

## 連続繊維ロープでせん断補強した鉄筋コンクリートはりの載荷実験

関東学院大学大学院工学研究科土木工学専攻 学(工) ○佐藤 雅俊  
 関東学院大学工学総合研究所 正会員 博(工) 関島 謙蔵  
 関東学院大学工学部社会環境システム学科 正会員 工博 出雲 淳一

Abstract : Continuous Fiber Rope made of Aramid fiber or Vinyon fiber has been developed to apply for the reinforcement of concrete members. It is characterized by a lightweight, a high tensile strength and excellent durability compared with reinforcing steel bar. It has also good transportability, and it is flexible to be easily arranged at a construction site. In this study, in order to investigate the shear reinforcing effect of Continuous Fiber Rope, the reinforced concrete (RC) beams without shear reinforcement were tested. Moreover, the shear reinforcing effect of Continuous Fiber Rope on the RC beams that were pre-damaged in shear was also investigated. Through the test results, it was confirmed that Continuous Fiber Rope was effective for the RC beams without shear reinforcement and the pre-damaged RC beams in shear.

Key words : Continuous Fiber Rope, RC beam, Shear reinforcement

### 1. はじめに

日本は世界でも有数の地震国であり、これまでも1995年1月17日阪神淡路大震災、2007年7月16日中越沖地震、2011年3月11日に東日本大震災等が起きている。とくに、阪神淡路大震災では社会基盤を構成するコンクリート構造物が大きな被害を受けた。今後もM7以上の直下型の地震が想定されており、構造物の被害が発生することも考えられる。したがって、大地震に対する耐荷力の不足ならびに損傷した構造物の復旧に対応する技術が求められている。

連続繊維ロープは高性能連続繊維を加工し、表面のみウレタン樹脂で被覆したロープ状のコンクリート用補強材である。連続繊維ロープにはアラミド繊維を用いたものと、ビニロン繊維を用いたものがある。連続繊維ロープは軽量で引張強度が高く、耐久性に優れ、腐食しない。また、可搬性に優れ、容易に曲げ加工ができるため、作業性が大幅に向上するなどの特徴を有している。連続繊維ロープを用いてせん断耐力が不足する鉄筋コンクリート (RC) 構造物のせん断補強を行うことにより、構造物の安全性が向上すると考えられる。

本研究では、せん断補強筋を有していないRCはりおよび連続繊維ロープを巻付けてせん断区間を補強したRCはりの載荷試験を行ってせん断補強効果について検討した。さらに、震災被害等を想定して、あらかじめせん断破壊させたRCはりに連続繊維ロープを巻付けた場合のせん断補強効果についても検討した。また、連続繊維ロープによる拘束効果を高めるために、連続繊維ロープをジャッキにより緊張力を与えることも検討しているが、本研究では第一報として、連続繊維ロープに緊張力を導入しない人力による巻付け方法による場合の実験結果を報告する。

### 2. 供試体

#### 2. 1 供試体の概要

供試体の寸法は、150×200×1500mmの複鉄筋矩形断面である。供試体の引張鉄筋、圧縮鉄筋にはD13を使用し、組立て筋はD10の閉合型を使用した。供試体の寸法・形状および主鉄筋、ならびに組立て筋の配置を図-1に示す。はり断面の四隅は、連続繊維ロープをはり供試体に巻付ける際に連続繊維

維ロープが損傷することを防止するために面取りを行った。供試体は4体製作し、そのうちの2体はせん断区間を補強しない供試体 (No.1 および No.2) であり、残り2体はビニロン繊維ロープおよびアラミド繊維ロープを巻付けてせん断区間を補強した供試体 (No.3 および No.4) である (図-1, 図-2 参照)。さらに、供試体 No.1 と No.2 を一度せん断破壊させた後、ビニロン繊維ロープおよびアラミド繊維ロープを巻付けてせん断区間を補強した供試体 (No.5 および No.6) も製作した。せん断スパン比  $a/d$  はいずれの供試体も 2.3 とした。

支点と載荷点より50mmずつ内側の長さ300mmの区間に連続繊維ロープを25mmピッチで巻付けてせん断補強を補うことにした。巻始めは連続繊維ロープを3周巻付けた後、供試体の上面のロープ3本を焼きなまし鉄線を用いて3ヶ所固定した。巻終わりは巻始めと同様の処理を行った。

