

有限要素法を用いた鋼繊維補強コンクリートの曲げ解析

金沢大学 学生員 ◦江 上 良 二
 金沢大学 正 員 梶 川 康 男
 金沢大学 正 員 吉 田 博

1. まえがき

鋼繊維補強コンクリート(SFRC)は、コンクリートの脆さを改善する画期的な材料であり、引張強度の増加、ひび割れの拘束、じん性の増加、衝撃強さの増加など、その基礎的性状については多く研究され、コンクリート舗装やトンネルなどに用いられてきた。本研究は、今後、SFRCをより一般的に鉄筋コンクリートなどに使用する場合、現在広く使用されている有限要素法の中にSFRCの性状をとり入れ、その挙動を解析的に求め得るための基礎的な段階として、無筋コンクリートばりの曲げ解析を行ったものである。

2. 鋼繊維補強コンクリートの応力-ひずみ関係

SFRCの挙動を解析的に求める場合、基本的にはその応力-ひずみ関係を把握することが最も重要である。圧縮応力-ひずみ関係では、最大応力までは繊維を混入しないものと大きな変化はみられない。上に記述したSFRCの特性は、引張応力-ひずみ関係によりあらわれるものである。しかしこの応力-ひずみ関係を求めるのは難しく、また繊維の種類、SFRC内での配向、分散状態などにより様でない。趙小林¹⁾は、両引き試験用供試体を用いて、引張応力-ひずみ関係を実験的に求めている。そこで、本研究でも、この両引き試験用供試体を用いて、引張応力-ひずみ関係を求めた。供試体はモルタルマトリックスとし、水セメント比52%、標準砂を使用し、砂とセメントを重量比2:1で混ぜ合わせたものを作製した。打設後1日で脱型し、その後水中養生を行い、28日強度とした。図-1に両引き試験より得られたSFRCの引張応力-ひずみ関係を示す。図中Vfは鋼繊維の体積含有率を表す。この図より明らかであるが、SFRCでは、マトリックスに引張ひび割れが生じた後、応力-ひずみ関係において、下降域を有するという特徴を持つ。

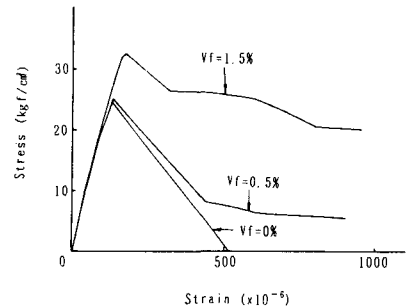


図-1 SFRCの応力-ひずみ関係

3. 応力-ひずみ関係の下降域のモデル化と計算法

図-1より得られる応力-ひずみ関係は、図-2のようにモデル化することが可能である²⁾。しかし、応力-ひずみ関係に下降部を有するので、通常の有限要素法では解くことができない。そこで、下降部においては、図-3のように $\sigma = \sigma_y/n$ を不釣り合い応力として、 n 回順次解放してゆくものとした。つまり、要素の最大主応力が図-2の f_t 以上になると、平面応力問題の場合、その要素の構成式を、

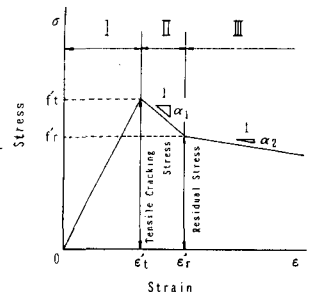


図-2 図-1のモデル化(文献2)より)

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E & 0 \\ 0 & 0 & \beta G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}$$

(1)

とおき、要素全体に領域的にひび割れがはいるとする。Smeared Crackingモデルを用い、ひび割れ面直角方向の応力-ひずみ関係が、図-1の関係に従うものとした。ここでは、図-1より得られる関係を図-4の実線のようにモデル化しさらに破線で示すような、不つり合い応力の解放の連続であるとした。このような解析では、荷重を制御するよりも、変位を制御する解析のほうが好ましく後で示す例においては、強制変位による増分解析を行った。したがって、ひび割れがはいる前

