

炭素繊維シートによりねじり補強された RC 柱の性能に関する研究

九州大学工学府 学生会員 ○陶 媛媛
九州大学工学部 学生会員 篠島 隆司

九州大学工学研究院 フェロー 大塚 久哲
九州大学工学研究院 正会員 山崎 智彦

1. はじめに

近年、立地条件の制約や長大橋梁の増加に伴い、橋軸直角方向に偏心した逆 L 字型の RC 橋脚を有する高架橋、さらには、長大 RC アーチ橋などが目立つようになってきた。これらの構造物が地震力を受けた場合、部材には、曲げモーメントに加えて大きなねじりモーメントが生じることになるため、ねじりモーメントの作用が無視できない。また一方で、コンクリート構造物の補修・補強方法として、強靱かつ軽量であり、優れた施工性を有する炭素繊維シート（以下、CFRP と記す）工法が着目されている。CFRP で補強されたコンクリート部材の曲げやせん断に関する補強は数多く報告されているが、ねじりに関する実験的研究は非常に少なく、その知見は未だ十分ではなく¹⁾、設計指針類にも記されていない²⁾。本研究では、ねじりを受ける RC 柱部材の CFRP 補強について述べる。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

実験に用いた供試体の外形寸法を図-1に示す。断面は $400 \times 400 \text{ mm}$ の正方形断面である。コンクリートは設計基準強度 40 N/mm^2 で配合し、鉄筋は SD295 を使用した。

2.2 検討ケース

検討ケースは表-1に示す 10 体の供試体であり、①帯鉄筋間隔(ctc)、②補強の有無、③損傷の有無、④損傷の程度、⑤CFRP の巻き方、⑥載荷タイプをパラメータとした。なお、全面巻きは炭素繊維を柱本体部分全体に積層数 1 層で巻き、帯状は 30mm 間隔、30mm 幅で 2 層巻きしたものであり、両方で巻き付け量は等しい。帯鉄筋間隔 60mm の供試体に巻き付けると、換算帯鉄筋間隔は 20mm と同等となる。表-2に供試体のコンクリート材料試験結果を示す。

2.3 載荷方法

載荷方法は、軸力 640 kN (4 N/mm^2) を保持した状態で、純ねじり正負交番載荷試験、および、曲げとねじりの複合荷重正負交番載荷試験を行う。与える変位は、ねじり部材降伏角である $\theta_y = 0.005 \text{ rad}$ を基準変位として、 $\pm 10\theta_y$, $\pm 20\theta_y$, $\pm 30\theta_y$, …と正負交番の整数倍で変位制御により載荷を行った。

3. 実験結果

3.1 CFRP 補強効果の比較

図-2に No.1~No.4 の履歴曲線および包絡線を示す。No.1~No.3 は帯鉄筋間隔が異なる無補強の供試体であり、No.4 は帯鉄筋間隔 60mm の供試体を CFRP 補強したものである。これらの比較により、帯鉄筋間隔と CFRP 補強の有無の影響を確認した。No.1~No.3 より、帯鉄筋間隔は初期剛性に影響を与えないが、部材降伏後は帯鉄筋間隔が小さいほど最大耐力が向上する。No.3 と No.4 より、CFRP 補強した ctc60mm の部材は無補強の部材に比べ最大耐力が 20%ほど向上し、

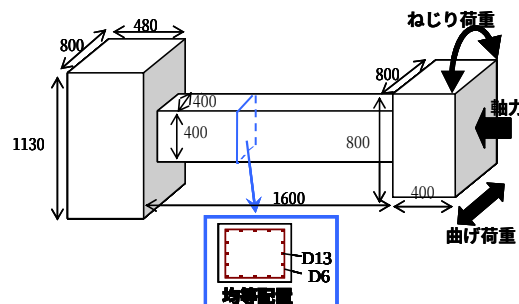


図-1 供試体外形図 (mm)

