

## 画像相関法を用いた鋼繊維補強 RC 部材のせん断耐荷機構

金沢大学 学生会員 ○阿部 加苗

金沢大学 正会員 柳田 龍平

### 1. はじめに

短繊維補強コンクリート (FRCC) は、引張強度、せん断耐荷力、ひび割れ抵抗性および靱性等において優れているため、既存部材の補強やかぶりの剥落防止などに用いられてきており、現在もそのひび割れ幅の抑制の効果などから利用の拡大が期待されている。一方、せん断耐力の算定に関していえば、各指針で FRCC 棒部材の設計指針が示されているものの、指針ごとに適用範囲が異なり、その適用範囲外の FRCC の積極的な利用について課題が残っている。より合理的なせん断設計のためには、その挙動に関する知見の蓄積が必要といえる。

本研究では、繊維混入率とせん断補強鉄筋比をパラメータに、鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を用いた RC 棒部材 (RSF 棒部材) のせん断耐荷機構を明らかにするため実験を行った。

### 2. 実験概要

RSF 供試体の概要を図-1 に示す。実験ケースは、繊維混入率を 1.0, 1.5vol.% の 2 種類、せん断補強鉄筋比  $r_w$  を 0.24, 0.30% の 2 種類とし、供試体 vf10rw30, vf15rw24, vf15rw30 の 3 体を作製した。全ての供試体において、せん断スパン  $a$  を 700mm, 有効高さ  $d$  を 250mm, 部材幅  $b$  を 150mm とし、公称直径 25mm のねじ節異形棒鋼を引張鉄筋として配置する。載荷試験では、静的 4 点曲げ試験を行い、載荷中は斜めひび割れ幅を取得する。

### 3. せん断耐荷機構の分離方法

RSF 棒部材のせん断補強鉄筋と繊維量がせん断耐荷機構に与える影響を明確にするために、RSF 棒部材を構成する各要素が発揮するせん断抵抗を実験的に求め

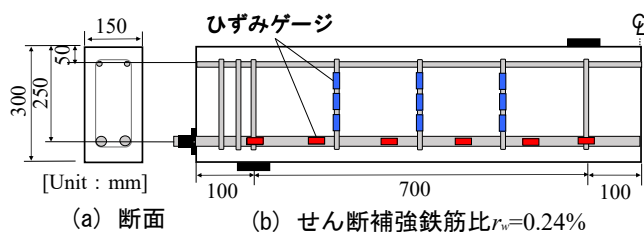


図-1 供試体概要図

た。各要素のせん断抵抗の算出方法を以下に示す。

山田ら<sup>1)</sup>の方法を参考に、主鉄筋ひずみを用いてビーム機構とアーチ機構がそれぞれ受け持つせん断抵抗  $V_{beam}$  と  $V_{arch}$  を算出する。また、計測したせん断補強鉄筋のひずみを用いてせん断補強鉄筋が受け持つせん断力  $V_s$  を算出する。さらに、繊維が斜めひび割れ面で受け持つせん断力  $V_f$  を算出するために、画像相関法 (DIC) による斜めひび割れ伸展の解析を行う。本研究では、対象面をランダムな白黒パターンに塗装し、高解像度カメラを用いて、載荷の各段階で載荷によるはりの変形 (ひび割れ伸展) に応じた白黒パターンの移動を撮影しておき、その後 DIC により斜めひび割れ挙動を把握した。あらかじめ材料試験により得られた引張応力-ひび割れ幅関係を用いて、DIC により取得したひび割れ幅を鋼繊維が受け持つ引張応力  $\sigma$  に変換する。さらに、Jongvivatsakul ら<sup>2)</sup>の式(1)を用いて、繊維が受け持つせん断力  $V_f$  を算出する。なお、DIC で取得する斜めひび割れ幅とは、ひび割れ直交方向の開口変位にひび割れ方向のずれ変位を合成した主たる方向変位である。

$$V_f = \sum_{i=1}^n \{ \sigma_i \cdot b_w \cdot L_i \cdot \cos(\beta_i + \theta_i - 90) \cdot \sin \beta_i \} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_i$ : ひび割れを架橋する繊維の引張応力、 $b_w$ : 部材幅、 $L_i$ : ひび割れ区間の長さ、 $\beta_i$ : 主ひずみ方向角度、 $\theta_i$ : 斜めひび割れ角度である。

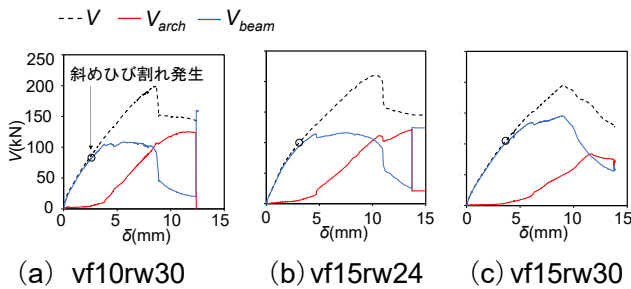
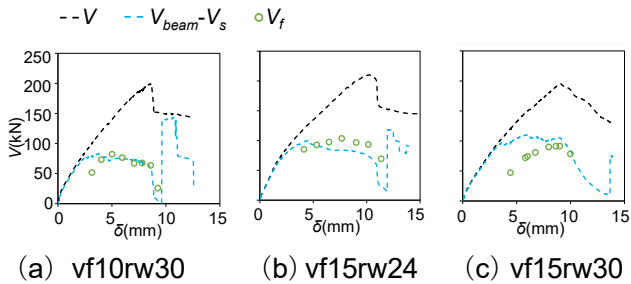
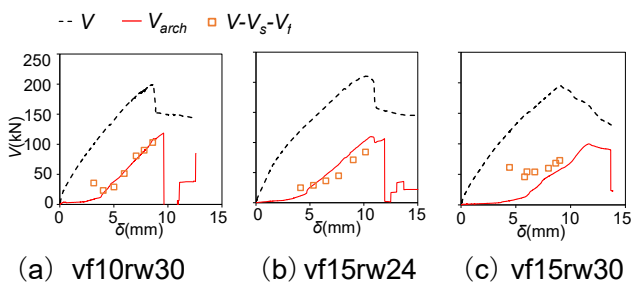
### 4. 実験および分離の結果

