

有機繊維補強材を用いたコンクリート部材の力学特性

秋田高専 学生員 ○佐藤 諒介
ファイベックス(株) 松原 澄行
秋田高専 正会員 桜田 良治

1. はじめに

FRP 補強材は、高強度で非腐食性であるため、鉄筋コンクリート構造物の補強材や耐震補強材として利用されている。力学的には、鉄筋の数倍の引張強度をもつが、降伏域をもたないため、破壊が脆性的になる。また、現在用いられている FRP 補強材は、鉄筋に比べて経済性に課題を残す。

そこで本研究では、より経済性に優れた FRP 補強材の補強効果を調べるため、アラミド繊維、ビニロン繊維、および PET 繊維の有機繊維を組紐状に編み、これにエポキシ樹脂を含浸させたロッド補強材を試作し、コンクリート部材の軸方向鉄筋として用いた場合の、鉄筋コンクリート梁の曲げおよびせん断破壊特性を室内実験により検討した。この中で、ビニロン繊維および PET 繊維のもつ弾性係数や破断伸度の違いが、コンクリート部材の力学性状に及ぼす影響について、異形鉄筋やアラミド繊維補強材と比較検討した。

2. 実験方法

使用した補強材は、アラミドロッド(直径 13.6 mm, 引張強度 1296 N/mm^2 , 引張弾性率 73.2 kN/mm^2 , 砂付き無, ARD13 / 直径 11.0 mm, 引張強度 1389 N/mm^2 , 引張弾性率 74.4 kN/mm^2 , 砂付き無, ARD11), ビニロンロッド(直径 12.3 mm, 引張強度 494 N/mm^2 , 引張弾性率 18.1 kN/mm^2 , 砂付き無, VRD13), PED ロッド(直径 12.6 mm, 引張強度 396 N/mm^2 , 引張弾性率 4.8 kN/mm^2 , 砂付き無, PRD13)の 3 つの有機繊維補強材とした。有機繊維補強材で補強した, RC 梁の 2 点载荷による曲げ試験を行い, 繊維素材の種類の違いを比較した。軸方向鉄筋の本数は 2 本で, スターラップ($\phi 6$)で補強した場合(S)と補強しない場合の 2 ケースとし, 材齢 28 日で曲げ試験を行った。梁の断面寸法は $120 \times 120 \times 700 \text{ mm}$ で, スパン 600 mm, せん断スパン 250 mm, せん断スパン比は $a/d=2.70$ の一定とした(図-1)。コンクリートは水セメント比 0.594, スランプ 12 cm, 石灰碎石の最大寸法 20 mm, $s/a=43\%$ の普通コンクリートとし, 28 日圧縮強度は 32.61 N/mm^2 である。

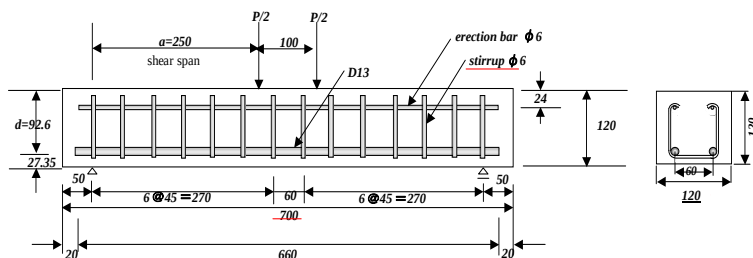


図-1 供験体の配筋図

3. 結果および考察

曲げ試験での荷重～たわみ関係を図-2 に示す。有機繊維補強材 2 本を軸方向補強材としてスターラップでせん断補強した梁は異形鉄筋(D13S)と異なり、コンクリートのひび割れ発生以後は破壊まで明瞭な降伏域がなく、弾性状態を維持したまま破壊に至っている。その曲げ破壊モーメントは、アラミドロッド(ARD13S)の梁では異形鉄筋(D13S)の梁より 27%大きくなるのに対して、ビニロンロッド(VRD13S)および PET ロッド(PRD13S)の梁では、異形鉄筋で補強した梁のおよそ 93%から 41%にとどまる。

梁の初期ひび割れ発生荷重は、アラミドロッド(ARD13S), ビニロンロッド(VRD13S), PET ロッド(PRD13S)の梁では 6.06～6.15kN の範囲にあるのに対して、異形鉄筋(D13S)の梁でも 6.20 kN と、補強材の素材の違いによる影響はみられない。