表-1 検討ケース

ケース No.	帯鉄筋間隔 (mm)	CFRPの 配置	目標載荷比率		軸力 (N/mm ²)	実験 年度	
			$\Delta M_t / \Delta M_b$	載荷タイプ			
1	20	無補強	-	(90°)	純ねじり	4.0	H21
2	30	無補強					H13
3	60	無補強					H13
4	60	帯状(2層)					H20
5(前)	60	無補強					H20
30°まで							
5(本)	60	帯状(2層)					H21
6(前)	60	無補強					
70°まで							
6(本)	60	帯状(2層)					H20
7	60	全面(1層)					
8	30	無補強	1.24(63°)	複合載荷 (中間型)	H15		
9	60	無補強	1.09(65°)		H14		
10	60	帯状(2層)	1.08(58°)		H21		

表-2 コンクリート材料試験結果

ケース No.	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)
1	23	52.3	4.4	3.43E+04
2	11	35.3	4.1	2.39E+04
3	15	45.7	4.2	2.73E+04
4	31	52.9	4.0	3.53E+04
5(前)	25	51.9	4.0	3.47E+04
5(本)	39	-	-	-
6(前)	12	51.7	-	3.14E+04
6(本)	24	54.9	4.4	3.24E+04
7	28	55.4	4.6	3.46E+04
8	33	50.4	4.0	3.55E+04
9	27	35.2	3.4	3.00E+04
10	21	53.3	4.2	3.37E+04

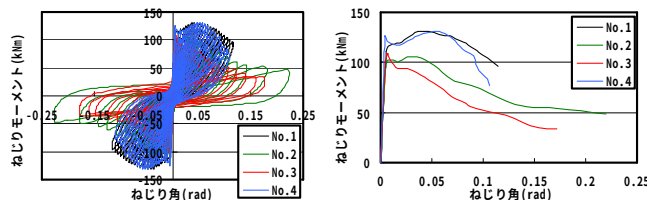


図-2 ねじり荷重-変位曲線と包絡線 (No.1~No.4)

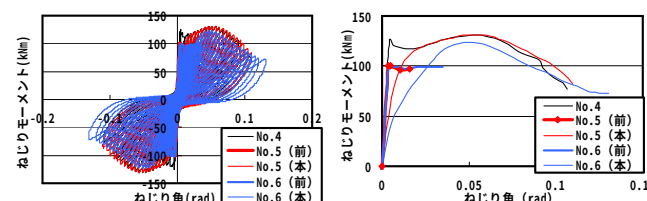


図-3 ねじり荷重-変位曲線と包絡線 (No.4~No.6)

ctc20mm 相当の耐力となった。

3.2 損傷有無および損傷程度の比較

図-3 に No.4~No.6 の履歴曲線および包絡線を示す。No.4~No.6 は CFRP を帯状 2 層巻き立て補強した供試体である。No.4 は損傷無し、No.5 および No.6 は異なる損傷程度の損傷がある。No.5 は 30_y の前載荷による小さな損傷を有し、No.6 は 70_y の前載荷による大きな損傷を有する。これらの比較により、損傷の有無および損傷程度の影響を確認した。

No.4~No.6 より前載荷で載荷した範囲内においては、損傷を有すると、損傷のない場合に比べて剛性が低下し、損傷の程度が大きいほどその低下が大きい。前載荷における最大ねじり角以降は、損傷が小さいと、損傷がない場合の挙動とほぼ同じであるが、損傷が大きいと、損傷のない場合に比べ、最大耐力が低下する。

3.3 CFRP 巻き方の比較

図-4 に No.4 (2 層帯状巻き) と No.7 (1 層全面巻き) の履歴曲線および包絡線を示す。両者の巻き付け量は等しい。これらの比較により、CFRP 巻き方の影響を確認した。

CFRP 巻き方による比較では、初期剛性、履歴曲線また包絡線に大きな差異は見られず、巻き付け量が等しい場合、巻き方による影響は殆どないといえる。

3.4 複合載荷に対する CFRP のねじり補強効果の比較

図-5、図-6 に No.8~No.10 のねじりと曲げの履歴曲線および包絡線を示す。No.8 と No.9 は帯鉄筋間隔が異なる無補強の供試体であり、No.10 は帯鉄筋間隔 60mm の供試体を CFRP 補強した供試体である。No.8~No.10 はねじりおよび曲げの複合載荷を行う。これらの比較により、複合載荷に対する CFRP のねじり補強効果を確認した。

