

炭素繊維シートによる RC 柱部材のねじり補強に関する研究

九州大学大学院 正会員 ○山崎智彦 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
九州大学工学部 学生会員 箆島隆司 九州大学大学院 学生会員 陶 媛媛

1. はじめに

近年，都市部のような狭隘な空間では，橋軸直角方向に偏心した逆 L 字型の RC 橋脚などが増えている．このような構造物に地震力が作用すると，部材にはねじりモーメントが生じることから，従来 2 次的と考えられてきたねじりを適切に評価する必要がある．一方で，コンクリート構造物の補修・補強方法として，炭素繊維シート（以下，CFRP）工法が着目されているが，ねじり補強に関する研究は少なく，その知見は未だ十分でない．

本研究では，無補強の RC 供試体，CFRP 補強を施した RC 供試体，および前載荷により損傷を与えた後に CFRP 補強を施した，RC 供試体に対し，一回繰返しの純ねじり漸増交番載荷を行い，CFRP のねじり補強効果を確認した．また，CFRP を帯鉄筋比に換算した補強 RC 部材の骨格曲線を精度よく再現できるかを検討した．

2. 実験概要

2.1 供試体概要

実験供試体を図 1 に示す．コンクリートは設計基準強度 40N/mm^2 で配合し，鉄筋は SD295 を使用した．CFRP は一般的な製品である繊維目付け 200g/m^2 を使用し，材料試験では引張強度 4037N/mm^2 ，破断ひずみ 1.67% であった．表 1 にコンクリート材料試験結果を示す．

2.2 検討ケース

表 2 に検討ケースを示す．CFRP 補強を行う 3 ケースのうち No.1 と No.2 で巻き方による比較，No.1 と，前載荷（純ねじり）により帯鉄筋降伏程度の損傷を有する No.3，前載荷（ねじり卓越）により帯鉄筋および主鉄筋降伏程度の損傷を有する No.4 により補強効果を検討した．次に，CFRP 補強効果の確認のために既往の実験データである無補強の No.5 とも比較した．補強方法は，帯状巻きは幅 30mm の CFRP 帯を 60mm 間隔で 2 層巻き，全面巻きは柱部全面に 1 層巻き（図 2）とし，両者は同量の巻付け量とした．CFRP の換算帯鉄筋比 ρ'_{cf} の算定式は『(旧) 日本道路公団試験所 橋梁研究室：炭素繊維による鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計・施工要領，1995.2.』に従う．載荷方法は，一回繰返しの純ねじり漸増交番載荷である．ただし，No.4 の前載荷は，ねじり卓越の複合応力載荷である．この時の軸力は，設計基準強度の 10% (640KN) である．

骨格曲線の評価は以下の様に行った．

- ① ひび割れ点は弾性理論を用いる．
- ② 降伏耐力は，実験よりひび割れ耐力の 1.44 倍とし，降伏ねじり角は弾性剛性を用いて求める．
- ③ 終局耐力（最大耐力）は立体トラス類似理論および斜め曲げ理論を用い，終局ねじり角は，降伏ねじり角の 15 倍とする．

キーワード：炭素繊維シート，補強 RC 供試体，ねじり

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 092-802-3374

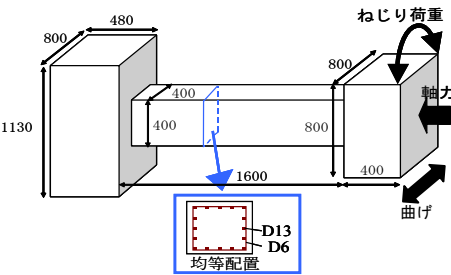


図 1 実験供試体の諸元 (mm)

表 1 コンクリート材料試験結果

No.	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング率 (N/mm^2)
1	52.9	4.0	3.53×10^4
2	55.4	4.6	3.46×10^4
3	51.9	4.0	3.47×10^4
4	53.3	4.0	3.33×10^4
5	35.3	4.1	2.39×10^4

