

CFRP連続繊維を用いたRCはりの強度と変形特性

鳥取大学 正員 西林 新蔵 鳥取大学 正員 井上 正一
鳥取大学 学員 ○片岡 稔温 ショーホント建設(株) 松田 展也

1. まえがき

本研究は、腐食環境下でひびわれが発生したはりの補修・補強も含め、高耐久性コンクリート構造物を開発することを目的として、CFRP（炭素連続繊維補強板）ロッドないしはCFRP板を用いたはりの強度と変形特性を中心に検討した。

2. 実験概要

実験計画を表-1に示す。表中のはりに用いた主補強筋は、RCはりでは異形鉄筋を、CFRPはりではCFRPロッドを、混合はりではCFRPロッドと異形鉄筋を併用した。また、CFRP-Aはりとは鋼板をはり、2D16を主鉄筋に用いたRCはり下面にCFRP板ないしは鋼板をエポキシ樹脂とアンカーボルトで接着し一体化したはりで、比較のためにCFRP板をエポキシ樹脂のみで接着したCFRP-Nはりも製作した。補強筋の物理的性質を表-2に示す。各はりは、曲げ破壊がせん断破壊に先行するように十分量のスターラップを配筋している。

3. 結果と考察

3.1 終局曲げ耐力

図-2に、曲げスパン内横断面のひずみ分布の典型例（D13はりの結果）を示す。他のはりにおいても同様に直線関係が認められ、平面保持の仮定が成立している。そこで、平面保持の仮定および使用材料の応力～ひずみ関係に図-3を用いて算定した終局曲げ耐力、破壊様式の結果を実験値とともに表-3に示す。表より、RCはり、CFRPはり、混合はり、鋼板はりでは、終局耐力の実験値と計算値の比（ P_u/P_{cu} ）は1よりやや大きく、かつ破壊様式の予測と実験も結果が一致している。一方、CFRP板を接着したCFRP-NとCFRP-Aはりでは、実験破壊様式は異なるが耐力比は等しく0.88程度の値となっている。これらの結果より、主補強筋がコンクリート中に埋込まれているあるいは補強筋に降伏現象のある鋼材を用いたはりの終局耐力は、土木学会式によってかなりの精度でかつ安全側の値として、CFRPを板接着したはりではアンカーボルトの有無（破壊様式の相違）にかかわらず学会式による算定値に0.88程度の値を乗ずることによって、それぞれ予測が可能であるといえる。

3.2 荷重～主鉄筋ひずみ関係（図-4）

使用した鉄筋の降伏点ひずみは 1900×10^{-6} 前後であり、RC、CFRP-N、CFRP-Aの各はりはこの近辺で降伏している。

表-1 実験計画

はりの種類	はり記号	コンクリート強度 f'_c (kgf/cm^2)	主補強筋量 (cm^2)		付加補強筋 (cm^2)	
			異形鉄筋 CFRPロッド	A_s A_p	鉄筋 板	A_s' A_{cp}
RC はり	RC16	56.5	As=2D16=3.97			
	RC19		As=2D19=5.73			
CFRP はり	2 ϕ 8	56.6	Ap=2 ϕ 8=1.0			
	3 ϕ 8		Ap=3 ϕ 8=1.5			
混合 はり	D13	63.7	Ap=2 ϕ 8=1.0		As'=1.27	
	D16		Ap=3 ϕ 8=1.5		As'=1.98	
CFRP板はり	CFRP-N	56.5	As=2D16=3.97		Acp=2.875	
	CFRP-A				Acp=2.46	
鋼板 はり	鋼板 はり	56.5	As=2D16=3.97		Acp=2.46	

表-2 補強筋の材料特性

材料名	公称径	断面積 (cm^2)	降伏点強度 (kgf/cm^2)	引張強度 (kgf/cm^2)	弾性係数 ($\times 10^4 \text{ kgf}/\text{cm}^2$)
鉄筋	D13	1.267	$f_y = 3520$	$f_{tu} = 5060$	$E_s = 2.1$
	D16	1.986	$f_y = 3640$	$f_{tu} = 5360$	
	D19	2.865	$f_y = 3320$	$f_{tu} = 5060$	
CFRPロッド	$\phi 8$	0.5	—	$f_{py} = 14400$	$E_p = 1.3$
CFRP板	12.5 $\times 140$ $\times 2.3$	2.875 (2.46)	—	$f_{cpu} = 5800$	$E_{cp} = 0.65$
	鋼板	(2.46)	$f_{sly} = 3680$	$f_{stu} = 4500$	$E_{sp} = 2.03$

