

高弾性 CFRP 板を接着した鋼柱部材の偏心圧縮荷重実験

大阪市立大学工学部
大阪市立大学大学院工学研究科

学生員○幸田 真也
正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院工学研究科
三菱樹脂株式会社

正会員 松村 政秀
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伴う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。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を受ける。一方、FRP 材料を接着する補修・補強工法も適用事例が増えており、FRP 材料のなかでも補強効率と施工効率の観点から、高弾性 CFRP 板を接着する工法が有用と考えられる。しかし、軸方向圧縮力を受ける鋼柱部材への高弾性 CFRP 板の接着とその補強効果についてほとんど検討事例がなく、施工上の制約から 1 枚の CFRP 板を部材全長に接着できず、分割して接着する必要もある。

そこで、本研究では偏心圧縮力を受ける細長い鋼管柱を高弾性 CFRP 板で補強する場合を対象に荷重実験を行い、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

実験には、両端がピン支持された細長比パラメータ¹⁾が 0.7 程度となる供試体計 4 体を、1 本の鋼管から製作して用いる。鋼管および CFRP 板の材料試験結果を表-1 に示す。なお、CFRP 板接着前の鋼管柱（UR-0）に、弾性範囲内で偏心圧縮力（目標偏心量は 12mm）を載荷し、補強前の基準供試体とする。CFRP 板の寸法は、鋼材の腐食による断面欠損や設計活荷重による鋼管への作用応力の増加を想定して、本研究では 20%程度の応力低減を目標に決定した。CFRP 板は、図-1 に示すように、圧縮側と引張側とも同じパターンで、1 フランジ面あたりの接着枚数を 1,3,7 枚と変化させ、図-2 に示す寸法で CFRP 板を接着する。CFRP 板間の間隔は 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 3 枚の CFRP 板を接着、かつ 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る。

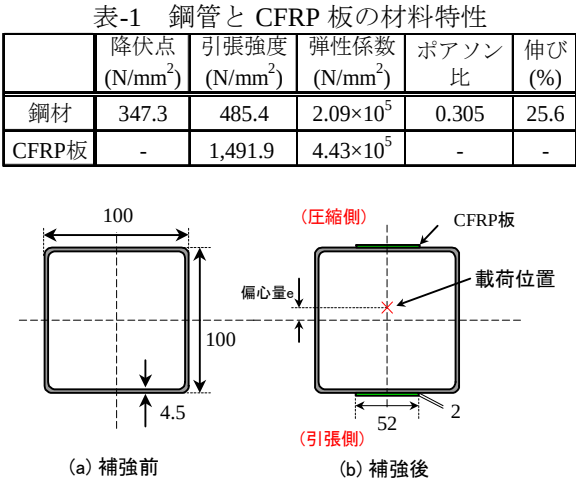


図-1 供試体の断面寸法（単位：mm）

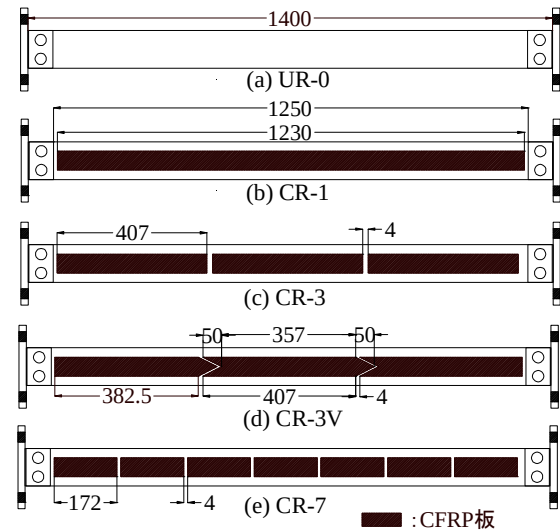


図-2 CFRP 板接着パターン（単位:mm）

3. 偏心圧縮荷重実験の結果

3.1 剥離・破断の発生状況

いずれの実験供試体でも圧縮側 CFRP 板の剥離あるいは破断が、柱中央付近で生じた。表-2 は破壊形式と破壊時のひずみを示しており、CR-1 では鋼と CFRP 板の表面ひずみの値がほぼ 1 : 1 となり、鋼管と CFRP 板が一体となり挙動していることが確認できる。また、接着長が短いと CFRP 板への応力伝達が小さい CFRP 板端部で剥離が生じている。CR-3 と CR-7 を比較すると、接着長が短い CR-7 の鋼管と CFRP 板とのひずみの差が大きく、剥離が生じやすいことが確認できる。

キーワード：高弾性 CFRP 板、補強、剥離、鋼柱部材、荷重実験
連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 橋梁工学分野 Tel:06-6605-2765

3.2 荷重-変位関係

荷重-変位関係を図-3 に示す. 荷重-変位関係は圧縮側に接着した CFRP 板が剥離あるいは圧縮破壊に至るまで線形性を保ち, CFRP 板の剥離あるいは圧縮破壊後直ちに急落する. その後再び荷重が増加し最大荷重到達後, 荷重は徐々に低下し, 引張側 CFRP 板の剥離後, 再び急激に低下する.

