

3次元 RBSM による繊維補強コンクリートのせん断伝達挙動の解析的評価

関西大学 学生会員 ○佐藤 輝忠
 関西大学 正会員 上田 尚史

1. はじめに

近年、様々な性能を有する繊維補強セメント系複合材料(FRCC)が開発されており、その優れた性能を活かすことで構造部材への適用が試みられている。そのため、FRCC 部材のせん断耐力に関する実験的な研究が多く行われている。一方、FRCC のひび割れ面のせん断伝達挙動については必ずしも定量的に評価されておらず、数値解析的な予測はできていないのが現状である。そこで、本研究では、FRCC のせん断伝達挙動を定量的に評価することを目的として、3次元 RBSM¹⁾を用いた解析的な検討を行った。

2. 解析対象および解析モデル

本研究では、藤村らの直接せん断試験²⁾を対象とした。図-1に解析モデルを示す。実験供試体は、400×200×150mmの直方体の中央部にノッチを有しているが、本解析では要素分割の容易さを考慮して直方体形状でモデル化した。その際、図中の灰色の領域を弾性体要素とすることで、供試体中央の領域にのみひび割れが生じるようにした。繊維は、はり要素により離散的

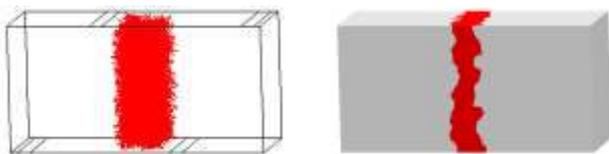


図-1 せん断供試体の概要

表-1 解析に用いた材料特性

鋼繊維	繊維径 d_f (mm)	0.62
	繊維長 L (mm)	30
	弾性係数 E_f (GPa)	210
マトリクス1	弾性係数 E_m (GPa)	23
	引張強度 σ_{t2} (N/mm)	1.77
繊維・マトリクス界面	最大付着強度 τ_i (MPa)	0.1
	付着剛性 G (MPa/mm)	1.9

にモデル化し、繊維の剛性を考慮するとともにリンク要素を用いて繊維とマトリクスとの付着特性を考慮した。繊維はひび割れが生じる領域にのみ混入させることとし、所定の体積混入率となるようにマトリクス中にランダムに分布させた。繊維およびマトリクスの材料特性を表-1に示す。

藤村らの実験では、初期ひび割れを導入した後に、逆対象曲げ荷重によりひび割れ面にせん断力を作用させている。本解析では、まず供試体端部に水平方向の強制変位を与えることで所定のひび割れを導入した後に、所定の荷重位置において荷重を作用させた。

3. 繊維とマトリクス間の付着応力-すべり関係の評価

繊維補強コンクリートの挙動を評価するには、繊維とマトリクスの付着挙動を適切に評価する必要がある。そこで、実験で得られた引張軟化曲線²⁾を表現できるように、数値解析的に付着応力-すべり関係を求めた。解析は400×100×100mmの直方体を用い、両端に引張力を作用させることで引張軟化曲線を求めた。

解析から得られた引張軟化解析結果を図-2に示す。軟化域において実験と同程度の引張応力が得られており、本研究で用いた付着モデルは概ね妥当であると判断した。ただし、繊維混入率が1.0%のケースでは、0.5%のケースよりも軟化域の引張応力が小さくなる結果となった。この点については、繊維の配向性による付着特性の変

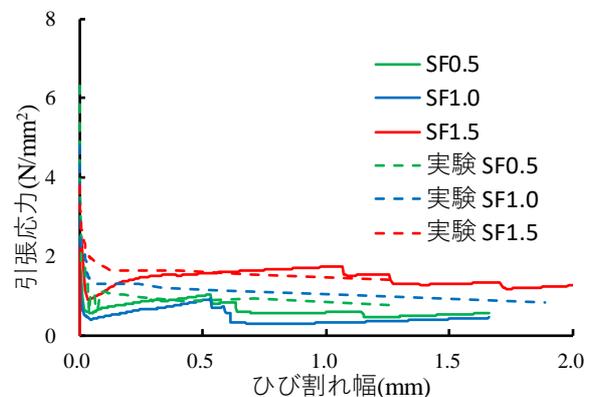


図-2 引張軟化解析

キーワード FRCC, RBSM, せん断伝達, 付着特性
 連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35

