

## V-423

## 炭素繊維補強コンクリートの曲げ疲労性状

住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所 正会員 ○水越睦視

大阪大学大学院工学研究科 フェロー会員 松井繁之

三菱化学(株)横浜総合研究所 手塚光晴

住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所 正会員 内田美生

## 1. はじめに

筆者らは、耐腐食性に優れたCFのコンクリート補強用短繊維への適用を検討し、汎用的なSFRCと同等以上の静的力学性能を有するCFRCを得た<sup>[1]</sup>。本研究では、この開発したCFRCについて一定繰返し曲げ疲労試験を行い、CFRCの曲げ疲労性状をSFRC、繊維無混入のプレーンコンクリート(PL)との比較で検討した。

## 2. 実験概要

疲労試験に用いた供試体の種類とコンクリートの配合を表-1に、使用した繊維の種類と物理的性質を表-2示す。実験概要を図-1に示す。供試体寸法は $100 \times 100 \times 400$ mmである。疲労試験は中央集中荷重により、正弦波形の繰返し荷重を載荷速度5Hzで与え、早強セメントを用いたコンクリートの強度が安定する材齢14日以降に行った。載荷荷重は下限荷重を供試体下面の引張応力が $0.3 \text{ N/mm}^2$ となる値で一定とし、上限荷重は各シリーズ毎の静的破壊強度の比率により設定した。また、疲労試験中、供試体の両側面で下面より供試体高さの50%(50mm)までのひび割れ進展をクラックゲージにより、ひび割れ幅を断面中央下面に設置した $\pi$ 型ゲージにより動的に自動測定した。

## 3. 結果および考察

疲労試験に先立ち各バッチで実施した静的曲げ強度試験の結果を表-3に示す。これより、疲労試験時の上限荷重の決定に際しては各バッチでの平均値を採用することとした。なお、曲げ試験時に測定した曲げ弾性率からCF-1.0のじん性はSF-1.27と同等以上であることが確認された。

図-2は疲労試験結果を上限応力比で表現したS-N線図である。SFRCの疲労寿命はSFの分散、配向といった繊維の混入により生じるばらつきによって変動が大きくなるが<sup>[2]</sup>、CFRCにおいても大きな変動が見られた。非破壊データを除き求めた各コンクリートのS-N曲線を比較すると、CFRCの疲労強度はSF-1.27よりも大きく、繊維混入量の増加に伴い疲労寿命は長くなり、200万回疲労強度はCF-0.5で72.8%、CF-1.0は77.5%、SFRC-1.27の場合は66.7%となった。しかしながら、繊維無混入のPLのS-N結果はCFRC-0.5のものとはほぼ重なり、この表現では繊維混入による効果が明確に認められない。そこで、PLの静的強度は繊維補強コンクリートの約60%~79%であるため、縦軸を上限実応力で表現すれば図-3のように疲労強度の増進は明確に現れる。図より、CFRCの疲労強度はSF-1.27と比較してもCF-0.5では劣るがCF-1.0ではSFRCと同等の疲労抵抗性を有していると考えられる。

ひび割れ深さと繰返し回数比の関係を供試体の種類毎に図-4に示す。PLは、供試体下面にひび割れが生じると

キーワード：炭素繊維補強コンクリート・疲労・曲げ疲労強度・ひび割れ進展

住所：〒551-0021 大阪市大正区南恩加島7-1-55(住友大阪セメント(株)) TEL:06-6556-2275, FAX:06-6556-2209

表-1 供試体の種類およびコンクリートの配合

| 種類<br>(記号) | 繊維混入率<br>(vol. %) | 繊維混入量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 繊維長さLf<br>(mm) | Gmax<br>(mm) | W/(C+EX)<br>(%) |
|------------|-------------------|-------------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| CF-0.5     | 0.5               | 9.5                           | 40             | 20           | 45              |
| CF-1.0     | 1.0               | 19                            | 40             | 20           |                 |
| SF-1.27    | 1.27              | 100                           | 30             | 13           |                 |
| PL         | 0                 | 0                             | -              | 13           |                 |

\* 膨張材 40 (kg/m<sup>3</sup>)使用

表-2 使用した短繊維の物理的性質

|              |                                                                                                              |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 炭素繊維<br>(CF) | ファイメント寸法: 繊維径7 $\mu$ m, 繊維長40mm, 比重=1.90<br>引張強度=4710N/mm <sup>2</sup> , ヤング率=235KN/mm <sup>2</sup>          |
| 鋼繊維<br>(SF)  | 波形せん断品, 寸法: 0.5 $\times$ 0.5 $\times$ 30mm, 比重7.85<br>引張強度=736N/mm <sup>2</sup> , ヤング率=206KN/mm <sup>2</sup> |