## 2. 2 使用材料

主鉄筋D13はSD295を使用した。引張試験を行った結果、降伏点強度の平均値は $349\text{N/mm}^2$ であった。供試体の製作には、かぶり小さいこともありモルタルを使用することにした。モルタルの配合を表-1に示す。供試体の載荷試験はモルタルの材齢が28日と30日に行った。材齢28日および材齢30日の圧縮強度および引張強度は、それぞれ $48.3\text{N/mm}^2$ ,  $43.2\text{N/mm}^2$ , および $3.6\text{N/mm}^2$ ,  $3.3\text{N/mm}^2$ であった。使用した2種類の連続繊維ロープの物性値を表-2に示す。

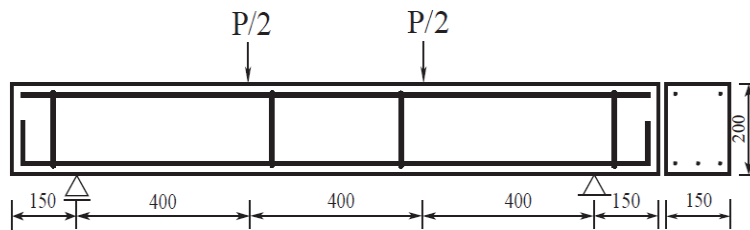


図-1 供試体の寸法および配筋の状況 (No. 1, No. 2)

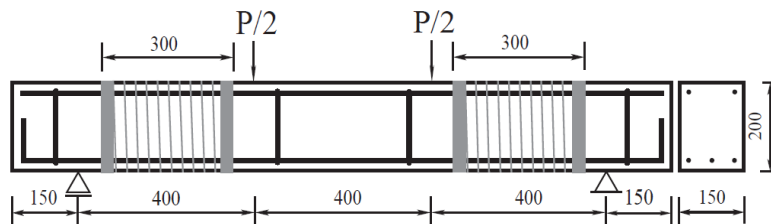


図-2 連続繊維ロープで補強した供試体 (No. 3, No. 4)

表-1 モルタルの配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )		
		水 W	セメント C	細骨材 S
60	100	270	450	1508

表-2 連続繊維ロープの物性値<sup>1)</sup>

繊維の種類	直径 (mm)	断面積 ( $\text{mm}^2$ )	引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	ヤング係数 ( $\text{kN/mm}^2$ )
ビニロン繊維	6.0	12.3	851	19.3
アラミド繊維	6.0	11.5	2414	45.7

### 3. 載荷試験

#### 3. 1 試験方法

載荷方法は、はりの2点対称曲げ載荷とした。荷重は5kNずつ増加させ、曲げひび割れが発生した後に一度除荷し、その後破壊まで単調載荷を行った。載荷試験において、スパン中央と両支点の変位を変位計で測定し、ロードセルにより荷重を測定した。

#### 3. 2 ひび割れ発生状況

供試体No.1およびNo.2は、荷重が20~30kNにおいて曲げひび割れが発生し、45~55kN近傍で斜めひび割れがせん断区間に発生したのが確認されたので載荷を終了した。写真-1は、No.1の斜めひび割れ発生状況を示している。No.1の場合、斜めひび割れの発生は右側のせん断区間のみであった。またNo.2の場合、斜めひび割れは両側のせん断区間で発生しているのが確認された。クラックゲージにより測定した斜めひび割れ幅はおよそ0.3mm~1.0mmであった。

ビニロン繊維ロープを巻付けた供試体No.3は、荷重が55kNにおいて両せん断区間に訳0.4mm幅の斜めひび割れが発生した。その後も載荷を続けると101.5kNで引張鉄筋が降伏して、114.0kNで曲げ引張破壊となった。

アラミド繊維ロープを巻付けた供試体No.4は、荷重が49kNにおいてせん断区間の右側に斜めひび割れが発生した。その後も載荷を続けると左側のせん断区間にも斜めひび割れが発生した。さらに載荷を続けると、96.4kNで引張鉄筋が降伏し、110.9kNで曲げ引張破壊した。写真-2は、No.4の斜めひび割れの様子を示している。目視による観察を行うと、ヤング係数の低いビニロン繊維ロープで補強したNo.3の方が、ヤング係数の高いアラミド繊維ロープで補強したNo.4よりも斜めひび割れ幅が大きかった。

供試体No.1にビニロン繊維ロープを巻付けた供試体No.5は、荷重が45kNの時に左側のせん断区間に斜めひび割れが発生した。その後も載荷を継続すると、100.7kNで引張鉄筋が降伏し、111.2kNで曲げ引張破壊となった。

