

CFRP板を接着・補強したRCはりの強度と変形特性

鳥取大学 正員 西林 新蔵, 井上 正一, 学員 ○片岡 稔温
(株)ピー・エス 難波 勝彦, (株)ショーボンド 小俣 富士雄

1. まえがき

損傷を受けたあるいは耐力低下をきたしたコンクリート構造物の補強法として鋼板接着工法が広く用いられている。本研究では、腐食環境下への適用性を考慮して、鋼板の代替としての CFRP 板を接着して補強はりの静的および疲労試験を行い、その強度と変形特性を鋼板補強はりと比較検討した結果について述べる。

2. 実験概要

はり供試体の断面形状を図-1 に、使用材料の詳細を表-1 に示す。はりの種類は、主鉄筋量 $A_s=3.97\text{ cm}^2$ とした RC はり、この RC はりの下面に CFRP 板ないしは鋼板をエポキシ樹脂とアンカーボルト(433 mm 間隔で配置:以下アンカと略称)を併用して接着・一体化した CFRP-A はり、鋼板はりでさらに、CFRP はりについては、アンカを使用せずエポキシ樹脂のみで接着・一体化した CFRP-N はりも作製した。全試験は、スパン 150 cm の 3 等分点載荷で行った。なお、静的試験は、主鉄筋降伏までは荷重制御で、降伏後はスパン中央たわみを $1/100\text{ mm}$ ずつ増加させるたわみ制御で行った。

一方、疲労試験は、繰返し載荷速度 5Hz で行い、荷重比 P_r は疲労試験前に行った同一はりの静的終局耐力 (P_u :表-2 参照)に対する百分率で $P_r=70, 65, 60$ (鋼板のみ 55%) を選び、下限荷重は全て P_u の 10%とした。

3. 結果と考察

3.1 静的試験結果

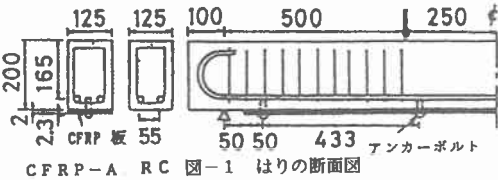
3.1.1 破壊様式 破壊様式を表-2 に示す。RC はりは、主鉄筋の降伏後に曲げスパン内のコンクリートが圧潰する曲げ引張破壊を、CFRP はりは、主鉄筋の降伏後、CFRP-N はりでは板の剥離によって、CFRP-A はりでは板の接着に併用したアンカ位置の CFRP 板の破断によって、急激な耐力低下をきたして破壊した。また、鋼板はりでは、主鉄筋および鋼板が降伏した後にコンクリートが圧縮破壊をした。

3.1.2 終局曲げ耐力 図-2 に、CFRP-A はりの曲げスパン内横断面のひずみ分布を示す。他のはりについてもほぼ直線形状を示しており、平面保持の仮定が成立しているといえる。そこで、平面保持の仮定と、図-3 に示す応力～ひずみ関係を用い、土木学会標準示方書に基づき算定した終局曲げ耐力を表-2 に示す。RC はりと鋼板はりでは、終局耐力の実験値と計算値はほぼ一致しているが、CFRP はりの耐力比は 1.0 よりも小さく、

表-1 使用材料の物理的性質 (強度、係数の単位は kgf/cm^2)

コンクリート				主鉄筋				
圧縮強度 f'c	引張強度 fct	弾性係数 Ec	断面積 As(cm²)	降伏強度 f sy	引張強度 f su	弾性係数 Es		
56.3	35.1	3.68×10⁴	3.97	3650	5420	2.1×10⁵		
CFRP板				鋼板				
断面積 Ap(cm²)	引張強度 fcpu	弾性係数 Ecp	断面積 Ap(cm²)	降伏強度 f spy	引張強度 f spu	弾性係数 Esp		
2.875 (2.461)	5800	6.5×10⁴	(2.461)	3680	5800	6.5×10⁵		

注:補強板の断面積において () 内は、アンカーボルト使用時



CFRP-A RC 図-1 はりの断面図

表-2 終局耐力と破壊様式

はりの種類	終局耐力 (tf)			破壊様式	
	実験値 P_u	計算値 P_{us}	P_u/P_{us}	実験	予測
RC	9.87	8.84	1.12	C	C
CFRP-N	16.60	18.86	0.88	板剥離	C
CFRP-A	16.08	18.00	0.89	板破断	C
鋼板	15.41	14.99	1.03	C	C

注 C:主鉄筋降伏後、コンクリートが圧潰

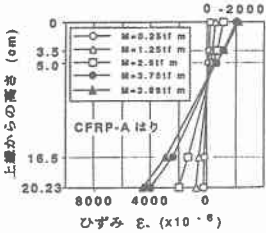


図-2 ひずみ分布

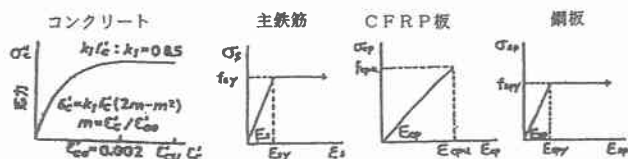


図-3 使用材料の応力～ひずみ分布

破壊様式も実験と予測で異なっている。以上の結果より、RC、鋼板はりの終局曲げ耐力は、土木学会の示方書をそのまま適用することによって、CFRP はりでは示方書によって求めた耐力に0.9程度の係数を掛けることによって、予測できるといえる。

