

# 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せん断耐荷機構

川名俊輔

## 1. はじめに

これまで、鉄筋コンクリート柱および橋脚の補強工法としては、鋼板巻立て、RC巻立て、連続繊維シート巻立てをはじめとして多くの補強工法が提案されている。各種補強工法には一長一短があり、適用する構造物の事情に応じて使い分けられている。著者らは、耐食性、可搬性、作業性に優れた連続繊維ロープを用いた補強工法を研究している。

ロープ状連続繊維補強材(図-1)は、さまざまな形状に手作業で容易に加工できるので作業性に優れる。また、エポキシ樹脂などの繊維結合材を使用しなくとも、繊維単体でコンクリート用補強材として実用可能である。これまで、新設時に連続繊維ロープをコンクリート中に埋め込み、せん断補強筋として機能させることが可能であること、既設鉄筋コンクリート柱の外周に連続繊維ロープを巻き立て、さらにその上にコンクリートを巻き立てることによりじん性補強の効果があることを実験的に確認している。しかし、連続繊維ロープを用いたこれらの補強工法を実用化するためには、設計法、照査法を確立しなければならない。そのためには、連続繊維ロープの補強メカニズムについて明らかにする必要がある。

本研究では、既設RCはり部材の外周に連続繊維ロープを巻立て、その上にコンクリートを巻立てた場合の耐荷機構について実験的に検討した。

## 2. ロープ状連続繊維補強材

本研究で用いた連続繊維ロープはアラミド繊維から作られている。これは3本の繊維の束をねじりながら、さらに1本にまとめたものである。連続繊維ロープの引張試験は、本材料用に開発した鋼管グリップと定着用膨張材を用いた方法により行った。



図-1 連続繊維ロープ

## 3. 既往の研究

田坂らの研究では、新設RCはりのせん断補強筋の代替として連続繊維ロープを巻立て単調載荷試験した。その結果、ロープを新設RCはりのせん断補強筋として使用した場合、せん断耐力の向上が見られるという結果が得られている。

また、Phongらの研究では既設RC柱に連続繊維ロープとコンクリート巻立てを併用する補強方法は、連続繊維シート補強と同等のじん性補強効果があることが明らかにされた。

## 4. 主鉄筋の曲げ降伏後にせん断破壊する既設RCはりに対する連続繊維ロープ巻立て補強

### 4.1 概要

既存RCはりの外周に連続繊維ロープを巻立て、その周りにコンクリート巻立てを施して補強した場合、RC柱試験体と同様にじん性補強効果が得られるか検討を行った。

### 4.2 試験体

試験体の寸法を図-2に示す。No.1試験体は比較用のせん断補強なしの試験体である。No.2試験体は、連続繊維ロープとコンクリート巻立てを併用する試験体である。なお、試験体作製手順は以下のように行った。まず、母部材のコンクリート打設後、2週間湿布養生を行い母部材と巻立てコンクリートとの付着を良く

