ひび割れ面のせん断伝達特性に基づく繊維補強コンクリート梁のせん断耐力評価

埼玉大学大学院　学生会員　○鈴木　士郎　　学生会員　松永たかこ
学生会員　脇坂　文恵　　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して靭性を高めた複合材料である。その力学的特徴として、ひび割れ発生後も引張力を受け持ち、ひび割れ幅が低減されることが挙げられ、これ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、ひび割れ面の力学特性に基づいて梁のせん断耐力を評価することを目的とした。まず繊維混入率の異なる繊維補強コンクリート直接せん断試験からせん断伝達特性をモデル化する。そして梁部材実験を行い得られたひび割れ面の変形状態からそこで受け持つせん断抵抗力を評価し、梁部材のせん断耐力を評価する。本研究で使用する繊維は、長さ30(mm)、直径0.66(mm)のPVA（ビニロン）短繊維である。

2．実験方法および結果

(1) 直接せん断試験

形状寸法は断面150(mm)×300(mm)、長さ600(mm)、中央の4面に5(mm)のノッチを有する供試体に割裂載荷によってひび割れを１本導入し、載荷速度0.2(kN/sec)を目安にせん断載荷を行った。セットアップ図を**図-1**に示す。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。パラメータは繊維混入率を0%、0.5%、1.5%の3種類、またそれぞれひび割れ幅を0.1(mm)、0.5(mm)、0.8(mm)の3種類とし計9体である。供試体の両側に設置したセンターホールジャッキによりひび割れ幅をおよそ0.001(mm)の精度で一定値に制御した。計測結果の一例を**図-1**に示す。結果より、ひび割れ幅が大きくなるほどせん断強度およびせん断剛性は小さくなる傾向になり、同一ひび割れ幅では繊維混入率による差が見られない。よって、せん断伝達特性は繊維によって直接的に影響を受けず，繊維がひび割れ幅の拡大を抑制することによって間接的に影響を受けるものと推察される。

(2) 梁部材の載荷実験

形状寸法は断面150×300(mm)、せん断スパン長480(mm)の1種類とし、繊維混入率のみをパラメータとした。供試体概要図を**図-3**に示す。繊維を混入した場合でもせん断圧縮破壊するよう、主鉄筋に高強度鉄筋を使用し、せん断スパン内にはせん断補強筋を設置していない。供試体の表面に縦横50(mm)間隔で添付したコンタクトチップによってひび割れ発生後の水平・鉛直方向の相対変位を測定し、ひび割れ幅とせん断変位およびひび割れ角度を算出した。

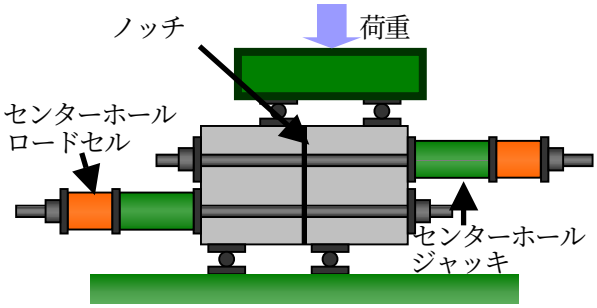

図-1　直接せん断試験のセットアップ図

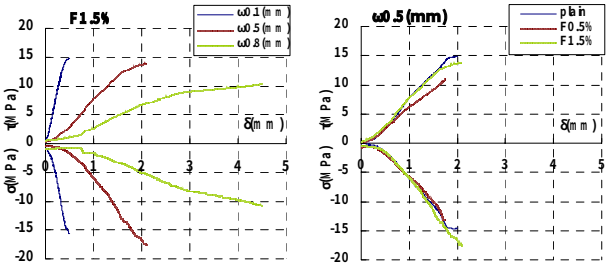

図-2　直接せん断試験結果

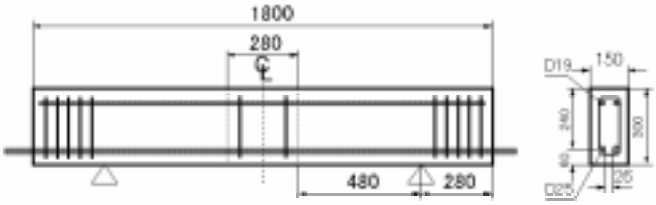

図-3　梁供試体概要図

3．繊維補強コンクリートのせん断耐力評価

耐力評価の流れを**図-4**に示す。残存引張強度は既往の研究の値を用いた。普通コンクリートにおけるひび割れ面でのせん断伝達モデルは前川・岡村らによって提案されているが、本実験結果ではひび割れ幅の大きいケースほど適合性が低下する傾向があったため、既往のモデルを修正した以下のモデルを用いた。圧縮縁コンクリートのせん断抵抗や主鉄筋のダウエル抵抗も考慮していない。

キーワード　PVA 短繊維，せん断耐力，せん断伝達特性，骨材のかみ合い作用
連絡先　〒338-8570　埼玉県さいたま市桜区下大久保 255　TEL048-858-3427

