

## 連続繊維ロープを巻付けたRCはりにモルタルを吹付けた場合のせん断挙動

関東学院大学 大学院土木工学専攻 学生会員 ○テブシンジラガラ ジャバハ  
 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 理工学部土木学系 正会員 工博 出雲 淳一

Abstract : Continuous fiber rope has been developed to apply for the reinforcement of concrete members. It is characterized by a lightweight, a high tensile strength and an excellent durability compared with reinforcing steel bar. It has also good transportability and it is flexible to be easily arranged at construction sites. The authors reported that Vinylon fiber rope showed the good shear performance for the RC beams. However, it is necessary to prevent Vinylon fiber rope from ultraviolet rays attack. As the protection, sprayed mortar is considered to be effective. In this study, the RC beams wound with Vinylon fiber rope at shear span and covered with sprayed mortar were prepared. Then, they were loaded and their shear behavior was investigated.

Key words : Vinylon fiber rope, Sprayed mortal, Shear behavior

### 1. はじめに

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。連続繊維ロープの特徴は、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、施工性に優れた特徴を有している。在来工法に比べ、施工期間も短縮することが期待できることから、連続繊維ロープによるコンクリートの補強工法として、実用性があると考えられる。

著者らはこれまで連続繊維ロープをせん断による損傷を受けたRCはりに巻付けて補強することにより、せん断機能が回復することを確認している<sup>1),2),3),4)</sup>。しかし、連続繊維ロープを補強工法として適用する場合、ロープの紫外線劣化や人為的な損傷に対する保護の観点から、ロープで巻付けた区間を吹付けモルタルで施工することが有効ではないかと考えている。

本研究は、連続繊維ロープで補強した区間に吹付けモルタルを施工した場合のRCはりのせん断挙動について検討を行った。

### 2. 実験供試体

#### 2.1 供試体の概要

本研究で使用した供試体寸法は幅150mm×高さ260mm×長さ1800mmで、6体を準備することにした。供試体に配置する鉄筋は、引張鉄筋としてD19、圧縮鉄筋としてD13、せん断補強筋としてD10を使用した。せん断補強筋の補強量は、実験供試体においてせん断破壊を生じさせるために、通常せん断補強筋として利用されるスターラップではなく、その半分の補強量となる中子筋を用いることにした。その他、組立筋としてD10を使用した。

供試体の寸法・形状・配筋ならびにロープの巻付けの概要を図-1、図-2に示す。ひずみゲージの貼付け位置を図-3、図-4に示す。図中の主筋および中子筋の記号は貼付けたひずみゲージの位置と呼び名を表している。中子筋に貼付けたひずみゲージの位置は、支点と載荷点を結ぶ直線に沿って斜めひ

び割れが発生すると想定し、斜めひび割れと中子筋が交わる位置とした。載荷点間の距離は300mmとした。

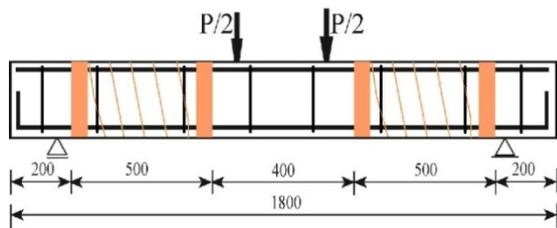


図-1 供試体の概要 (No. 14, No. 20, No. 22)

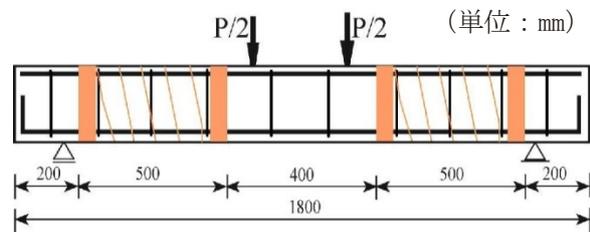


図-2 供試体の概要 (No. 15, No. 21, No. 23)