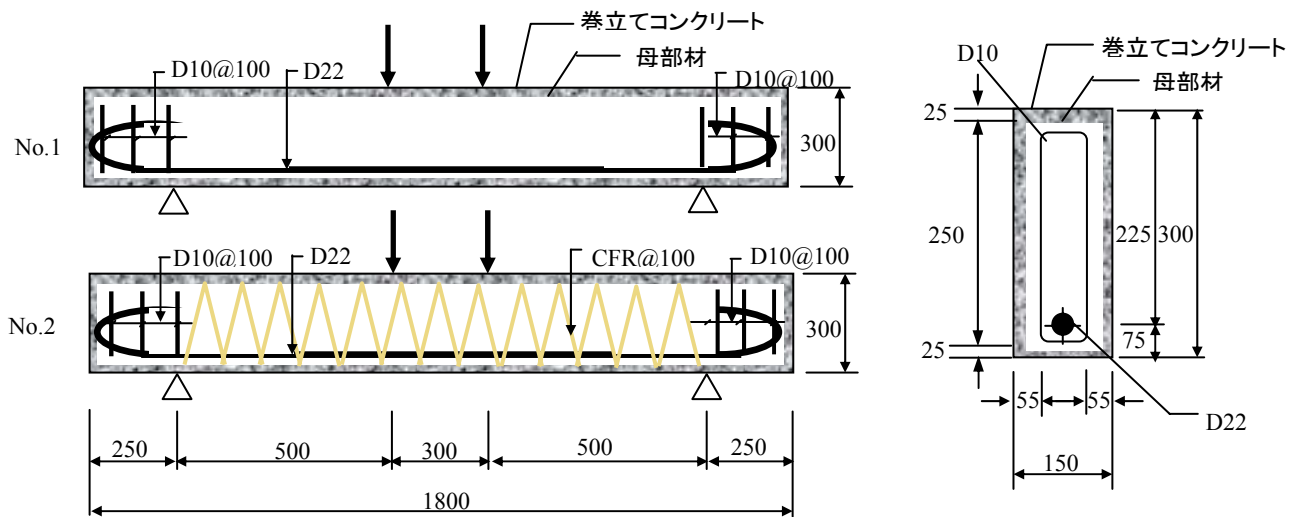


図-2 試験体寸法

するためにグラインダーにより表面を研磨し表面処理を行った。同時に、隅角部でのロープへの応力集中を緩和する目的で隅角部の面取りを行った後、連続繊維ロープを巻き付けた。

連続繊維ロープは支点上から巻き始め、反対の支点到達すると反転して巻き始めの支面向かって巻立て、巻き始めと巻き終わりの部分を結んだ。この際、樹脂による定着は行っていない。巻付け作業は人力により行った。また、たるみやゆるみが生じないように注意した。その後、巻立てコンクリートを打設した。巻立てコンクリートの厚さは25mmとし骨材の最大寸法は13mmとした。巻立てコンクリートは、紫外線や異物の衝突等の外的因子による劣化から連続繊維ロープと既存コンクリートを保護する役割を担っている。また、補強後の外観上、巻きつけた連続繊維ロープが露出しているのは好ましくないため覆い隠す効果もある。さらに力学的には、連続繊維ロープの端部を定着する役目と、ひび割れ後も付着によって引張応力を効果的に連続繊維ロープへ伝達する役目を期待している。ロープの物性を表-1に示し、連続繊維ロープの巻立て状況を図-3に示す。

#### 4.3 荷重方法

荷重は500kNの油圧ジャッキを使用し、等曲げモーメント区間が300mmの対称2点荷重で行った。荷重によるはり全体の挙動ができるだけ左右対称になるように、支承を両端ともローラー支持とした。荷重方法は、部材が破壊に至るまで静的単調荷重をした。測定項目は荷重、中央変位と支点変位、主鉄筋ひずみ、連続繊維

ロープのひずみとした。また、荷重試験中にはりの両側面に発生したひび割れを目視により確認した。

表-1 連続繊維ロープの物性値

ロープの構造	より紐
断面積 (mm <sup>2</sup> )	17.2
引張強度 (kN)	1660
弾性係数 (MPa)	53300
破断ひずみ (%)	2.8



