

# 繊維補強コンクリートのせん断耐力に関する実験的研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○脇坂 文恵  
 埼玉大学大学院 学生会員 松永 たかこ  
 埼玉大学准教授 正会員 牧 剛史

## 1. はじめに

繊維補強コンクリートは、コンクリートに繊維を混入することによって、靱性を高めた複合材料である。その力学的特徴として、繊維補強コンクリートはひび割れ発生後も引張力を受け持つことや、繊維がひび割れ幅を低減することが挙げられ、それらによってせん断耐力が上昇することは既往の研究により明らかにされている。しかし、実際の構造部材に適用するためには繊維による補強のメカニズムや効果をより定量的に把握することが必要である。本研究ではまず繊維混入率  $V_f$  およびコンクリート強度の異なる繊維補強コンクリート要素実験を行うことにより、そのひび割れ幅低減効果の影響を加味したせん断伝達特性および引張特性を得る。そして、それらの結果から力学的特性を考慮したせん断耐力評価を行うことを目的とする。

## 2. 実験方法および結果

繊維補強コンクリートの直接引張試験、せん断試験を行った。使用した繊維は長さ 30mm、直径 0.66mm、RF4000 と称するビニロン短繊維である。試験体要因と試験結果は表 1 に併せて表示する。

### (1) せん断試験

断面 150(mm) × 300(mm)、長さ 600(mm)、中央の上下にノッチを有する供試体に割裂荷重によってひび割れを 1 本導入し、荷重速度 0.05(kN/sec)

を目安にせん断荷重を行った。内部に設置したシースに PC 鋼棒を挿入し、せん断に伴って生じる圧縮応力を計測した。また、供試体の両面に 6 個の PI 型変位計を取り付けてひび割れ幅とせん断変位を計測した。セットアップの様子を図 1 に、計測結果の一例を図 2 に示す。表 1 より、繊維混入率  $V_f$ 、コンクリート強度  $f'_c$  およびプレストレスが大きいほど最大せん断応力  $\tau$  が増す傾向にあることがわかる。

