

短繊維補強セメントによる薄板状部材の力学的特性

大阪市立大学工学部 学生員○井岡和寛
大阪市立大学工学部 正 員 眞嶋光保

1. はじめに

セメントモルタル中に短繊維を混入し繊維補強セメント（FRC）とすることにより、引張強度、曲げ強度、衝撃強度、伸び特性などを改善することが可能となる。さらに、ひびわれが発生が抑制され、発生後も高い耐荷力を示しひびわれを分散することが可能である。FRCによる薄板状部材を作製する場合、使用繊維による補強効率の観点から補強用繊維を選択することが必要である。よって、補強効率に影響を及ぼすと考えられる繊維の種類および混入量の関係を調べることにした。なお、本研究では、FRC薄板状部材の直接引張載荷試験を行い、繊維の種類および混入量に着目して、これらが引張強度および応力-ひずみ関係に及ぼす影響を比較することとした。

2. 実験概要 実験は3種類の短繊維を用い、それぞれの繊維の物理的および力学的性質を表-1に示す。

表-1 繊維の諸元

繊維種別	繊維形態（集束数）	繊維長	フィラメント直径	比重	弾性係数	引張強度
ガラス	ストランド（400本）	25mm	φ13.5μm	2.70	7.5tf/mm ²	150kgf/mm ²
アラミド	フィラメント	12mm	φ12.0μm	1.39	7.1tf/mm ²	310kgf/mm ²
アラミド	ストランド（1,000本）	30mm	φ12.0μm	1.39	7.1tf/mm ²	310kgf/mm ²

繊維混入量は、体積比で5、3、1%とする。

FRC供試体の作成は、繊維を薄く2次元ランダムに分散させ、その上からセメントマトリックスを繊維中に手で圧入した。これを所定厚さ6mmとなるまでくり返した。マトリックスの配合は繊維の性能を十分引き出すよう特に付着に考慮し、ワーカビリティと流動性にも配慮をした上で大幅にセメント量を多くして表-2に示すとおりとした。供試体表面の乾燥を防ぐため作成後直ちにビニールシートを密着させ24時間保持した後20℃の水中に移した。養生期間は当初の湿潤養生を含め7日

表-2 マトリックスの配合（重量比）

セメント	水	砂	混和剤
1	0.3	0.15	0.05

砂は珪砂7号、混和剤は高性能減水剤

間である。試験直前に供試体から長さ350mm×幅25mmの大きさに切り出し試験用供試体とした。試験は載荷速度を3mm/minの変位制御とするためインストロン型試験機で行った。試験時には、試験機のロードセルより出力する荷重とクリップオンタイプの変位計により供試体中央部10cm間の変位とを動ひずみ計により連続的に測定記録した。

3. 実験結果と考察

3.1 引張強度

直接引張試験におけるガラス繊維量と引張強度の関係を図-1に示す。繊維混入量が増加するにつれて強度も増加している。また、引張試験後には、一部のガラス繊維については引き抜けではなく破断が観察されている。

アラミド（フィラメント）繊維量と引張強度の関係を図-2に示す。繊維量の増加とともに引張強度

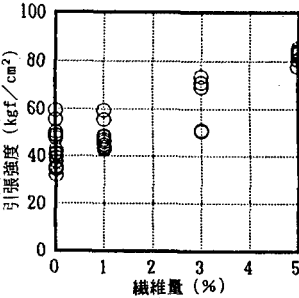


図-1 ガラス 引張強度と繊維量の関係

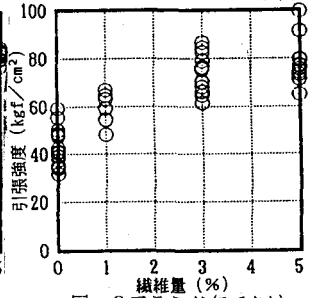


図-2 アラミド（フィラメント） 引張強度と繊維量の関係

も増加するが、3%以上となると引張強度の増加割合が小さくなり、頭打ち現象となることが分かる。したがって、繊維混入量が引張強度に及ぼす補強効果については、作業性に依存する最適混入量の存在を伺わせた。また、アラミド（アライト）繊維量について、繊維量と引張強度の関係を図-3に示す。ここでは引張強度の増加はごく僅かに留まっており、強度面の補強効果はほとんどないといえよう。

