

鋼繊維補強コンクリート中の鋼繊維の分散性と配向性の定量評価手法の検討

大成建設（株）土木技術研究所 正会員 ○堀口 賢一
 大成建設（株）土木技術研究所 非会員 小山 哲
 大成建設（株）土木技術研究所 フェロー会員 丸屋 剛

1. はじめに

著者らは鋼繊維補強コンクリートの新たな用途として、シールドトンネルに適用する鋼繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントを開発している。このセグメントでは、鋼繊維による効果をひび割れ抑止や剥落防止だけでなく、曲げ補強材としても期待しており、主鉄筋の一部を代替する材料として用いている。そのため鋼繊維には、コンクリート中での均質な分散と配向が求められる。鋼繊維補強コンクリート中での鋼繊維の分散性や配向性については、これまでも X 線撮影画像による評価や、コンクリート切断面に表れる繊維数の目視計測、コンクリートを破碎しての繊維質量の計測などが試みられている。しかしながら、X 線撮影画像による評価は定性的な評価に留まり、切断面の計測や破碎試料から繊維を抽出して計測することは、多大な労力を要するため、頻度を多くすることが困難である。そこで、鋼繊維補強コンクリート中の鋼繊維の分散性、配向性を定量的に評価することを目的に、X 線撮影画像を画像解析処理して定量的に評価する手法を検討した。

2. 分析方法

写真-1 に実験に用いた鋼繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの製作状況を示す。配筋は、主鉄筋が D16 を 165mm ピッチで 12 本、配力鉄筋が D10 を 200～1070mm ピッチで 10 本とした。コンクリートは、外面側中央部から打込み、テーブルバイブレータで締め固めた。使用したコンクリートは、水セメント比が 26.5% で、鋼繊維は $\phi 0.75 \times L43\text{mm}$ のものを外割り配合で 0.4vol.% (31.4kg/m³) 混入した。繊維混入後のスランプは 20.0cm、標準水中養生で材齢 28 日後の圧縮強度は 66.3N/mm² であった。

図-1 に X 線画像を撮影するためのコンクリート板の切出し位置を示す。コンクリート板の厚さは 50mm とし、図-1 に示す 3ヶ所から採取した。断面 1 の板は幅 2575×高さ 350×厚さ 50mm、断面 2 と断面 3 の板は幅 2000×高さ 350×厚さ 50mm である。ただし、断面 2 と 3 は、中央部分が断面 1 に切り取られており、幅 50mm 分が不連続となっている。

採取したコンクリート板に対し、図-2 に示すような X 線画像を、図-1 中に示す矢印の方向に撮影した。得られた X 線画像の中では、鋼繊維が白く浮き上がって見えるため、市販の画像処理ソフトを用いて二値化処理を行い、鋼繊維が白抜きの画像として表される二値化画像を作成した。さらにこの二値化画像



写真-1 セグメントの製作状況

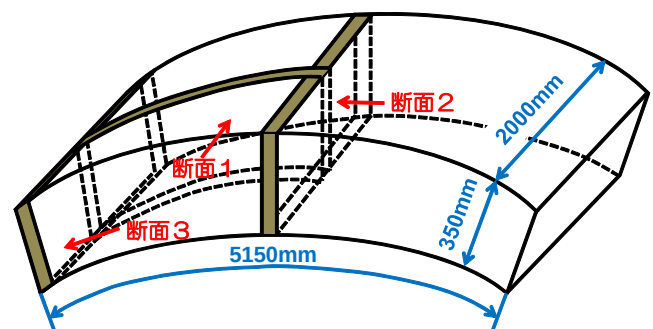


図-1 セグメントの切断位置

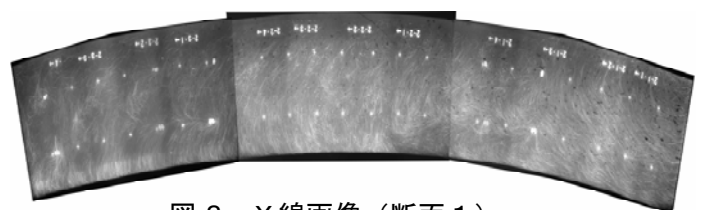
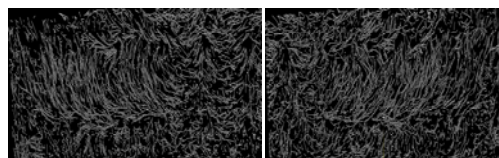


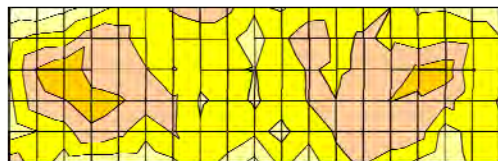
図-2 X線画像（断面1）

キーワード 繊維補強コンクリート, 鋼繊維, 分散性, 配向性

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）土木技術研究所土木構工法研究室 TEL045-814-7228



