

第V部門

X線マイクロCTを用いたアスファルト混合物の劣化挙動の可視化

京都大学大学院	学生員	○中嶋	響
京都大学経営管理大学院	正会員	肥後	陽介
京都大学大学院	学生員	江城	静順
京都大学経営管理大学院	正会員	瀬尾	彰
(株)大成ロテック	正会員	青木	政樹

1. はじめに

近年、高度経済成長期に集中的に整備されてきた道路施設の老朽化が進行しており、道路表面を構成する舗装のより効率的な維持管理システムの確立が求められている。現在、アスファルト舗装の補修のためには定期的な点検が必要であり、点検要領の改正や新材料開発のためにはアスファルト舗装の劣化挙動の詳細を理解することが重要である。そこで本研究では、新規および再生アスファルト混合物に対して曲げ疲労試験を実施し、試験前後の供試体に対してX線マイクロCTを用いて亀裂の微視的観察を行うことで、アスファルト混合物の亀裂の発生、進展メカニズムについての新しい評価法を提案することを目的とする。

2. 曲げ疲労試験とX線CT撮影

本研究では、新規混合物、および再生骨材配合率50%の再生混合物の二種類の密粒度アスファルト混合物供試体を3本ずつ作製した。供試体の寸法は4 cm×4 cm×40 cmである。供試体作製に用いた骨材として最大粒径13mmの硬質砂岩、再生砕石(RC)、川砂、石粉として炭酸カルシウム、ストレートアスファルト60/80、芳香族系の再生用添加剤を用いた。次に、亀裂の発生が期待される供試体中央付近約5 cmに対してX線CT撮影を行い、各供試体に対して曲げ疲労試験(B018T)を実施した後、再度X線CT撮影を行った。曲げ疲労試験の条件は試験温度5℃、周波数5 Hz、ひずみ400 μである。曲げ疲労試験後の供試体中央付近に、比較的明確に亀裂が確認できた新規および再生の供試体をそれぞれN2、R2とし、微視的観察の対象とした。N2、R2の曲げ疲労試験における応力と载荷回数の関係を図-1に示す。N2、

R2の破壊回数はそれぞれ12,200回、17,000回であった。

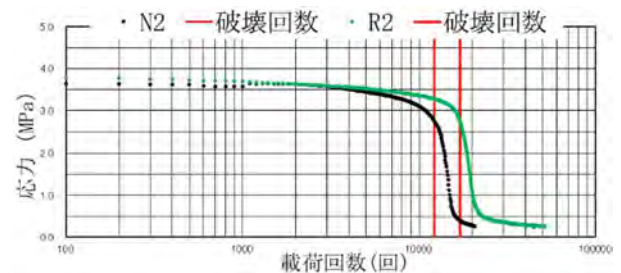


図-1 応力と载荷回数の関係 N2, R2

3. 画像処理

本研究では、曲げ疲労試験により生じた亀裂を抽出するためにCT画像の位置合わせ、重複箇所の抽出、シェーディングアーチファクト補正の前処理、二値化を行った後に差画像や三次元画像を作成することで亀裂を抽出した。本章ではその内容について述べる。

(1) 前処理

本研究で行ったX線CT撮影では、供試体を手動で設置したため、曲げ疲労試験前後のCT画像内で供試体の位置がわずかに異なる。そのため、Affine変換という画像変換手法を用いてCT画像の位置のずれを補正した。この際、各画像で撮影領域が重ならない箇所は画像間の比較に寄与しないためここで除去した。また、X線吸収係数の特性によるシェーディングアーチファクトを補正した。R2前処理後の画像を図-2のa)、b)に示す。なお、図-2の画像はすべて撮影領域上端から24.0mmの位置を示す。

Hibiki NAKAJIMA, Yosuke HIGO, Shizuka ESHIRO, Akira SEO and Masashige AOKI

nakajima.hibiki.47c@st.kyoto-u.ac.jp

(2) 二値化

(1)の前処理を行った画像に、空隙相とそれ以外の骨材やアスファルトを含む相の2相を分割する二値化を行った。本研究で行った二値化は Kido et al. (2020)²⁾を参考にし、ある CT 値を持つボクセルとその隣接するボクセルを探索し、許容値内の CT 値を持つボクセルを同一相の領域とみなす region growing 法を用いた。region growing 法では、CT 画像における空隙相、骨材やアスファルトを含む相を部分的にサンプリングし、各相の CT 値の平均値、標準偏差を算出した。算出した平均値をもとに、曲げ疲労試験後の CT 画像においてうまく亀裂が取れるように許容値を選んだ。このとき、亀裂部分のボクセルの CT 値がサンプリングした空隙部分のものよりも高くなったため、亀裂を取り出すためにアスファルト相の一部も含めて空隙相とした。曲げ疲労試験前の CT 画像に対しても同様に許容値を選ぶことで、空隙相が黒色、それ以外を含む相が白色に表示された二値化画像が得られる。R2 の二値化画像を図-2 の c) に示す。