表 2 検討ケース

No.	ctc(mm)	$\rho_s(\%)$	CFRP巻き方	$\rho'_{cf}(\%)$
1	60	0.58	帯状	1.25
2	60	0.58	全面	1.25
3	60	0.58	帯状	1.25
4	60	0.58	帯状	1.25
5	30	1.16	無補強	-

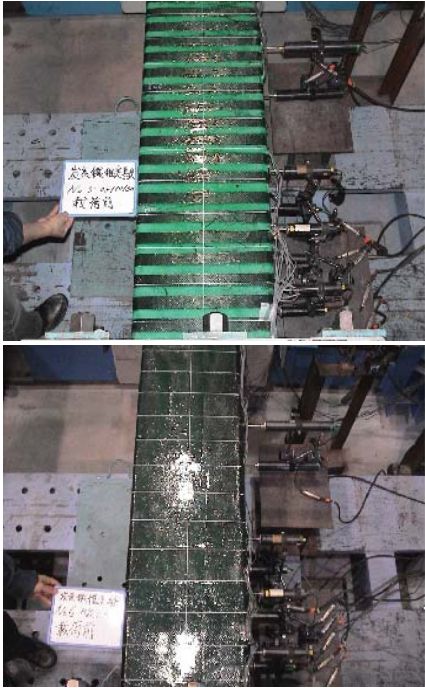


図 2 CFRP 補強供試体

(上：No.1 帯状巻き，下：No.2 全面巻き)

3. 実験結果

3.1 荷重－変位関係

図3に履歴曲線と評価式の値の比較を示す。c), d)は前載荷時の履歴曲線を重ねた。巻き方による比較a), b)においては, No.2がNo.1より最大耐力で2%上昇しているが, 大きな差異は見られない。次に, 損傷の有無の影響a), c), d)においては, No.3, No.4ともに最大経ねじり角以前の初期剛性は, No.1より低下する。また, それ以降の履歴形状はNo.1と同程度の勾配を描くが, No.4においては, 大きく耐力が低下した。これは, 前載荷による主鉄筋降伏のため, ねじりの耐力が大きく減少したためと考えられる。

CFRP を帯鉄筋比に換算して計算することで, CFRP 補強部材の骨格曲線を精度よく再現できるが, 前載荷により, 大損傷を受けた No.4 は, 損傷評価の検討が必要である。

補強効果の確認(図4)では, 補強有り, 補強無し初期剛性は同程度であり, CFRP 補強部材はCFRPの拘束効果により, 降伏点が20%程度上昇した。補強を有しない部材は降伏後に耐力が低下していくが, 補強供試体は部材降伏後も耐力が増加することから, CFRP 補強はねじりに対する補強に有効であることが分かる。CFRPのひずみは, 载荷の初期段階では生じず, 帯鉄筋降伏付近でひずみが生じ始めた。このことから, CFRPは帯鉄筋の降伏やコンクリートの破壊に伴う断面膨張により, ねじりを受ける部材に対して拘束効果を発揮するものと考えられる。

3.2 剛性比と等価減衰定数

図5, 6に各供試体の剛性比(当該ループの等価剛性と初期剛性の比)と等価減衰定数の変化を示す。剛性低下に関して, No.3は前載荷の範囲内で僅かに剛性比が小さいが, No.4においては剛性低下が顕著に現れた。No.1, 2, 5は同程度であることから, 巻き方, 補強の有無による差は無く, 損傷の程度によって低下していく。

等価減衰定数に関しては, No.1~4は無補強部材 No.5よりも等価減衰定数は小さく, 一定して10%程度であることから, ねじりに対するCFRP補強は部材の靱性を向上させる効果があるといえる。

4. まとめ

CFRPの巻き立てにより, RC柱部材のねじり耐力と靱性は大幅に向上し, CFRPの巻き方に関しては, 帯状巻きは, 全面巻きと同等の補強効果が得られた。損傷を有する部材の補強後のねじり履歴曲線をみると, ①帯鉄筋降伏が生じ始める程度の損傷であればCFRPによる補強は可能であること, ②主鉄筋が降伏しておれば, 耐力の向上は期待できないが, 靱性の向上は期待できることが分かる。

