

三次元非線形解析による繊維補強コンクリートの材料構成則パラメータの感度解析

瀧上工業 (株) 正会員 ○李 スヒョン, 瀧上工業 (株) 正会員 松村 寿男
東海コンクリート工業 (株) 非会員 伊藤 宏辰, 岐阜大学 正会員 国枝 稔

1. はじめに

プレキャスト繊維補強コンクリート製品は、場所打ちコンクリートの埋設型枠などに採用され、現場の足場や型枠の設置・撤去の設備などを一部省略でき、施工の安全性が確保できることから、作業の効率化・省力化に寄与しておりニーズが高い。例えば、当社らはビニロン繊維を補強材とした材料の小型試験、実物大試験による検証を行っており、製品化している。開発段階において、実物大試験は膨大な労力とコストがかかることが課題であったが、近年、三次元非線形解析がコンピュータの発達により、ひび割れ後の非線形性を精度良く再現することが比較的容易になったため、より実務に即した解析的なアプローチにより材料開発を進めることが有効な手段となる。

本研究では、繊維補強コンクリートの過去の材料試験を再現する解析を行い、材料物性を変化させた三次元非線形解析によるパラメトリック解析を実施し、材料試験結果の再現精度を高める材料構成則の条件の考察を試み、今後の新開発品への応用の基礎データを得ることを目的とした。

2. 解析で再現する小型材料曲げ試験

解析で再現する小型材料試験について述べる。既往の文献¹⁾で実施された材料の曲げ強度試験の概念図を図-1に示す。試験体の寸法は幅100mm×高さ100mm×長さ400mmであり、荷重は2点の変位制御荷重の条件である。材料はビニロン繊維を混入した無筋の繊維補強コンクリートであり、材料特性は小型試験で実施した既往の文献¹⁾を参照されたい。図-2に既往の実験で得られた試験体中央の試験体中央のたわみ-荷重関係を示す。本稿では、この荷重-変位曲線を解析で再現できる繊維補強コンクリートの材料構成モデルのパラメータの敏感度の考察を試みる。

3. 非線形解析に用いる解析モデルの設定

小型材料曲げ試験を再現する解析モデルの設定条件を表-1に示す。解析コードは、コンクリートの非線形性であるひび割れを表現するにあたり、既往の研究で実績のあるDIANA10.1を用いる。要素サイズは、寸法効果の可能性のあることを鑑み、25mmとしてパラメータを設定することとした。使用要素は、8節点ソリッド一次要素(HX24L)を用いて、既往の実験と同様の位置に2点鉛直方向の拘束条件ならびに上面からの2点荷重は変位制御で行い、荷重点の反力を試験体中央の変位である荷重-変位関係で実験と解析の整合性を評価することとした。なお、繊維補強コンクリートのヤング係数は、既往の実験¹⁾で得られた実測値 35.5kN/mm^2 を用い、ポアソン比は0.2を用いている。

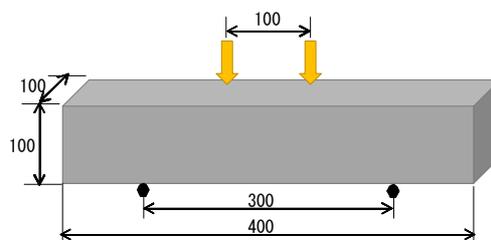


図-1 小型曲げ試験の概念図¹⁾

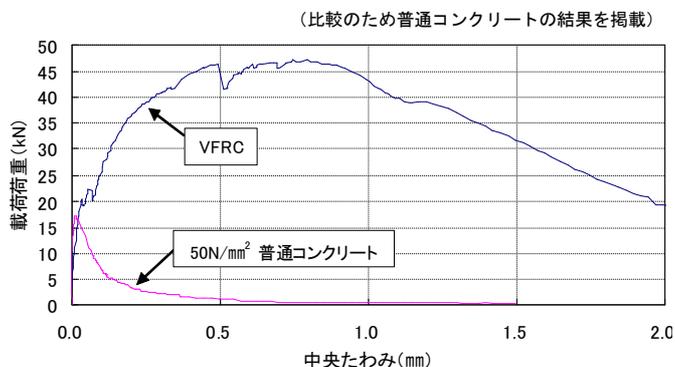


図-2 曲げ強度試験で得られた荷重-変位曲線¹⁾

4. 繊維補強コンクリートの材料特性

繊維補強コンクリートの材料モデルは、圧縮特性は軟化モデル（圧縮強度 63N/mm^2 ）、せん断特性は一定モデル（ $\beta=0.01$ ）を用いた。引張特性については、曲げ引張破壊が先行し、ひび割れによる荷重-変位関係に影響するため、全ひずみひび割れモデルを採用し、表-2、図-3 に示すパラメータと引張応力-ひずみ関係を設定した。なお、実験ではビニロン繊維を用いたが、これらの解析パラメータ（表-2 中の軟化開始ひずみ ε_1 、終局ひずみ ε_2 ）は文献「超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針（案）」²⁾の式を参考にしている。また、破壊エネルギー(G_f)については既往の研究²⁾を参考にした。なお、本研究では、ヤング係数、圧縮特性、せん断特性、引張軟化特性の種々のパラメータを変化させて解析を実施しているが、本稿では、紙面の都合で解析結果の一部を示すこととした。