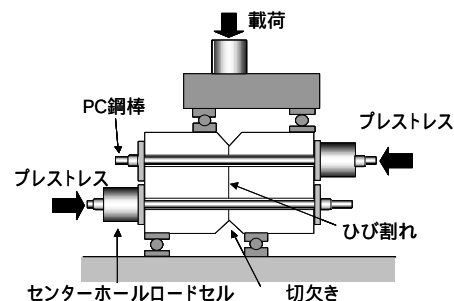


図 1 せん断試験荷重方法

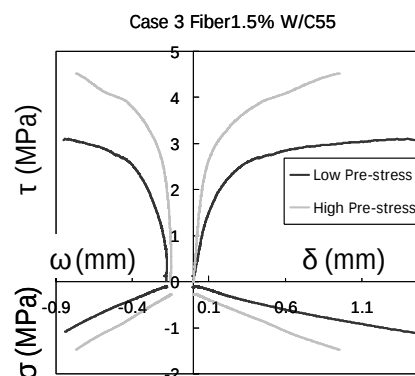


図 2 せん断試験結果の一例

表 1 実験要因

|       | 繊維混入率     | 圧縮強度               | 直接引張試験                 |                       | せん断試験       |                           |                            |                             |                     |
|-------|-----------|--------------------|------------------------|-----------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------|
|       | $V_f(\%)$ | $f'_c(\text{MPa})$ | $\sigma_t(\text{MPa})$ | $\omega_u(\text{mm})$ | プレストレス(MPa) | $\tau_{\max}(\text{MPa})$ | $\delta_{\max}(\text{mm})$ | $\sigma_{\max}(\text{MPa})$ | $\omega(\text{mm})$ |
| case1 | 0         | 43.04              | 0                      |                       | 0.1         | 2.61                      | 2.447                      | 1.71                        | 1.318               |
|       |           |                    |                        |                       | 0.3         | 2.66                      | 2.448                      | 2.03                        | 0.940               |
| case2 | 0.5       | 40.42              | 0.56                   | 1.82                  | 0.1         | 2.89                      | 1.308                      | 1.22                        | 0.937               |
|       |           |                    |                        |                       | 0.3         | 3.34                      | 0.631                      | 1.12                        | 0.528               |
| case3 | 1.5       | 42.87              | 0.85                   | 2.17                  | 0.1         | 3.1                       | 1.400                      | 1.08                        | 0.839               |
|       |           |                    |                        |                       | 0.3         | 4.48                      | 1.197                      | 1.74                        | 0.893               |
| case4 | 1.5       | 69.05              | 1.29                   | 2.04                  | 0.1         | 3.17                      | 1.160                      | 1.15                        | 0.696               |
|       |           |                    |                        |                       | 0.3         | 4.19                      | 0.753                      | 1.17                        | 0.508               |

キーワード ビニロン短繊維、せん断耐力、残存引張強度、限界ひび割れ幅、骨材のかみ合い

連絡先〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学 大学院 理工学研究科環境科学・社会基盤部門

## (2) 直接引張試験

せん断試験の供試体から  $\phi 50 \times 100(\text{mm})$  の円柱供試体を作製し、直接引張試験を行った。供試体中央部にはカッターにより 3mm 程度の切り欠きを導入し、断面減少させて応力集中を促した。切り欠きを跨ぐように PI 型変位計を取り付けてひび割れ幅を計測した。また、引張応力は破壊断面の直径を計測し、それを用いて算出した。計測結果の一例を図4に示す。表1より、繊維混入率  $V_f$  が

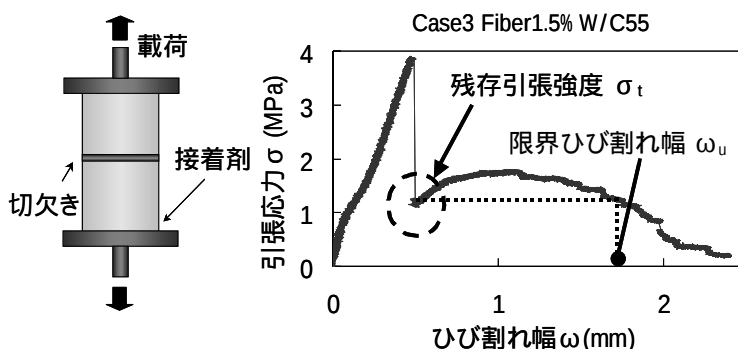


図4 直接引張試験方法と結果の一例

大きいほど残存引張強度  $\sigma_t$  およびそれを保持し得る限界ひび割れ幅  $\omega_u$  は大きくなる傾向にあることがわかる。

## 3. 繊維補強コンクリート梁のせん断耐力評価

実施したせん断試験では、せん断応力、せん断変位、圧縮応力、ひび割れ幅の4つのパラメータがそれぞれ変動するため、実験で得られたせん断応力のピーク値だけを用いてせん断耐力を評価することは出来ない。そこで、応力・変形状態を考慮したせん断ずれ特性を評価するために摩擦の原理を適用した。ひび割れ面で発生するせん断応力をせん断ずれによる摩擦力と考えれば、せん断応力は圧縮応力とひび割れ面の状態に支配される。そこで、ひび割れ面での摩擦係数  $\mu$  をせん断応力と圧縮応力の比 ( $\tau/\sigma$ ) と定義し、これをひび割れ幅の関数として定式化する。ひび割れ面での圧縮応力とそこに存在する繊維が受け持つ引張応力が釣り合うと考えれば、直接引張試験によって得られた残存引張強度およびそれを保持出来る限界ひび割れ幅を与えることで、斜めひび割れ角度  $\beta$  と最大せん断応力を求めることができる。さらに部材の寸法を考慮し、梁のせん断耐力を算出する。計算の流れを図5に示す。

$$\sum X = \tau \cos \beta - \sigma \sin \beta = 0$$

$$\tau / \sigma = \sin \beta / \cos \beta = \tan \beta \quad (1)$$

$$\sum Z = V - (\tau \sin \beta + \sigma \cos \beta) \times bw \times L = 0$$

$$V = (\tau \sin \beta + \sigma \cos \beta) \times bw \times z / \sin \beta \quad (2)$$

