

大阪市立大学工学部 学生員○幸田 真也
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
 三菱樹脂株式会社 正会員 久部 修弘

1. 研究背景および目的

腐食による板厚減少や設計活荷重の増加による鋼部材の作用応力の増加に対応すべく、溶接あるいはボルト接合により鋼板を追加する補強工法が採用されている。しかし、このような従来の補強工法では補強部材を運搬する重機が必要であり、施工時の騒音、ボルト孔開削による断面欠損、溶接熱による残留応力の影響など様々な施工上の制約・留意点が存在する。一方、高弾性 CFRP 板（炭素繊維強化樹脂板）を接着する工法が着目されている。高弾性 CFRP 板は鋼材の約 2.5 倍の弾性係数を有し、鋼材の比重の 1/4 と軽量であり、補強効率に優れ、接着樹脂で構造物表面に接着できるなど、施工上の利点がある。しかし、鋼構造物に高弾性 CFRP 板を接着する場合には、継手部やダイヤフラムなどの障害物によって連続して CFRP 板を接着できず、十分な接着長が確保できない場合には CFRP 板端部からの剥離や補強効果の低下が懸念される。

そこで、本研究では偏心軸方向圧縮力を受ける細長い鋼製柱を高弾性 CFRP 板で補強する場合を対象に、偏心圧縮実験を行い、CFRP 板の接着長（接着パターン）が補強効果に及ぼす影響を評価している。

2. 実験供試体の設計

実験供試体は、両端がピン支持された細長比パラメータ¹⁾が 0.7 程度となる供試体を計 4 体、1 本の鋼管から製作した。CFRP 板は、図-3 に示すように、圧縮側と引張側とも同じパターンで接着し、CFRP 板の断面寸法は 20% 程度の応力低減を目標に決定した。また、CFRP 板の接着枚数は 1,3,7 枚と変化させ、図-4 に示す接着長で接着する。CFRP 板の接着間隔は 4mm に設定した。ここで、供試体名の数字は CFRP 板の接着枚数を表している。CR-3V は CFRP 板端部を V 形加工し、CFRP 板端部での応力集中の緩和を図った供試体であり、端部に加工を施さない CR-3

と補強効果を比較する。供試体に使用する鋼管および CFRP 板の材料試験結果を表-1 に示す。偏心量はトラス弦材の実績を参考に 12mm を目標とした。CFRP 板接着前の鋼管柱（UR-0）に、弾性範囲内で偏心圧縮力を載荷し、補強前の基準供試体とする。

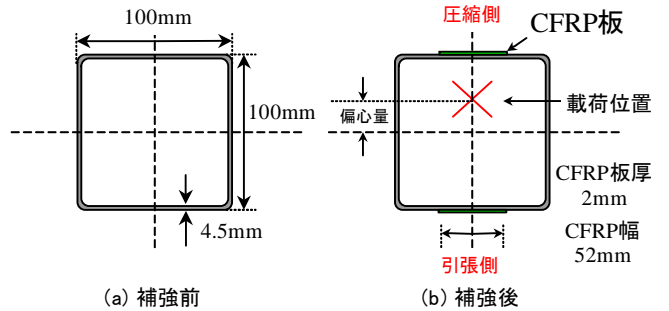


図-3 供試体断面寸法

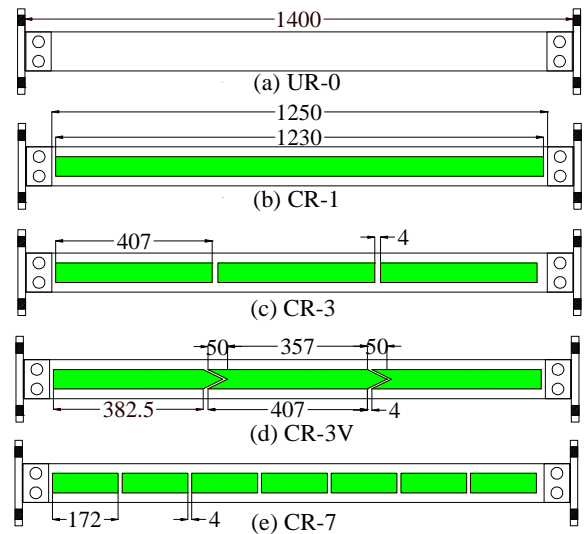


図-4 CFRP 板接着パターン（側面図，単位:mm）

表-1 鋼管と CFRP 板の機械的性質

	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	伸び (%)
鋼管	347.3	485.4	2.09×10 ⁵	0.305	25.6
CFRP板	-	1491.9	4.43×10 ⁵	-	-

3. 偏心圧縮実験結果

荷重-軸方向変位曲線を図-5 に示す。荷重は圧縮側 CFRP 板が剥離あるいは破断するまで線形的に増加する。最大荷重後は、荷重は徐々に低下し、引張側 CFRP 板が剥離すると、急激に低下する。

