

# ロープ状連続繊維補強材を用いた既設建造物の補強

コンクリート研究室 松本 章裕  
指導教官 下村 匠

## 1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震以降、建造物の耐震性補強の重要性が高まっている。既設建造物の耐震補強には、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維シート巻立て工法があり、多くの実績をあげている<sup>1) 2)</sup>。しかし、これらの工法にはそれぞれ一長一短の部分があり、改善の余地がある。

本研究では、ロープ状連続繊維補強材(写真-1, 表-1)に注目している。ロープ状連続繊維補強材は、さまざまな形状に手作業で容易に加工できるので、配筋の作業性に優れる。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機能する。田坂らの研究では、新設時にロープ状連続繊維補強材をコンクリート中に埋め込み、せん断補強筋として用いることが可能であることを示した<sup>3) 4)</sup>。

本研究では、本補強材の作業性、高耐久性の特長を生かせると考えられる既設建造物の補強への適用について検討する。腐食性環境下における橋脚のRC巻き立て工法の代替工法となることを念頭に置き、ロープ状連続繊維補強材を既設建造物の外周に巻きつけた後、その保護にコンクリートを巻き立てることを考えた。

本補強工法は、2段階に分けて検討した。まず、ロープ状連続繊維補強材の巻き方、定着方法、コンクリート巻立てなどの補強効果について既設鉄筋コンクリートはり供試体の静的載荷試験により検討する。さらに耐震補強の効果について既設鉄筋コンクリート柱による正負交番載荷試験により検討する。



a) 組紐状 b) より紐状

写真-1 ロープ状連続繊維補強材

表-1 ロープ状連続繊維補強材の物性

実験	はり	柱
ロープの成形状態	組紐	より紐
断面積(mm <sup>2</sup> )	5.56	17.19
引張強度(MPa)	2070	1660
弾性係数(MPa)	94400	53300
破断ひずみ(%)	2.2	2.8

## 2. ロープ状連続繊維補強材を用いた RC はりの載荷試験

### 2.1. 概要

ここでは既存部材の外周にロープ状連続繊維補強材を巻付け補強した場合、埋設したせん断補強筋と同等の効果を発揮するかどうかを検討する。

### 2.2. 供試体概要

載荷試験用はりの概要を図-1と表-2, 表-3に示す。はりの左側半分を試験区間とした。供試体 No.1 は比較用のせん断補強筋なしの供試体である。供試体 No.2 では、ロープ状連続繊維補強材をせん断補強鉄筋の代替としての利用を想定し、最初からコンクリート中に埋設

