

組紐状アラミド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 学生会員 ○壽松木 慧
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

アラミド繊維補強材は、高強度で腐食することなく、また放射化を低く抑えることができることから、医療検査施設や粒子線加速器施設での鉄筋コンクリート構造物の補強材として注目されている。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という性質を併せ持っている。また、FRP 補強材はその表面形状から異形鉄筋に比べると、コンクリートとの付着性が課題となる¹⁾。

そこで本研究では、アラミド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のコンクリートとの付着特性を調べるとともに、これを軸方向補強材として利用した場合の鉄筋コンクリート梁の曲げ破壊特性、ならびにせん断破壊特性を室内実験により検討した。

2. 実験方法

アラミド繊維を組紐状に編み、これにエポキシ樹脂を含浸させたアラミドロッド (直径 9 mm, 砂付き, 砂付き無) を 1 本, コンクリート供試体 (150×150×150 mm) に埋込み, 引抜付着試験を行った。アラミドロッド (直径 11 mm, 13 mm, 砂付き無) を軸方向補強材とした単鉄筋長方形断面を有する鉄筋コンクリート梁の 2 点載荷曲げ試験を行い, 異形鉄筋 (D13) を用いた場合と比較した (図-1)。梁の断面寸法は 120×120×700 mm で, そのスパンは 600 mm とした。引張鉄筋の本数は 2 本で, 軸方向ロッドをスターラップ (φ6) で補強した場合 (ARDS) と補強しない場合 (ARD) の 2 ケースとして, 材齢 28 日で曲げ試験を行った。

曲げ破壊特性は, スターラップで補強した梁(S) (せん断スパン 250 mm, せん断スパン比 $a/d=2.70$) の曲げ試験より検討した。せん断破壊特性は, スターラップで補強しない梁について, せん断スパン比 $a/d=2.70, 2.00, 1.30$ (せん断スパン 250 mm, 185 mm, 120 mm) を変えた載荷試験により検討した。コンクリートは, 水セメント比 0.594, スランプ 12 cm, 石灰石の最大寸法 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。

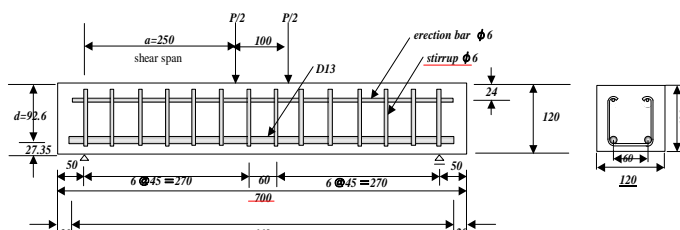


図-1 供試体の配筋図

3. 結果および考察

アラミドロッドの (ARD13) 引張強度は 1296 N/mm^2 で, 異形鉄筋 (D13) の 2.5 倍であるが, ヤング係数は 73.2 kN/mm^2 と異形鉄筋の 1/2.7 程度である (表-1)。アラミドロッドは, 異形鉄筋にみられる降伏域はなく, 破断まで弾性状態を維持する。この時の破断時の伸びは 1.85 % で, 硬化剤であるエポキシ樹脂の 34 % 程度である。アラミドロッドの引抜付着試験結果を図-2 に示す。表面加工をしない組紐状のアラミドロッドは, 最大付着応力度に達する自由端滑り量は 2.7 mm であるが, 表面を砂付き処理したロッドでは 0.2 mm と剛性の増加が認められる。しかし, 最終的な最大付着応力度に及ぼす表面形状の影響はなくなるとともに, 組紐状の表面形状はコンクリートとの付着が比較的良く, 異形鉄筋 (D10) とほぼ同等の付着性能を示す。

曲げ試験での荷重～たわみ関係を図-3 に示す。アラミドロッド 2 本を用い, スターラップで補強した単鉄筋長方形断面を有する梁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 24 %, ARD11S の梁では 21 % 大きくなる。補強材の引張特性として, 梁の曲げ破壊時のひずみは, 異形鉄筋(D13)

表-1 アラミドロッドの材料特性

	アラミド繊維		異形鉄筋 D13	エポキシ樹脂
	ARD13	ARD11		
断面積 (mm ²)	145.27	95.03	126.68	
単位重量 (g/m)	184.20	121.30	994.50	
降伏強度 (N/mm ²)	188	132	361	
引張強度 (N/mm ²)	1296	1389	513	78
破断時伸び (%)	1.85	1.94	27.40	5.5
引張弾性率 (kN/mm ²)	73	74	200	142

