

UFC 部材の X 線撮影とデジタル画像解析による鋼繊維分布・配向の可視化とその曲げ挙動に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 ○松田充弘, 岡本健弘, Sopokhem Lim

(株)大林組 フェロー 野村敏雄, 正会員 佐々木一成 早稲田大学 正会員 秋山充良

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (UFC) は, 引張強度の小さい普通コンクリートの弱点を補うばかりでなく, 高強度かつ高じん性を併せ持つ新材料として注目されている. 通常の鉄筋コンクリート (RC) 部材と比べて, 断面を小さくしたり, あるいは鉄筋量を減らしたりしても同等の構造性能を付与できる可能性がある. 一方で, 現状の最大の問題は, 繊維の分布の一様性の確保が困難であり, 同じ配合・手順で製作したとしても, 繊維の分散性や配向性の違いのため, 部材の挙動が大きく異なる場合がある. これは, UFC に限らず, 繊維補強コンクリートが有する共通の課題でもある^{1), 2), 3)}. 結果として, UFC を用いた部材の構造設計では, 分散性と配向性の偏りへの配慮から, 相当に安全側の部分係数を用いて設計しなければならない, UFC の利点を活かした部材設計の実現を難しくしている.

一方, 近年, X 線カメラとデジタル画像処理技術の向上により, 例えば, RC 部材内部で生じる鉄筋腐食の成長過程が可視化されている. 鉄筋腐食量が数%の状態であっても, 鉄筋, 腐食生成物, およびコンクリートの境界を同定できている⁴⁾. そこで, 本研究では, X 線カメラとデジタル画像処理技術を UFC 部材に適用し, 鋼繊維の分散性や配向性の可視化を試みるとともに, 4 点曲げ載荷実験を実施し, その曲げ挙動と可視化された画像の関係についての基礎検討を行う.

2. UFC はりの X 線撮影と曲げ試験の概要

供試体作製手順を説明する. 繊維添加率は 1.0 および 2.0 vol % の 4 種類とした. そして, 600 mm × 600 mm × 25 mm の型枠に対し, 全ての供試体で図-1 に示すように右端から UFC を投入した. 硬化後, 図-2 に示すように, 1 つの UFC 板から 3 つの供試体を切り出した. 一つの供試体の寸法は, 断面高さ 25 mm × 断面幅 100 mm × 長さ 400 mm である. 合計 12 本の UFC はりを製作している.

X 線撮影後, 各供試体の 4 点曲げ載荷実験を行った. 曲げ実験では, 支点間距離を 300 mm, 純曲げ区間を 100 mm としている. なお, X 線撮影は, 支点間 (300 mm) を部材軸方向に 5 分割して行っており, 撮影後にすべての写真を結合することで 1 つの画像とし, その後に画像処理を施している.

3. 実験結果と考察

本実験で用いた鋼繊維は, 径 0.16mm, 長さ 13mm と小さいため, X 線画像から 1 本 1 本の繊維を識別できず, その配向性と分散性の定量評価が困難であった. そこで, 図-3 に示す手順により, UFC 供試体をある程度の大きさに分割し, その分割された領域にある鋼繊維の量および配向性をマクロに可視化することにした. まず, 白黒の濃淡を示す X 線画像では, 密度の大きな