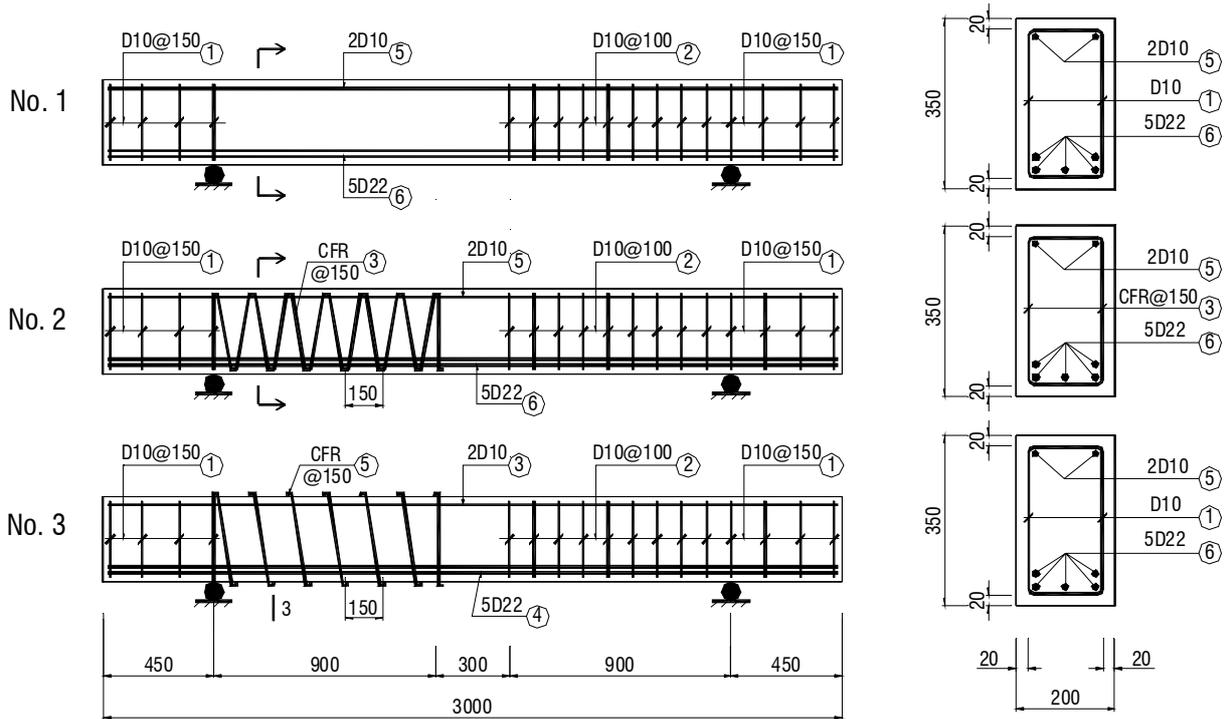


図-1 供試体概要<sup>3), 4)</sup>

した。定着部分は、鉄筋に結び付けた後、樹脂により固定した。

供試体 No.3 は、供試体 No.1 と同じ既存 RC はりの外周にロープ状連続繊維補強材を巻き付け補強したものである。ロープ巻き付け前に試験区間のコンクリートの隅角部は曲率半径 17mm の面取りを行った。定着部分は隙間なく 5 回巻き付け、エポキシ樹脂により固定した。供試体 No.1 と No.2 は既報のデータ<sup>3), 4)</sup>である。

ロープ状連続繊維補強材は、No.2, No.3 とともに同じ巻き付け間隔にし、特殊な機材を使用せず、人力により巻き付け作業を行った。荷重試験では静的単調荷重を行った。

### 2.3. 試験結果

図-2 に荷重-はり中央のたわみ関係を示す。いずれの供試体もせん断ひび割れ発生荷重 (98.1kN, 図中の矢印部分) まではほぼ同じ挙動を示した。せん断補強筋がない供試体 No.1 は、せん断ひび割れ発生後少し荷重の増加が見られたが、すぐに耐荷メカニズムが消失し終局

表-2 供試体概要

	a/d	巻付け間隔	用途
No.1	3.1	—	—
No.2		150mm	せん断補強筋
No.3		150mm	既設構造物の補強

※a/d せん断スパン比

表-3 使用材料の物性

主鉄筋の断面積(mm <sup>2</sup> )	1935
主鉄筋の降伏強度(MPa)	703
コンクリートの圧縮強度(MPa)	46.7

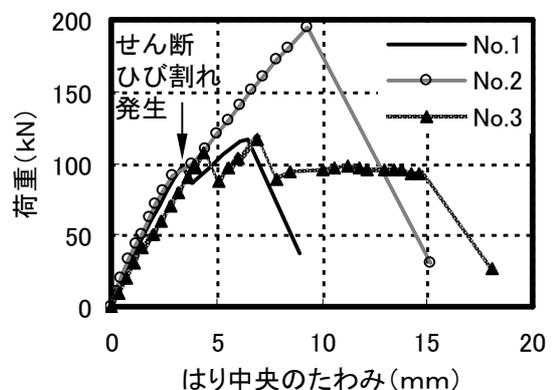


図-2 荷重-はり中央のたわみ関係

を迎えた。

供試体 No.2 は、せん断ひび割れ発生後、コンクリート中に埋め込まれたロープ状連続繊維補強材がひび割れを跨いでせん断力を受け持つことで荷重が増加した。その後ロープが破断し終局となった。部材の最大耐力は No.1 の 2 倍程度に向上した。