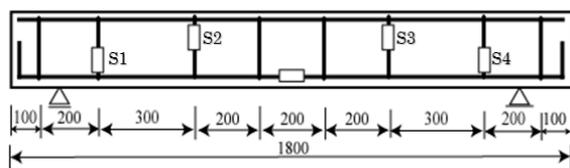


図-3 ひずみゲージ貼付け位置  
(No. 14, No. 20, No. 22)

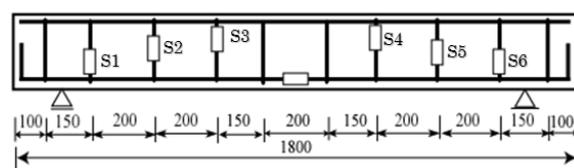


図-4 ひずみゲージ貼付け位置  
(No. 15, No. 21, No. 23)

供試体の呼び名は、これまでの一連の研究で付した通し番号で呼ぶことにした。供試体はNo. 14, No. 15, No. 20, No. 21, No. 22, No. 23の計6体である。

供試体のせん断区間には、ビニロン繊維ロープを巻付け間隔75mmで巻付けて補強した。ロープの巻付け間隔は、せん断破壊すると思われる巻付け間隔を採用することにし、これまでの研究を参考に75mmとした。

実験パラメータとしては、中子筋をせん断区間に2本配置した場合と3本配置した場合の違い、ならびに吹付けモルタルの有無とその施工区間の違いとした。供試体の偶数番号は中子筋を2本配置し、奇数番号は中子筋を3本配置している。また、No. 14およびNo. 15の場合は、せん断区間にビニロン繊維ロープのみを巻付けている。No. 20およびNo. 21の場合には、ビニロン繊維ロープをせん断区間に巻付けた後、吹付けモルタルをせん断区間の側面に施した。No. 22およびNo. 23の場合、ビニロン繊維ロープをせん断区間に巻付けた後、吹付けモルタルを右側せん断区間の側面のみに施工した。せん断スパン比 $a/d$ は、いずれの供試体も2.60とした。

## 2.2 使用材料

吹付けモルタルには、プレミックスタイプのポリマーセメントモルタルを使用した。吹付けモルタルの性能を確認するために、平板コンクリート300mm×300mm×75mmにポリマーセメントモルタルを厚さ15mm吹付けて付着試験用試験体を製作し、建研式 (JIS A 6909 7.9) により付着強度試験を実施した。材齢14日および28日の3個の付着強度の平均値は、それぞれ4.1N/mm<sup>2</sup>, 4.6N/mm<sup>2</sup>であった。目標とする付着強度は、1.5N/mm<sup>2</sup>以上であり、材齢14日までに目標とする値を超えていた。

引張鉄筋D19 (SD345), 圧縮鉄筋D13 (SD295A), およびせん断補強筋D10 (SD295A) の降伏点強度は、それぞれ382N/mm<sup>2</sup>, 356N/mm<sup>2</sup>, 369N/mm<sup>2</sup>であった。

実験で使用したビニロン繊維ロープは、ビニロン繊維を三つよりのロープ状に成形したもので、コンクリート用補強材として開発されたものである。ビニロン繊維ロープの物性値<sup>5)</sup>を表-1に示している。

表-1 ビニロン繊維ロープの特性値

繊維の種類	直径 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
ビニロン繊維	6.0	12.3	851	19.3

### 2.3 供試体の製作

供試体を脱枠した後、モルタル吹付けのための下地処理として、バキュームブラストによるコンクリート表面の目荒しを行った。その後、アクリル系ポリマーを主成分とするプライマーを、刷毛を用いて目荒らしを行ったコンクリート表面に塗布した。