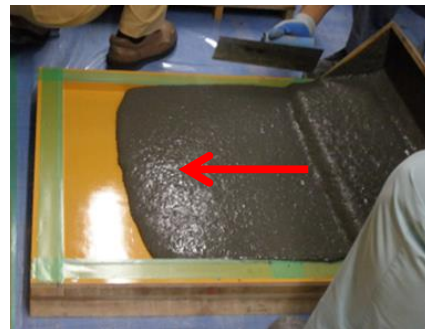


図-1 UFC 板作製の様子

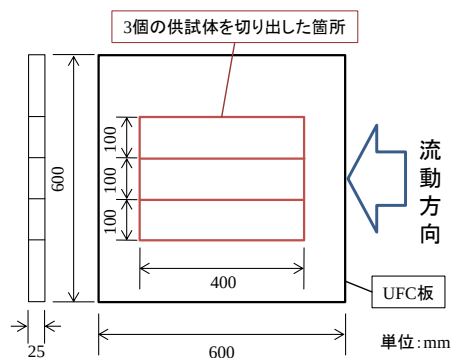


図-2 UFC 板供試体の寸法

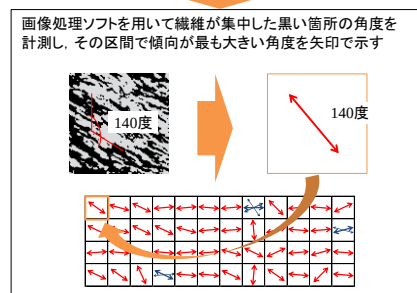
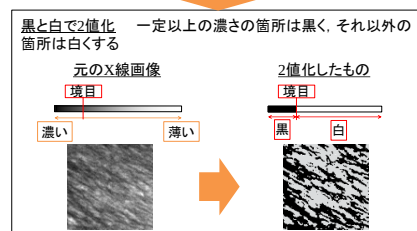
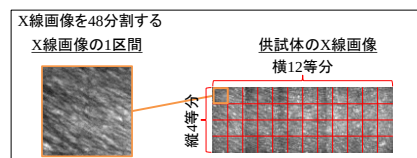


図-3 画像処理のフロー

キーワード UFC, X 線撮影, デジタル画像処理, 鋼繊維分布, 曲げ挙動

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 TEL: 03 (5286) 2694

鋼繊維は黒く表示される．そこで，二値化処理の考えにより，輝度に閾値を設けて鋼繊維とその他に区分した．次に，それぞれの領域において，黒く表示された塊の部材軸に対する角度の頻度分布を作成し，頻度が最も大きくなる角度をその領域の鋼繊維の角度と見なし，赤矢印で表示した．ただし，卓越する角度が複数ある場合には，それぞれを青矢印で表示することにした．このデジタル画像処理によって得られた鋼繊維の配向と，曲げ载荷実験で得られたひび割れ位置を重ね合わせた結果を図-4に示す．繊維添加量 2.0% の UFC 板から切り出した 3 つの供試体の画像処理結果である図-4(a)に示されるように，繊維添加量 2.0% の場合には繊維の配向に大きな差は見られず，部材軸に概ね平行である．一方，繊維添加量 1.0% の場合には，図-4(b)に示されるように，ひび割れ位置にある鋼繊維は部材軸直角方向を向いており，繊維添加量が少ないと繊維配向のばらつきが大きくなっていることを確認できる．

4 点曲げ载荷により得られた荷重－変位関係を図-5に示す．変位は，供試体中央位置のたわみである．図-5(a)に示す繊維添加量 2.0% の供試体の結果に対し，図-5(b)に示す繊維添加量 1.0% の供試体の結果は，供試体ごとのばらつきが大きくなっており，図-4に示す鋼繊維の配向のばらつきと整合した結果となっている．

