

## 高強度繊維補強コンクリートのひび割れ後の引張疲労特性

立命館大学 学生会員 ○志村 彩  
 立命館大学 平川 彩織  
 JR 東海コンサルタンツ 正会員 稲熊 唯史  
 JR 東海コンサルタンツ 正会員 一柳 昌志  
 立命館大学 フェロー 岡本 享久

### 1.はじめに

高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）は、コンクリートにひび割れが発生した時、繊維がき裂面において伝達する応力（以下、架橋応力）によって引張力を制御するもので、UFC はひび割れ発生後にその効果を発揮する点が特徴である。そこで、本研究では、繰返し荷重が架橋応力に与える影響を実験的に考察し、ひび割れ発生後の疲労特性を比較検討する。

### 2. 実験概要

圧縮試験、曲げ試験により各配合の物性を把握した後、曲げ疲労試験を行った。

#### 2.1 材料

混入繊維は鋼繊維（FM）、アラミド（AF）、ポリプロピレン（PP）の3種類とした。混入率（vol%）はそれぞれ2.0、0.7、3.3である。混入率の決定は、繊維の引張強度およびコストに基づく。FMおよび有機繊維（AF、PP）の配合表をそれぞれ表-1および表-2に示す。

#### 2.2 供試体

試験体寸法および形状は、圧縮試験はφ100×200mmの円柱供試体、曲げ試験および疲労試験は共に100×100×400mmの角柱供試体を用いた。角柱供試体には図-1に示すように、ひび割れを特定箇所に発生させるため供試体底部中央に深さ30mmの切り欠きを施し、疲労試験用供試体に加力により0.1mm幅の曲げひび割れを導入し、除荷して曲げ疲労試験に供した。ひび割れ幅の測定には容量5mmのクリップ型変位計を用いた。

### 3.試験結果および考察

#### 3.1 圧縮試験

AF、PPの2種類の供試体は強度発現を確認するため、材齢7、28、49、56、70、91日において測定を行った。圧縮強度平均値はAF、PPそれぞれ約170N/mm<sup>2</sup>、約135N/mm<sup>2</sup>であり、圧縮強度の差は有機繊維混入量の影

表-1 示方配合（FM）

単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
水	UFC標準配合粉体	鋼繊維	高性能減水剤
175	2254	157	24

表-2 示方配合（AFおよびPP）

	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
	W	C	S	Ad1	Ad1/C (%)	Ad2	Ad2/C (%)	F
I (PP)	190.0	1118.0	961.0	27.9	2.5	22.4	2.0	30.0
II (AF)	190.0	1118.0	1029.0	27.9	2.5	22.4	2.0	10.0

※Ad1:高性能減水剤 Ad2:消泡剤 F:繊維

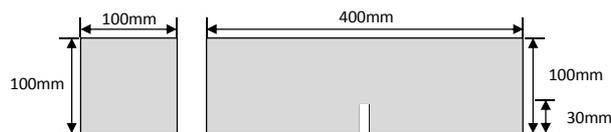


図-1 供試体概略図

響が大きいと考えられる。また、疲労試験では強度発現の変化が小さくなったことを確認したうえで材齢91日以降に実施した。

#### 3.2 曲げ試験

FM、AF、PPの3種類の供試体を4体ずつ曲げ試験を行った。代表的な静的曲げ試験結果を図-2に示す。試験結果は得られた最大荷重を、切り欠きを除いた高さ70mmの断面の断面係数で除して見かけ上の曲げ強度として評価した。その結果、曲げ強度の4体平均値 $f_m$ はFM:12.3N/mm<sup>2</sup>、AF:4.7N/mm<sup>2</sup>、PP:10.0N/mm<sup>2</sup>となった。有機繊維であるAFおよびPPは、ひび割れ発生後に一旦荷重が低下し、その後架橋応力により荷重が増加する挙動を示した。

#### 3.3 疲労試験

FMおよびAFの上限応力 $\sigma_{max}$ は静的荷重の平均値 $f_m$ の85%、80%、75%の3水準とし、PPの上限応力 $\sigma_{max}$ は静的荷重の平均値 $f_m$ の82%、80%、75%の3水準とした。下限応力 $\sigma_{min}$ は全て $f_m$ の10%で行った。

キーワード 短繊維、架橋応力、引張、疲労、ひび割れ

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1 立命館大学BKCトリシア4階 環境材料研究室 077-561-3374