本研究で用いた評価式は, CFRPを帯鉄筋比に換算して計算することで, CFRP補強を施した柱部材の骨格曲線を精度よく再現することが可能である。

参考文献

- 1) 建設用先端複合材技術協会: 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物設計・施工マニュアル(案)(5訂版), 2003.10
- 2) 大塚久哲, 王堯, 高田豊輔, 吉村徹: 純ねじりを受けるRC部材の履歴特性に影響を及ぼすパラメータに関する実験的研究, 土木学会論文集, No.739/V-60, pp.93-104, 2003.
- 3) (旧) 日本道路公団試験所橋梁研究室: 炭素繊維による鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計・施工要領, 1995.2

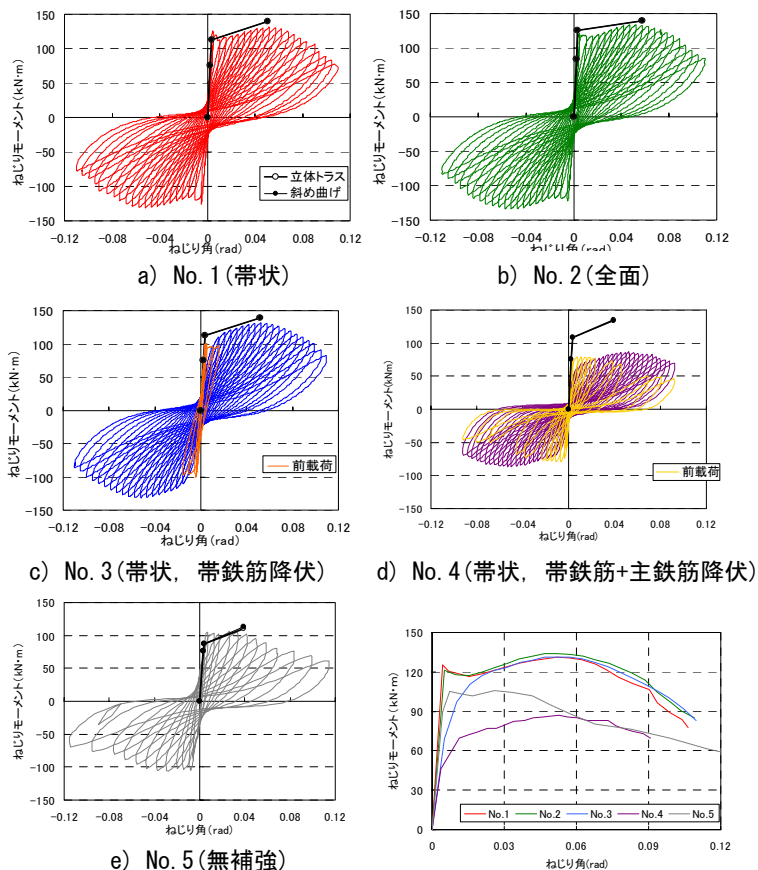


図3 履歴曲線と評価値

図4 包絡線

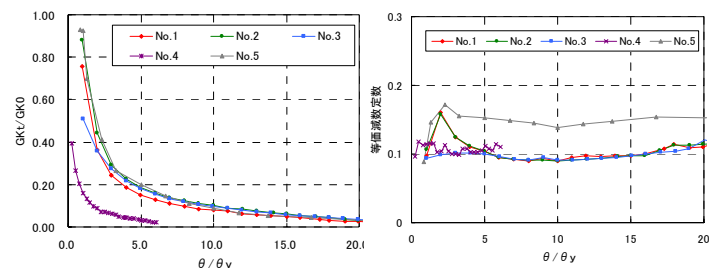


図5 剛性比の低下

図6 等価減衰定数