

I-20

繊維補強材料の引張剛性に関する基礎的研究

埼玉大学大学院 佐藤純哉

埼玉大学工学部 奥井義昭

埼玉大学工学部 秋山成興

東京大学工学部 堀井秀之

1. はじめに

脆性材料に鋼繊維などを混入した、いわゆる繊維補強材料はひび割れ発生後においても高い引張強度、せん断強度を持つ事が知られている。このような繊維補強材料を実構造物に適用する場合、ひび割れ発生後の優れた特性を生かした合理的な設計を行うためには、ひび割れ発生後の挙動を表せる理論モデルが必要になる。一般に長繊維の補強材料に引張荷重を作用させた場合、荷重の増加に伴いひび割れが発生し剛性が低下する事から、Fig.1に示すような巨視的な応力-歪関係が得られる。同図において、破線Ⅰ、Ⅱは各々、ひび割れが入る前の応力-歪関係、多数のひび割れが入り繊維のみで荷重を受け持つ時の見かけの応力-歪関係を表す。繊維補強材料で作られた構造物の耐荷力を評価する場合、最も重要となるのは、状態Ⅰから状態Ⅱへの遷移過程であり、この間を正確に表せるような理論モデルが必要になる。そこで本研究では、一軸引張実験を行い巨視的な応力-歪関係を測定し、併せて繊維補強材料の微視構造に着目した理論モデルについて検討を行った。

2. 一軸引張実験

実験に用いた供試体の概要図を Fig.2に示す。なお、マトリックスとしてはコンクリートモルタル、繊維としては、ピアノ線を用い、繊維の混入率による影響を検討するため混入率を3通り（断面積比で 0.73, 1.44, 2.42%）の場合について実験を行った。また、巨視的な歪については供試体の側面に取り付けたクリップゲージより、変位を測定し歪に変換した。

3. 理論モデル

理論モデルにおいては、Fig.3に示すモデルを設定し検討を行った。同図において、 L は平均的なクラック間隔、区間 a は完全付着の領域、区間 b は繊維とマトリックス間にすべり変形が生じている領域を表す。区間 a については通常の混合則が成立すると仮定し、区間 b については付着の基礎式、

$$T \, dx = A_F \, d\sigma_F = -A_M \, d\sigma_M$$

が成立するものと仮定した。ここで、 T は付着力（せん断力）、 A は断面積、 σ は応力を表し、添字 F, M は各々繊維およびマトリックスに関する量を示す。また、付着力 T

とすべり量 Δ の構成関係としては、Fig.4に示す2ケースについて検討した。Fig.4において、 T_c と Δ_c を仮定する事により、区間 b の長さが荷重の関数として得られ、クラック間隔 L についてはマトリックス部の応力が引張強度に達するとクラックが入るとして求める事ができる。

4. 計算結果および考察

巨視的な応力-歪関係について、実験値と解析値の比較をFig.5,6に示す。Fig.5は摩擦付着モデル、Fig.6は線形付着モデルの結果を実験値と比較したもので、いずれも繊維の混入率は 0.73% ある。同様のケース

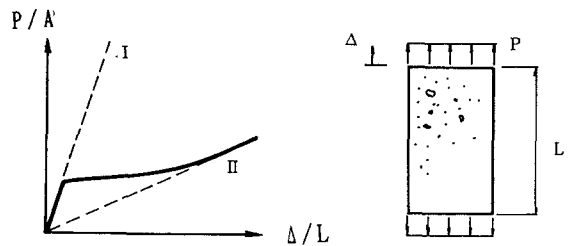


Fig.1 巨視的な応力-歪曲線

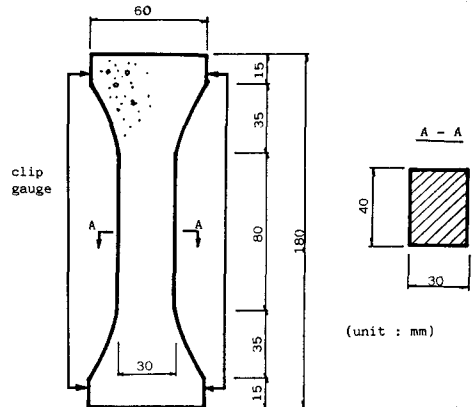


Fig.2 供試体

についてヤング率と歪の関係について整理したのがFig.7,8である。これらの図から、一般に線形付着モデルより摩擦付着モデルの方が実験値に近い結果を与える事が明らかになった。