5. 解析結果

荷重載荷点における鉛直変位-荷重関係の解析結果を図-4 に示す。図から分かるように、ピーク耐力までの解析 Case-1~Case-3 に差異は見られないが、実験結果（赤実線）の接線剛性に若干の差異が見られる。解析における圧縮上昇領域の挙動と実験とは若干の違いがあるが、解析ではピーク値を捉えているため、解析の信頼性は確保できていると思われる。一方、ポストピーク領域においては、解析ケースによりばらつきが見られる。

解析 Case-1~Case-3 では、引張応力-ひずみ関係の軟化開始ひずみ ε_1 、終局ひずみ ε_2 、破壊エネルギー G_f パラメータを変化させているが、これらのパラメータの敏感度は高いといえる。実験のポストピーク挙動とは、Case-2 が最も整合している。これは、本研究ではビニロン繊維を用いているが、鋼繊維を用いた式²⁾を用いたパラメータ設定で実験値と整合することから、実験で用いたビニロン繊維の混入率の条件下では、文献²⁾を適用しても同程度の解析的な再現ができていることが推察される。

6. まとめ

既往の実験を再現する非線形解析のパラメータの敏感度について一考察を行った。

【参考文献】

- 1) 「短繊維補強モルタルを用いた新型 PCF 壁高欄型枠の開発」：技報たきがみ vol.22, pp.67-75, 2004.
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），pp.13-19, 平成 16 年 8 月
- 3) 松本高志：繊維補強コンクリートの材料特性とその利用分野，コンクリート工学 Vol. 50, No. 5, 2012.5

表-1 解析条件

解析コード	DIANA10.1
使用要素	HX24L (8 節点ソリッド要素)
基本要素サイズ	25×25×25mm
繊維補強 コンクリートの物性	引張強度：5.3N/mm ² ヤング係数：35.5kN/mm ² ポアソン比：0.2

表-2 解析ケース

解析ケース	ε_1	ε_2	G_f
Case-1	0.0077	0.0650	0.95
Case-2	0.0084	0.0707	1.25
Case-3	0.0090	0.0763	1.55

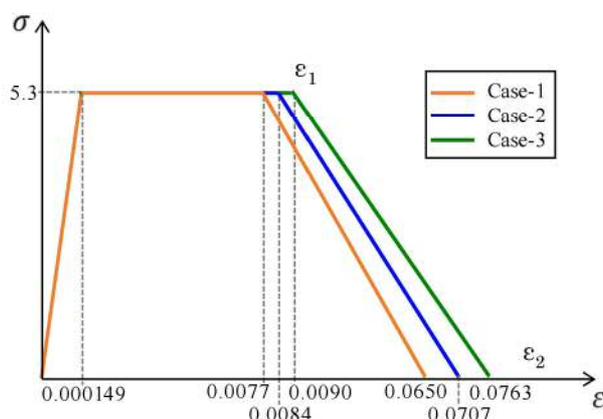


図-3 引張応力-ひずみ関係

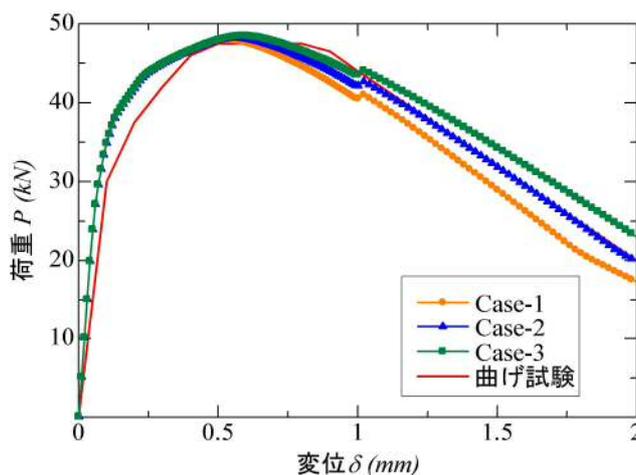


図-4 解析結果