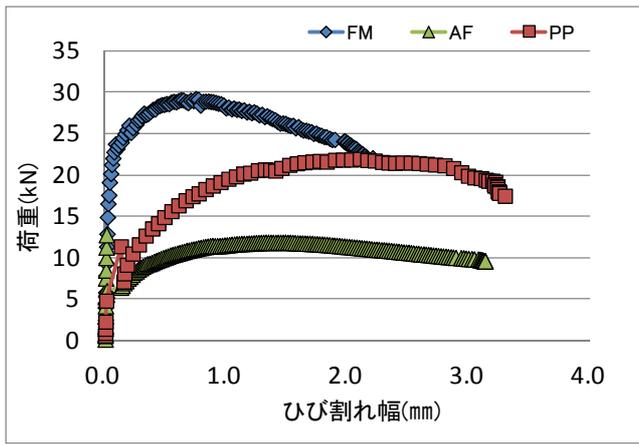


図-2 荷重-ひび割れ関係

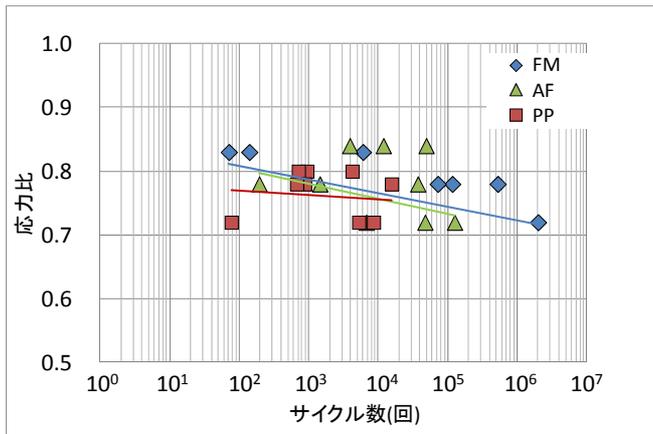


図-3 S-N線図

疲労試験の結果を、縦軸に応力比  $S = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / (f_m - \sigma_{min})$ 、横軸に破壊までのサイクル数をとった S-N 線図として図-3 に示す。

本試験では、試験結果のばらつきが非常に多い結果となった。これは既往の研究にも示されているように<sup>2)</sup>、短繊維補強材料の配向・分散のばらつきなどが影響していることも考えられる。疲労特性については FM と 2 種類の有機繊維の明確な差異は確認できなかった。また、写真-1 に破断面の一例として AF と PP の写真を示す。破断面を観察した状況では、FM 供試体はほとんどの繊維が付着劣化とも言える「引き抜き型」であった。AF 供試体ではほぼすべてが「破断型」、PP 供試体においては一部「引き抜き型」の繊維も見られたが「破断型」が多くの割合を占めていた。このことより、繊維の材質及びアスペクト比（長さ/直径）、繊維の表面形状によって破壊モードが異なることが分かった。

図-4 にて疲労試験 ( $\sigma_{max} = 0.8f_m$ ) におけるひび割れ幅の進展の状況を示す。破断面の様子と、サイクル数-ひび割れ幅の関係から、FM 供試体は急激な繊維の付着劣化により破壊が進行したことが考えられる。

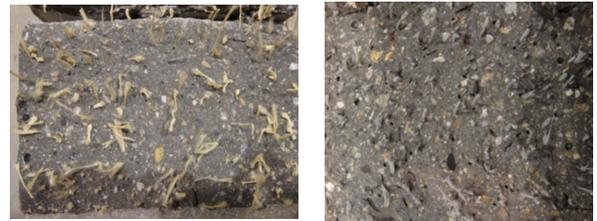


写真-1 AF (左) および PP (右) の破断面

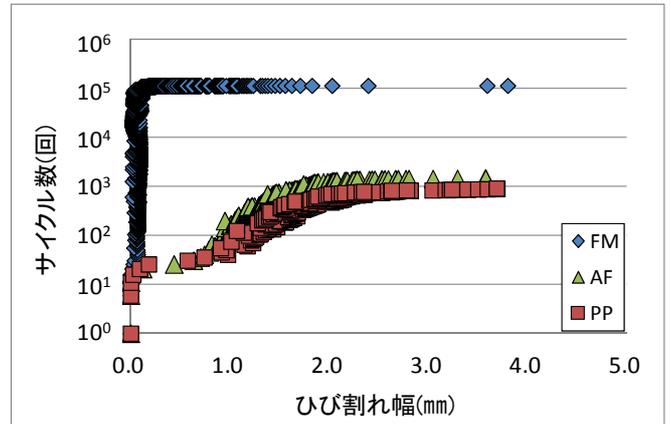


図-4 サイクル数-ひび割れ幅

一方 AF および PP 供試体は、荷重の繰返しにより徐々にひび割れ幅が拡大していることから、付着破壊が進行し最終的に繊維の破断が伴った破壊となったと予想される。

#### 4. 結び

本研究の範囲から得られた成果は以下であった。

- (1) 本試験の配合比較では静的曲げ強度は FM が最も強度が大きく、PP、AF という順に小さくなった。
- (2) 疲労試験の結果としては S-N 線図から、FM と AF および PP の有機繊維の比較では明確な差異は確認できなかった。より正確な評価のためには、今後は応力振幅の大きい領域を含めたデータ量を増やして検討すること、試験体内の短繊維の分散・配向のばらつきを少なくするなどの対策を講じて試験を実施したいと考えている。

#### 【参考文献】

- 1) 全邦釘, 松本高志: 繊維の疲労を考慮した架橋応力劣化則のモデルと FRC の疲労実験による検証, 土木学会年次学術講演会, 5-309, 2003/9
- 2) 周波, Ha Duy Nhi, 稲熊唯史, 内田裕市: PVA 繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートの特性と繊維の配向の影響, 日本コンクリート工学会, 繊維補強セメント系複合材の新しい利用法に関するシンポジウム, pp.303-310, 2012/10