二値化画像



分散性画像

単位: ピクセル



配向性画像

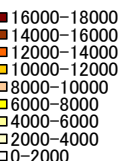
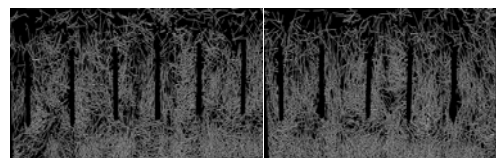


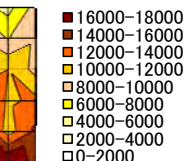
図-3 画像処理結果(断面2・中央部)



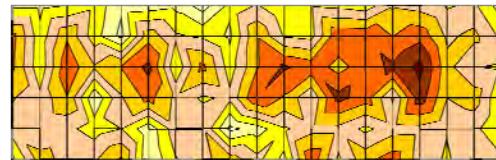
二値化画像



分散性画像



単位: ピクセル



配向性画像

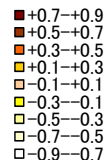


図-4 画像処理結果(断面3・端部)

から、鋼繊維を線分として抽出する処理を行い、線分の長さデータを得た。この長さデータは、コンクリート板を幅 100mm×高さ 58mm のメッシュに切って、メッシュ毎に長さの総和を算出して分散性を評価した。また、二値化画像において、水平方向を 0° とし、角度 10° ごとに 18 分割し、それぞれの角度範囲にある線分の正弦長、余弦長を算出して、メッシュ毎に鉛直成分と水平成分の総和を求めて、これにより配向性を評価した。

3. 分析結果

図-3～図-5 に二値化画像、分散性画像、および配向性画像を示す。分散性画像は、撮影画素の大きさを単位として表している。この結果によると、セグメント中央部の断面 2 に比べ、端部の断面 3 の方が、相対的に鋼繊維が多いことがわかる。また、厚さ方向の上部に比べて下部の方が、相対的に鋼繊維が多いこともわかる。配向性画像は、水平成分に対する鉛直成分の割合を算出し、常用対数で表している。この指標は、値が 0 に近いほど水平成分と鉛直成分の割合が等しく、特定の方向を向く鋼繊維が少ないことを示している。一方、正に大きくなるほど鉛直成分の割合が多く、負に小さくなるほど水平成分の割合が多くなることを示す。断面 1 の配向性画像によると、セグメント中央部の下方で水平方向を向いている鋼繊維が多く、端部寄りの下方で鉛直方向を向いている鋼繊維が多いことがわかる。なお、同時に製作した鋼繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの曲げ載荷試験の結果によれば、この程度の鋼繊維の分散性、配向性の偏りは、設計上の曲げ耐力に対して大きな影響を及ぼさないことがわかった。

4. まとめ

鋼繊維補強コンクリートの X 線撮影画像を用いた画像解析処理により、鋼繊維の分散性、配向性を定量的に評価することを検討した。その結果、従来の手法よりも労力をかけないで、定量的に評価できる手法を確立することができた。

参考文献 1) 三桶達夫, 堀口賢一, 福浦尚之, 丸屋剛, 服部佳文: 繊維補強鉄筋コンクリートを用いたシールドセグメントの設計手法, コンクリート工学, Vol.48, No.10, pp.18-26, 2010.10

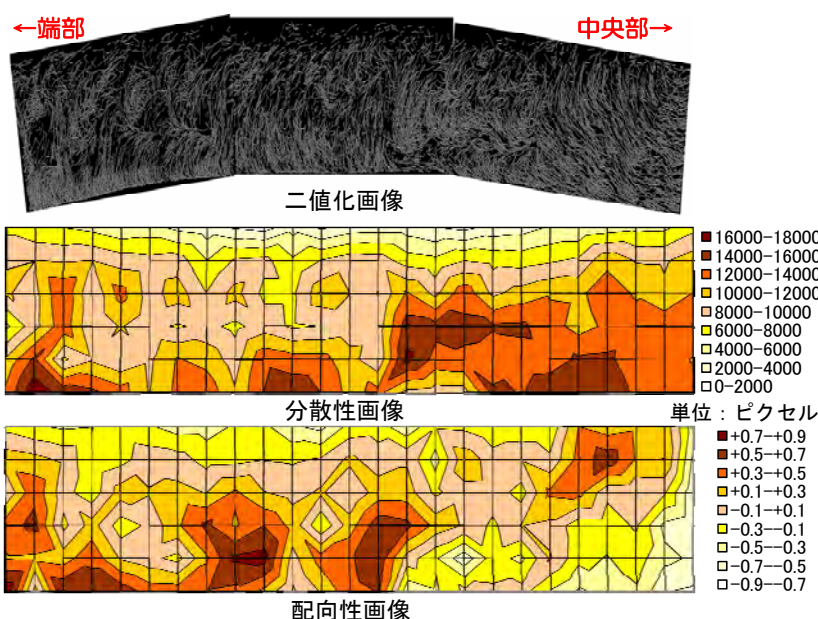


図-5 画像処理結果(断面1・円周方向中央)