

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

九州大学工学部 学生会員○箴島 隆司
九州大学大学院 学生会員 宇山 友理

九州大学工学研究院 フェロー 大塚 久哲
九州大学大学院 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。

また一方で、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知見は未だ十分でなく、明確な設計指針も記されていない。¹⁾ 本研究では 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 RC 供試体に CFRP 工法を実施した RC 供試体への一回繰返しの純ねじり漸増載荷によって、CFRP の補強・補修効果を確認した。

2. 実験概要

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 SD294 を使用した。また、炭素繊維は、一般的な製品である繊維目付け 200g/m^2 を使用した。表-1, 2, 3 に材料試験結果を示す。

検討ケースを表-4 に示す。CFRP 補強・補修を行う 3 ケースのうち No.1 と No.2 で巻き方による比較、No.1 と前載荷で損傷を有する No.3 で補修効果の確認を行った。次に、CFRP 補強効果の確認のために無補強の 2 ケース (No.4, No.5) と比較した。²⁾ なお、帯状巻きは幅 30mm の帯を 30mm 間隔で 2 層巻き、全面巻きは柱部全面に 1 層巻き (図-2) であり、両者の巻付け量は等しい。CFRP の換算帯鉄筋比の算定式は式 (1), (2) に示す。³⁾

$$\rho'_{cf} = \rho_{cf} \times \frac{\sigma_f}{\sigma_{sy}} \quad \dots (1)$$

$$\rho_{cf} = \frac{A_{CF}}{b \times a'} \times 100 \quad \dots (2)$$

ここで、 ρ'_{cf} : 鉄筋換算帯鉄筋比 (%),

ρ_{cf} : CFRP 帯鉄筋比 (%),

σ_f : CFRP の設計引張強度 (N/mm^2),

σ_{sy} : 帯鉄筋の降伏引張強度 (N/mm^2),

A_{CF} : CFRP 巻付け量 (mm^2),

b : 部材幅 (mm),

a' : CFRP の配置幅 (mm)

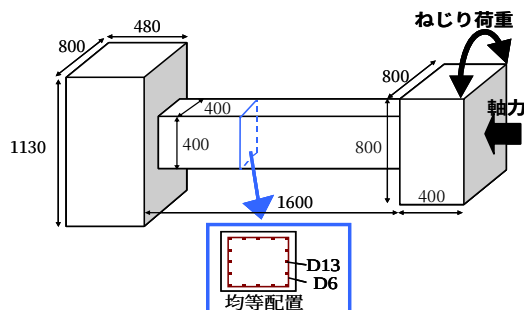


図-1 供試体外形図 (mm)

表-1 コンクリート材料試験結果

供試体No.	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング率 (N/mm^2)
No.1	52.9	4.0	3.53×10^4
No.2	55.4	4.6	3.46×10^4
No.3	51.9	4.0	3.47×10^4
No.4	45.7	4.2	2.73×10^4
No.5	35.3	4.1	2.39×10^4

表-2 鉄筋引張試験結果

鉄筋径	降伏応力 (N/mm^2)	降伏ひずみ ($\times 10^6$)	ヤング率 (N/mm^2)
D6	322.0	1823	1.77×10^5
D13	340.4	1885	1.80×10^5

表-3 CFRP 引張試験結果

	引張強度 (N/mm^2)	破断ひずみ (%)	ヤング率 (N/mm^2)
CFRP	4037	1.67	2.42×10^5

表-4 検討ケース

供試体No.	ctc(mm)	ρ_s (%)	CFRPの巻き方	ρ'_{cf} (%)	$\rho_s + \rho'_{cf}$ (%)
No.1	60	0.58	帯状巻き	1.25	1.83
No.2	60	0.58	全面巻き	1.25	1.83
No.3	60	0.58	帯状巻き	1.25	1.83
No.4	60	0.58	-	-	0.58
No.5	30	1.16	-	-	1.16



図-2 CFRP 補強供試体 (左: No.1, 右: No.2)

3. 実験結果

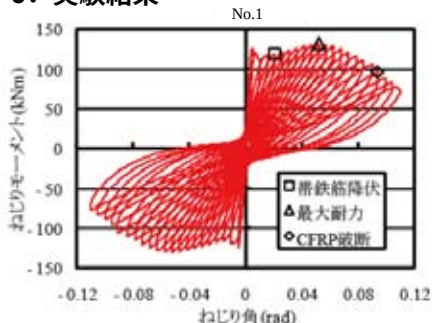


図-3 ねじり荷重-変位曲線(No.1)