3.1.3 荷重～スパン中央たわみ関係 図-4より、アンカの有無によらず CFRP はりの最大たわみは $\delta_u = 10$ mm 程度で、RC はりの $\delta_u = 26$ mm、鋼板はりの $\delta_u = 22$ mm よりもかなり小さくなっている。一方、主鉄筋降伏時のたわみ δ_y は、RC、CFRP、鋼板はりで $\delta_y = 4.2, 5.6, 6.7$ mm となり、 δ_u / δ_y で定義される CFRP はりのじん性率 $\mu = 2$ は、RC はりの $\mu = 6$ や鋼板はりの $\mu = 3$ に比べて小さい。

3.1.4 曲げひびわれ幅 図-5に、各はりの最大曲げひびわれ幅と主鉄筋ひずみとの関係を、表-3に、各はりの最大と平均曲げひびわれ間隔の実験値を示す。なお、図-5中の直線は、土木学会標準示方書に規定されるひびわれ幅の算定式より求めたものである。RC はりとの比較より、補強はりではひびわれ幅の大きな制御効果が見られる。

3.2 疲労試験結果

3.2.1 破壊様式 CFRP-N はりは全て板の剥離により破壊するが、板剥離位置は低荷重比になるに伴って板端部から曲げスパン内へと移行し、それに伴って主鉄筋の疲労破断も併発する傾向が見られた。CFRP-A はりは、板の剥離ないしは破断によって破壊するが、 $P_s = 70\%$ の高荷重比においても主鉄筋の疲労破断を併発する傾向があった。なお、板の疲労破断はアンカ位置で生じ、板の剥離は局所的な剥離に滞っていた。鋼板はりは、全てアンカ位置の鋼板の疲労破断により破壊するが、ひびわれはアンカ位置に集中し、主鉄筋の破断は伴わなかった。

3.2.2 $P(N)-N$ と $P_s-\bar{N}$ 線図 図-6は、CFRP-A はりの各荷重比における疲労寿命 N と生存確率 $P(N)$ との関係を対数正規確率紙上にプロットしたものである。他のはりについても同様の処理を施した結果、全てのはりのプロット点はほぼ直線上にあり、各荷重比における疲労寿命の分布は対数正規分布に従うといえる。

図-7は、荷重比 P_s と $P(N) = 0.5$ ($t = 0$) に相応する平均疲労寿命 $\bar{N}$ との関係を示したもので、同一荷重比における疲労寿命は、CFRP はりは鋼板はりよりも長いこと、CFRP はりにおけるアンカの配置 (CFRP-A はり) は、高荷重比での疲労寿命を長くするが、低荷重比になるに伴ってアンカの有無の差は小さくなること、がわかる。

表-3 最大及び平均ひびわれ間隔

はりの種類	最大 間隔 $l_{max}(cm)$	平均 間隔 $l_{ave}(cm)$
RC	13.3, 13.1	9.7, 9.3
CFRP-N	8.6, 8.7	6.4, 6.7
CFRP-A	8.2, 8.7	6.4, 6.4
鋼板	10.9, 11.3	8.1, 8.9

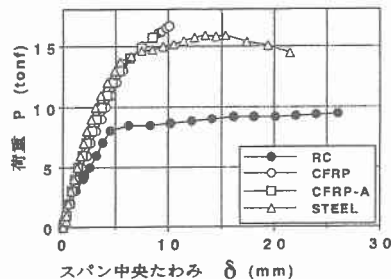


図-4 荷重～スパン中央たわみ関係

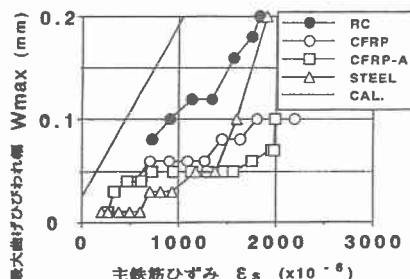
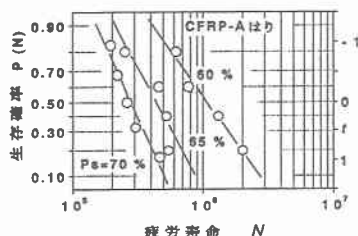
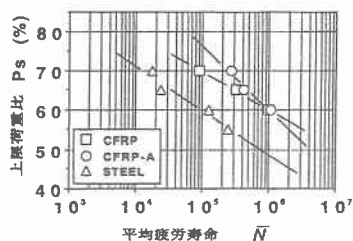


図-5 最大曲げひびわれ幅～主鉄筋ひずみ関係

図-6 $P(N)-N$ 線図図-7 $P_s-\bar{N}$ 線図