図-3 連続繊維ロープ巻立て状況

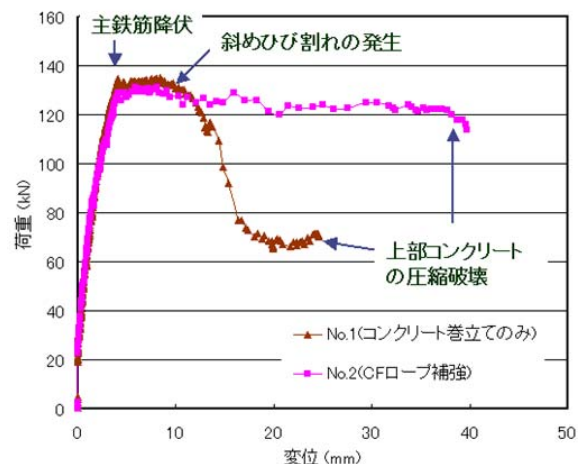


図-4 荷重-変位曲線

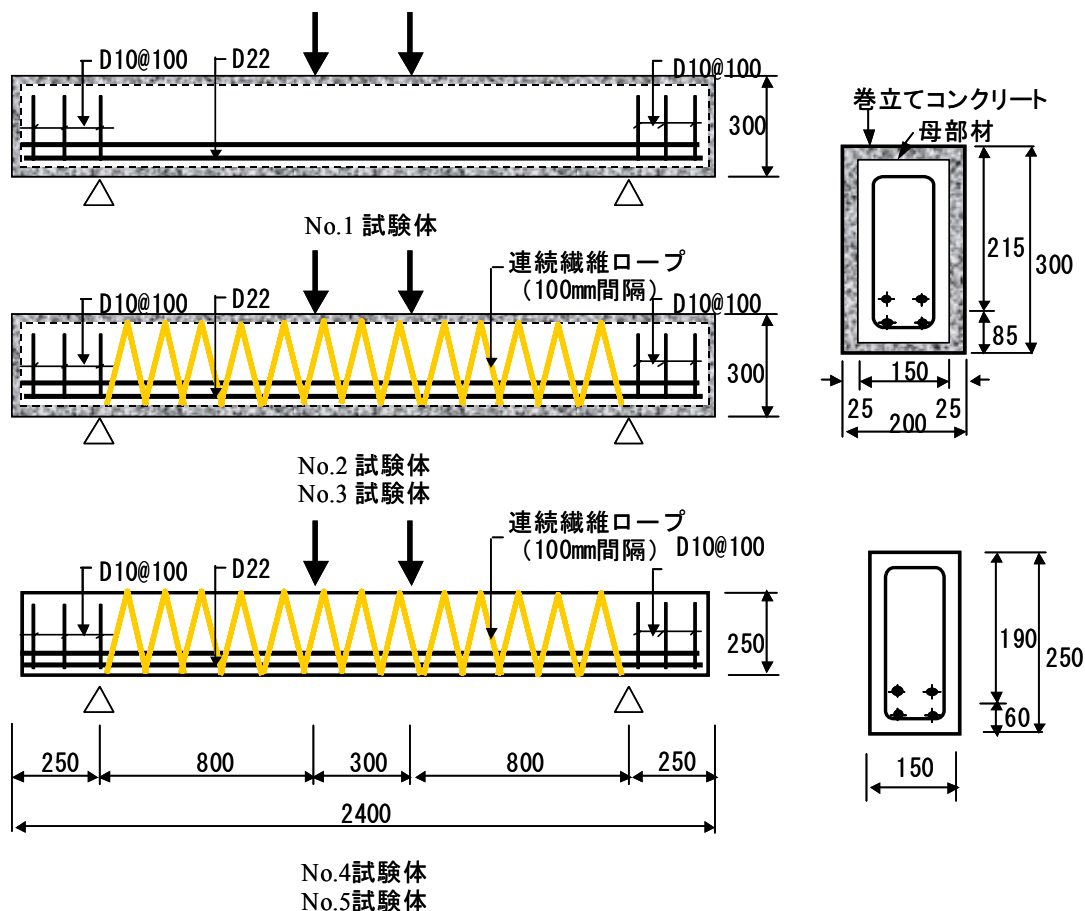


図-5 試験体寸法

#### 4.4 実験結果

荷重-変位曲線を図-4 に示す。実験結果より、No.2 試験体は No.1 試験体よりも変形性能が優れていることがわかる。最終破壊モードは No.1 試験体はせん断圧縮破壊であったが、No.2 試験体は曲げ引張破壊であった。このことから、CF ロープを巻立てることによるじん性補強効果が単調荷重のはり試験においても観察できることが確認された。また、ひび割れ近傍において CF ロープのひずみが増大していた。これはひび割れ発生後、CF ロープがひび割れを跨いで引張力を受け持っていることを示す。終局時においても、CF ロープの破断は見られなかった。連続繊維ロープを巻立てた試験体のほうが、鉄筋降伏後の変形性能を向上させることができた。

このことから、鉄筋が降伏する場合には変形性能を向上させることができ、じん性補強には有効であることが明らかになった。

#### 5. 連続繊維ロープ巻立てとコンクリート巻立てを併用した RC はりの載荷試験

##### 5.1 概要

既設 RC はりの外周に連続繊維ロープを巻立て、その周りにコンクリート巻立てを施して補強した試験体の載荷試験を行った。そして、この実験と連続繊維ロープを新設 RC はりに埋設させた場合との耐荷機構の違いを検討する。

