

電力中央研究所 正会員 中 野 毅 弘  
電力中央研究所 正会員 金 津 男  
電力中央研究所 栗 山 武 雄

### 1 まえがき

一般に鋼繊維補強コンクリート(以FSFRC)が普通コンクリートと比較して引張強度、曲げ強度、せん断強度、靱性、ひびわれ分散性およびひびわれ拘束能力に優れた特性を示すことは、既に多くの研究により明らかにされている。そこで、このような卓越した性能を有するSFRCを鉄筋と組み合わせることにより、従来の鉄筋コンクリート(以FRC)とは異なった優れた力学的特長を有する構造材料とすることが考えられる。

本研究は、SFRCの構造材への適用を念頭に置き、鉄筋とSFRCとの相互効果がSFRC構造材としての力学的特長に与える影響を明らかにするため、試験体として最も単純な鋼繊維補強鉄筋コンクリート引張部材(SFRC部材)を採用し、実験を行った結果をとりまとめたものである。本実験では、鋼繊維として長さ60mm径0.6mmの異形加工を施したものをを用いている。

### 2 実験概要

本実験に用いた鋼繊維および鉄筋の諸元を表1に、SFRCの示方配合を表2に示した。SFRCの示方配合は普通コンクリートを基準に、これと同一水セメント比、同一スランプとなるよう試験練りを行って決定した。鋼繊維は手でふりこ落しす方法でコンクリート中へ混入させた。この結果本実験におけるSFRCでは鋼繊維ホールは見られなかった。SFRC部材の引張試験は、SFRCの圧縮強度が既に実験を行っている普通コンクリートの圧縮強度にほぼ等しくなった材令において実施した。この時のSFRCの強度値を表3に示した。

SFRC部材は図1に示すように、断面 $12.5 \times 20$ cm、全長380cm、試験区間210cmで、主鉄筋として $\phi 10$ mm筋が4本(鉄筋比1.14%)断面に対称に配置されている。また、50cm間隔に $\phi 6$ mmの組み立て筋が配筋されている。引張試験は、はじめ載荷、ひびわれ発生、鉄筋応力 $3000 \text{ kg/cm}^2$ 、降伏および3%変形、五段階くり返し(載荷で行った。軸方向変形計測は、試験体上下面に取り付けた変位計( $1 \text{ mm}/2000 \times 10^{-6}$ )により行った。

### 3 実験結果の検討

i) SFRC部材の変形性状：図2は軸引張荷重と剛性残存率の関係を示したものである。実線および点鎖線は普通のRC部材の結果を示している。鉄筋比の比較的小さいRC部材では、初ひびわれが発生すると連続的にひびわれが分散して先に、剛性が急激に低下する変形性状を示すのに対し、SFRC部材ではひびわれ発生と同時に鋼繊維のひびわれ拘束効果が発揮され、初ひびわれ後ひびわれが剛性低下性状を示す。図からわかるように、混入量が0.5%、1.0%、1.5%のSFRC部材の剛性はRC部材の剛性より、平均してそれぞれ約15%、21%、36%程度大きく、ひびわれ拘束効果は鋼繊維の混入量の大きいもの程大きいことがわかる。また、SFRC

表1 鉄筋と鋼繊維の諸元

| 鉄筋種別    | 降伏量                   | 引張強度                   | 弾性係数                               |
|---------|-----------------------|------------------------|------------------------------------|
| SD35D10 | 4357 $\text{kg/cm}^2$ | 6007 $\text{kg/cm}^2$  | $2.09 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ |
| 鋼繊維     | 寸法                    | 引張強度                   | 製作方法                               |
| 異形加工型   | 06 $\phi$ 60mm        | 60 $\text{kg/mm}^2$ 以上 | 伸線切断                               |

表2 SFRCの示方配合

| 試験体<br>No. | 水セメント比<br>(%) | 単位量<br>( $\text{cm}^3$ ) | スランプ<br>( $\text{cm}$ ) | 空気量<br>(%) | 鉄筋比<br>(%) | 鋼繊維比<br>(%) | 単位量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |      |       |     |     |
|------------|---------------|--------------------------|-------------------------|------------|------------|-------------|--------------------------------|------|-------|-----|-----|
|            |               |                          |                         |            |            |             | 水                              | セメント | 塩化ビニル | 砂   | 砂利  |
| 1          | 0.5           | 25                       | 10.2                    | 5.1        | 5.9        | 6.5         | 178                            | 302  | 333   | 156 | 608 |
| 2          | 1.0           | 25                       | 10.2                    | 5.1        | 5.9        | 7.0         | 203                            | 324  | 385   | 148 | 481 |
| 3          | 1.5           | 25                       | 10.2                    | 5.1        | 5.9        | 7.5         | 213                            | 361  | 418   | 129 | 394 |

表3 SFRCの強度試験値

| 試験体  | 圧縮強度 | 曲げ強度 | 引張強度 | せん断強度 | 弾性係数               |
|------|------|------|------|-------|--------------------|
| No.1 | 292  | 745  | 321  | 17.1  | $2.64 \times 10^4$ |
| No.2 | 281  | 823  | 477  | 24.0  | $2.90 \times 10^4$ |
| No.3 | 303  | 142  | 565  | —     | $2.65 \times 10^4$ |

