

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

九州大学工学研究院 正会員 ○山崎智彦 九州大学工学研究院 フェロー 大塚久哲
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 茂島隆司

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などが目立ってきた、これらの構造物に地震力が作用した部材は、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。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。

ここで、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。

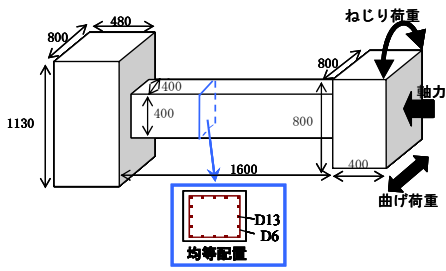


図 1 供試体外形図 (mm)

表 1 検討ケース

ケース No.	帯鉄筋間隔 (mm)	CFRP の配置	目標荷重比率		軸力 (N/mm ²)
			Mt/Mb	載荷タイプ	
1	20	無補強	- (90°)	純ねじり	4.0
2	30	無補強			
3	60	無補強			
4	60	帯状(2層)			
5(前)	60	無補強			
3θyまで	60	無補強			
5(本)	60	帯状(2層)			
6(前)	60	無補強			
7θyまで	60	無補強			
6(本)	60	帯状(2層)			
7	60	全面(1層)	複合載荷 (中間型)		
8	30	無補強	1.24 (63°)		
9	60	無補強	1.09 (65°)		
10	60	帯状(2層)	1.08 (58°)		

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

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 400×400mm の正方形断面である。コンクリートは設計基準強度 40N/mm² 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、炭素繊維は柱部分に、全面巻きは積層数 1 層で巻き、帯状は炭素繊維幅 30mm を中心間隔 60mm で 2 層巻きとし、両者の巻き付け量は等しい。ctc60mm の供試体に巻き付けた場合、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 640kN(4 N/mm²)を保持した状態で、純ねじり正負交番載荷試験、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 θ_y=0.005rad を基準角度とし、±10_y、±20_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 の帯鉄筋間隔が異なる無補強の供試体と No.4 の ctc60mm の供試体に CFRP 補強した供試体との比較により、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、帯鉄筋間隔による初期剛性の差は見られないが、部材降伏後は間隔が小さいほど最大耐力が向上した。No.3 と No.4 より、CFRP 補強した部材は無補強の部材に比べ最大耐力が 20%ほど向上し、ctc20mm 相当の耐力となった。

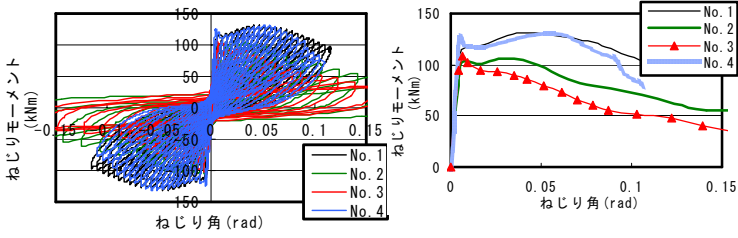


図 2 ねじり荷重－変位曲線と包絡線 (No. 1～No. 4)

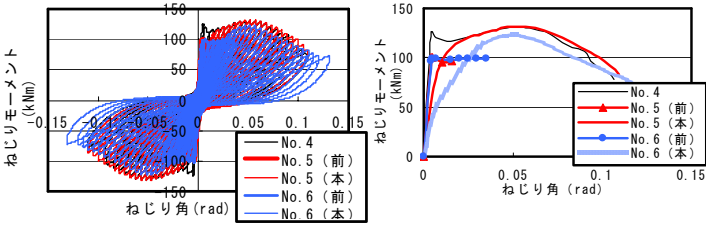


図 3 ねじり荷重－変位曲線と包絡線 (No. 4～No. 6)

キーワード：CFRP、RC 柱部材、ねじり、耐震補強

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

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は無損傷、No.5は 30_y の前載荷により部材中央部に帯鉄筋初降伏程度の損傷を有し、No.6は 70_y の前載荷により大きな損傷を有し、最大荷重は維持できている状態である。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。

まず、前載荷で載荷した最大ねじり角以前では、損傷を有すると、無損傷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。最大ねじり角以降は、無損傷と 30_y 程度の損傷では同程度の挙動を辿っていくが、 70_y 程度の損傷を有すると、無損傷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、巻き方による大きな影響はない。

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はctc30mm、No.9とNo.10は、ctc60mmであり、No.8とNo.9は無補強の供試体、No.10は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、既往の無補強による複合荷重交番載荷実験より、複合荷重を受けると、ねじりおよび曲げの純荷重時に比べ、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ctc60mm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、ctc30mm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低下することが分かる。

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。

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る。また、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、大きな損傷を有すると、最大耐力が低下する。複合載荷に対しては、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。

参考文献

- 1) 大塚久哲, 宇山友理, 箆島隆司, 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

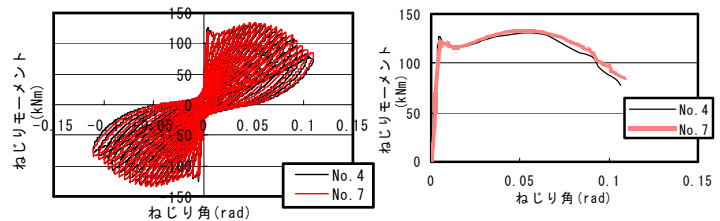


図4 ねじり荷重-変位曲線と包絡線 (No. 4 と No. 7)

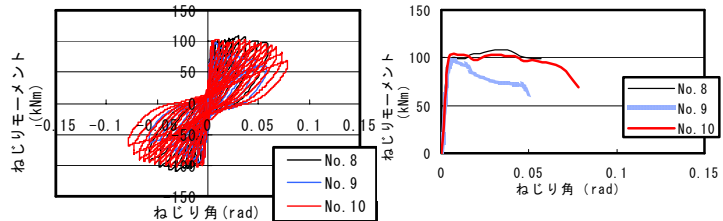


図5 ねじり荷重-変位曲線と包絡線 (No. 8～No. 10)

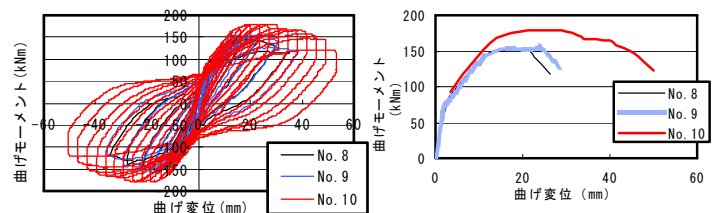


図6 曲げ荷重-変位曲線と包絡線 (No. 8～No. 10)