##### 5.2 試験体

試験体寸法を図-5 に示す。まず、既設部材を想定したせん断補強筋なしの RC はりを作製し、コンクリート硬化後に、連続繊維ロープや巻き立てコンクリートを用いて補強した。試験体は No.1 試験体では鉄筋が降伏する前にせん断破壊するような諸元とした。

同寸法の試験体で載荷試験を行った。試験体水準は、コンクリート巻立てのみ (No.1) 、連続繊維ロープ+コンクリート巻立 (No.2) 、試験体は比較用のせん断補強なしの試験体である。他の 2 体の試験体と比較するために連続繊維ロ

ープなしでコンクリート巻立てのみを施してある。

No.2 試験体は、連続繊維ロープ巻立てとコンクリート巻立てを併用する試験体である。

No.3 試験体は補強量を少なくするため繊維数を3分の1にした連続繊維ロープを巻立て、コンクリート巻立てを併用したものである。

また、連続繊維ロープと巻立てコンクリートとの付着性状による影響を調べるために連続繊維ロープのみ (No.4) , 連続繊維ロープ+エポキシ樹脂 (No.5) の5体の試験体で載荷試験を行った。

試験体作製手順は、主鉄筋の曲げ降伏後にせん断破壊する既設 RC はりに対する連続繊維ロープ巻立て補強の試験体と同じ手順で作製した。ロープの物性を表-2に示す。

表-2 連続繊維ロープの物性値

ロープの構造	より紐
断面積 (mm <sup>2</sup> )	11.8
引張強度 (kN)	2280
弾性係数 (MPa)	73500
破断ひずみ (%)	3.1

### 5.3 載荷方法

載荷方法は4.3で述べた方法と同じである。

### 5.4 実験結果

#### 5.4.1 試験体破壊性状

No.1 試験体はせん断引張破壊を起こした。No.2, No.3 試験体は、No.1 試験体に比べて斜めひび割れが多く生じた。コンクリート巻立てを施さない No.4, No.5 試験体にはどちらにも斜めひび割れが発生した。エポキシ樹脂を使用した No.5 試験体には斜めひび割れ発生位置に白い筋状の剥離が生じていた。図-6~10 に各試験体の終局時の様子を示す。

#### 5.4.2 荷重-変位関係

No.1~No.3 試験体の荷重-変位曲線を図-11に示す。いずれの試験体もせん断ひび割れの発生まではほぼ同じ挙動を示した。また全ての試験体において、引張主鉄筋は降伏していない。

巻立てコンクリートのみでせん断補強のない No.1 試験体は、斜めひび割れの発生後に急激に荷重が低下し終局に至った。

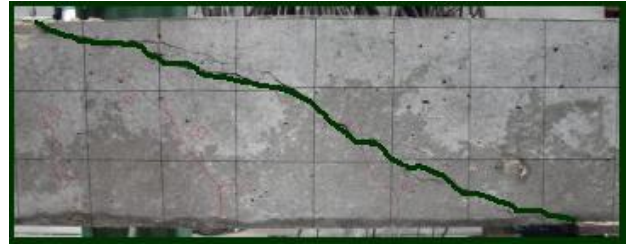


図-6 No. 1 試験体



図-7 No. 2 試験体

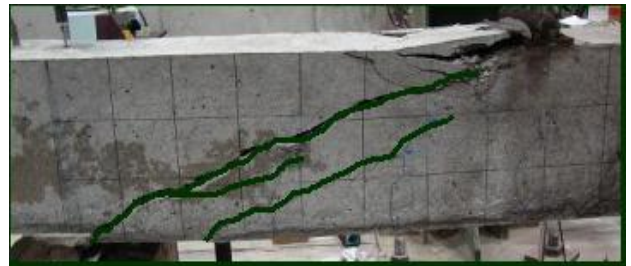


図-8 No. 3 試験体

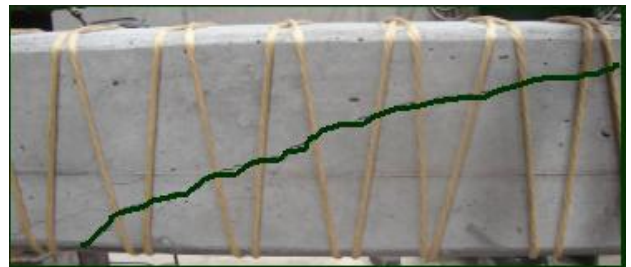


図-9 No. 4 試験体



図-10 No. 4 試験体

連続繊維ロープを巻立ててせん断補強した No.2 試験体は、斜めひび割れ発生後 No.1 試験体のような急激な荷重の低下は見られず、一度荷重は下がるが再度荷重が上がり徐々に低下して終局に至った。

