

超高強度鋼繊維補強コンクリートにおける繊維の配向性を考慮した曲げ性能の評価

筑波大学 学生会員 ○橋本 裕子
筑波大学 正会員 八十島 章

筑波大学 学生会員 山田 大
筑波大学 正会員 金久保 利之

1. はじめに

繊維補強セメント複合材料 (FRCC) の性能は、ひび割れを架橋する繊維の配向性に影響されることが知られており、FRCC の引張性能に関しては、ひび割れを架橋する繊維の引張力をひび割れ幅の関数で表した架橋則によって評価することができる。本研究では、スチールワイヤ (比較的細径の表面が平滑な鋼繊維) を混入した 150MPa クラスの超高強度鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を対象として、繊維配向性に伴い変化する架橋則を考慮した断面解析を行って SFRC の曲げ性能を表現し、繊維配向性と曲げ性能の関係を把握する。その後、ひび割れ面における繊維の配向性を変化させた曲げ試験結果と解析結果の比較を行うことで、繊維配向性を考慮した曲げ性能評価の有用性を検討する。

2. 断面解析の方法

解析の対象は、スチールワイヤ (径 0.16mm, 長さ 13mm, 引張強度 2825MPa) を体積混入率 V_f で 0.5% および 1.0% 混入した 150MPa クラスの超高強度 SFRC である。バイブレーター使用の有無をパラメータとして繊維配向性を変化させた、切欠きを有する

100×100×400mm の角柱試験体に対して三点加力曲げ試験が行われた。

架橋則の計算により得られた引張応力-ひび割れ幅関係を用いて、ファイバーモデルによる断面解析を行う。架橋則は、図-1に示す繊維配向角分布による繊維配向性を考慮して、単繊維の拔出し挙動をひび割れ面に架橋する多数の繊維分を総和することで構築する¹⁾。 $p(\theta)$, $p(\phi)$ は、試験体軸方向に対して平行な 2 平面から見た、ひび割れ断面に架橋する 2 つの繊維配向角分布の確率密度関数を示し、確率密度関数は配向強度 k の値によって決定される¹⁾。断面解析は、変形に関しては平面保持を仮定し、任意の回転角に対して各要素のひび割れ幅 (引張または圧縮変形) を求め、断面内の各要素の力の和が 0 になるように中立軸を決定した後に各要素のモーメントの和を計算することにより行った。通常の断面解析では、構成則として応力-歪関係を用いモーメント-曲率関係を得るが、本研究では、引張応力-ひび割れ幅関係として与えられる架橋則を用い、また、切欠き梁の三点加力曲げ試験結果と解析結果を直接比較するために、モーメント-回転角関係を計算する。

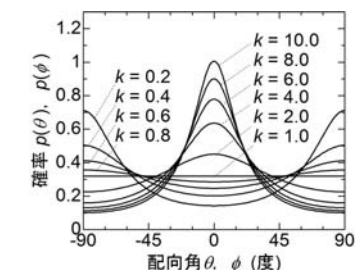


図-1 配向強度 k の値に対応する繊維配向角分布

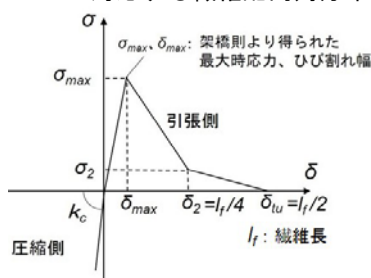
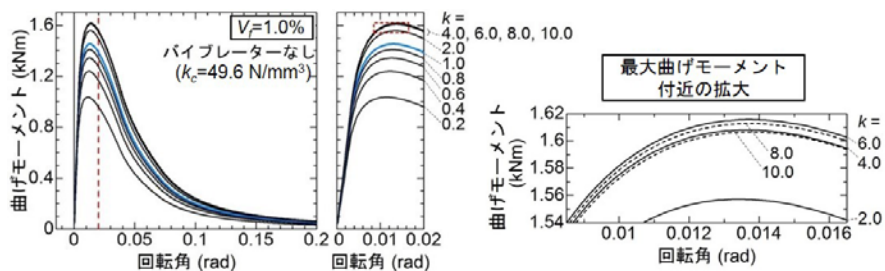
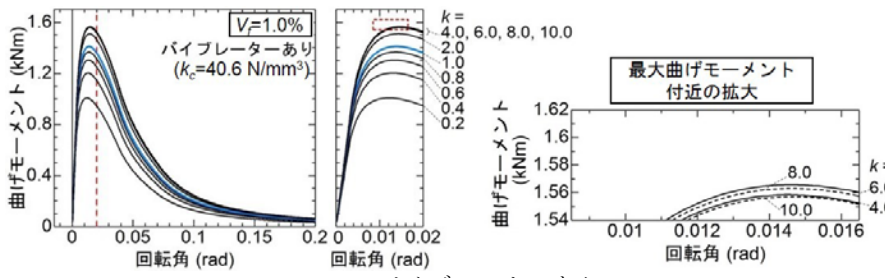


図-2 応力-ひび割れ幅関係モデル



(a) バイブレーターなし



(b) バイブレーターあり

図-3 配向強度による解析結果の変化の例 ($V_f = 1.0\%$)

キーワード 曲げ性能, 断面解析, 繊維配向性, 架橋則, 超高強度コンクリート, スチールワイヤ
連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 TEL 029-853-5462