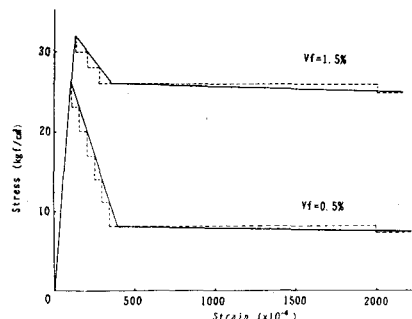
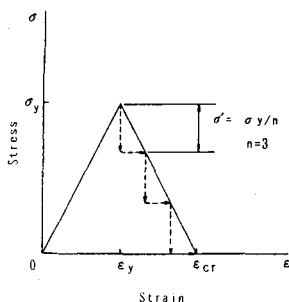


図-3 応力下降域のモデル化 図-4 計算に用いた応力-ひずみ関係と、はいた後とは、荷重と変位の関係において、図-5のようになる。

4. 数値解析例と考察

数値解析例は、断面10×10cm、長さ40cmの曲げ供試体にて、スパン30cmで3等分点載荷を行った場合について考えた。図-6にはその要素分割図を示す。図-7には載荷点の荷重と、中央点での変位の関係を示す。また図-8には前述の面引き供試体と同時に打設した曲げ供試体の実験値を示す。図中の破線は図-7における各不つり合い応力解放時において荷重が飛び移るところの中央点を結んだ値である。図-8より計算値は実験値を下まわっているが、これは、繊維が徐々に引き抜けてゆく状態を不つり合い応力の解放という仮定で解析したことなどによるものと思われる。しかし、全体的にはある程度、挙動の推定が可能であると思われる。今後、鋼繊維の種類を変えたものや、鉄筋コンクリートなどについても検討してゆく予定である。

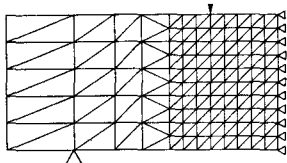


図-6 有限要素分割

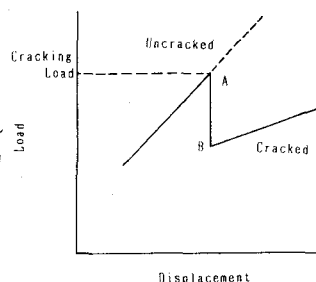


図-5 解放応力作用時の荷重-変位関係

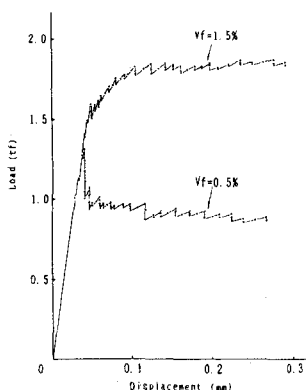


図-7 荷重-変位関係(計算値)

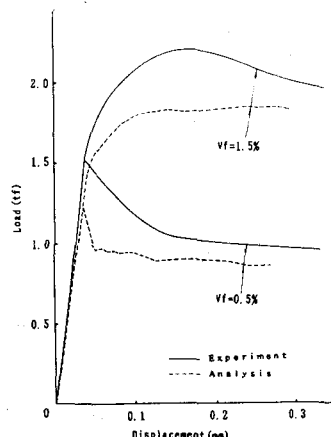


図-8 実験値と計算値の比較

<参考文献>

- 1) 趙加采, 小林 輔: 鋼繊維補強コンクリートの引張強度試験方法に関する研究, コンクリート工学, Vol.17, NO.9, PP.87~95, 1979.
- 2) 小林 輔, 魚住 人, 西村 次男, 古成 仁: 鋼繊維補強鉄筋コンクリート部材の曲げ特性に関する研究, 繊維補強コンクリートに関するシンポジウム論文集, pp.39~46, 1984.