	数mL
測定場所	実験室	(小型の場合)現場へ持ち込み可能
測定温度	25℃ (温度管理必要)	室温程度 (温度管理不要)
備考	アスファルトの試験として一般的	機器導入の初期投資が必要

3. 赤外分光による深さ方向の劣化度の検証

3.1 概要

アスファルト舗装の深さ方向の劣化分布を把握するためには、多量のサンプリングが必要となるため、これまで実施された例はあまりない。一方、本報で提案した手法では、少量のアスファルト混合物から酸化劣化を評価することが可能である。そこで、アスファルト舗装の深さ方向の劣化度合いの分布について分析を行った。

3.2 試料

表-4に示す供用年数の異なる3箇所の舗装からアスファルト混合物のコアを採取し、深さ方向の劣化度合いを調べた。表層5cmは密粒度アスファルト混合物(13)、その下の基層は粗粒度アスファルト混合物(20)が使用されていた。なお、いずれの試料も、表面上ひび割れ等の損傷が発生していない健全部から採取した。

表-4 採取箇所の概要

	採取場所	供用年数
試料A	東京都内道路	2.5年
試料B	土木研究所試験舗装	11年
試料C	土木研究所構内外周路	30年以上

3.3 深さ方向の劣化

供用年数の異なるアスファルト混合物の深さ方向におけるCIの変化を図-7に示す。供用年数に関わらず、舗装表面のCIが高く酸化劣化が最も著しく、内部にいくにつれて劣化が緩和していた。一方、いずれの試料でも、下面が内部よりも劣化している傾向を示した。供用年数が長くなるのに伴い、内部の劣化が進み、CIの曲線は高い方へシフトした。舗装表面の劣化は紫外線による酸化劣化の影響であると考えられた。また、下面からの劣

化は基層からの酸素の供給が原因と考えられ、現在分析を進めているところである。これらのCIの傾向から、舗装表面の劣化は早い段階から進行しており、内部の劣化が徐々に進行することが示唆された。また、表面からだけではなく、下面も劣化が進行していることが明らかとなった。

4. まとめ

赤外分光分析を利用することで、アスファルト舗装の劣化診断が省力化できることが明らかとなった。また、本手法を利用してアスファルト舗装の内部の劣化状態を検証したところ、劣化評価からアスファルト舗装表面が最も劣化が進んでおり、表層内部で劣化が緩和されているが、下面が内部よりも劣化が進行していることが新たに明らかとなった。したがって、本手法により省力化が図られるだけでなく、劣化分布などにより詳細なデータを手に入れるようになることが明らかになった。本手法を活用して、今後より詳細な劣化度合いの経年変化や劣化機構の解明を進めていく予定である。

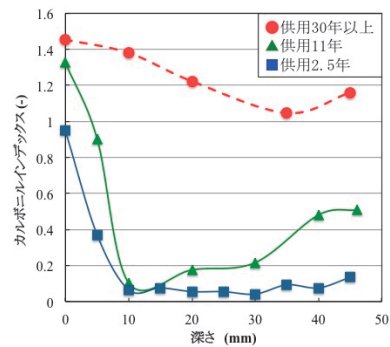


図-7 深さ方向のCIの変化

参考文献

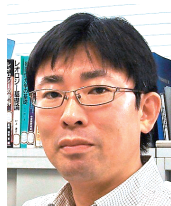
- 1) 田隅三生編著赤：外分光測定法、pp.84～92、(株)エス・ティ・ジャパン、2012

川島陽子



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 研究員、博士(農学)
Dr.Yoko KAWASHIMA

新田弘之



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員、博士(工学)
Dr.Hiroyuki NITTA

西崎 到



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員、博士(工学)
Dr.Itaru NISHIZAKI