

中性子回折法による短繊維補強コンクリート部材中の鉄筋ひずみ分布の計測

三井住友建設(株) 正会員 ○竹山 忠臣 恩田 陽介 佐々木 亘 篠崎 裕生
日本原子力研究開発機構 鈴木 裕士
岐阜大学 正会員 内田 裕市

1. はじめに

短繊維補強コンクリート（以下、FRCC）に関する研究は古くから実施されており、コンクリート中に短繊維を混入させる目的の一つにひび割れ幅の抑制が挙げられる。コンクリート中に混入した短繊維が効果を発揮するのは、主にひび割れ発生後である。しかし、一部の FRCC を除き、通常、使用状態でひび割れ発生後の繊維の架橋効果を考慮されていないのが現状である。ひび割れ発生後の繊維の架橋効果を考慮した部材設計を行なうことができれば、より合理的な設計をすることが可能になると考えられる。

鉄筋コンクリートにおけるひび割れ幅を検討するためには、鉄筋とコンクリートの付着特性、すなわち、鉄筋コンクリート部材中の鉄筋ひずみ分布を把握することが必要となる。鉄筋にひずみゲージを設置することで鉄筋ひずみを測定することができるが、通常、コンクリートに発生するひび割れの位置が分からないため、鉄筋にひずみゲージを離散的に設置してもひび割れ面における鉄筋ひずみを測定できない可能性がある。そこで、本検討では鉄筋にひずみゲージを設置しなくても、鉄筋コンクリート中の鉄筋ひずみを測定することができる中性子回折法¹⁾を利用して、鉄筋とコンクリートおよび FRCC を併用した一軸引張部材中の鉄筋ひずみ分布の計測を試みた。

2. 試験体

図-1に試験体を示す。1辺が70mmの正方形断面の中心にD10の異形鉄筋を配置し、試験体の長さは400mmとした。鉄筋の材質はSD345とした。また、試験体の鉄筋にひずみゲージは設置していない。本検討では普通コンクリート（PL）とFRCC（F）の2水準の試験体とし、試験体数は1水準1体とした。コンクリートの水セメント比は55%とし、FはPLと同一の配合に短繊維を外割で混入した。短繊維には、繊維径0.62mm、繊維長30mm、引張強度1100N/mm²で両端にフック加工が施された鋼繊維を使用し、繊維混入率は1.0vol.%とした。

3. 実験方法

中性子回折法による鉄筋コンクリート中の鉄筋ひずみの計測には、J-PARC MLF（茨城県東海村）のBL-19工学材料回折装置TAKUMIを使用した。TAKUMIは中性子線の回折現象を利用することで、鉄筋コンクリート中の鉄筋ひずみ（応力）を非破壊・非接触で測定することができる。TAKUMIの中性子を照射できる位置に、载荷フレームと試験体を設置し、中性子を試験体の鉄筋位置に照射することで鉄筋ひずみを測定した（図-2）。

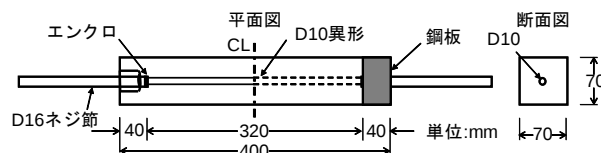


図-1 試験体

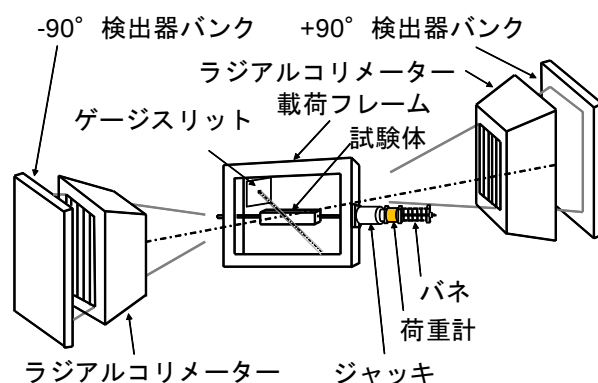


図-2 中性子回折法による応力測定状況

キーワード FRCC, 付着特性, 架橋効果, 中性子回折法

連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設 TEL 04-7140-5200

中性子回折法による鉄筋ひずみの測定は、試験体中央部の 200mm 区間を 10mm ステップ(21 点)で測定し、入射ビームサイズは 10×10mm, ラジアルコリメータは 5mm, 中分解能モードで測定した。鉄筋ひずみの測定は 1 点あたり 1 時間, 中性子を照射することで実施した。中性子回折により得られた回折プロファイルをリーベルト解析法によるマルチピークフィッティングにより格子定数を求めて、鉄筋ひずみを算出した。