補強後の剛性の変化に着目した補強効果を表-2 に示す。補強効果は CR-1>CR-3V>CR-3>CR-7 の順、すなわち CFRP 板 1 枚あたりの接着長が長いほど向上することがわかる。接着長の等しい CR-3 と CR-3V を比較すると、CR-3V は CR-1 とほぼ同等な補強効果を示す。また、表-2 に示すとおり CR-1 の剥離荷重が最も高く、1 枚あたりの接着長が短い CR-7 では CR-1 と比較すると、剥離荷重は 15% 低下するものの剥離後の荷重低下量は少ない。これは複数板を接着する場合には、1 枚の板に剥離が生じて、他の板が有効に働いて荷重低下を低減できるためである。

CFRP 板による鋼管の応力低減効果に着目し、100kN 荷重時の柱中央部における鋼管および CFRP 板の荷重分担率を算出すると、表-3 に示すとおりである。CR-7 では CFRP 板の荷重分担率が、鋼管と CFRP 板が一体となり挙動すると仮定した場合の荷重分担率である計算値 (=23.6%) を下回り、十分な補強効果が得られない。

圧縮側 CFRP 板の剥離あるいは破断は、いずれの実験供試体でも部材中央付近で生じており、接着長が短いと板端部から剥離が起こる傾向が見られる。破壊箇所のひずみは表-4 に示すとおりである。

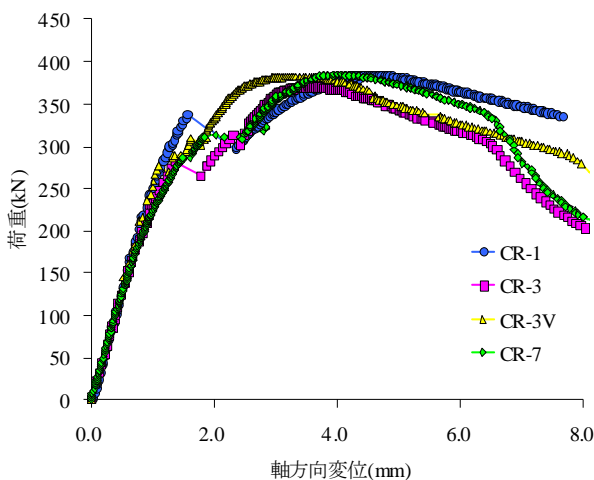


図-5 荷重-軸方向変位曲線

表-2 補強効果と剥離荷重

供試体名	UR-0	CR-1	CR-3	CR-3V	CR-7
初期剛性 (kN/mm)	222.9	273.1	252.6	269.8	241.8
補強効果 (%)	0.0	22.5	13.3	21.1	11.0
剥離荷重 (kN)	-	337.8	282.0	276.5	286.5

表-3 鋼管と CFRP 板の荷重分担率

P=100kN	実験値 (%)					計算値 (%)
	UR-0	CR-1	CR-3	CR-3V	CR-7	補強後
鋼管	100	75.6	76.0	75.9	87.5	76.4
CFRP	0	24.4	24.0	24.1	12.5	23.6

表-4 剥離あるいは圧縮破壊時のひずみ

	CR-1	CR-3	CR-3V	CR-7
破壊箇所	板中央部	板端部	板端部	板端部
破壊形式	圧縮破壊	剥離	剥離	剥離
鋼ひずみ (μ)	1439	1741	2863	5164
CFRP板ひずみ (μ)	1405	143	243	246

4.FEM 解析による非有効接着長の同定

CFRP 板の接着枚数を増やすと、補強効果の低下が認められたことから、設計計算で補強効果を過大評価しないために CFRP 板端部には補強に寄与しない接着長（非有効接着長という）を考える。実験供試体を弾塑性有限変位解析プログラム EPASS/USPP によりモデル化し、CFRP 板の接着長を変化させることによって非有効接着長を算定すると、表-5 に示すとおりである。すなわち、CFRP 板 1 枚あたり、CR-1 と CR-3 では 200mm、CR-7 では 120mm の非有効接着長を考慮すれば、実験により得られた補強効果を解析により計算できることがわかった。

表-5 解析結果

供試体名	有効接着長 (mm)	非有効接着長 (mm)	実験と解析の差 (%)
CR-1	1230	0	8.44
	1030	200	2.86
CR-3	407	0	17.58
	207	200	2.09
CR-7	172	0	22.25
	52	120	2.03

5.結論

本研究では、高弾性 CFRP 板の接着長（接着パターン）が補強効果に及ぼす影響を評価するため、CFRP 板により補強した鋼製柱の偏心圧縮実験を行い、以下の結論を得た。

- 1) CFRP 板 1 枚当たりの接着長が短くなるにつれて補強効果が低下する。CFRP 板端部での応力集中を緩和する場合には、この低下を軽減できる。
- 2) 複数枚の CFRP 板を接着することで、板の剥離の伝搬を防ぐことができる。
- 3) 補強に対して有効に働かない接着長を、CFRP 板端部から 120mm~200mm 程度考慮すると、計算により補強効果を算定できる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，2002.3