ビニロン繊維ロープの供試体への巻付けは人力で行った。巻始めは、供試体の外周にビニロン繊維ロープを3周巻付けた後、供試体の上面のビニロン繊維ロープ3本を焼鈍し鉄線で3か所で固定した。次に、ビニロン繊維ロープを75mmピッチで巻付けて、巻終わりには巻き始めと同様の処理を行った。ポリマーセメントモルタルの吹付け厚さは15mmとした。これは、ロープのかぶりを10mm程度を目安としたためである。吹付け作業はノズルマンが行い、吹付け後はモルタル表面をこてでならした。

## 3. 載荷試験

### 3.1 載荷方法

載荷試験は2000kN万能試験機を使用し、2点対称曲げ載荷試験を行った。荷重は5kN刻みで増加させて、破壊に至るまで載荷を行った。

### 3.2 測定項目

ロードセルにより荷重を測定し、スパン中央と両支点の変位を変位計で測定した。さらに、主筋と中子筋に貼付けたひずみゲージの測定を行った。また、所定の荷重に達した時に荷重を保持し、目視とクラックゲージによりひび割れを観察した。

## 4. 実験結果および考察

実験結果を表-2にまとめて示している。

表-2 実験結果

供試体	中子筋 (本)	ロープの 巻付ピッチ (mm)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	モルタル 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	斜めひび割れ 発生荷重 (kN)	中子筋の 降伏荷重 (kN)	引張鉄筋の 降伏荷重 (kN)	最大荷重 (kN)
No.14	2	75	38.4	-	114.0 (左) 105.5 (右)	112.9 (s2) 124.5 (s3)	-	213.8
No.15	3	75	38.4	-	120.0 (左) 115.1 (右)	119.2 (s2) 130.0 (s5)	190.8	214.8
No.20	2	75	37.2	52.6	125.3 (左) 94.8 (右)	194.9 (s2) 197.5 (s3) 196.7 (s4)	-	198.5
No.21	3	75	37.2	52.6	141.0 (左) 105.3 (右)	140.5 (s2) 157.5 (s5)	220.4	230
No.22	2	75	34.8	40.3	94.8 (左) 132.0 (右)	177.1 (s3)	-	208.2
No.23	3	75	34.8	40.3	101.1 (左) 122.2 (右)	142.7 (s2) 143.8 (s5)	-	207

#### 4.1 斜めひび割れの発生状況

表-2 には、斜めひび割れが発生した時の荷重を示している。左右のせん断区間において、斜めひび割れが最初に発生した時の荷重は、94.8kN~115.1kN の範囲にあった。吹付けモルタルを施していない No. 14 および No. 15 と吹付けモルタルをせん断区間に施した No. 20 および No. 21 を比較すると、吹付けモルタルの増厚による効果が、必ずしも斜めひび割れ発生荷重を増加させているとは言い難い。一方、吹付けモルタルを片側のせん断区間のみ施した No. 22, No. 23 を比較した場合、吹付けモルタルにより増厚を行った右側せん断区間における斜めひび割れ発生荷重が左側のせん断区間における斜めひび割れ発生荷重よりもやや高くなる傾向が見られた。斜めひび割れの発生荷重は、コンクリートおよび吹付けたモルタル表面に斜めひび割れが観察された時の荷重としている。ポリマーセメントモルタルは、一般にひび割れ追従性が良く、モルタルが吹付けられたコンクリート内部に斜めひび割れが発生しても、モルタル表面ではひび割れの発生を発見できていないことも考えられる。今回実施した実験に関する限り、吹付けモルタルによる増厚効果が、斜めひび割れの発生を増加させると結論付けるのは難しいと考えられる。

#### 4.2 荷重-たわみ関係

実験より得られた試験供試体の荷重-たわみ関係を図-5、図-6 に示している。図-5 は、供試体 No. 14, No. 20, No. 22 の実験結果を示しており、図-6 は供試体 No. 15, No. 21, No. 23 の実験結果を示している。斜めひび割れが発生した荷重 100kN 辺りから、荷重-たわみ曲線には違いが認められるようになる。図-5、図-6 において、モルタルを施さない供試体 (No. 14, No. 15)、せん断区間の片側にモルタルを施した供試体 (No. 22, No. 23)、吹付けモルタル両側のせん断区間に施した供試体 (No. 20, No. 21) の順に、たわみがやや小さくなる傾向が認められる。これは、モルタルを吹付けたことによって、はりの剛性が増したことによる影響と考えられる。