5. まとめ

以上の理論モデルから得られた巨視的な応力-歪関係を適当な FEMコードに組み込む事によりクラックを含む繊維補強コンクリート構造物のひび割れ後の挙動が連続体モデルで解析可能となる。今後の課題としては、多軸応力下のモデルの検討が挙げられる。

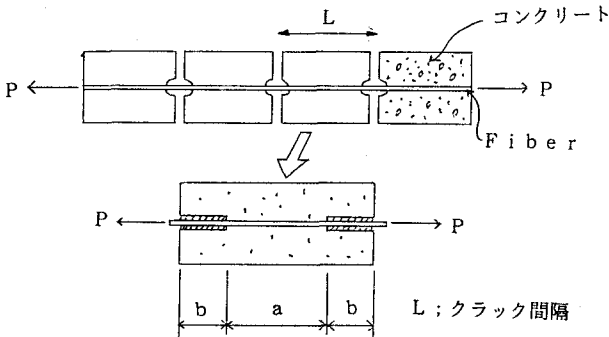


Fig.3 解析モデル

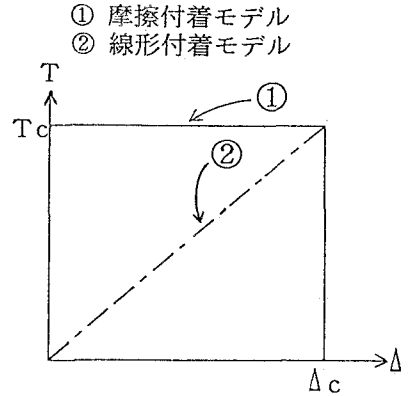


Fig.4 T - Δ関係

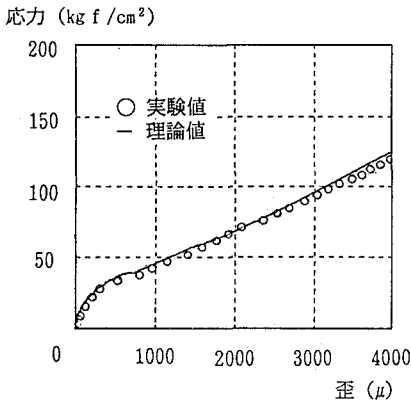


Fig.5 応力-歪曲線（摩擦付着モデル）

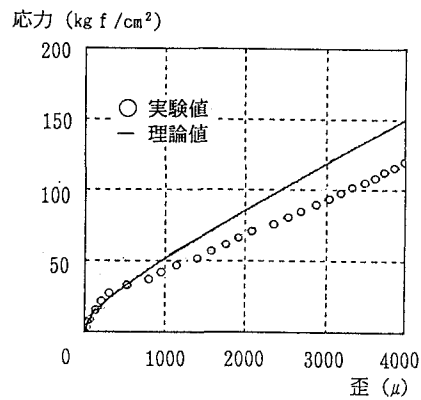


Fig.6 応力-歪曲線（線形付着モデル）

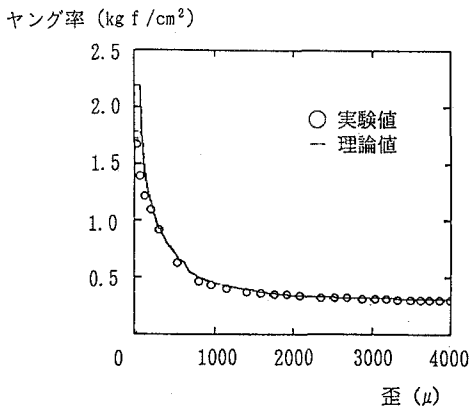


Fig.7 ヤング率-歪曲線（摩擦付着モデル）

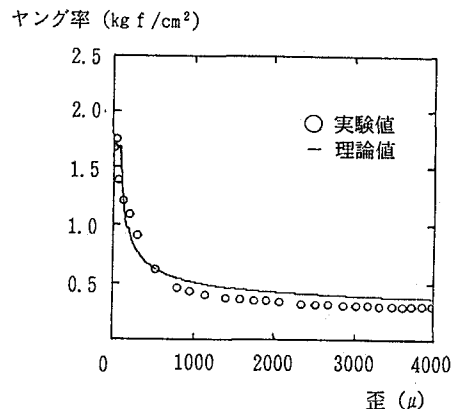


Fig.8 ヤング率-歪曲線（線形付着モデル）