供試体No.6は、荷重が50kNの時に右側のせん断区間の斜めひび割れが支点近くまで延びたことを確認した。その後も載荷を続けると101.7kNで引張鉄筋が降伏し、111.7kNで曲げ引張破壊となった。供試体の曲げ破壊後のひび割れ状況を写真-3~4に示す。連続繊維ロープで補強した場合、斜めひび割れが発生した後も連続繊維ロープがせん断力を負担したために、せん断破壊せずに曲げ引張破壊に至ったと考えられる。供試体No.3~No.6の場合、試験終了後においても、巻付けピッチの変化は認められなかった。



写真-1 斜めひび割れ状況 (No. 1)

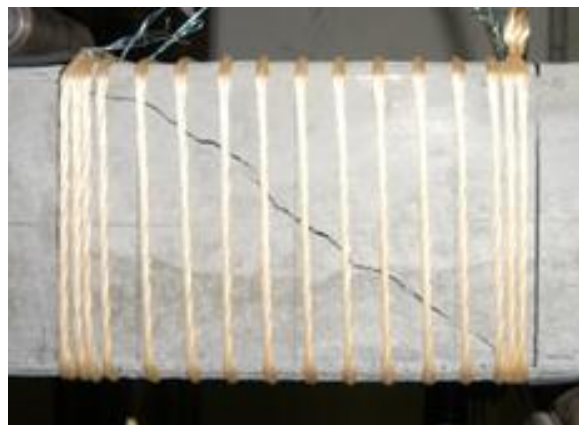


写真-2 斜めひび割れ状況 (No. 4)



写真-3 斜めひび割れ状況 (No. 5)



写真-4 斜めひび割れ状況 (No. 6)

### 3. 3 耐力

表-3は、試験結果および解析結果を示している。斜めひび割れ発生荷重は45～55kNであり、せん断補強筋のないNo.1およびNo.2と連続繊維ロープで補強したNo.3およびNo.4とはほとんど差が認められなかった。また、ビニロン繊維ロープで補強したNo.3とアラミド繊維ロープで補強したNo.4との差も認められず、連続繊維ロープの種類の違いは斜めひび割れの発生に影響を及ぼしていないと考えられる。また、No.1およびNo.2の表中の計算値は、鉄筋コンクリートはりを対象とした二羽式<sup>2)</sup>によるせん断耐力である。なお、二羽式によるせん断耐力は式(1)で求められる。

$$V_c = 0.20 f'_c \frac{1}{3} \left( 100 \frac{A_s}{bd} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{10^3}{d} \right)^{\frac{1}{4}} \left( 0.75 + \frac{1.4d}{a} \right) bd \quad (1)$$

ここに、 $f'_c$  : 圧縮強度

$A_s$  : 引張鉄筋の断面積

$b$  : 幅

$d$  : 断面の有効高さ

$a$  : 支点から荷重載荷点までの距離

表-3 試験結果および解析結果

供試体	斜めひび割れ発生荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	実験値 (kN)	計算値 (kN)	実験値/計算値	破壊形式
No.1	55	-	55.2	82.2	0.67	せん断破壊
No.2	45	-	49.9	82.2	0.61	せん断破壊
No.3	55	101.5	114.0	108.0	1.06	曲げ破壊
No.4	49	96.4	110.9	108.0	1.03	曲げ破壊
No.5	-	100.7	111.2	107.0	1.04	曲げ破壊
No.6	-	101.7	111.7	107.0	1.04	曲げ破壊



せん断破壊したと考えられる供試体No.1およびNo.2の場合、実験値と計算値の比は0.61～0.67となり、実験値が計算値を下回っている。これは式(1)がコンクリートを対象としているのに対し、実験供試体にはコンクリートの代わりにモルタルを用いたことで、骨材のかみ合わせ作用が小さくなり、その結果せん断耐力が低くなったものと考えられる。供試体No.3～No.6は、曲げ引張破壊を仮定して曲げ耐力を求めることにした。No.3～No.6の表中の計算値は、簡単のために単鉄筋矩形断面の曲げ理論による曲げ耐力の計算値である。曲げ引張破壊した供試体No.3～No.6の場合、実験値と計算値の比は1.03～1.16となり、実験値と計算値はほぼ一致する結果となっている。