供試体 No.3 は、ひび割れ発生後の最大荷重は No.1 と同程度であったが、ピークを超過した後の挙動が大きく異なった。ピークを超過した後、耐力が一定のまま部材の変形が進む区間が見られた。その後ロープが破断し終局となった。最大荷重後は外周に巻き付けたロープ状連続繊維補強材が力を受け持っていると考えられる。しかし、ひび割れ発生直後は供試体 No.1 と同じ挙動をしていることから、ロープ状連続繊維補強材を既設構造物に巻き付けただけでは、コンクリートとの付着がないために、ひび割れ発生後すぐに力を分担することが困難であると考えられる。

### 3. ロープ状連続繊維補強材とコンクリート巻立てを併用した RC はりの載荷試験

#### 3.1. 概要

前掲 2 章の実験結果より、既存部材の外周にロープ状連続繊維補強材を巻き付けた場合、コンクリート中に埋設した場合と同様の補強効

果を得るためには、コンクリートとロープの間に付着が必要であることが示唆された。また、実構造物に適用することを考えた場合、衝突や環境作用等からロープを保護するために何らかの被覆を施すことが望ましいと考えられる。

そこで、既設部材の外周にロープ状連続繊維補強材を巻き付けた後にコンクリートで巻き立てることを考案し、どのような補強効果が得られるか検討する。

#### 3.2. 供試体概要

供試体の概要を表-4、表-5 と図-3 に示す。供試体 No.1 は比較用のせん断補強なしの供試体である。本実験シリーズは、せん断ひび割れ

表-4 供試体概要

	a/d	巻きつけ間隔	増し厚の厚さ
No.1	2.9	—	—
No.2		100mm 往復	15mm

※a/d せん断スパン比

表-5 使用材料の物性

主鉄筋の断面積(mm <sup>2</sup> )	286.5
主鉄筋の降伏強度(MPa)	385
コンクリート(はり)の圧縮強度(MPa)	46.0
巻立てコンクリートの圧縮強度(MPa)	30.6

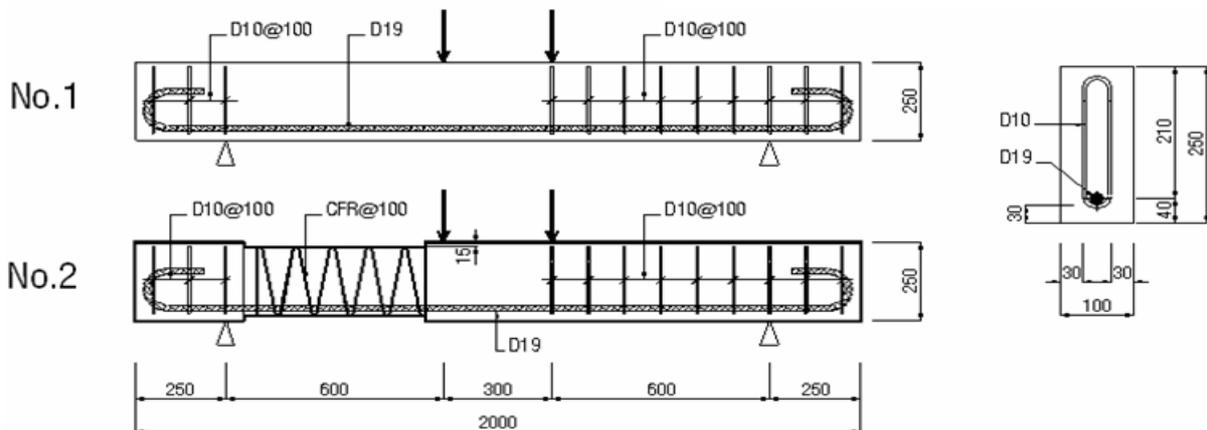


図-3 供試体概要

発生荷重  $V_c$  と、主鉄筋降伏荷重が計算上ほぼ等しくなるように諸元を決定した。連続繊維補強ロープを、柱部材の鉄筋降伏後のじん性補強に用いることを念頭に置いたためである。

供試体 No.2 は、ロープ状連続繊維補強材とコンクリート巻立てを併用する供試体である。なお、No.2 は、既存部材の試験区間のコンクリートの断面積を減らしておき、コンクリート巻立て後に No.1 と同じ断面積になるようにした。これは、実験に用いた供試体が小型であるので、巻立てコンクリートによる断面積増加によるコンクリートの分担せん断耐力  $V_c$  の増加が無視できない可能性があるため、実験上の措置として行ったものである。