No.2 試験体に巻立てた連続繊維ロープの断面積を 3 分の 1 にして巻立てた No.3 試験体は、No.2 試験体と同様な挙動を示したが連続繊維ロープの破断により急激に荷重が低下した。

連続繊維ロープ巻立てを施した試験体は、斜めひび割れの発生後に一時的に荷重が低下し、その後再度荷重が増加する傾向が見られる。これは、斜めひび割れの発生後、部材の変形が進むに従ってひび割れは開こうとするが、徐々に連続繊維ロープのゆるみがなくなり引張力が連続繊維ロープに伝達されはじめるためであると考えられる。

連続繊維ロープで補強した No.2, No.3 試験体と巻立てコンクリートのみの No.1 試験体を比較すると、連続繊維ロープ補強をした試験体の方がわずかにせん断耐力が向上したが、新設 RC はりのせん断補強筋の代替として使用した場合のように大幅なせん断耐力の向上は見られなかった。しかし、斜めひび割れ発生後の変形性状には、連続繊維ロープの効果が現れたといえる。

No.4, No.5 試験体の荷重-変位関係を図-12 に示す。No.4 試験体は斜めひび割れの発生後、最大荷重の増加は見られなかった。斜めひび割れの発生後の挙動は、連続繊維ロープ補強を施した試験体に見られる一度荷重が低下し再度増加する特徴が見られた。

No.5 試験体は No.4 試験体よりも荷重が増加した。

#### 5.4.3 連続繊維ロープの鉛直方向ひずみ分布

連続繊維ロープを巻立ててもせん断耐力が増加しなかった No.2, No.4 試験体の連続繊維ロープの鉛直方向ひずみ分布を図-13, 14 に示す。連続繊維ロープのひずみは、上縁および下縁のひずみが増加している。これは、ロープとコンクリートとの付着が切れているためにロープ全体で引張力を負担していることを示している。

連続繊維ロープを巻立ててせん断耐力が増加した、既往の研究の結果とエポキシ樹脂でロープとコンクリートとを一体化させた No.5 試験体の鉛直方向ひずみを図-15, 16 に示す。

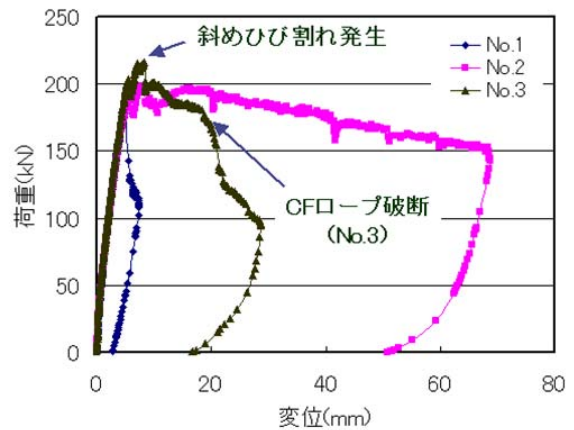


図-11 荷重-変位曲線 (No. 1~No. 3)

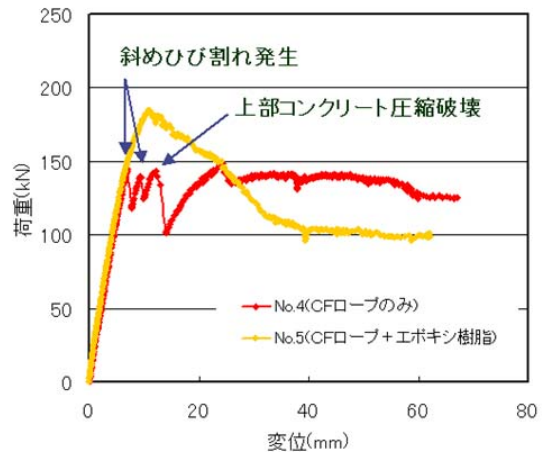


図-12 荷重-変位曲線 (No. 4~No. 5)

