

(V-63) セメント系短繊維補強材料の圧縮挙動における繊維引き抜き現象の解析的研究

○ 東京大学 学生員 遠藤 蔵人
東京大学 正 員 カベレ ベトル
東京大学 正 員 堀井 秀之

1. はじめに

セメント系短繊維補強材料として研究されているものに ECC(=Engineered cementitious composite) がある。この材料は引張りに対して大きな靱性を持つように機能設計されており、その優れたエネルギー吸収能を活かし耐震材等に用いることが期待されている。しかし繊維が圧縮下の挙動にどのように関与するのかといったことは知られていない。繊維の効果として注目すべきは、セメントマトリクスに生じたクラック間を架橋して応力を伝達する効果である¹⁾²⁾。本研究では1本の繊維を微視的に捉え、セメントマトリクスから引き抜かれる過程を有限要素解析法を用いて把握することを目的としたものである。解析において繊維とセメントマトリクス間の関係に、摩擦とセメントによる付着の2つの要素を考慮に入れることで容易に挙動を説明できることを示す。

2. 解析概要

解析は図1に示すメッシュを用いる。セメントマトリクスの右端を固定し繊維の先端部を左方向に変移制御で引張り、そのときの繊維の先端の変位と荷重の関係を求める。繊維の長さや材料の性質等については実験と同じ値を用い、考慮が必要な諸パラメーターはパラメトリックスタディーを行うことで決定する。

繊維とセメントマトリクス間のすべり挙動を表すために図2で示される要素(以下インターフェース要素)を用いる。インターフェース要素はそれに接する要素間のすべり量とせん断応力の関係を規定できる要素で、本研究においては繊維とセメントマトリクスが接する部分に用い、その特性を図3のように設定する。a部はセメントによる繊維とセメントマトリクスの付着を表す。b部は摩擦を表しており一定の値をとる。c部ではファイバーが傷つくことによって摩擦が大きくなることを表す。

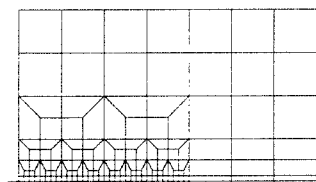


図1 有限要素解析メッシュ

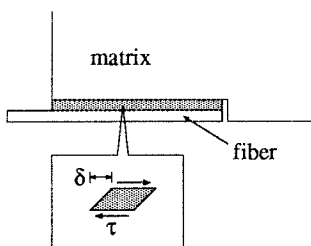


図2 インターフェース要素の概念図

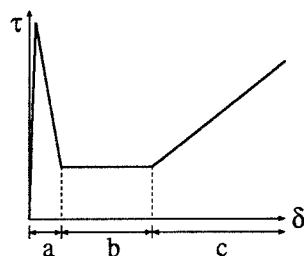


図3 インターフェース要素の特性

3. 結果

典型的な解析結果を図4に示す。最初のピークは繊維とセメントマトリクスの付着に起因しており、すべての付着が剥がれると荷重が急落する。その後の漸減は繊維が引き抜かれることでセメントマトリクスとの接触面積が減少することによる。この間に傷ついた繊維の表面はセメントマトリクスとの摩擦を大きくすることとなり、再度の荷重の上昇をもたらす。

図5に実験データ³⁾を示す。 L_e は繊維のセメントマトリクスへの埋め込み部の長さを表しており、3つのケースで4つの結果が示されている。実験結果にはばらつきがあるが、荷重の最初のピーク、その後の漸減、再度の上昇は定性的に解析した値と一致している。尚、実験データの2度目の荷重の上昇の後の急落は繊維の破断によるものである。