供試体作製手順は次のようである。母部材のコンクリート打設後、試験区間の表面処理を行ってから養生を行った。養生終了後、隅角部の面取りを行い、ロープ状連続繊維補強材を巻き付けた。ロープ状連続繊維補強材は巻付け間隔 100mm とし、載荷点側から巻き始め、支点側に到達すると反転して載荷点側に向かって巻き付け、巻き始めと巻き終わりの部分を結んだ。樹脂による定着は行っていない。巻付け作業には人力により行った。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 15mm とし、骨材の最大寸法は 10mm とした。

### 3.3. 実験結果

図-4 に荷重-はり中央のたわみ関係を示し、写真-2 に終局時のひび割れ状況を示す。

供試体 No.1, No.2 とともに主鉄筋降伏までは同じ挙動を示した。供試体 No.1 は、主鉄筋降伏後、せん断ひび割れが 1 本生じて耐力を失い終局となった。一方、供試体 No.2 は、主鉄筋降伏後、複数のせん断ひび割れが発生したが、これらにより部材が終局状態にいたることはなく、大きな変形をした後、最終的に上部コンクリートが圧縮破壊し、破壊モードは、曲げ引

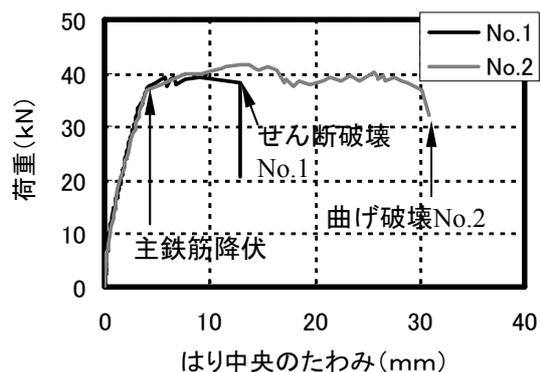
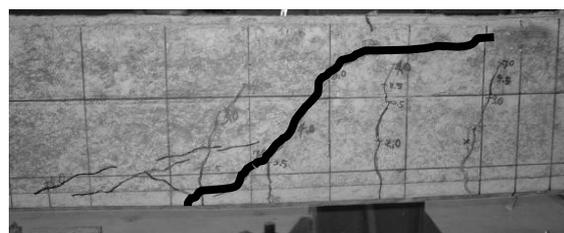
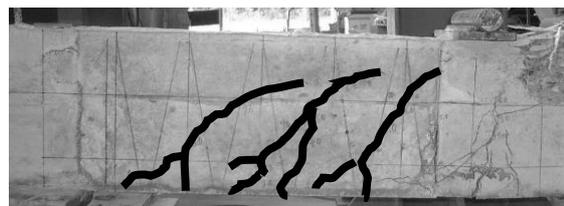


図-4 荷重-はり中央のたわみ関係



No.1 (補強なし)



No.2 (補強あり)

写真-2 ひび割れ状況

張破壊となった。すなわち、ロープ状連続繊維補強材とコンクリート巻立てにより部材の破壊モードをせん断破壊からじん性に富む曲げ破壊に改善することに成功した。

供試体 No.2 においてせん断ひび割れが複数本生じたのは、ひび割れ発生後ロープ状連続繊維補強材がひび割れを跨いで引張力を受け持ったためであると考えられ、巻立てコンクリートが付着の伝達に有効に機能することを示している。