今回の実験で採用した巻付けピッチ (25mm) の場合、ビニロン繊維ロープを用いた場合もアラミド繊維ロープを用いた場合も供試体が曲げ引張破壊であったため、耐力はほぼ同じになっている。しかし、連続繊維ロープの補強方法の違いによりせん断破壊することも考えられるため、今後は巻付けピッチを実験パラメータにした実験も必要と考えられる。

今回行った実験の範囲において、せん断破壊したRCはりを連続繊維ロープを用いて補強した場合、連続繊維ロープが斜めひび割れ発生後のせん断力を負担し、せん断破壊せずに曲げ引張破壊に至ったことが確認された。

### 3. 4 荷重-たわみ関係

実験で測定されたNo.1～No.6の荷重-たわみ曲線を図-3～図-8に示す。せん断補強筋のないNo.1およびNo.2の場合は、49.9～55.2kNでせん断破壊となり、スパン中央のたわみも2mm以下と変形性能が小さい結果となっている。一方ビニロン繊維ロープで補強したNo.3は、No.1およびNo.2に比べて耐力が約2倍に増加し、スパン中央のたわみも14mm程度となり、最終たわみも約7倍増加する結果となっている。アラミド繊維ロープで補強したNo.4の荷重-たわみ関係は、No.3とほぼ同じ傾向を示している。

No.1とNo.2をせん断破壊させた後に連続繊維ロープを巻付けて補強したNo.5およびNo.6の場合は、No.1とNo.2に比べて耐力および変形性能が格段に改善される傾向を示し、No.3およびNo.4と同様に耐力に関しては約2倍、たわみに関しては約7倍増加する結果となっている。図-5と図-6および図-7と図-8の荷重-たわみ曲線について、斜めひび割れ発生後の50kN辺りから鉄筋が降伏する100kN近傍までの剛性（荷重-たわみ曲線の傾き）は、ビニロン繊維ロープで補強したNo.3およびNo.5よりも、アラミド繊維ロープで補強したNo.4およびNo.6の方が大きいと判断される。これはヤング係数の低いビニロン繊維ロープよりもヤング係数の高いアラミド繊維ロープの方がせん断変形を抑制しているからではないかと考えられる。

今回行った実験からは、RCはりを連続繊維ロープでせん断補強した場合、せん断破壊を防止し曲げ破壊に至るまで耐力が増加し、変形性能も改善させることが確認された。

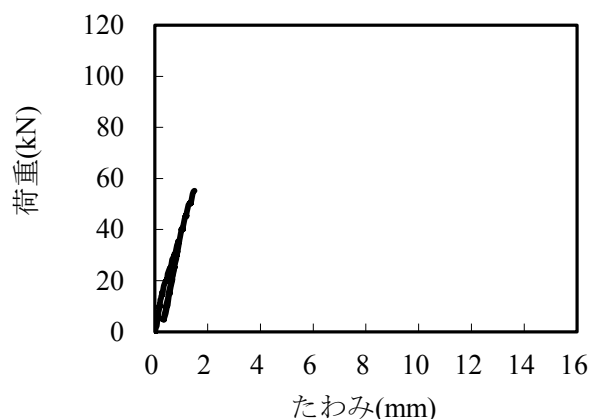


図-3 荷重-たわみ曲線 (No. 1)

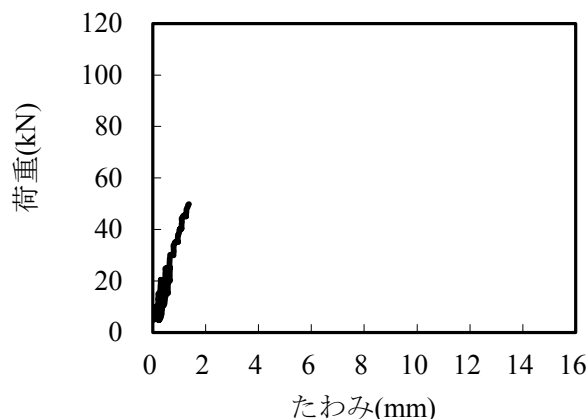


図-4 荷重-たわみ曲線 (No. 2)