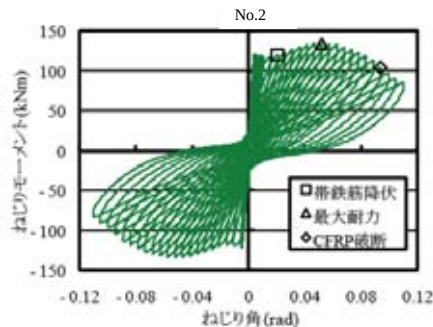


図-4 ねじり荷重-変位曲線(No.2)

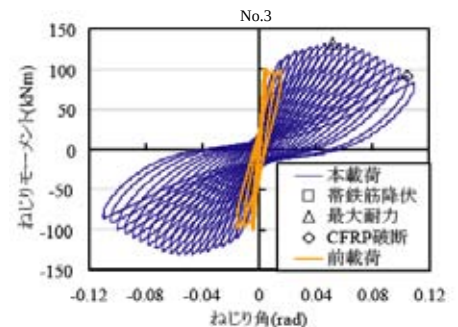


図-5 ねじり荷重-変位曲線(No.3)

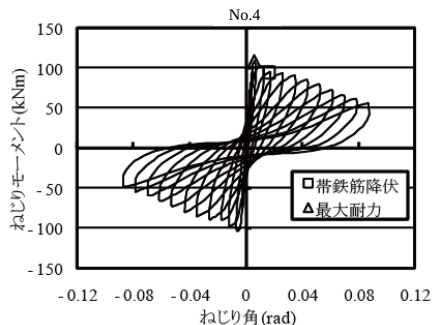


図-6 ねじり荷重-変位曲線(No.4)

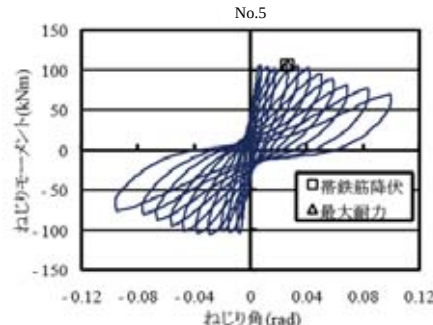


図-7 ねじり荷重-変位曲線(No.5)

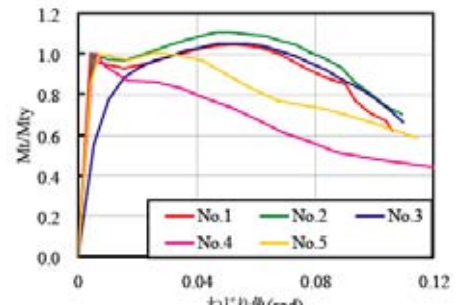


図-8 包絡線

3.1 荷重-変位曲線

図-3～図-7 に荷重-変位曲線を示す。また、弾性域はコンクリート強度が支配的なため、部材降伏時のねじりモーメントで除して無次元化した包絡線を図-8 に示す。

まず、巻き方の比較 (No.1, No.2) では大きな差異は見られないが、全面巻きの方が帯状巻きより最大耐力で6%上昇している。

次に、損傷の有無の影響 (No.1, No.3) に関して、No.3 は前載荷による最大経験ねじり角以前では No.1 より初期剛性が小さくなるが、最大経験ねじり角以降は No.1 とほぼ同じ履歴ループ・包絡線を描き、損傷部材にも十分な補強効果があることが分かる。最後に、補強効果の確認 (No.1～No.3 と No.4) では、補強前は部材降伏後に耐力が低下するが、補強供試体は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。また、No.5 と比較しても、補強供試体は十分な耐力と靱性を有することが分かる。

3.2 剛性比と等価減衰定数

図-9, 10 に各供試体の剛性比と等価減衰定数を示す。剛性低下に関しては、No.4 と No.3 の前載荷時はほぼ同じで、他の供試体より僅かに剛性比が小さい。No.1,2,5 はほぼ同じである。No.3 本載荷は前載荷の影響により初期剛性が小さいため、見かけ上緩やかに剛性が低下する。等価減衰定数に関しては、No.1～No.3 はほぼ一定して10%であり、No.4,5 は剛性低下が大きい分、等価減衰定数は大きい値を示す。

4. まとめ

CFRP で補強すると、RC 柱部材のねじり耐力と靱性が大幅に向上する。CFRP の巻き方の影響に関して、帯状巻きも、ほぼ全面巻き相当の補強効果が得られる。損傷の有無に関して、最大経験ねじり角以降のねじり履歴曲線はほぼ同じ結果となった。

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, 王亮, 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