注：断面積 () 内は、アンカーボルト孔による断面欠損を示す。

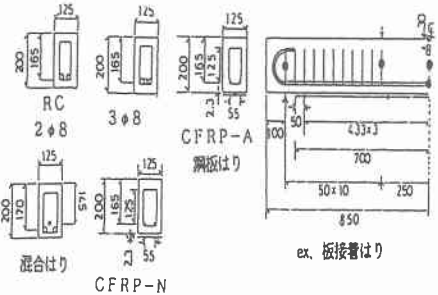


図-1 はり供試体形状

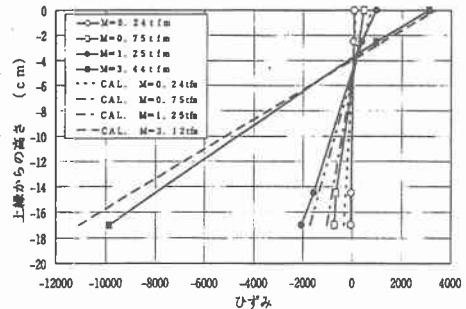


図-2 曲げスパン内横断面ひずみ分布

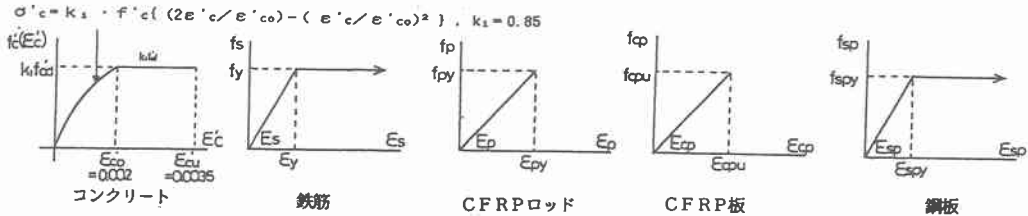


図-3 各材料の応力-ひずみ関係

表-3 各はりの終局曲げ耐力と破壊様式

はりの種類	供試体名	終局耐力 (t)			破壊様式	
		実験値 Pu	計算値 Pcu	Pu/Pcu	実験	予測
RC はり	RC16	10.40	8.59	1.21	引張	引張
	RC19	13.20	11.50	1.15	引張	引張
CFRP はり	2φ8	10.30	8.64	1.19	引張	引張
	3φ8	15.47	12.57	1.23	引張	引張
混合 はり (2φ8)	D13	13.95	11.30	1.23	引張	引張
	D16	13.60	12.48	1.09	引張	引張
CFRP板 はり	CFRP-N	16.60	18.98	0.87	引張	引張
	CFRP-A	16.08	18.04	0.89	引張	引張
鋼板 はり	鋼板	15.41	15.06	1.02	引張	引張

注：破壊様式における引張は曲げ引張、圧縮は曲げ圧縮を示す。

鋼板はりについても、主鉄筋ひずみは 1000×10^{-6} 前後で鋼板が降伏するためにやや増加するが、その後 1900×10^{-6} 付近で降伏していることがわかる。

3.3 荷重～スパン中央たわみ関係

図-5より(1) RCはりや鋼板はりではかなり大きな塑性たわみが期待できる、(2) 材料に降伏現象がないCFRPはりの終局たわみは、かなり大きな値が期待できるが、通常のRCはりとは異なり補強筋量の増加に従って終局たわみ量も大きくなる、(3) 混合はりでは付加鉄筋量の増加に伴ってよりRCはりの性状が現れ、終局たわみ量もやや大きくなる、(4) RCはりを鋼板やCFRP板で補強することにより同一荷重におけるたわみを小さくできる、こと等がわかる。

3.4 最大曲げひびわれ幅と主補強筋ひずみとの関係

図-6の横軸は主鉄筋ひずみはCFRPロッドひずみの関係を示したもので、図中の破線は土木学会示方書による最大ひびわれ幅の算定値を示す。図より、鋼板はりはRCはりに比べて、主鉄筋降伏までひびわれ幅がかなり小さい。また、同一CFRPロッドひずみにおける混合はりの最大ひびわれ幅はCFRPはりよりも小さく、付加鉄筋量を増加させることでひびわれ幅を減少できる。CFRP接着はアンカーの有無によらず破壊直前まで0.1mm以内とひびわれ幅が極めて小さいのが特徴である。

4. まとめ

- (1) 補強筋としてCFRPロッドを用いたはり、RCはりの補強法としてはり下面にCFRP板ないしは鋼板を付着したはりの横断面のひずみは鉄筋コンクリートはりと同様に中立軸からの距離に比例する、いわゆる平面保持の仮定が成立する。
- (2) 終局曲げ耐力に関して、RCはりや鉄筋とCFRPロッドの併用、CFRPロッドを用いたはり、鋼板を用いたはりでは土木学会による終局曲げ耐力算定式がそのまま適用でき、CFRP板を付着させたはりにおいてはアンカーボルトの有無によらず算定値に0.88程度を乗ずることでは推定できる。
- (3) 同一荷重下においてロッドと鉄筋を併用したはりのコンクリートたわみは、CFRPロッドのみのはりに比べて小さくなり、付加鉄筋の増大に従って小さくなる。

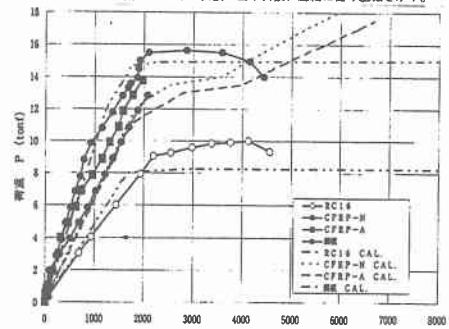


図-4 荷重～主鉄筋ひずみ関係

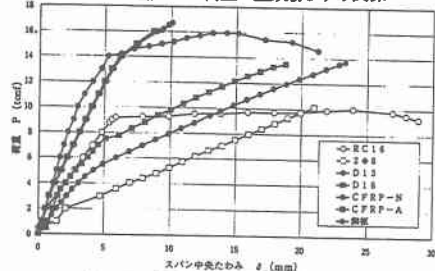


図-5 荷重～スパン中央たわみ関係

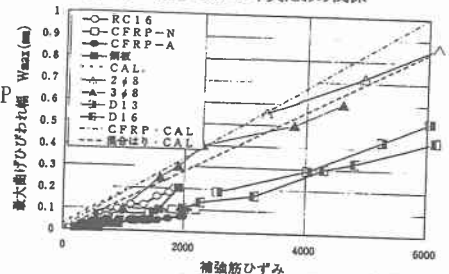


図-6 最大曲げひびわれ幅～補強筋ひずみ関係