複合載荷の場合は、既往の複合荷重交番載荷実験より、無補強の場合、複合荷重を受けると純荷重時に比べ、耐力と変形性能が低下することが明らかになっている³⁾。

まず、ねじりに対する補強効果を確認する。No.8~No.10 より、複合載荷に対し、帯鉄筋間隔および CFRP 補強の有無は初期剛性に影響を与えない。No.9 と No.10 より、CFRP 補強した帯鉄筋間隔 60mm 部材は無補強の部材に比べ、最大ねじり耐力が向上するが、帯鉄筋間隔 30mm 無補強の No.8 に比べ、最大耐力が若干小さい。したがって、複合載荷時の CFRP 補強は曲げ荷重の存在によりその効果が減じられることが分かる。次に曲げに対する補強効果を確認する。No.8 と No.9 より、帯鉄筋間隔は初期剛性および曲げ耐力に影響を与えない。No.9 と No.10 より、CFRP 補強した部材は無補強の部材に比べ、初期剛性が小さいが、最大曲げ耐力が向上する。これは、巻き付けた CFRP シートが圧縮側のコンクリートを拘束し、かぶり剥落を抑制することにより、有効断面が保持されるためであると考えられる。

以上より、複合載荷においては、ねじりに対する CFRP の有効性は若干落ちるものの、曲げモーメントに対しては最大耐力と靱性がともに向上することが分かった。

4. まとめ

CFRP による RC 柱部材の補強は、純ねじり載荷に対する最大ねじり耐力を大幅に向上させることができ、損傷を有する供試体に対しても、靱性および耐力を向上させることができるが、損傷が大きいすぎると、最大耐力が低下する。複合載荷に対し、CFRP 補強工法として有効であるが、純ねじり載荷よりねじり補強効果が著しくないことが分かった。

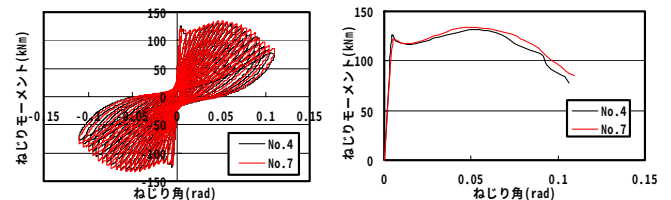


図-4 ねじり荷重-変位曲線と包絡線 (No.4 と No.7)

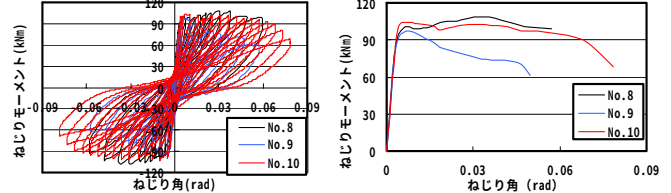


図-5 ねじり荷重-変位曲線と包絡線 (No.8~No.10)

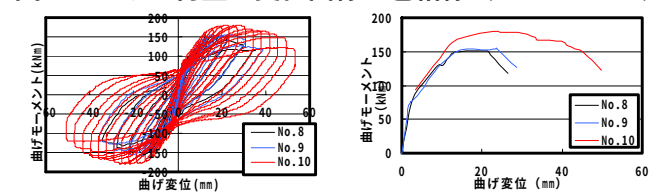


図-6 曲げ荷重-変位曲線と包絡線 (No.8~No.10)

参考文献 1)大塚久哲, 宇山友理, 筏島隆司, 陶媛媛: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.739-744, 2009. 2)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 3)大塚久哲, 竹下永造, 浦川洋介: 軸力, 曲げ/せん断, 及びねじりの複合荷重を同時に受ける RC 部材の耐震性能と相関特性, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.123-139, 2005.10