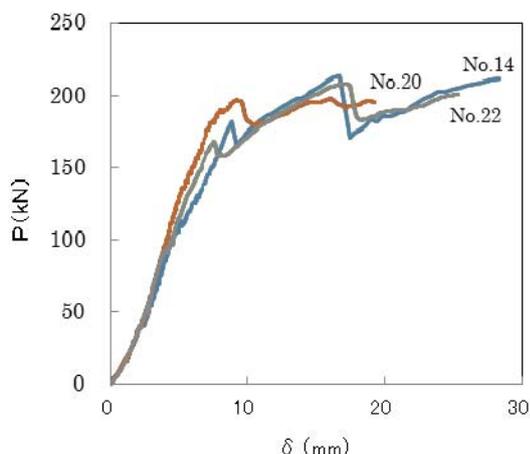


図-5 荷重-たわみ関係 (No. 14, 20, 22)

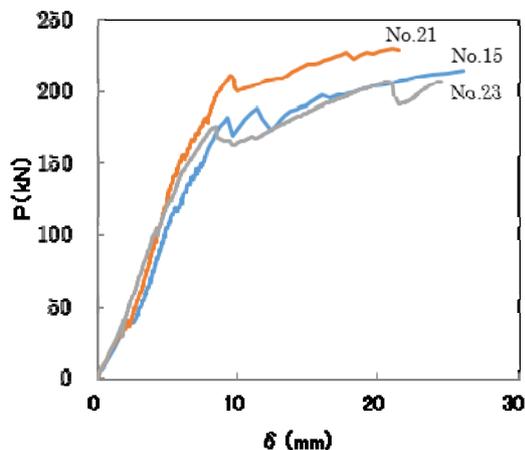


図-6 荷重-たわみ関係 (No. 15, 21, 23)

#### 4.3 破壊状況

写真-1~写真-4 は、代表的な供試体の破壊状況を示している。6 体の供試体の破壊に至るまでの挙動は、斜めひび割れが発生した後、中子筋が降伏し、その後も荷重が増加した後、ビニロン繊維ロープが破断して終局に至っている。No. 15 および No. 21 の場合には、ロープが破断する前に主鉄筋の降伏が確認されている。ロープの破断位置は、No. 14, No. 15 の場合、支点から右側せん断区間の 2/3 の距離辺りで、破断しているのが確認された。両側のせん断区間に吹付けモルタルを施した No. 20 および No. 21 の場合、No. 14 および No. 15 とは異なり、破壊した側の斜めひび割れが大きく開いてロープ

が破断する結果となっている。右側に吹付けモルタルを施した No. 22 および No. 23 の場合も、吹付けモルタルを施した側の斜めひび割れが大きく開いて破壊に至っている。吹付けモルタルで覆わない場合、はり側面においてロープは自由に伸びることができる。しかし、吹付けモルタルでロープが覆われた場合には、斜めひび割れを横切る位置でロープが局所的に伸びているためと考えられる。その結果、ロープの破断も吹付けモルタルで覆った場合の方が早まるのではないかと考えられる。



写真-1 破壊状況 (No. 14)



写真-2 破壊状況 (No. 20)

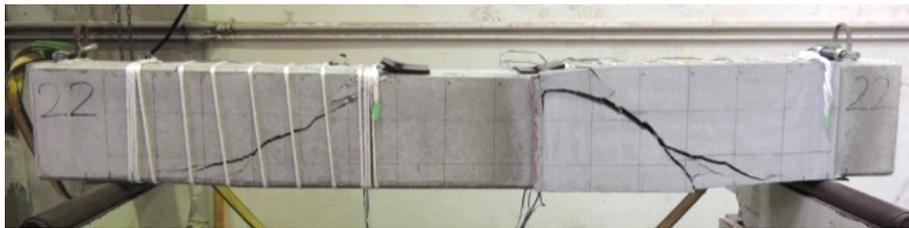


写真-3 破壊状況 (No. 22)