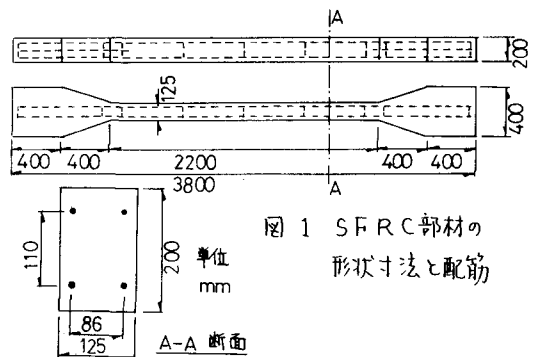


図1 SFRC部材の形状寸法と配筋

C部材は鋼繊維が三次元にランダムに分散しているとするれば、軸方向換算鉄筋比はそれぞれ1.34%, 1.55%, 1.75% となり、混入量1.5%のSFRC部材は一実線線で示されるRC部材とほぼ鉄筋比が同じとなるが、剛性はSFRC部材の方が大きく補強効果が優れていることがわかる。表4にはSFRC部材降伏時における耐力と変形量を示した。弾性範囲におけると同様、鋼繊維混入量が多いほど降伏時変形は小さく補強効果が大きいことを示している。しかし、鋼繊維のひびわれ拘束効果は繊維のひきぬけとともに発揮されるものであるため、降伏耐力も決定するいわゆる「最弱断面」では、部材が降伏に近づくにしたがって鋼繊維の補強効果が減少してゆき、RC部材とそれほど異ならなくなってしまう。つまり、部材降伏時においては鋼繊維の補強効果は、変形に対しては大きく影響するが耐力的にはその効果は小さいと言えよう。

## ii) SFRC部材のひびわれ性状

図3は8tonの軸引張荷重を載荷した時および変形量が3%の時のひびわれ状況を示したものである。SFRC部材に発生するひびわれはランダムで規則性がなく、かつ部材断面を貫通するようなひびわれはほとんど生じないという特徴がある。8tonの引張荷重が作用している場合は、鋼繊維の混入量の多い部材の方がひびわれが少なく、ひびわれ拘束効果が現れていることがわかる。つまり、SFRC部材としてはひびわれ分散能力は乏しいものと考えることができる。3%の変形を与えた場合、RC部材ではほぼ等間隔に大きなひびわれが多数発生し、部材全体が平均的に変形しているのに対し、SFRC部材では数箇所、ひびわれに変形が集中する傾向が見られる。これは、SFRC部材ではひびわれが大きく進展する箇所が最弱断面に相当し、鋼繊維の補強効果が発揮される部分であるのに対し、その他の断面は十分に繊維の効果が発揮されているため、この差がひびわれが集中して現れる原因であると考えられる。この傾向は極低温下におけるRC部材のひびわれ性状と類似している。しかし、部材降伏後の塑性変形性状は鋼繊維混入量の相違にはほとんど影響されない。

## iii) 鋼繊維による荷重の分担

図4はひびわれ断面における鋼繊維の全荷重に対する分担割合と鉄筋応力度との関係で示したものである。鉄筋応力度は配筋された4本の主鉄筋の同一断面位置に貼付したひずみゲージにより測定したものである。鉄筋応力度の増加とともに鋼繊維による荷重分担割合が減少してゆく。これは荷重の増加に伴って繊維がひきぬけながら抵抗している様子をよく表わしている。鋼繊維の荷重分担率は、鉄筋の許容応力度付近で約40%、降伏時あたりでも約10%である。図は混入量が0.5%のものであり、繊維がSFRC部材の剛性に与える影響を示す図2と併せ考えると、鋼繊維混入量が増加すれば荷重分担はさらに大きくひくと考えられる。このことから、SFRC部材の主鉄筋が許容応力度付近では、鋼繊維のひきぬけ抵抗によるある程度の荷重分担を考慮できるものと考えられる。

本研究を行うに際して紅羽誠氏(当時電力技術院KK)金沢政史君(理研科平岡生)の多大なる協力があつた。ここにあらためて謝意を表す。

参考文献) 1) たとえば小坂: 鋼繊維補強コンクリート; コンクリート工学, Vol.15 No.1 1977

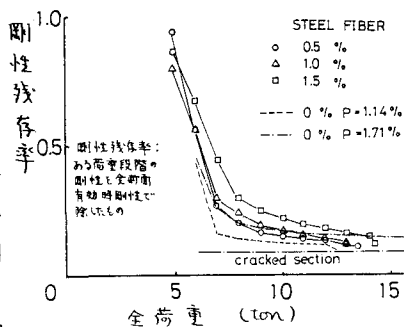


図2 軸引張荷重と剛性残存率の関係

表4 降伏耐力と降伏変形量

| 繊維混入率 | 降伏荷重     | 降伏ひずみ   |
|-------|----------|---------|
| 0 %   | 12.5 ton | 0.192 % |
| 0.5   | 13.5     | 0.175   |
| 1.0   | 13.1     | 0.150   |
| 1.5   | 14.2     | 0.136   |

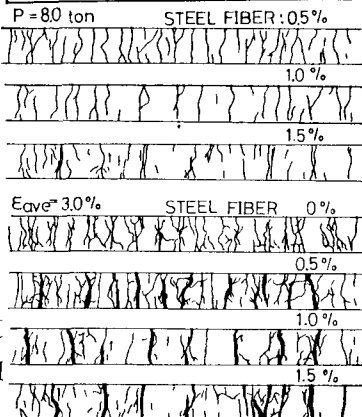


図3 ひびわれ発生状況

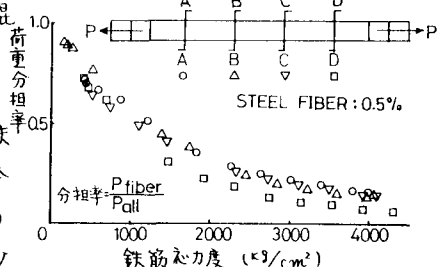


図4 鉄筋応力度と鋼繊維による荷重分担率の関係