(3) 差画像

(2)で得られた二値化画像と供試体内部の空隙相が埋まった画像の差分を取ることで、亀裂のみを抽出した画像が得られる。曲げ疲労試験前後の亀裂のみを抽出した画像の差分を取ることで、空隙相とそれ以外の相の2相の変化を識別できる。この差分を取った画像を差画像と呼ぶこととする。R2 の差画像を図-2 の d) に示す。

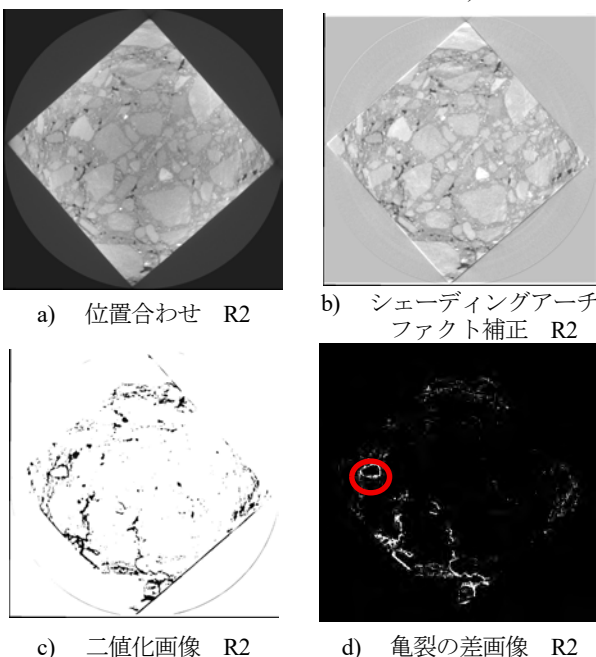
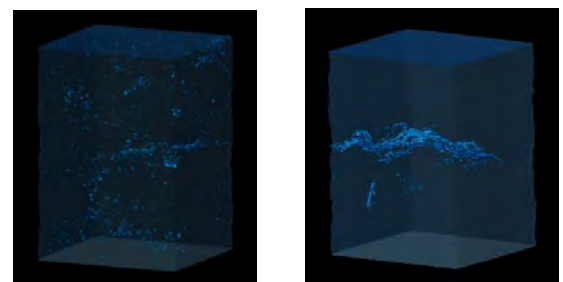


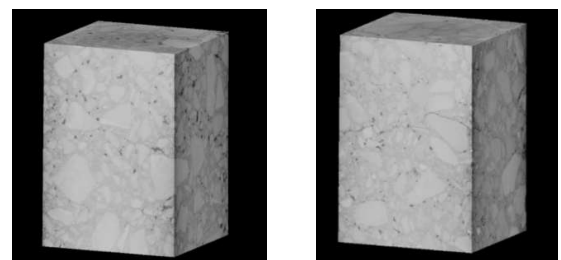
図-2 画像処理により作成した画像 R2

(5) 画像の三次元表示

(4)で作成した N2, R2 の差画像と CT 画像を三次元表示した画像を図-4 に示す。これらの三次元画像は任意の断面を抽出することができ、アスファルト混合物の亀裂の微視的観察に有効であると考えられる。図-4 の N2, R2 の亀裂の三次元画像では、R2 のほうが N2 よりも供試体中央付近に亀裂が集中して現れていることが確認できる。すなわち、新規混合物よりも再生混合物のほうが明確に亀裂が確認できた。図-1 とこのことから、再生混合物は供試体内部まで亀裂が進展してから応力が低下するが、新規混合物は応力の低下とともに徐々に亀裂が生じる可能性が示唆される。



亀裂の三次元画像 N2 亀裂の三次元画像 R2



三次元 CT 画像 N2 三次元 CT 画像 R2

図-3 三次元表示した画像 N2, R2

4. 結論と今後の課題

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ・アスファルト混合物の亀裂の微視的観察に差画像や三次元画像の作成は有効である。
- ・再生混合物は曲げ疲労試験の早期に亀裂が発生し、材料の劣化が進行するのに対し、新規混合物は曲げ疲労試験の早期には亀裂が発生しておらず、応力の低下とともに亀裂が発生する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧(平成 31 年版), Vol. 3, pp. 168-179, 2019.
- 2) R. Kido., Y. Higo, F. Takamura, R. Morishita, G. Khaddour, and S. Salager: Morphological transitions for pore water and pore air during drying and wetting processes in partially saturated sand, Acta Geotechnica Vol. 15, pp. 1745-1761, 2020.