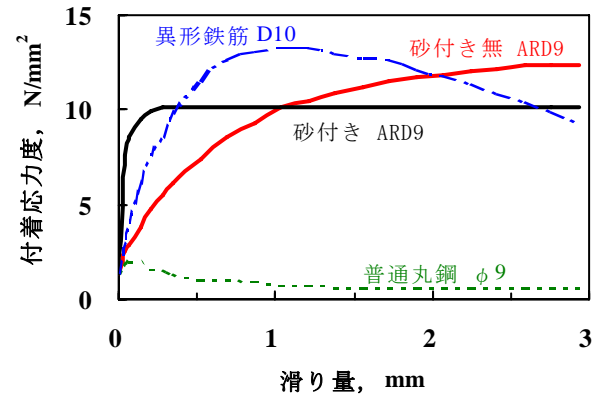


図-2 付着応力度

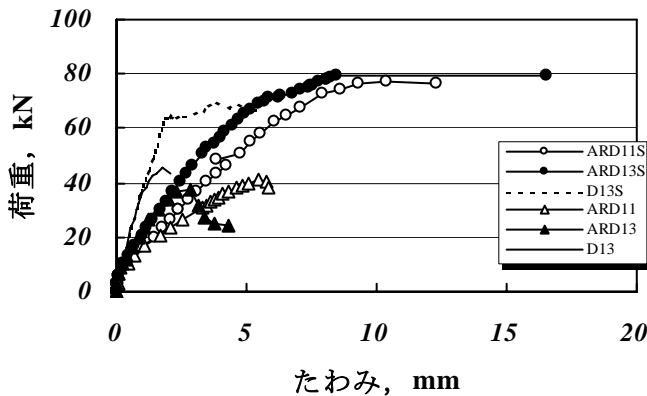


図-3 曲げ破壊特性

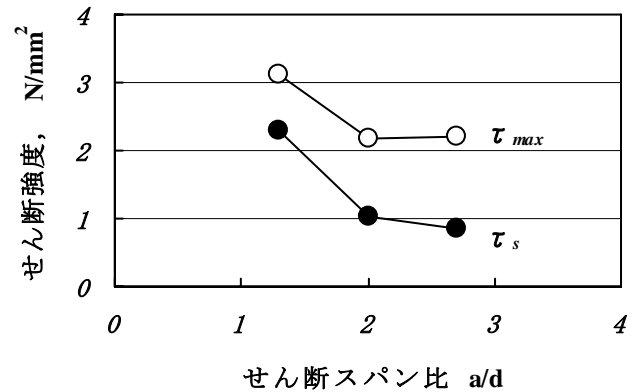


図-4 せん断スパン比とせん断強度の関係

ではひずみが 2233 $\mu\epsilon$ で降伏ひずみに達するが、アラミドロッド ARD13S では 6545 $\mu\epsilon$, ARD11S では 9198 $\mu\epsilon$ と異形鉄筋の 2.9 倍から 4.4 倍の伸度でも、弾性状態を維持している。

スターラップで補強しないで、せん断破壊が支配的となる場合には、アラミドロッド ARD13 および ARD11 の梁では、異形鉄筋 (D13) の梁に対してそれぞれ 83 % , 91 % の最大せん断強度を示す。次に、アラミドロッド (ARD11) で補強した梁のせん断強度に及ぼすせん断スパン比 a/d の影響を調べた (図-4) 。最大せん断強度 τ_{max} は、せん断スパン比 1.30 で 3.1 N/mm² , 2.70 で 2.2 N/mm² となる。さらに、せん断スパン比が大きくなるにつれて、最大せん断強度 τ_{max} が斜めひび割れ強度 τ_s に近づき、斜めひび割れが発生した直後に急激な破壊に至る斜め引張破壊を示す。

アラミドロッド 2 本をスターラップで補強した場合 (ARD13S) には、アラミドロッドの引張強度 f_{ult} に対する作用応力 f_p の比 $\phi = f_p / f_{ult}$ は、アラミドロッド ARD13S で 0.37 , ARD11S で 0.49 の範囲にあり、補強材は破断まで達しないで弾性状態を維持する。この応力比 ϕ を考慮した終局曲げ耐力 M_u と実験値との比は 0.90~0.91 の範囲にあり、実験結果と適合することが判明した。

4. まとめ

アラミド繊維を組紐状に編んだ表面形状は、コンクリートとの付着が比較的良好でかつ高強度であるため、異形鉄筋を用いた梁より曲げ破壊モーメントは約 2 割増加する。今後、表面を砂付き処理して付着性能を向上させた場合の、初期ひび割れ発生時および終局時の圧縮破壊についても追求が必要である。

参考文献

- 1) R. V. Balendran, W. C. Tang, H. Y. Leung and A. Nadeem : Flexural Behaviour of Sand Coated Glass-Fibre-Reinforced Polymer (GFRP) Bars in Concrete, 29th Conference on Our World in Concrete & Structures, Vol.23, pp. 203-212 (2004)