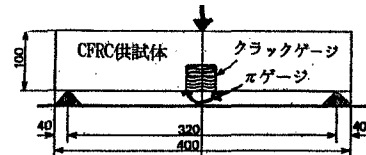


図-1 実験概要

表-3 静的曲げ試験結果

| 繊維の種類<br>(記号)     | 繊維混入率<br>(vol. %) | バッチ<br>No. | 供試体<br>本数 | 曲げ強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) |
|-------------------|-------------------|------------|-----------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| CFRC<br>(CF-0.5)  | 0.5               | 1          | 5         | 7.67                         | 0.389                        | 5.10        |
|                   |                   | 2          | 5         | 7.13                         | 0.524                        | 7.30        |
|                   |                   | 3          | 6         | 8.48                         | 0.733                        | 8.80        |
|                   |                   | 平均         | 5         | 7.76                         | 0.549                        | 7.00        |
| CFRC<br>(CF-1.0)  | 1.0               | 1          | 6         | 8.84                         | 0.601                        | 7.00        |
|                   |                   | 2          | 4         | 9.52                         | 0.833                        | 8.80        |
|                   |                   | 平均         | 5         | 9.08                         | 0.717                        | 7.90        |
| SFRC<br>(SF-1.27) | 1.27              | 1          | 4         | 10.0                         | 0.573                        | 5.70        |
|                   |                   | 2          | 5         | 9.57                         | 0.723                        | 7.60        |
|                   |                   | 3          | 5         | 11.0                         | 0.958                        | 8.70        |
|                   |                   | 平均         | 5         | 10.2                         | 0.751                        | 7.33        |
| PL                | 0                 | 1          | 6         | 6.14                         | 0.576                        | 9.40        |

急激に破壊に至るのに対し、CFRCの場合、SFRC同様ひび割れは急激にあるいは連続的に進展するのではなく、進展と停滞を繰り返して最終破壊に至った。CF-0.5では、ひび割れ発生後、ひび割れ深さは供試体高さの20%に相当する20mmまでは比較的ゆるやかに進展するが、その後少ない回数で進展し破壊に至っている。一方、CF混入量の多いCF-1.0では、CF-0.5よりもひび割れの進展は緩やかであり、SF-1.27と同等のひび割れ抑制効果が窺える。

ひび割れ深さと同時に測定したひび割れ幅と繰返し回数比の関係を図-5に示す。CFRC、SFRCとも同一形状の曲線となり、載荷直後にひずみが増加した後、ひび割れの発生、進展に伴い徐々にひび割れ幅は増加するものの急激な増加は認められなかった。この期間はひび割れ幅が進展していないか、進展していたとしてもひび割れ断面の繊維が引張力に対して有効に働いている状態であると考えられる。この間、マトリクスとの付着が限界に達した繊維から引き抜けが生じ、ひび割れが成長する現象を繰返しているものと思われる。その後、ひび割れ幅がCF-1.0およびSF-1.27で約0.2mm、CF-0.5では約0.1mmに達すると急激にひび割れ幅は増加し破壊に至った。また、CFRCの破壊断面はCF混入量の多いものほど凹凸が激しかった。したがって、ひび割れが微小であればこの凹凸とCFにより、引張抵抗ひいてはせん断伝達機能が期待でき、CF混入量が多いほど補強効果が発揮できる使用限界ひび割れ幅は大きくなると考えられる。

#### 4. まとめ

- (1) CFRCの疲労抵抗性はCF混入率を1.0%とした場合、汎用的なSFRC(SF混入率1.27%)と同等以上である。
- (2) ひび割れの進展状況より、ひび割れ発生後の曲げ引張力に対するCFの混入効果を確認することができた。

今後、さらにデータを蓄積し順序統計量の理論を用い、疲労寿命のバラツキを考慮したS-N線図を求める予定である。

#### 【参考文献】

- [1] 水越, 松井, 手塚, 内田ら：コンクリート用CFの開発とCFRCの基礎的性状, 構造工学論文集, Vol. 44A, pp. 81-92, 1998. 3.
- [2] 水越, 鹿熊, 松井ら：鋼繊維補強コンクリートの曲げ疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集Vol. 16, No. 1, pp. 1055-1060, 1994.

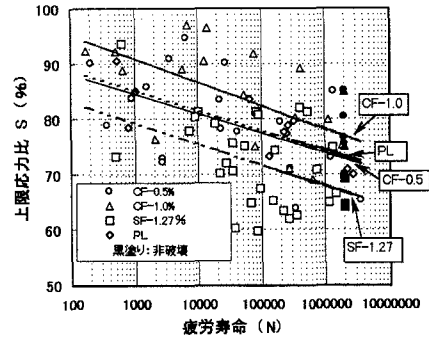


図-2 疲労試験結果 (S-N線図)

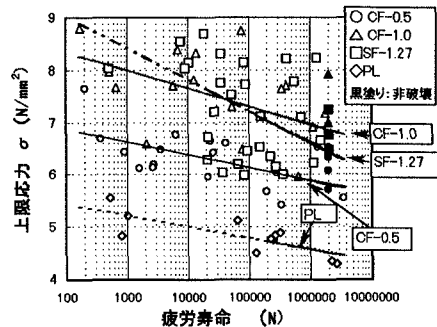


図-3 疲労試験結果 ( $\sigma$ -N線図)

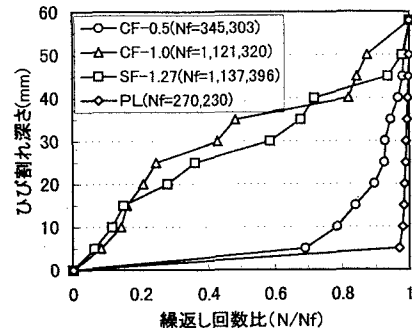


図-4 ひび割れ深さと繰返し回数比の関係

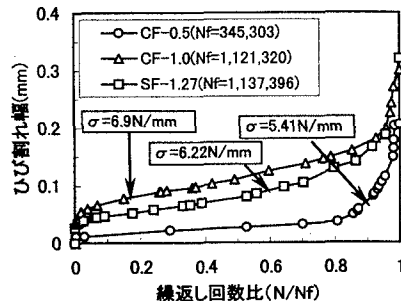


図-5 ひび割れ幅と繰返し回数比の関係