

## 繊維配向性を考慮した架橋側モデルに基づく DFRCC の曲げ性状の評価

筑波大学 学生会員 ○大圖 友梨子  
 筑波大学 学生会員 渡邊 啓介  
 筑波大学 正会員 金久保 利之

## 1. はじめに

高靱性繊維補強セメント複合材料(DFRCC)では、打設方向や打設方法等の要因によりマトリックス中の繊維の配向性が大きく変化するとともに、繊維配向性が引張性状に大きな影響を及ぼす。DFRCC の引張性状は、引張応力ひび割れ幅関係により表現される架橋則に支配される。繊維の配向性と架橋則を定量的に結び付けることで、精確な力学性状の評価が可能となる。

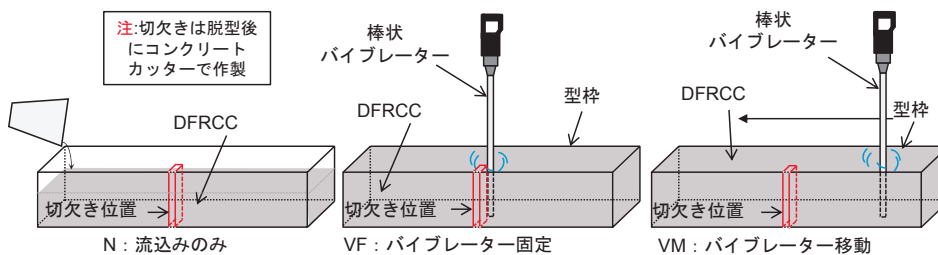
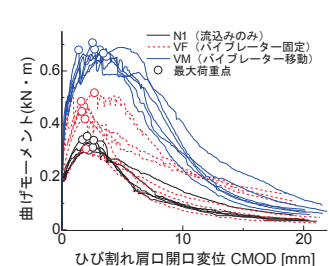
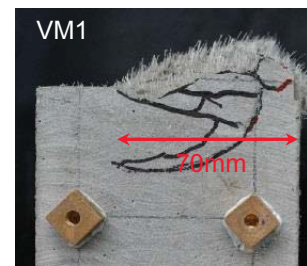
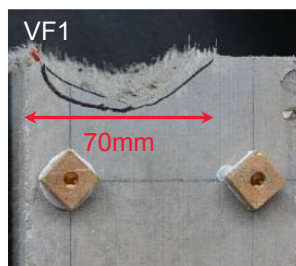
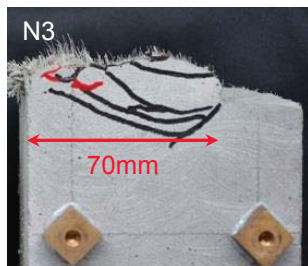
本研究では、PVA 繊維を用いた DFRCC を対象に、既往の研究において構築した繊維配向性を考慮した架橋側モデル<sup>1)</sup>を用いて断面解析を行い、曲げ性状の評価を行う。評価の対象とする試験体は、棒状バイブレーターを用いて強制的に繊維配向を変化させた切欠き梁の曲げ試験結果<sup>2)</sup>であり、繊維の配向性の違いにより試験結果に大きな差異がみられた試験体である。

2. 対象とした曲げ試験結果<sup>2)</sup>

バイブレーターを用いて繊維配向を強制的に変化させた 100×100×400mm 試験体で、JCI 規準「切欠

きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法」に準拠した 3 点曲げ試験が行われている。実験因子は図-1 に示す打設方法で、基準試験体である「N: 流込みのみ」、DFRCC を充填後、試験体中央部においてバイブレーターを固定して振動させる「VF: バイブレーター固定」、および DFRCC を充填後、バイブレーターを型枠の端から他端まで移動させて往復する「VM: バイブレーター移動」の 3 種類の試験体を 6 体ずつ作製している。使用繊維は繊維径 0.1mm の PVA 繊維で、体積混入率は 2%としている。水セメント比は 0.56 で、試験時材齢の圧縮強度は 34.6MPa である。

実験により得られた曲げモーメント-ひび割れ肩口開口変位 (CMOD) 関係を図-2 に、加力後の試験体のひび割れ面における繊維配向の様子を図-3 に示す。図-2 より、N シリーズと VM シリーズを比較すると、VM シリーズの最大荷重が 2 倍程度大きい。図-3 より、VM シリーズでは、他のシリーズと比べ全断面においてひび割れを架橋する方向 (試験体軸方向) への配向性が強いことが読み取れる。