## 4. ロープ状連続繊維補強材とコンクリート巻立てを併用した RC 柱の正負交番載荷試験

### 4.1. 概要

はり供試体の単調載荷試験の結果、ロープ状連続繊維補強材とコンクリート巻立てを併用

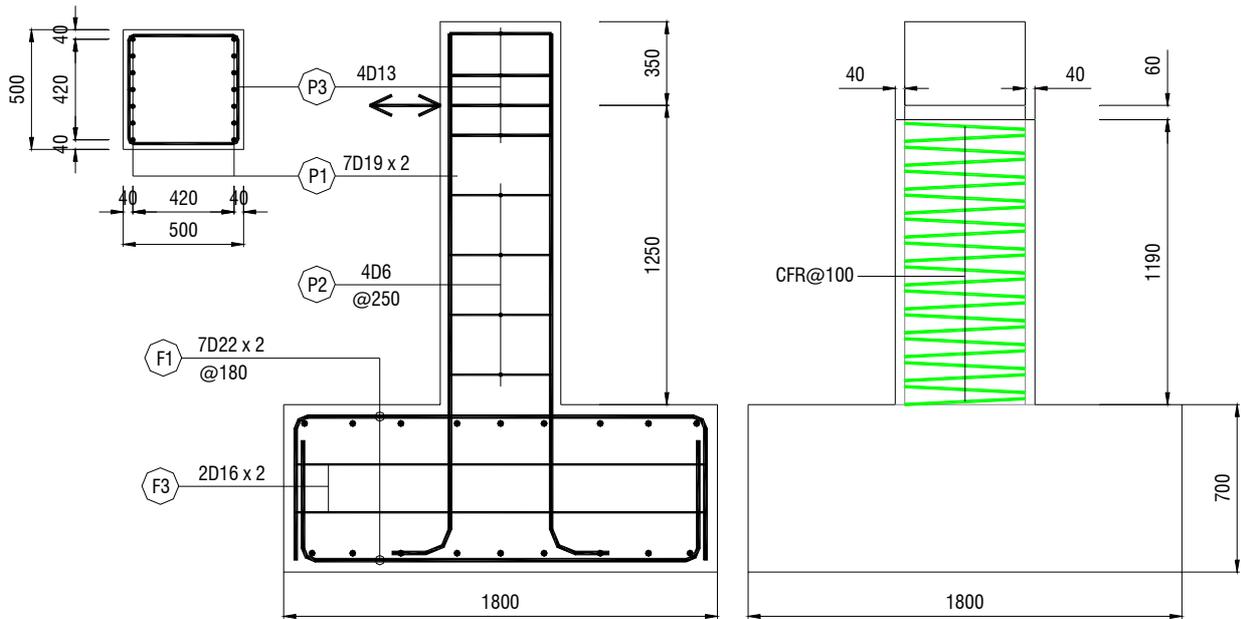


図-5 供試体概要の一例（左：配筋図，右：補強後の状態）

する補強工法が有効である可能性が示された。

そこで、より実構造物の状況に近い RC 柱供試体に本補強工法を適用し、正負交番載荷時の挙動を試験することとした。

#### 4.2. 供試体概要

図-5 と表-6 に供試体概要を示す。この供試体は著者らが過去に行った連続繊維シート巻立て補強に関する実験<sup>5)</sup>に用いたのと同じ諸元であり、無補強の場合、曲げ降伏とほぼ同時にせん断破壊する。

供試体 No.1 は、ロープ状連続繊維補強材を 100mm 間隔で巻き付け、供試体 No.2 はロープ状連続繊維補強材を 200mm 間隔で巻き付けたものである。これは補強量の違いによる補強効果の違いを調べるために行った。

ロープ状連続繊維補強材は、載荷点側から巻き始め、フーチング部に到達すると反転して載荷点側に向かって巻き付けた。その後、柱周囲に基部から型枠を設置し、巻立てコンクリートを打設した。供試体 No.1, No.2 とともに巻立てコンクリートの厚さは 40mm とし、粗骨材最大寸法 13mm、スランプ 14cm のコンクリートを用いた。締固め

表-6 使用材料の物性

主鉄筋の断面積(mm <sup>2</sup> )	2006
主鉄筋の降伏強度(MPa)	384
コンクリート(柱)の圧縮強度(MPa)	25.2
巻立てコンクリートの圧縮強度(MPa)	26.2

はバイブレータを用いて型枠外部から型枠に振動を加えることにより行った。

#### 4.3. 載荷方法

載荷ステップは、正負ごとの降伏荷重時の載荷点変位を  $1\delta$  とし、この整数倍を 1 ステップとして繰返し載荷を行った。繰返し回数はステップごとに正負 3 回とした。最大荷重を経験したあと、水平荷重が最大荷重の 8 割まで低下した時点を終局とし、載荷終了とした。