$V$ : せん断耐力  $\beta$ : 斜めひび割れ角度  
 $bw$ : ウェブ幅  $\tau$ : ひび割れ面に作用するせん断応力  $\sigma$ : ひび割れ面に作用する圧縮応力  $L$ : 斜めひび割れ長さ  
 $z$ : モーメントアーム長 ( $7/8d$ )

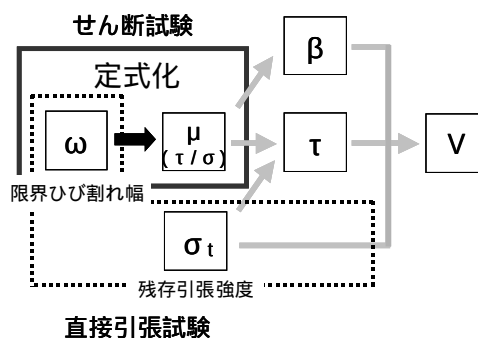
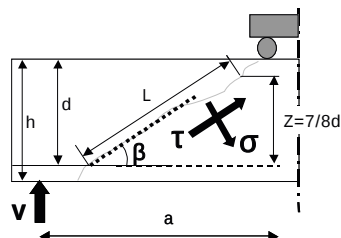


図5 せん断耐力算出の流れ

## 4. まとめ

本研究で行ったせん断耐力評価の妥当性は既往の繊維補強コンクリート梁実験<sup>1)</sup>で得られたせん断耐力  $V_{exp}$  と比較することにより検証した。結果を表2に示す。材料特性の違いなどの要因も含め、評価の整合性は良好とは言えないものの、普通コンクリートのせん断耐力式を用いた場合と比べて、

表2 計算結果

|       | 試験体要因  |        |        |                          | 結果    | せん断耐力評価        |          |             |          |
|-------|--------|--------|--------|--------------------------|-------|----------------|----------|-------------|----------|
|       |        |        |        |                          |       | 既往<br>(コンクリート) |          | 提案<br>(FRC) |          |
|       | d (mm) | a (mm) | Vf (%) | f'c (N/mm <sup>2</sup> ) |       | Vexp(kN)       | Vcal(kN) | Vexp/Vcal   | Vcal(kN) |
| A1-05 | 340    | 1000   | 0.5    | 36.6                     | 132.5 | 110.0          | 1.20     | 85.7        | 1.54     |
| A1-1  |        |        | 1.0    | 39.1                     | 172.8 | 110.2          | 1.57     | 109.6       | 1.57     |
| A1-15 |        |        | 1.5    | 34.2                     | 169.4 | 102.5          | 1.65     | 133.0       | 1.27     |
| B1-1  | 510    | 1500   | 1.0    | 39.1                     | 198.3 | 151.6          | 1.31     | 164.4       | 1.21     |
| C1-1  | 680    | 2000   | 1.0    | 39.1                     | 184.4 | 181.8          | 1.01     | 219.2       | 0.84     |

僅少ではあるが繊維の効果を表現することが出来た。また、本研究で行ったせん断耐力評価は、せん断スパン比など、部材の形状寸法の影響を上手く考慮出来ていないため適用範囲が限定されるが、骨材のかみ合いによるせん断強度と残存引張強度の項を分離して表現することが出来たことは意義があると言える。

## 参考文献

1) 伊藤始, 岩波光保, 横田弘 PVA 短繊維で補強した RC はりのせん断耐力評価に関する実験的研究 土木学会論文集 No.774/V-65,123-138,200