図-1 繊維配向を強制的に変化させる打設方法<sup>2)</sup>図-2 実験結果<sup>2)</sup>図-3 破断面の例<sup>2)</sup>

キーワード DFRCC, 架橋則, 繊維配向性, 配向強度, 断面解析

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

### 3. 繊維配向性の違いによる曲げ性状の評価

#### 3.1. 架橋則モデル<sup>1)</sup>

DFRCC の引張性状の評価には、架橋則と呼ばれる、引張応力-ひび割れ幅関係が用いられる。架橋則は繊維の配向性により大きな影響を受け、繊維配向性を楕円分布で表した確率密度関数を用いて与えられている。楕円分布では、繊維の配向性を表す指標として配向強度  $k$  および主配向角  $\theta_f$  が用いられる。配向強度  $k$  は主配向角  $\theta_f$  への配向性の強さを表し、 $k=1$  ではランダム配向を、 $k>1$  では  $\theta_f$  方向への配向性が強く、 $k<1$  では  $\theta_f$  と直交する方向への配向性が強いことを示す。体積混入率 2% の PVA 繊維を用いた場合の架橋則の計算結果の例 ( $\theta_f=0^\circ$  (試験体軸方向)、 $k=0.1\sim 10$ ) を図-4 に示す。 $k$  の値が大きくなるにつれて引張応力が大きくなる。架橋則を、最大引張応力までの領域、最大引張応力から比較的大きく応力が低下する領域、その後なだらかに応力が低下する領域にわけ、トリリニアモデル(図-5)でモデル化されている。モデル中の各特性点は、配向強度  $k$  の関数で与えられる。

#### 3.2. 架橋則を用いた断面解析

繊維配向性を考慮した曲げ性状を表現するため、ファイバーモデルによる断面解析を行う。モデル化された架橋則を用いるため、応力-ひび割れ幅関係を用い、任意の回転角を与えて平面保持の仮定に基づき各要素のひび割れ幅を算出し、平衡条件を満たす中立軸を求める。引張側構成則には、図-5 に示すトリリニアモデルを用い、配向強度  $k$  を変化させて解析を行った。圧縮側構成則には弾性モデルを用い、特性値には圧縮試験結果の平均値を用いた。なお、圧縮試験により得られる結果は応力-歪関係であるため、圧縮試験結果と切欠き梁の 3 点曲げ試験結果を照合し、等価圧縮域長さ  $l'_c$  を定義して歪に乘じ、圧縮応力-圧縮変形関係とした。

#### 3.3. 実験結果との比較

最大曲げモーメントの実験値と解析値の比較を図-6 に示す。実験値のプロットは最大曲げモーメントの平均値を示し、誤差棒は標準偏差を示す。各配向強度を用いた解析結果の最大曲げモーメントを破線で示す。N シリーズでは  $k=0.4$ 、VF シリーズでは  $k=1$ 、VM シリーズでは  $k=5$  の解析結果が実験値を概ね再現できている。バイブレーターを試験体軸方向に移

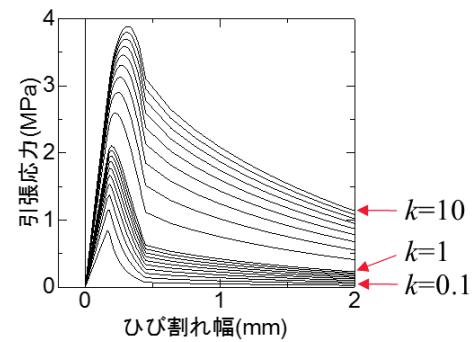


図-4 架橋則の計算結果

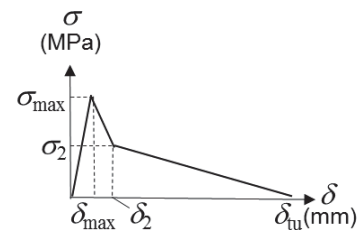


図-5 架橋則のモデル化

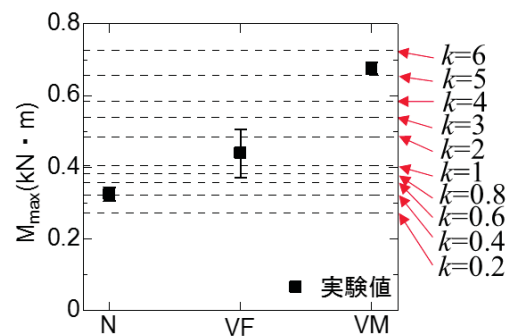


図-6 断面解析結果

動させることで繊維の配向性がひび割れを架橋する方向に制御され、曲げ性状に顕著な影響を及ぼしていることが、解析においても表現できた。

#### 4. まとめ

モデル化した繊維配向性を考慮した架橋則を用いた断面解析を行った結果、実験で得られたバイブレーターを用いた打設方法による繊維配向性の違いが曲げ性状に与える影響を評価できた。

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) 大圖友梨子ほか：DFRCC の繊維配向性を考慮した架橋則のモデル化，AIJ 梗概集，2016.8
- 2) 宮口大ほか：繊維配向性を考慮した棒状バイブレーターによる HPFRCC の打込み方法，JCI 年次論文集，Vol.37，No.1，pp.265-270，2015.7