複合材料構造研究室 TEL 06-6368-1653

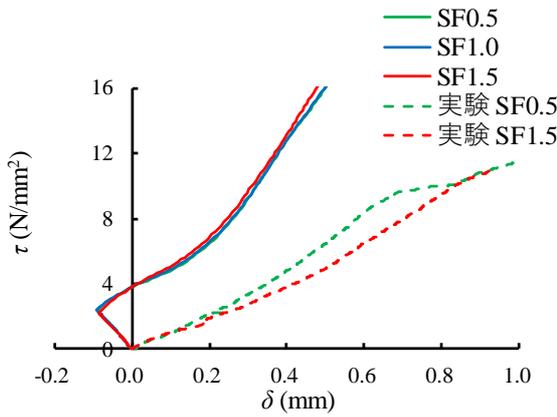


図-3 ひび割れの開口を抑制した τ 場合

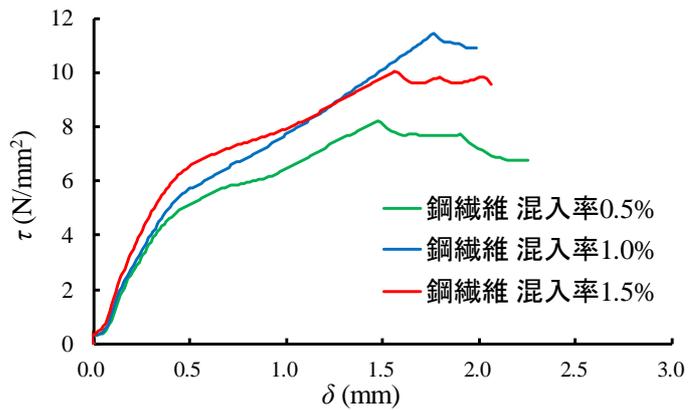


図-4 ひび割れの開口を許容した場合

化等を考慮していないためであると考えている。

4. 繊維補強コンクリートのせん断伝達挙動の評価

4.1 ひび割れ幅を制御した場合

図-3 に解析より得られたせん断応力-せん断変位関係 (τ - δ 関係) を示す。図より、解析は実験と比較して、せん断応力を 2 倍程度過大評価する結果となった。ただし、繊維混入率の違いにかかわらず、せん断応力は同程度となった。ひび割れの開口を抑制した場合には、実験においても、繊維の混入率に依らず同様の τ - δ 関係となることが報告されている²⁾。このことから、本解析においても、ひび割れの開口を抑制した場合には、繊維はせん断力に抵抗しないという点を定性的には評価できているといえる。せん断応力が実験を過大評価した点については、コンクリートそのもののせん断伝達挙動を過大評価している可能性があるため、今後この点についての検討が必要であると考えている。

4.2 ひび割れ幅の開口を許容した場合

実験と同様に、初期ひび割れ幅を 0.5mm 導入したのち、ひび割れの開口を許容した直接せん断解析を実施した。図-4 に解析より得られた τ - δ 関係を示す。図より繊維混入率が増加するにつれて、せん断応力は大きくなることが確認された。前節と同様に実験結果を過大評価しているが、繊維の混入によりせん断応力が増加する傾向は定性的には評価できることが確認できた。

図-5 に初期ひび割れ幅を変えたときの τ - δ 関係を示す。図より、初期ひび割れ幅が小さくなると、初期のせん断剛性が増加する傾向が得られた。このように、本解析を用いることで、初期ひび割れ幅の違いによるせん

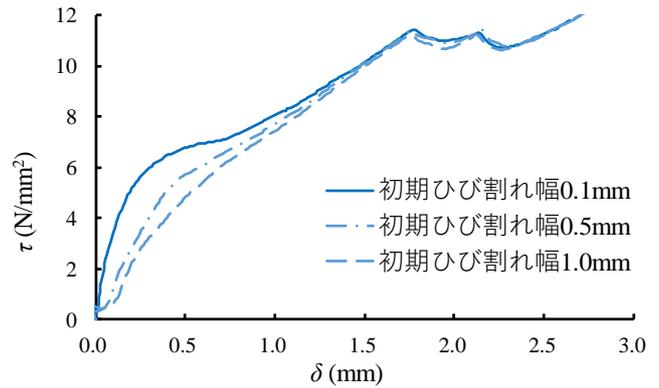


図 - 5 初期ひび割れの違い

断伝達挙動についても評価できることが分かった。今後は、ひび割れ面に対する繊維の分布状態の影響についても検討する必要があると思われる。

5. まとめ

本研究では 3 次元 RBSM において繊維を離散的にモデル化することで FRCC のせん断伝達挙動の解析的評価を試みた。その結果、境界条件の違いや繊維混入率の違いにより、せん断伝達挙動が変化することを定性的に評価できることが確認された。今後は、繊維とマトリクスの付着特性の高精度化や、種々の境界条件下での解析を行う予定である。

参考文献

- 1) 山本ら:3次元剛体バネモデルによるコンクリート供試体の圧縮破壊解析, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.4, pp.612-630, 2008.
- 2) 藤村ら:FRCCのひび割れ面におけるせん断伝達特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1333-1338, 2016.