

CFRP ロッドと鉄筋を使用したコンクリートはりの強度と変形特性

鳥取大学 正会員 西林新蔵
(株) 東レ 正会員 京野哲幸

鳥取大学 正会員 井上正一
村本建設(株) 正会員 伊南仁樹
鳥取大学大学院 学生員 石井岳生

1. まえがき

塩害やアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の早期劣化が深刻な社会問題となっている中で、高耐久性コンクリート構造物の開発が強く望まれている。このような要望に応える構造物として、CFRP ロッドの土木構造物への適用が注目されているが、破壊が脆性的であることの問題点も抱えている。そこで、本研究では、じん性の改善を目的として、CFRP ロッドに鉄筋を併用したコンクリート (CFRP-RC) 構造物を作製し、その強度と変形特性を検討した。

2. 実験方法

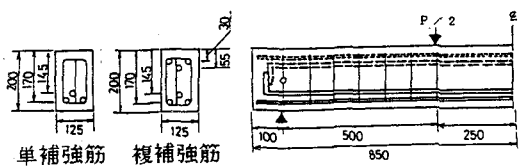
はりの種類を表-1、図-1 に示す。供試体は RC、CFRP および CFRP-RC はりで、CFRP および CFRP-RC はりには全て $2\phi 8=1\text{cm}^2$ の CFRP ロッド量を用い、併用鉄筋には D10、D13、D16 のいずれかを用いた。載荷は、スパン150cm の3等分点載荷とし、一方向載荷においては、0.5tf またはスパン中央たわみ1/100mm 刻みの一様漸増載荷を行った。一方、正負交番載荷は、一方向載荷試験によって得られた同一仕様はりの終局時のスパン中央たわみの1/4 を $1\delta_y$ (RC の場合には鉄筋降伏時のたわみを δ_y) とし、順次 $\pm 1\delta_y$ 、 $\pm 2\delta_y$ 、... と変位水準を増加させる載荷を行った。なお、各変位水準ごとに5回の載荷を繰返した。

3. 結果と考察

(1) 終局耐力：表-2 に補強筋の物理的性質を、表-1 に終局耐力と破壊様式を併記する。表中の計算値 (予測) は、平面保持の仮定と、図-2 に示す応力～ひずみ関係を用い、コンクリートの引張抵抗は無視して算定したものである。この場合、過少鉄筋の RC はりにおいては、上縁コンクリートひずみを $\epsilon_c = \epsilon_u (=0.0035)$ として、CFRP および CFRP-RC はりにおいては、 ϵ_c と ロッドひずみ ϵ_p のどちらが先に終局ひずみに達するかによって、 $\epsilon_c = \epsilon_u$ (曲げ圧縮破壊： $\epsilon_p < \epsilon_{pu}$) ないしは、 $\epsilon_p = \epsilon_{pu}$ (曲げ引張破壊 (ロッド破断)： $\epsilon_c < \epsilon_u$) として算定したものである。表-1 よ

表-1 はりの種類・終局耐力と破壊様式

載荷方法	主筋配置	コンクリート強度 (kgf/cm ²)		補強筋量		終局時 (曲げ破壊)			
		28日	試験時 (f_c)	CFRP ロッド	鉄筋	終局耐力			破壊様式
						実験値 (tonf)	計算値 (tonf)	実験値 (tonf)	
一方方向	単補強筋はり	450	566	2 ϕ 8	—	10.30	8.64	1.19	破断 破断
		450	637	2 ϕ 8	D10	12.71	10.38	1.22	破断 破断
		450	637	2 ϕ 8	D13	13.95	11.30	1.23	破断 破断
		450	637	2 ϕ 8	D16	13.80	12.48	1.09	圧縮 破断
		450	566	—	D16	10.40	8.80	1.21	引張 引張
	複補強筋はり	450	566	2 ϕ 8	—	10.70	8.83	1.21	破断 破断
		450	637	2 ϕ 8	D10	12.55	10.66	1.18	破断 破断
		450	637	2 ϕ 8	D13	13.30	11.68	1.14	破断 圧縮
		450	637	2 ϕ 8	D16	12.95	12.56	1.03	圧縮 圧縮
		450	566	—	D16	10.24	8.52	1.20	引張 引張



(単位: mm)
*RC はり: $d=165, d'=35$

図-1 供試体の形状と寸法

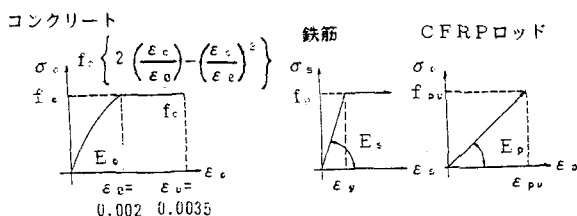


図-2 応力～ひずみ関係

表-2 補強筋の材料特性

	弾性係数 (kgf/cm ²)	引張り強度 (kgf/cm ²)	降伏点強度 (kgf/cm ²)
CFRP ロッド	1300000	14400	
鉄筋	D10	5398	3780
	D13	5105	3520
	D16	5240	3490

