

V-117 ポリプロピレン繊維・セメント複合体のファイバーとマトリックス間の 応力伝達における微視的機構

竹中技術研究所 正会員 大野 定俊
University of Surrey D. J. Hannant
University of Surrey J. G. Keer

1. はじめに

連続したポリプロピレン繊維の網で補強した薄いセメントシートは、石綿セメントの代替品として開発されてきており、最近イタリアで工業化され、ヨーロッパ市場に商品として出荷され始めた。ポリプロピレン繊維補強セメントの特長は単に高強度であるばかりでなく、衝撃などに対する大きなエネルギー吸収能と細かなひびわれの発生と分散性にあるといえる。このような利点を生かして、さらに種々の利用方法が期待されるが、そのためにはさらに幾つかの改良が期待されている。このような複合材料の改良において繊維とマトリックスの付着力、応力伝達能力が重要な問題となることはよく知られている。しかし、改良の基本とも言えるポリプロピレン繊維網を補強として用いた場合の繊維とマトリックス間の応力伝達機構については、まだ十分な理解が得られていないのが現状である。

2. 実験概要

本研究はポリプロピレン繊維補強セメント（PFRC）の繊維とマトリックス間の応力伝達機構を理解するために、PFRCの引張試験、および引張り荷重下での繊維とマトリックスの挙動の観察に焦点が当てられた。観察には光学顕微鏡と電子顕微鏡が用いられ、引張载荷中の材料の挙動を観察するために、両顕微鏡下で使用可能な引張試験機（図-1）が特別に製作された。

材料と試験体：マトリックスのモルタルの配合には、表-1に示す2種類のタイプが用いられた。高性能減水剤はモルタルの流動性を調整するために用いられており、補強繊維量に応じてわずかに加減された。補強に用いたポリプロピレン繊維は商品名 Retiflex と呼ばれるもので、シート状のフィルムにスリットを入れてから開いて連

続した網状構造を持たせたものである⁽¹⁾。今回用いられたポリプロピレン・フィルムは、強度が 450 ～550 MPa、0.5%ひずみ時の弾性係数が 12～14 GPa と高強度高弾性である。PFRCのシートは、網状の補強繊維にモルタルを手で強制的に浸透させることにより作られた。また、作成されたシートは硬化後水中で養生され、試験前に所定の寸法に切断して試験体が作成された。

载荷試験：25x5x300 mm の試験体が Instron 1122試験機で直接引張試験された。また、顕微鏡下の観察では、図-1に示す引張試験リグで 10x5x60 mmのミニチュア試験体が引張試験された。

3. 実験結果と考察

引張試験結果：PFRCの代表的な応力-ひずみ曲線を図-2に示す。図中には同時に、Aveston 等⁽²⁾によっ

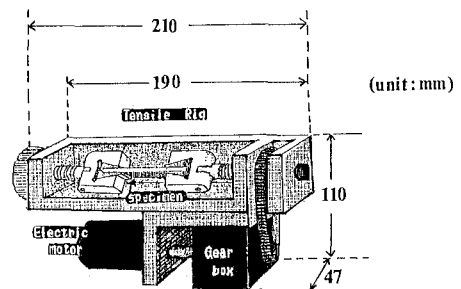


図-1 観察用の引張りリグ

表-1 モルタルの配合（重量比）

材料	従来タイプ*	高強度タイプ*
普通ポルトランドセメント	1.0	1.0
水	0.34	0.21
フライアッシュ	0.25	-
骨材 (silica sand)	0.19	0.20
シリカヒューム+流動化剤	-	0.15
流動化剤 (Melmant)	0.018	-

て導かれた摩擦付着理論に基づく理論式が示された。特に高強度タイプのマトリックスを用いた場合、実験結果と理論値はひびわれ発生以降の曲線の傾きの点において違いが認められた。Multiple cracking 領域と呼ばれる最初のひびわれの発生直後の領域では、平坦な理論値に対し実験値の方がやや傾きを持っている。逆に、multiple cracking の終了後の領域では実験値の方が理論値よりも低い傾きとなっている。繊維の弾性率の変化や配向性などの影響なども考えられるが、他のPFRC特有の現象に起因する事も十分に考えられる。