初期剛性の変化に着目すると, 補強効果は表-3 のとおりまとめられる. 初期剛性は, 荷重-変位関係が線形関係にある荷重 200 kN 以下の傾きから算出する. 補強効果は CR-1>CR-3>CR-7 の順で大きく, 1 枚あたりの CFRP 板接着長が短くなるにつれて補強効率が減少することがわかる. 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ものの, CR-3 では CR-7 の補強効果まで低下する. また, 表-2 に示したとおり CR-1 の剥離荷重が最も高く, 1 枚あたりの CFRP 板接着長が短い CR-7 では CR-1 と比較すると, 剥離荷重は 15%低下する. しかし, CR-7 の剥離後の荷重低下量は小さい. これは複数枚の CFRP 板を接着する場合には, 1 枚の板に剥離が生じて, この時点では他の板が有効に働いているためである.

3.3 軸力または曲げ成分による補強率

100 kN 載荷時の柱中央における鋼管および CFRP 板のひずみの値と偏心量を表-4 に示す. ここに, UR', CR'は補強前後の計算値であり, 補強後の計算値は, 鋼管と CFRP 板が一体に挙動すると仮定した場合のひずみである. 表-4 に示したひずみを軸力成分 ε_N と曲げ成分 ε_M に分けると, 表-5 のとおり算定できる. 補強率は, 補強前後のひずみの変化率を表す. 実験値と計算値を比較すると, 実験値の軸力成分と曲げ成分では計算値よりも補強率の値が小さい. また, 実験結果で比較すると, 軸力成分では CR-7 の補強率が若干低くなるものの, CFRP 板を接着した補強供試体間で軸力に対する補強率には顕著な差は認められない. 一方, 曲げに対する補強率では, 接着長が短くなるほど補強率が低下しており, 部材の曲げ変形に対して十分な補強率を得るためには, 十分な接着長の確保が必要である.

4. 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管柱の偏心圧縮載荷実験を行い, 以下の結論を得た.

表-2 剥離あるいは圧縮破壊時のひずみ

	CR-1	CR-3	CR-3V	CR-7
CFRP板の破壊箇所	板中央部	板端部	板端部	板端部
CFRP板の破壊形式	圧縮破壊	界面剥離	界面剥離	界面剥離
鋼表面のひずみ(μ)	1,439	1,741	2,863	5,164
CFRP板のひずみ(μ)	1,405	143	243	246
剥離荷重(kN)	337.3	282.0	276.5	286.5

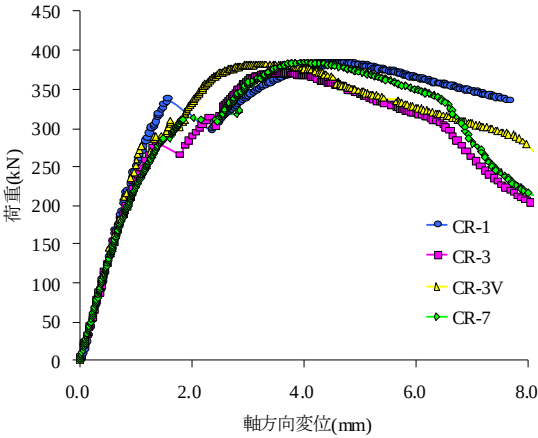


図-3 荷重-変位関係

表-3 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

表-4 鋼管と CFRP 板のひずみと偏心量(100kN 載荷時)

	UR-0	CR-1	CR-3	CR-3V	CR-7	UR'	CR'
$\varepsilon_{cs} (\mu)$	427	323	327	325	341	421	302
$\varepsilon_{cc} (\mu)$	-	324	331	327	173	-	311
$\varepsilon_{ts} (\mu)$	171	149	136	149	144	169	150
$\varepsilon_{rs} (\mu)$	-	141	126	136	68	-	141
e (mm)	11.58	11.65	13.16	11.03	12.97	12.00	12.00

表-5 $\varepsilon_N, \varepsilon_M$ と補強率

	UR-0	CR-1	CR-3	CR-3V	CR-7	CR'
$\varepsilon_N (\mu)$	299	236	232	237	243	226
ε_N 補強率(%)	-	21.1	22.6	20.7	18.9	23.4
$\varepsilon_M (\mu)$	128	87	96	88	99	76
ε_M 補強率(%)	-	32.0	25.4	31.3	23.0	39.7

- 1) CFRP 板 1 枚あたりの接着長が短くなるにつれて補強効率が低下する. ただし, 複数枚の CFRP 板を接着する場合にも, CFRP 板端部で応力集中の緩和を図る場合には, 低下量を軽減できる.
- 2) 偏心圧縮力を受ける鋼部材のフランジに分割して CFRP 板を接着する場合, 圧縮力よりも曲げ変形に対して, 鋼管と CFRP 板が一体とする場合の補強率から低下し, 接着長が短いほどこの低下は顕著となる.
- 3) 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.

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