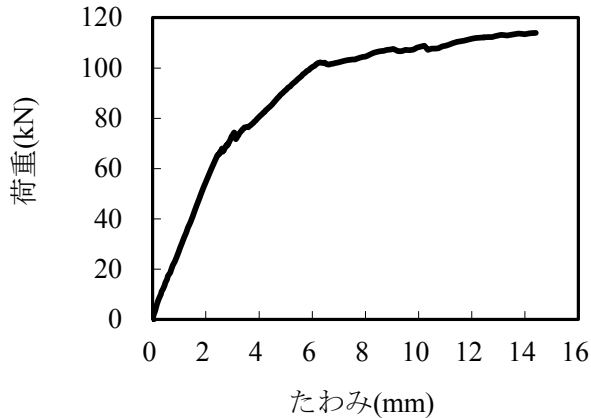


図-5 荷重-たわみ曲線 (No. 3)

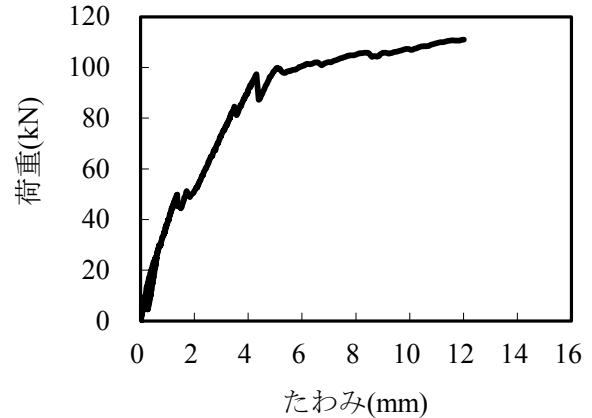


図-6 荷重-たわみ曲線 (No. 4)

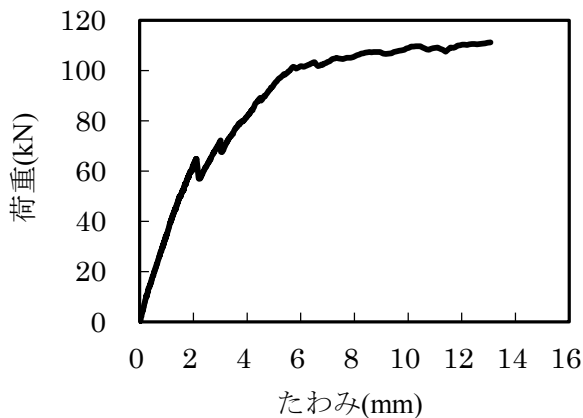


図-7 荷重-たわみ曲線 (No. 5)

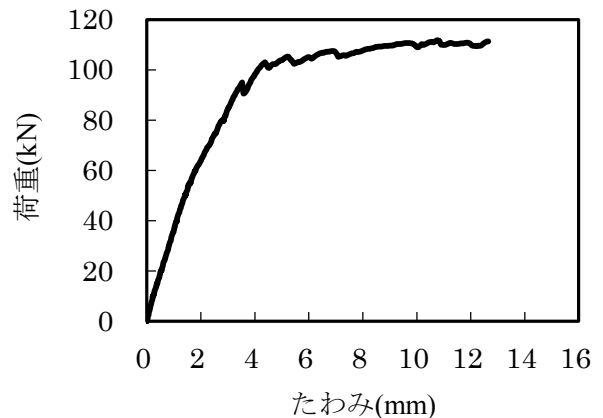


図-8 荷重-たわみ曲線 (No. 6)

#### 4. まとめ

今回行った実験から以下のことが結論として得られた。

- 1) せん断補強筋を有していないRCはりに連続繊維ロープをせん断区間に巻付けることにより、せん断耐力は向上し、破壊形態がせん断破壊型から曲げ破壊型に移行することが確認された。
- 2) せん断補強筋を有していないRCはりを一度せん断破壊させた後に、連続繊維ロープを巻付けることにより、耐力および変形性能を改善させることができることが確認された。
- 3) ビニロン繊維ロープとアラミド繊維ロープで補強した場合とでは、アラミド繊維ロープで補強した方が斜めひび割れ幅の開きが小さく、荷重-たわみ関係における剛性も大きいことが確認された。

今後の課題として、連続繊維ロープの巻付けピッチの影響、連続繊維ロープの巻付けに際しプレストレスを与えた場合の影響、せん断補強筋を有するRCはりに適用した際の補強効果、 $a/d$ を変化させた場合の影響等について検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 関島謙蔵, 川上清陸, 田丸 武, 出雲淳一: 連続繊維ロープの性能評価 (第2報), 関東学院大学工学総合研究所報 第36号, pp.11-20, 2008年3月
- 2) 二羽淳一郎: コンクリート構造の基礎, 数理工学社, 2006年