SFRC の応力-ひび割れ幅関係のモデルを図-2に示す。応力-ひび割れ幅関係の引張側はトリリニアモデル、圧縮側は弾性モデルとした。引張側のモデルは架橋則より得られる応力-ひび割れ幅関係から構築し、圧縮側のモデルは各試験体の曲げ試験結果と圧縮試験結果を照らし合わせ、圧縮側の応力-ひび割れ幅（圧縮変形）関係の初期勾配 k_c を決定することで表現した。

3. 繊維配向性と解析結果の関係

配向強度 k をパラメータとして繊維配向性を変化させ、各配向強度 k に対応する引張性能を架橋則により評価して行った断面解析の結果を図-3に示す。繊維体積混入率およびバイブレーター使用の有無（すなわち、圧縮側モデルの違い）にかかわらず、配向強度 $k=6.0$ の時に最も大きな曲げモーメントが得られた。これは、配向強度 $k=6.0$ の時に、架橋則より得られる引張架橋応力が最大となることを反映しており、繊維配向性に伴い変化する引張性能が曲げ性能に影響を及ぼすことが確認された。圧縮側モデルの違いによる最大曲げモーメントの差異はごくわずかである。

4. 断面解析結果と曲げ試験結果の比較

曲げ試験体のひび割れ面における繊維配向性を想定した断面解析の結果と、曲げ試験結果の曲げモーメント-回転角関係の比較を図-4に示す。繊維配向性は、最大曲げモーメントに関して曲げ試験結果と断面解析結果がほぼ等しくなるよう、架橋則構築の際に繊維配向角分布を表現する配向強度 k の値を決定することで想定した。断面解析の結果は、試験結果を概ね表現できている。

曲げ試験加力終了後のひび割れ面における繊維配向の様子および解析時に想定した繊維配向角分布を、図-5および図-6に示す。想定した繊維配向角分布により、バイブレーターありの試験体はバイブレーターなしの試験体と比較して、試験体軸方向（配向角 0 度）に対する繊維の配向が弱くなっていることが読み取れる。これは試験体ひび割れ面における実際の繊維の様子と対応している。

想定した繊維配向角分布に対応する引張側モデルの比較を図-7に示す。バイブレーターなしの試験体はバイブレーターありの試験体よりも高い引張性能を示しており、バイブレーター使用の有無によって

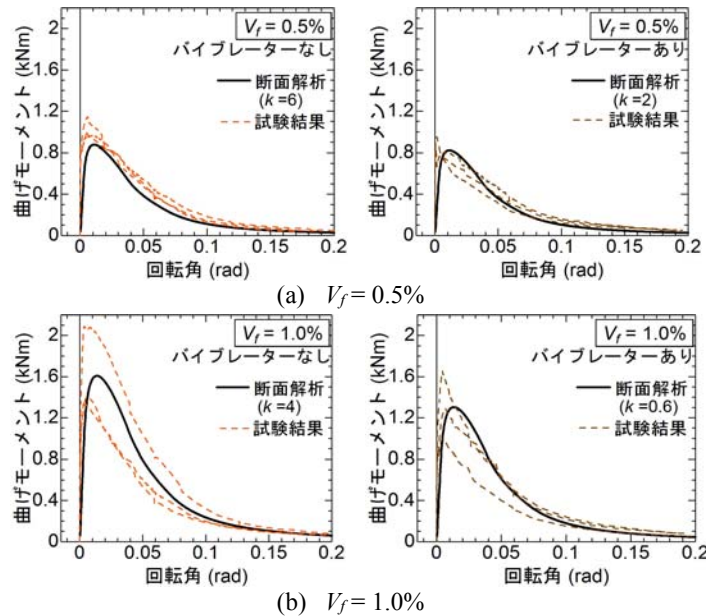


図-4 曲げ性能に対する解析結果と試験結果の比較

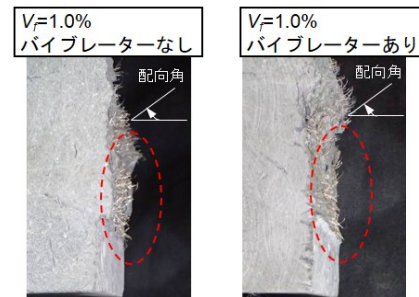


図-5 ひび割れ面における繊維配向の様子の例 ($V_f = 1.0\%$)

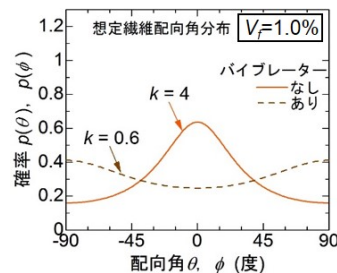


図-6 想定繊維配向角分布の例 ($V_f = 1.0\%$)

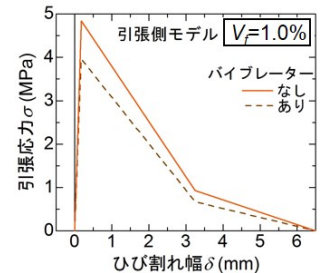


図-7 引張性能の比較の例 ($V_f = 1.0\%$)

変化させた繊維の配向性に伴う引張性能の差異を、解析により確認することができた。

5. まとめ

架橋則を考慮してひび割れ面における繊維の配向性を想定した断面解析を行い、ひび割れ面における繊維の配向性を変化させた SFRC の曲げ試験結果を概ね再現することができた。

謝辞

本研究は、科学研究助成基金基盤研究 (B) 課題番号 26289188 によっている。

参考文献

- 1) 浅野浩平, 金久保利之: HPFRCC における繊維の配向性が引張性状に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 692 号, pp.1673-1678, 2013.1