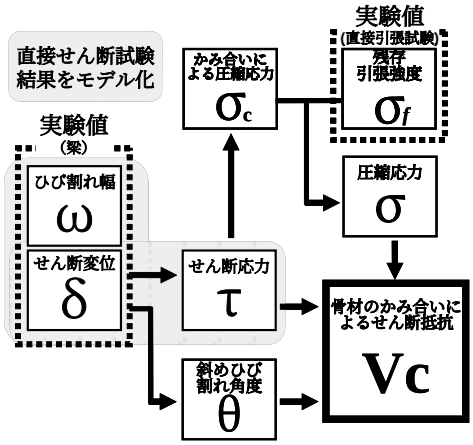

図-4　梁部材のせん断耐力評価の流れ

$$\tau = \frac{m\psi^2}{10\omega + \psi^2} \tag{1}$$

$$\psi = \delta / \omega, \quad m = 3.83 f_c'^{1/3} (MPa) \tag{2}$$

$$\sigma = m\left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{m}{\tau} - 1\right)^{1/2} - \left(\frac{m}{\tau} - 1\right)^{1/2} \Big/ \frac{m}{\tau}\right) \tag{3}$$

ここで、τ,σ：かみ合いによるせん断応力および圧縮応力、δ：せん断変位、ω：ひび割れ幅である。

梁部材実験において、モデルから得られたひび割れ面での骨材のかみ合いによるせん断力と、それと直交する圧縮力からせん断抵抗を算出する。ひび割れ面における力のつり合いは**図-5**のようになり、せん断抵抗は以下の式のように表される。

$$V = \{\tau \sin\theta - (\sigma_c - \sigma_f)\cos\theta\} b_w L \tag{4}$$

ここで、b_w：ウェブ幅、L：ひび割れ長さである。この方法によって得られたせん断抵抗を**図-6**に示す。繊維混入率が大きいほど斜めひび割れ面でのせん断抵抗が大きくなる。また、ひび割れ面ではひび割れ発生から終局までほぼ一定の荷重を受け持つことが確認できる。そこで、このひび割れ面でのせん断抵抗の増加分が、繊維のせん断耐力への寄与分であると見なし、RC梁のせん断耐力算定結果に足し合わせることによって、せん断耐力を推定した。梁部材実験の結果と本研究で提案された耐力を**図-7**に示す。繊維混入による耐力増加を概ね表現できていると言える。実測値と推定値に差があるが、これは圧縮縁コンクリートのせん断抵抗や主鉄筋のダウエル抵抗を考慮していないことが影響していると考えられる。

4．まとめ

以上の結果より、斜めひび割れのせん断変位、ひび割れ幅、ひび割れ角度を予測できれば、本手法により繊維補強

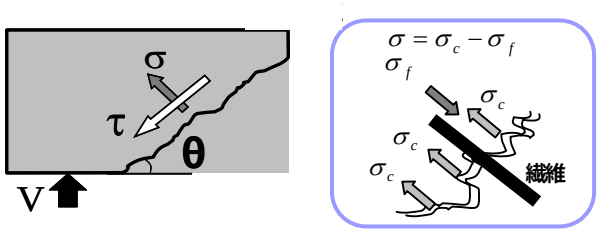

図-5　ひび割れ面における力のつり合い

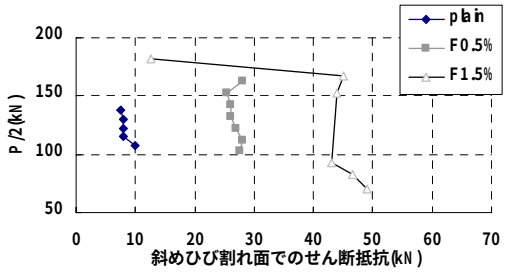

図-6　斜めひび割れ面でのせん断抵抗

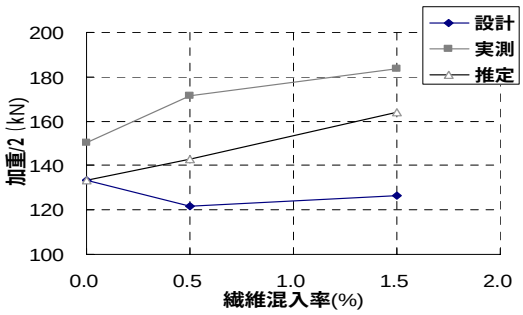

図-7　せん断耐力の比較結果

RC梁のせん断圧縮破壊耐力を推定できる可能性が示された。今後の課題として、今回考慮しなかった圧縮縁コンクリートのせん断抵抗や主鉄筋のダウエル抵抗の影響や，せん断補強された部材への適用性についても検討する必要がある。

参考文献

・田口史雄ほか：PVA短繊維の架橋効果によるRC梁のせん断耐力向上効果，コンクリート工学年次論文集，Vol27, No.1，pp.283-288, 2005

・二羽淳一郎ほか：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，No.372/V-5，pp167-176，1986

・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，pp.123-138，2004

・Li, B., Maekawa, K. and Okamura, H.: Contact Density Model for Stress Transfer across Cracks in Concrete, Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo(B), Vol.40, No.1, pp.9-52, 1989