#### 4.1. 破壊モード

供試体すべてにおいて、荷重が増加するにしたがって斜めひび割れ幅は大きくなる傾向にあった。また、vf10rw30 と vf15rw24 の 2 体に関して、斜めひび割れは発生後に載荷点に向かって進展するものの、ある点を境にそれ以上の進展がなくなり、斜めひび割れが貫通すると同時に荷重が落ちる斜め引張破壊となった。一方、供試体 vf15rw30 では、斜めひび割れ長さはひび割れが発生してから破壊に至るまで大きくなる傾向があり、これによってコンクリートの圧縮域が減少し、載

キーワード 鋼繊維補強 RC 部材, 画像相関法, せん断載荷試験, せん断耐荷機構

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学 TEL076-264-5111

図-2  $V_{beam}$ ,  $V_{arch}$  の推移図-3  $V_{beam}-V_s$ ,  $V_f$  の推移図-4  $V_{arch}$ ,  $V-V_s-V_f$  の推移

荷板近傍の圧縮域コンクリートの圧壊が生じた。

#### 4.2. ビーム機構・アーチ機構の推移

図-2 にビーム機構  $V_{beam}$  とアーチ機構  $V_{arch}$  の推移を示す。斜め引張破壊となった vf10rw30 と vf15rw24 の 2 体に関しては、 $V_{beam}$  は斜めひび割れ発生後、最大荷重まで概ね一定の値を保持しており、せん断圧縮破壊となった vf15rw30 に関しては、斜めひび割れ発生後も増加する傾向にあった。また、いずれの供試体においても荷重が増加するに伴い、 $V_{arch}$  の貢献割合が大きくなることが確認された。

一般的に、普通 RC はりの場合、ビーム機構は斜めひび割れ発生まで増加し斜めひび割れ発生後に減少傾向となり、一方のアーチ機構は増加傾向となることが知られている。今回の実験では、 $V_{arch}$  においては普通 RC 部材と同様の傾向がみられたものの、 $V_{beam}$  に関しては異なる傾向が確認された。

#### 4.3. せん断抵抗の分離

普通 RC 部材と異なる推移をしたビーム機構とアーチ機構が構成する要素を明らかにするため、各要素のせん断抵抗を算出し、それぞれを分離することでせん

断挙動を評価した。

作用せん断力  $V$  をビーム機構  $V_{beam}$  とアーチ機構  $V_{arch}$  に分けてアーチ分を分離した後、残ったビーム機構からせん断補強鉄筋が受け持つ  $V_s$  を差し引くことで、ビーム機構内の FRCC の貢献分  $V_{beam}-V_s$  を定量化した。図-3 に  $V_{beam}-V_s$ ,  $V_f$  の推移を示す。破壊形態の異なる供試体 vf15rw30 を除いて、 $V_{beam}-V_s$  と  $V_f$  は同様の推移をしていることが確認できた。これにより、ビーム機構と繊維が受け持つせん断抵抗が同様の挙動となることが確認された。

次に、せん断抵抗から繊維が受け持つ  $V_f$  とせん断補強鉄筋が受け持つ  $V_s$  を差し引いた  $V-V_s-V_f$  をアーチ機構と比較する。図-4 に  $V_{arch}$  と  $V-V_s-V_f$  の推移を示す。 $V_{arch}$  と  $V-V_s-V_f$  も供試体 vf15rw30 を除いてほぼ同様に推移することが確認された。

また、せん断圧縮破壊をした供試体 vf15rw30 に関しては、繊維が受け持つ  $V_f$  がひび割れ発生後から最大荷重まで増加していることが確認できた。

### 5. 結論

SFRC を用いた RSF 棒部材のせん断耐荷機構を実験的に明らかにした。以下に結論を示す。

- (1) ビーム機構は鋼繊維が受け持つ  $V_f$  とせん断補強鉄筋が受け持つ  $V_s$  の 2 要素で構成され、アーチ機構は鋼繊維・せん断補強鉄筋の 2 要素から差し引いた  $V-V_s-V_f$  に分類できる可能性があることを明らかにした。
- (2) せん断圧縮破壊となった RSF 棒部材の繊維が受け持つせん断抵抗は破壊に至るまで増加することが確認された。

今回は、限られた試験水準での実験であり分離方法の妥当性をつかむことはできなかったため、様々なパラメータで試験を行い、せん断耐荷機構をより詳細に明らかにする必要がある。

### 参考文献

- 1) 山田雄太：ひずみエネルギーに基づく種々の荷重状態に適用可能な RC はり部材におけるせん断耐荷機構分解手法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No2，2020
- 2) Jongvivatsakul, P., Matsumoto, K., Niwa, J., "Shear Capacity of Fiber Reinforced Concrete Beams with Various Types and Combinations of Fibers", Journal of JSCE, Vol.1, No.1, pp.228-241, 2013