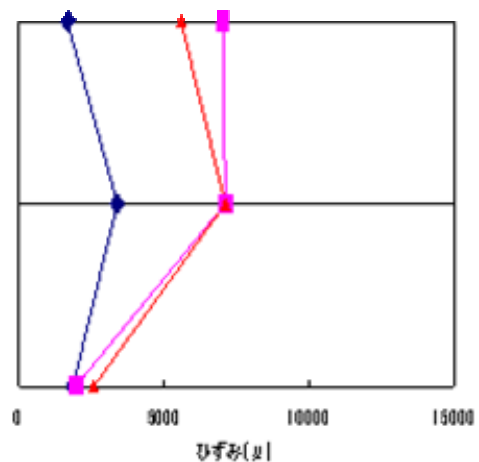


図-13 No. 2 試験体 (ロープ+巻立てコンクリート) の鉛直方向ひずみ分布

せん断耐力が増加したこの 2 体は、No.2, No.4 試験体とは異なり、上縁および下縁のひずみが増加していない。これは、上縁および下縁では連続繊維ロープとコンクリートとの付着が保たれていると考えられる。このため、連続繊維ロープとコンクリートとの間で付着が確保できれば、補強量によってせん断耐力が決まると考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、以下の知見が得られた。

- (1) 連続繊維ロープ巻立て補強は、コンクリートの崩落やはらみ出しを防ぐことができるので、鉄筋降伏後の RC 部材のじん性率を大幅に増加させることができる。
- (2) 連続繊維ロープ巻立て補強によるせん断耐力の増加は、付着が確保できれば補強量によってせん断耐力が決まる。
- (3) 既設 RC はりの外周に連続繊維ロープとコンクリートを巻立てる方法では、ひび割れの発生とともに徐々に付着が切れるのでせん断耐力を増加させられない。

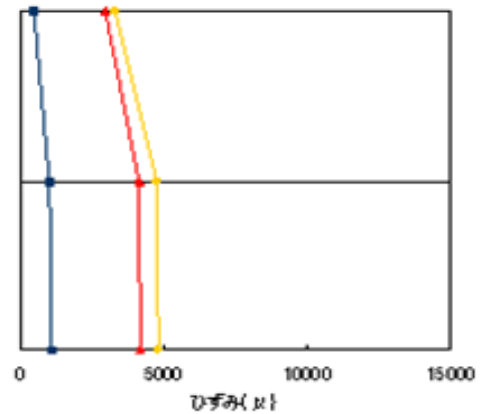


図-14 No. 4 試験体（ロープのみ）の鉛直方向ひずみ分布

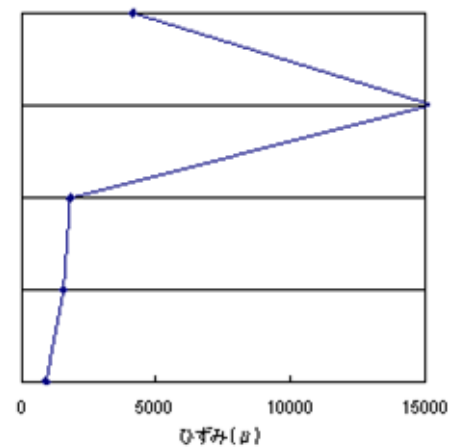


図-15 既往の研究結果（埋め込み）

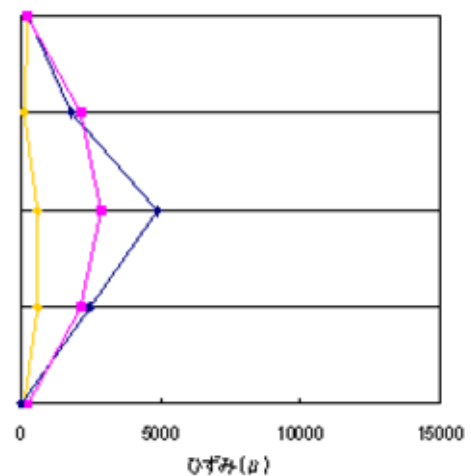


図-16 No. 5 試験体（エポキシ樹脂使用）の鉛直方向ひずみ分布