#### 4.4. 実験結果

図-6, 図-7 に荷重-載荷点変位関係を示す。供試体 No.1 では、正側負側で値の異なる降伏変位を採用して載荷変位を制御したため、正負非対称

となっている。この供試体は正負 7 $\delta$  の載荷まで耐えることができた。ただし、値の大きい正側の $\delta$ を基準に負側の終局変位を計算しなおすと 3 $\delta$ となった。

無補強時には曲げ降伏とほぼ同時にせん断破壊することを勘案すると、本補強工法によりじん性補強の効果はあったといえる。

供試体 No.2 は、正側負側で同じ値の降伏変位を採用して載荷変位を制御したため、正負対称となっている。この供試体は、正負 2 $\delta$ の載荷まで耐えることができた。また、補強量により補強効果の違いが見られることとなった。供試体 No.2 の補強量では、供試体 No.1 と比較すると十分な補強量が得られていないと考えられる。なお、供試体 No.1, No.2 ともに終局時においても、ロープが破断することはなかった。供試体に発生したひび割れは、供試体 No.1, No.2 ともに同様のひび割れであり、載荷点と柱基部を結ぶ斜めのせん断ひび割れであった。このひび割れは、無補強のものと同様であった。

## 5. 結論

本研究では、ロープ状連続繊維補強材を既設コンクリート部材の補強に適用するための基礎的な実験的検討を行った。以下の知見が得られた。

- (1) ロープ状連続繊維補強材を既設部材の外周に巻き付けただけでは、付着がないためコンクリート中に埋め込んだ場合と同じ補強効果は得られない。
- (2) ロープ状連続繊維補強材を巻き付けた後コンクリート巻立てを行うことで、ひび割れ発生後にロープがただちに力を受け持つ耐荷メカニズムが実現できる。
- (3) ロープ状連続繊維補強材とコンクリート巻立てを併用する補強工法は、既設鉄筋コンクリート柱部材のじん性に補強効果があることが示された。

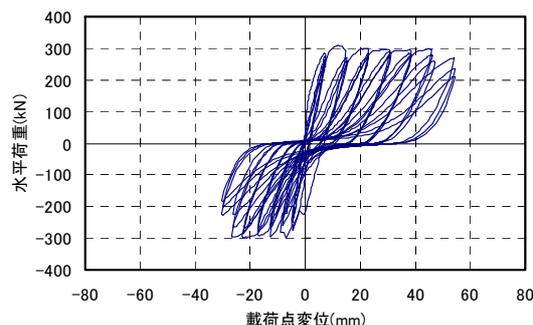


図-6 供試体 No. 1 (巻き付け間隔 100mm)

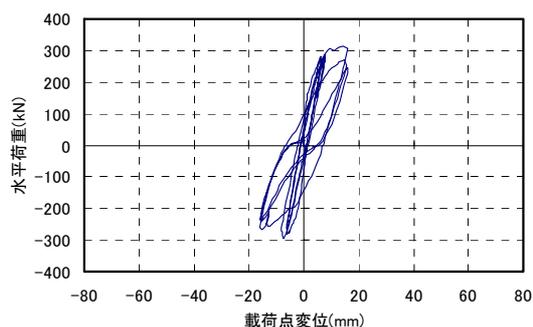


図-7 供試体 No. 2 (巻き付け間隔 200mm)

## 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書，1997.7
- 2) 日本コンクリート工学協会：連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書(II)，1998.5
- 3) Nguyen Hung PHONG, Takumi SHIMOMURA, Kenzou SEKIJIMA, Kyuichi MARUYAMA：Experimental Study on Shear Behavior of Concrete Beams Reinforced With Continuous Fiber Rope, Transactions of JCI, Vol.27, pp.1441-1446, 2005
- 4) 田坂 雄治, Nguyen Hung PHONG, 下村 匠, 関島 謙蔵：連続繊維ロープによるコンクリート部材のせん断補強, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, pp.465-466, 2005.9
- 5) 新保 学幸, 下村 匠, 丸山 久一：連続繊維シート補強 RC 柱部材のじん性予測に関する研究, コンクリート工学年次論文集 第 23 巻, pp.883-888, 2001