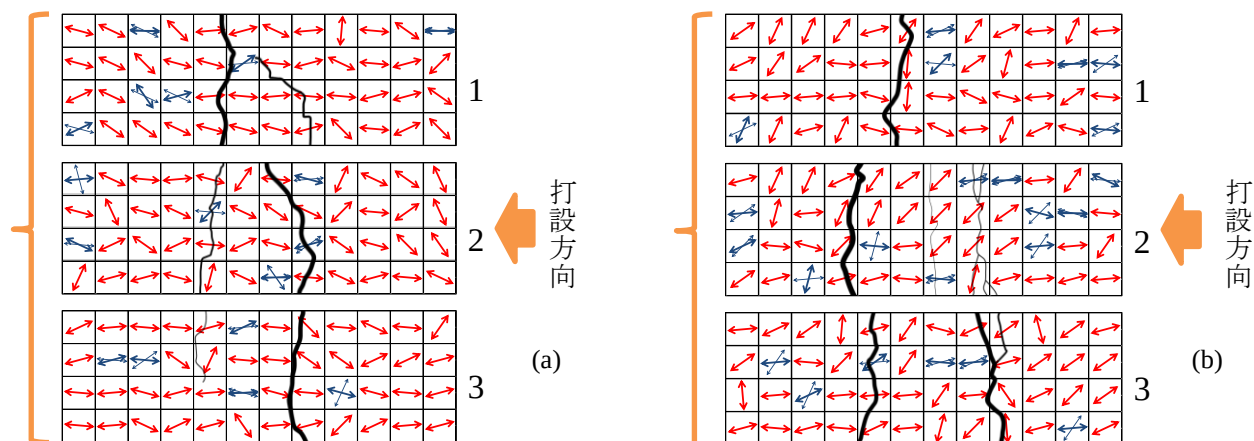


図-4 繊維配向とひび割れ位置の結果 (a) 繊維量 2.0%, (b) 繊維量 1.0%)

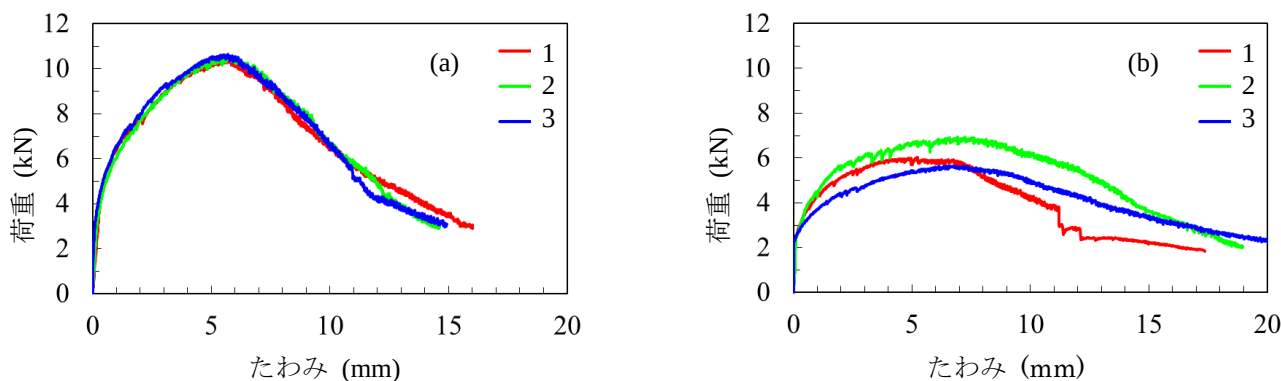


図-5 荷重－変位関係の結果 (a) 繊維量 2.0%, (b) 繊維量 1.0%)

4. まとめ

本稿では，X線撮影とデジタル画像処理技術を用いることで，UFC 供試体内の鋼繊維の配向性と分散性の可視化を試みた．マクロな分析であり，限定された検討ではあるが，鋼繊維の配向のばらつきが大きい場合に，曲げ载荷から得られる供試体ごとの荷重－変位関係のばらつきも大きくなる結果となった．

参考文献

- 1) DE Montaignac, R., Massicotte, B., Charron, J-P.: Design of SFRC Structural Elements: Flexural Behavior Prediction, *Materials and Structures*, Vol. 45, pp. 623-636, 2012.
- 2) di Prisco, M., Colombo, M., and Dozio, D.: Fibre-reinforced concrete in fib Model code 2010: principles, models and test validation. *Structural Concrete*, Vol. 14, pp. 342-361, 2010.
- 3) Stähli, P., Custer, R., Mier, J.G.M. : On flow properties, fibre distribution, fibre orientation and flexural behavior of FRC, *Material and Structures*, Vol. 41, pp 189-196, 2007.
- 4) Akiyama, M. and Frangopol, D.M.: Long-term seismic performance of RC structures in an aggressive environment: emphasis on bridge piers, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 10(7), pp. 865-879, 2014.