界面の分離と繊維内の滑り：本実験で用いたようなPFRCでは実際に多数のひびわれが発生するが、ポアソン比の大きな有機繊維で補強されたセメント複合材では、ひびわれ発生時に繊維とマトリックスの界面で分離が進行するので、multiple cracking は起きないという理論的な疑問が提起されたことがある。本実験の観察においても、ひびわれが繊維を横切ったときにカタストロフィックな界面の剥離は起こらなかった。この理由の一つは、フィルムを小繊維化して網状繊維を作る際にできた繊維内の欠陥が広がって、繊維の界面に生じる変位を吸収したためと考えられた。部分的には繊維とマトリックス界面でわずかな剥離が認められる場合もあったが、繊維表面から枝別れした細かな二次繊維がマトリックス内に入り込んでおり、実際にはこれらの二次繊維を通じて応力伝達が行われ得ると判断された。一方、表面に細い線を貼付けた試験体を光学顕微鏡下で引張り観察した結果、引張り荷重を受けるPFRCにおいて、そのマトリックス中にひびわれが多数生じる破壊の進行段階で、図-3に示すように繊維自身の中でせん断滑りが起きていることが明らかになった。このような現象は電子顕微鏡下（図-4）でも観察されるし、ひびわれ位置で繊維内での分離が観察される事からも確認される。この繊維内でのせん断滑りは、繊維とモルタル間の応力伝達を考える上で、非常に重要なパラメータとなると予測される。また、繊維内での応力分担を考慮すれば、応力-ひずみ曲線の特徴も説明し得ると考える。

参考文献

- (1) D. J. Hannant et al, Phil. Trans. R. Soc. Lond A294, pp. 591-597, 1980.
- (2) J. Aveston et al., NPL, SI n0 90/11/98, 1975

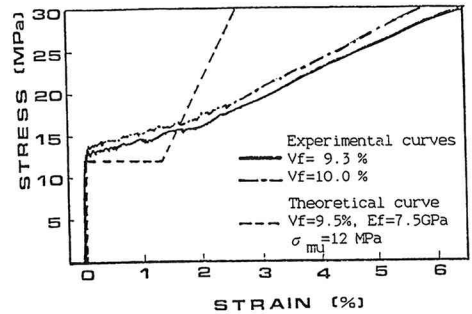


図-2 応力ひずみ曲線

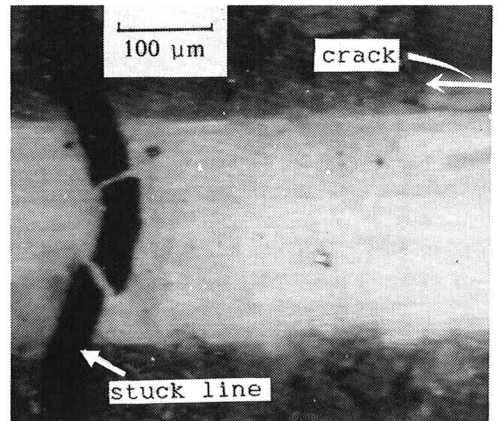


図-3 繊維内の滑り（光学顕微鏡写真）

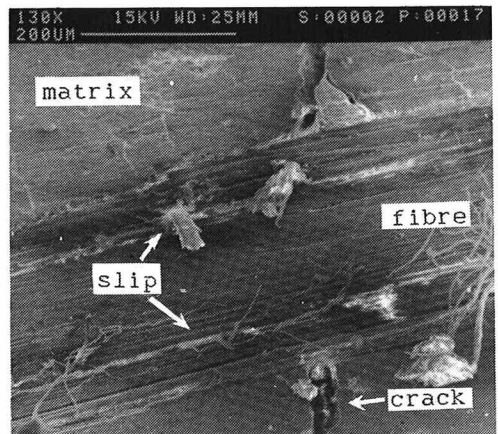


図-4 繊維内の滑り（電子顕微鏡写真）