写真-4 破壊状況 (No. 23)

#### 4.4 せん断耐荷力

中子筋の降伏時の荷重は、モルタルを吹付けていない供試体、片側のせん断区間にモルタルを吹付けた供試体、両側のせん断区間にモルタルを吹付けた供試体の順に増加する傾向が見られる。これは、吹付けモルタルがせん断応力を一部負担するために、中子筋の降伏荷重が上がったものと考えられる。No. 14, No. 15, No. 21 および No. 23 の場合、中子筋は左右 1 本ずつ降伏している。No. 20 の場合、左側で 2 本の中子筋が降伏し、右側では 1 本の中子筋が降伏し、No. 22 の場合、右側で 1 本の中子筋が降伏している。今回採用した供試体のせん断区間に中子筋を 2 本配置した場合と 3 本配置した場合にはせん断補強量は異なるが、降伏が確認された中子筋の本数にはあまり差がないように見受けられる。これは、中子筋を 3 本配置しても、斜めひび割れが中子筋を全て横切らないためではないかと考えられる。全ての供試体が、最終的にはロープの破断で終局耐力に達しており、せん断破壊と考えられる。

また、今回行った実験供試体の場合には、中子筋の本数の違いは前述通り、あまり耐荷力に影響せず、ロープの破断で耐荷力が決まったものと考えられる。モルタルでロープを覆った場合には、ロープの伸びがモルタルにより拘束され、ひび割れ位置のロープに応力が集中するために、耐力はモルタルで覆わない場合よりも、最大耐力がやや低下する傾向があるが、耐荷力が大きく損なわれるとは言い難い。

## 5. 結論

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) モルタルを吹付けることにより、はりの剛性が増加し、斜めひび割れ発生後も荷重-たわみ曲線に差異が認められた。
- (2) モルタルをせん断区間に吹付けることにより、せん断応力の一部を負担すると考えられ、結果としてせん断強筋の降伏荷重を上げる傾向にある。
- (3) モルタルでロープが覆われた場合、ロープの伸びが制限を受けるために、局部的なロープの伸びとなる。その結果ロープの破断が早められると考えられるが、せん断耐力を大きく低下させるほどの影響は認められなかった。
- (4) 今回行った供試体の場合、せん断耐力はロープの破断で決まっていると判断される。

## 謝辞

本研究を行うに当たり奈良建設株式会社の島倉徹也氏、極東興和株式会社の岡田繁之氏にご協力していただきました。この研究は、「JSPS KAKENHI (Grant Number JP 16K06475)」によって行われたことを付記します。

## 参考文献

- 1) 出雲淳一, 関島謙蔵, 佐藤雅俊: 連続繊維ロープを用いた RC 梁の性能改善効果, プレストレストコンクリート, pp.41-46, Vol.55, No.5, 2013.9-10
- 2) 井本祐司, 関島謙蔵, 出雲淳一: せん断破壊したRC梁のビニロン繊維ロープによる機能回復効果, 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート工学会, CD-ROM, 2014
- 3) Sekijima, K., Satoh, M., and Izumo, J. "Shear-Reinforcing Effect of Continuous Fiber Rope on Reinforced Concrete Beams." Journal of Materials in Civil Engineering, pp.B4014008-1-B4014008-6, Vol.27/Issue7, ASCE, 2014.7
- 4) Junichi Izumo, Kenzo Sekijima, "Restoration of RC Beams Pre-damaged in Shear with Vinylon Fiber Rope", International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures(RCCS), CD-ROM, 2015.6
- 5) 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