キーワード：セメント系短繊維補強材料、有限要素解析

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-3812-2111 FAX:03-3812-4977

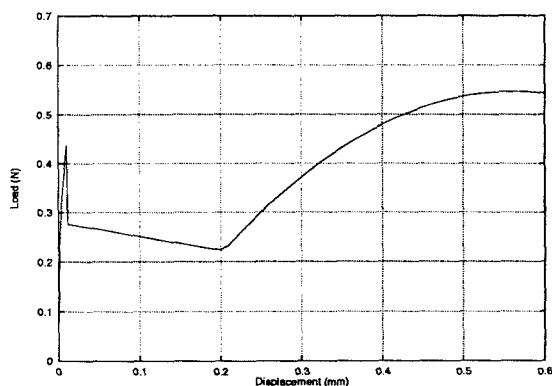


図 4 解析による荷重と変位の関係

次に繊維の埋め込み長さを変えて同様の解析を行った。解析にあたって諸パラメーターは先の解析と同様のものを用い、埋め込み長さを 2mm, 4mm, 6mm として行った。結果を図 6 に示す。全体の特徴としては繊維とセメントマトリクス間の付着が剥がれるまでは、埋め込み長さに関係無く同一のカーブをたどるということである。これは繊維を引っ張る力が繊維全体に伝わるのではなく、荷重変位関係は剥がれた部分の挙動に支配されており、まだ剥がれていない部分の埋め込み長さに依存しないことを示している。またそのカーブの傾きは徐々に緩やかになっている。繊維の付着が剥がれた部分においてはセメントマトリクス間の応力が低減して荷重が作用するため変形量が大きくなる。カーブの傾きが緩やかになるのは、荷重の増加に伴う繊維の変形量の増加と付着が剥がれた部分の増加の 2 つの要素によって非線形に描かれたためである。

個々の場合についてみると 2mm の場合は 2 回目の荷重の上昇の後、摩擦力の上昇と接触面積の減少により比較的緩やかな荷重の減少が見られる。対して 4mm, 6mm の場合は摩擦力の上昇により接触面積の減少にも関わらず荷重が大きくなる。また 6mm の場合ではすべての付着が剥がれたのち荷重が減少すること無く上昇するという結果が得られた。

4. おわりに

このようにインターフェース要素を用いることで、弾性変形、付着の剥離、接触面積の減少、摩擦力の上昇が関係する非線形の現象を容易に表現することが出来る。本研究で示した解析法は ECC に限らず繊維による補強材料すべてに当てはめることができる。その場合、課題となるのは図 3 で示されるような関係を、異なる繊維とセメントマトリクスの組合せに対してどのように設定するかである。例えば今回の研究でも行ったように実験との値を比較するという逆解析によって決定するといった方法が有効である。

参考文献

- 1) Victor C Li, Youjiang Wang, Stanley Backer. A MICROMECHANICAL MODEL OF TENSION-SOFTENING AND BRIDGING TOUGHENING OF SHORT RANDOM FIBER REINFORCED BRITTLE MATRIX COMPOSITE, Journal of Mechanics and Physics of Solids Vol.39, No.5, 1991
- 2) Victor C Li, Stanley Backer. Effect of inclining angle, bundling and surface treatment on synthetic fibre pull-out from a cement matrix, COMPOSITE.VOLUME21.NUMBER2.MARCH 1990, 1990
- 3) 関田 徹志, Personal communication.

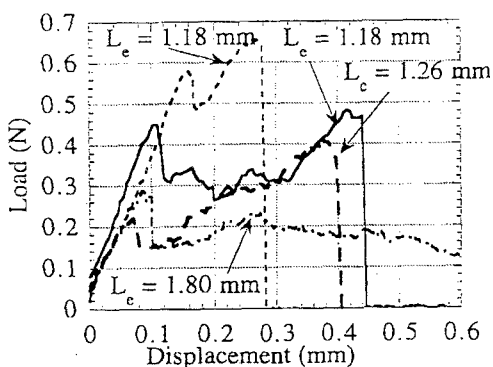


図 5 実験による荷重と変位の関係³⁾

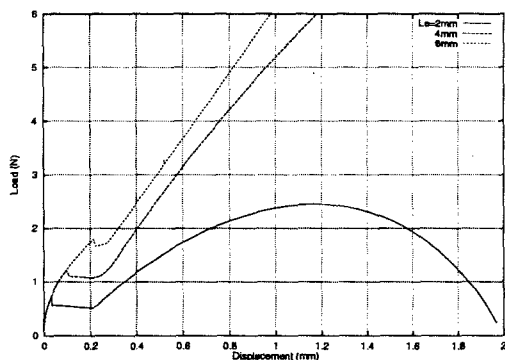


図 6 繊維の埋め込み長さを変えての解析結果