アラミド繊維の2種を比較して、混入繊維量に関して強度増加という補強効果の観点から観ると、明らかにフィラメントの方が効果的である。引張試験後、フィラメントの場合は繊維の一部が破断しているが、ストランドの場合では破断はみられずすべての繊維はマトリックスから引き抜けていることが観察された。

ストランドと比べフィラメントの方が細いため繊維とマトリックスが接する表面積が大きい、そのため付着による荷重伝達能力が大きくなり強度が上がり、繊維断面応力が増加して繊維が一部破断したと考えられる。

3. 2 引張応力-ひずみ関係

図-4にガラス繊維の3種類の混入量の供試体の引張応力-ひずみ関係を示す。繊維量が多いものほど、最大応力到達後のひずみ進行による応力低下が小さいようである。

図-5のアラミド(フィラメント)の引張応力-ひずみ関係は、図-4のガラス繊維のそれと同じような傾向を示している。破壊時には、両者とも繊維が一部破断を起こしていることから両者の力学的挙動は同等なものと考えられる。

図-6のアラミド(ストランド)の引張応力-ひずみ関係では、繊維量が多くなるとひずみが大きくなってもかなり大きな応力負担能力を持っていることがわかる。破壊後の観測では繊維のすべては引き抜けとなっており、破壊に至るまで繊維はマトリックスとの摩擦抵抗を維持しているようである。アラミド(フィラメント)では、破壊時に繊維の一部破断が生じることから結果的にひずみ伸び能力が小さくなり、この点に関してはアラミド(ストランド)に逆転される。しかし、アラミド(ストランド)の1%の場合では、最大応力到達後すぐに応力が下がる。これは1%の場合は破断面に存在する繊維束が数本しかないため、ひびわれ発生時に繊維一本当りの応力負担が大きくなりすぎ、ひびわれ発生後直ちに破断面の繊維束はすべて付着切れを起こし引き抜ける。

すべての繊維の引張応力-ひずみ関係は、靱性面から見て補強効果があると言える。しかし、いずれもACK理論¹⁾に示す引張応力-ひずみ過程における、マトリックスのひびわれ応力が一定のままひずみが進行するという、いわゆるひびわれ多発域は現れなかった。このことは、充分なひびわれ分散を得ることができなかったことを示すものである。事実、目視で観測した破壊時のひびわれ数は最大でも4カ所程度であった。

4. まとめ

- 1) 補強効果をより大きくするには、作業性が確保できる範囲内で、より多くの繊維を混入する必要がある。しかしながら、繊維量が大きくなりすぎると繊維の補強効率低下するようである。
- 2) 繊維補強セメントの引張強度は、繊維とセメントペーストとの付着および繊維強度が複雑に影響するようであるが、繊維は細くて表面積が大きいものの方が効果があるようである。
- 3) 繊維が引き抜けるかもしくは破断するかという破壊の形態の違いにより、応力-ひずみ関係は異なる。

5. 参考文献

¹⁾ J. Aveston, G. A. Cooper & A. Kelly: "Single and Multiple Fracture", Conf. Proc. of the NPL, The Properties of Fiber Composites, 1971, pp15-24

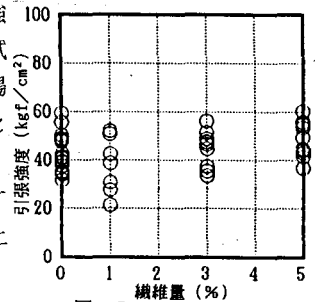


図-3 アラミド(ストランド) 引張強度と繊維量の関係

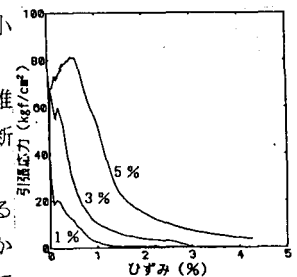


図-4 ガラス 引張応力-ひずみ関係

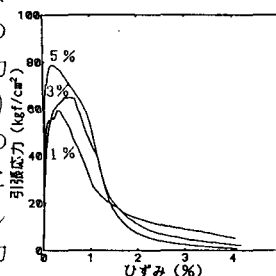


図-5 アラミド(フィラメント) 引張応力-ひずみ関係

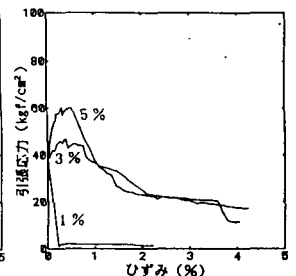


図-6 アラミド(ストランド) 引張応力-ひずみ関係