RC 梁中の有機繊維補強材の引張特性として(図-3), 異形鉄筋(D13S)では曲げ破壊時のひずみは $2233 \mu \epsilon$ で

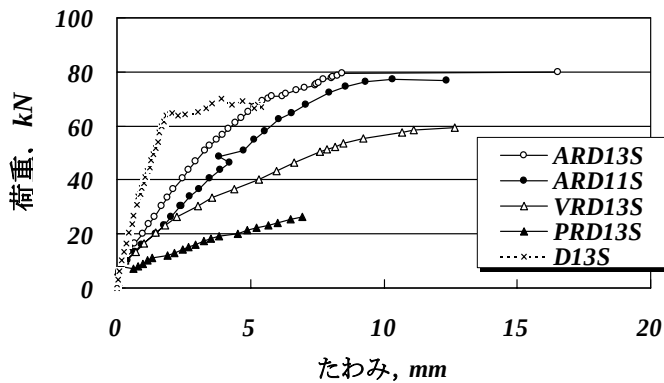


図-2 曲げ破壊特性

降伏ひずみに達するが、13 mm のアラミドロッド (ARD13S)では $6545 \mu \varepsilon$, ビニロンロッド (VRD13S)では $15450 \mu \varepsilon$ で梁が曲げ破壊するが、ロッドは弾性状態を維持している。このとき、アラミドロッドおよびビニロンロッドの梁の曲げ剛性は異形鉄筋の梁の 1/2 と 1/8 である。一方 PET ロッド (PRD13S)では、曲げ剛性が異形鉄筋の 1/19 しかなく、 $3700 \mu \varepsilon$ 付近でひび割れが拡大し、それ以降はコンクリートの圧縮破壊へと移行した。

次に、スターラップでせん断補強しない場合の、梁のせん断破壊性状を調べた(図-4)。せん断破壊が支配的となる場合の終局破壊時の最大せん断強度は、アラミドロッド (ARD13, ARD11) の梁では、異形鉄筋(D13)の梁の 83%から 91%にとどまる。一方、ビニロンロッド (VRD13) の梁では 70%であるのに対して、PET ロッド (PRD13)の梁では 29%にまで低下する。

有機繊維補強材を軸方向鉄筋としてスターラップでせん断補強した梁の曲げ耐力 M_u の算定においては、有機繊維補強材は降伏域をもたず、終局時でも弾性状態にあるため、梁の曲げ破壊時における有機繊維補強材の作用応力 f_p を用いて表す必要がある。有機繊維補強材の引張強度 f_{ult} に対する作用応力 f_p の比 $\phi (=f_p/f_{ult})$ を用いた、単鉄筋長方形断面を有する梁の曲げ耐力式は、式(1)で与えられる。

$$M_u = \phi A_p f_{ult} d (1 - 0.59 p (\phi f_{ult} / f'_{cd})) \quad (1)$$

本実験 (引張鉄筋比 $p=2.3\%$) では、直径 13 mm のアラミドロッド (ARD13S) およびビニロンロッド (VRD13S)を 2 本用いた場合の補強材の作用応力比 ϕ はそれぞれ 0.37, 0.57 となる。これより求めた曲げ耐力と実験値との比は 0.71~0.91 の範囲にある。PED ロッド (PRD13S)では梁の曲げ剛性が極めて小さいため、載荷初期段階からひび割れの進展とロッドの付着滑りの繰返しがあった。これにより、 ϕ は 0.15 と小さい値を示したことにより、終局曲げ耐力は異形鉄筋の 19%にとどまった。式(1)に示す応力比 ϕ の設定は研究者によって異なるが、各有機繊維補強材のもつ強度や伸度を生かすためにも、適切な応力比 ϕ の設定と終局時の破壊特性の検討が必要である。

4. まとめ

梁の曲げ剛性は、アラミドロッドおよびビニロンロッドを用いた場合にはそれぞれ、異形鉄筋の 1/2, 1/8 となるが、PET ロッドでは 1/19 となる。特に、剛性の小さい PET ロッドでは、初期のひび割れ発生点付近、およびそれ以降のコンクリートの圧縮破壊特性についても追求が必要である。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金の助成を受けて行ったもので、ここに謝意を表します。

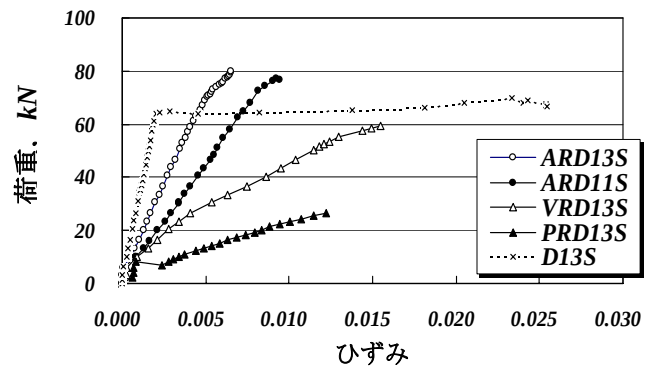


図-3 補強材のひずみ

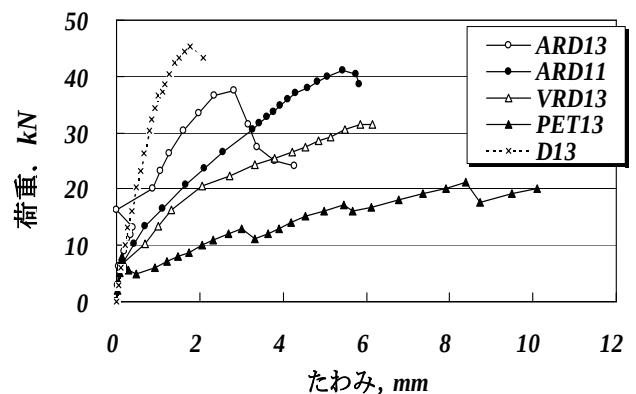


図-4 せん断破壊特性