4. 実験結果

実験時のコンクリートの圧縮強度は、PL が 62.5N/mm², F が 65.4N/mm² であった。本検討で使用した D10 異形鉄筋の力学特性は鉄筋単体の引張試験結果から、降伏点が 377.8N/mm², 引張強度 554.3N/mm², ヤング係数 190.3kN/mm² であった。図-3 にひび割れ発生後の中性子回折法

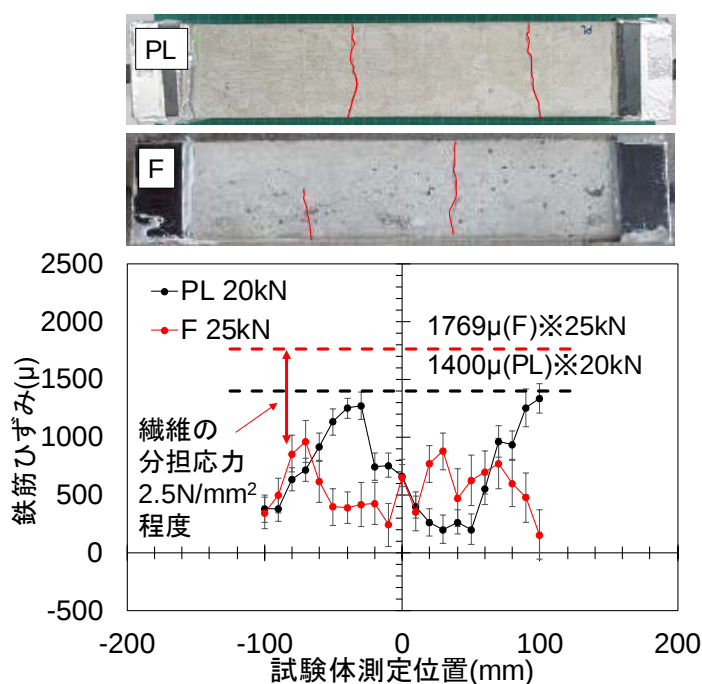


図-3 鉄筋ひずみ測定結果

により鉄筋ひずみを測定した結果と試験終了後の試験体のひび割れ状況を示す。中性子回折法による鉄筋ひずみの測定は、ひび割れ発生後 (PL : 20kN, F : 25kN) と除荷後 (1kN) に実施した。鉄筋ひずみは、ひび割れ発生後の鉄筋ひずみから除荷後の荷重 1kN の時の鉄筋ひずみを差し引いた相対ひずみを示している。これは、試験体に荷重を 1kN 与えることで、鉄筋に中性子を照射する際に所定位置に試験体を固定するためである。図中には、PL と F の荷重を鉄筋の公称断面積とヤング係数で除した場合の鉄筋ひずみ (コンクリートの引張抵抗を無視した値) を示してある。図-3 より、PL ではコンクリートの引張分担を考慮していない鉄筋ひずみの値とほぼ同程度の位置が 2 箇所存在することが分かる。試験終了後の試験体の状況と比較すると、この極大値を示した位置はひび割れの発生位置とほぼ同じであった。一方、F では PL と比べて値は小さいものの鉄筋ひずみの高い位置が 3 箇所存在し、2 箇所はひび割れ位置と対応していた。F の鉄筋ひずみの測定結果より推定される 3 箇所のひび割れの内、1 箇所のひび割れ (図中+70mm 位置) は繊維の架橋効果により、ひび割れの進展が抑制され、試験体表面ではひび割れが確認できなかったものと考えられる。また、F の鉄筋ひずみの最大値からコンクリートの分担応力を算出すると 2.5N/mm² 程度であり、FRCC を使用することでひび割れ面における鉄筋の引張力を繊維の架橋効果により低減できることが示された。

5. まとめ

本検討では、鉄筋コンクリート中の鉄筋のひずみ分布を中性子回折法により計測した。その結果、普通コンクリートを用いた部材のひび割れ発生位置で計測された鉄筋ひずみは計算値とほぼ一致し、中性子回折法による鉄筋ひずみの計測の有効性が確認された。また、FRCC を用いた部材では、ひび割れ面における鉄筋の引張力が繊維の架橋効果により低減されることが示された。

謝辞

本検討は、2018 年度 MLF 利用成果公開型実験 (課題番号 2018A0181 代表 竹山忠臣) として実施した。本検討の実施にあたり、日本原子力研究開発機構ステファヌスハルヨ博士、川崎卓郎博士、諸岡聡博士、東京理科大学兼松学教授、ほか多くの方々に協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木裕士, 楠浩一, 兼松学, 向井智久: 中性子回折法による鉄筋コンクリートの付着応力度分布の非破壊測定, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 2017