り、RC、CFRPおよびCFRP-RCはりの終局曲げ耐力の実験値と計算値の比は1.03～1.23の範囲にあり、さらに破壊様式の実験と予測もほぼ一致していることから、CFRPやCFRP-RCはりの終局耐力比もここで提案した方法によって精度よく予測できる。一方、正負交番载荷では、RCはりが斜めひびわれの急激な進展を伴うせん断破壊をしたのに対し、CFRPとCFRP-RCはりでは、一方向载荷の場合と同一の曲げ破壊をし、かつほぼ等しい終局耐力で破壊した。

(2) 補強筋ひずみ：図-3の荷重と補強筋ひずみ（RCはり（2D16と表記）では鉄筋ひずみ）との関係より、CFRP、CFRP-RCはりにおけるCFRPロッドひずみは、ひびわれ発生後から破壊に至るまで直線的に増加し、ひびわれ発生直後のひずみのジャンプ量は付加鉄筋量の増加に伴って小さくなっている。

(3) ひびわれ性状：図-4は、土木学会コンクリート標準示方書に基づく最大曲げひびわれ幅の算定値と実験値との関係を示したものである。図より、CFRP-RCはりにおいては、付加鉄筋量の増加に伴ってひびわれ間隔が短くなり、CFRPロッドの同一ひずみにおけるひびわれ幅も減少していることがわかる。これらのことは、付加鉄筋がひびわれ分散性やひびわれ幅制御に有効であることを示している。

(4) 荷重～たわみ（ $P \sim \delta$ ）関係：図-5、6に一方方向载荷と正負交番载荷における $P \sim \delta$ 関係を示す。図-5より、CFRP-RCはりのうちCFRPロッドが破断したはり（D10、D13）の終局たわみは、CFRPはりのそれよりもやや大きくなっている。また、図-6より、RCはりの $P \sim \delta$ 関係は紡錘形を示すのに対し、CFRPはりは弾性的な挙動を示して消散エネルギー（ヒステリシスループで囲む面積）もきわめて小さい。一方、CFRP-RCはりの $P \sim \delta$ 関係は逆S字形を呈するが、RCとCFRPはりの中間的な挙動を示し、鉄筋を付加することによって消散エネルギーが向上することがわかる。

4. まとめ：

CFRPロッドに鉄筋を併用することによって、消散エネルギーが大きくなり、ひびわれ幅制御も可能であり、腐食環境下に有望な構造物形式になりうる可能性があるといえる。

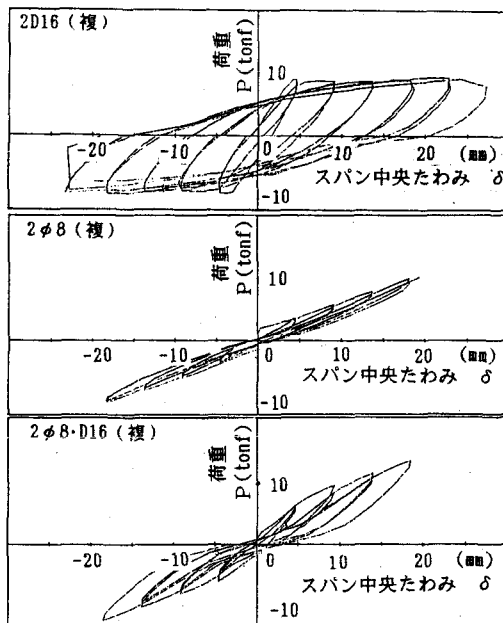


図-6 荷重～スパン中央たわみ関係
(正負)

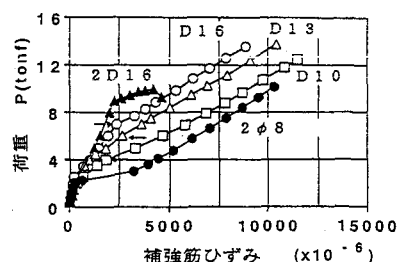


図-3 荷重～補強筋ひずみ関係

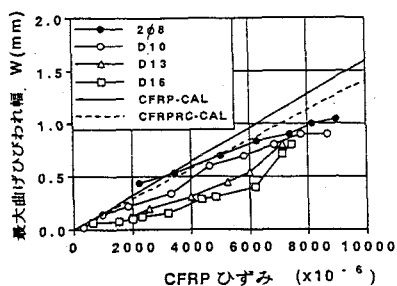


図-4 最大曲げひびわれ幅
～CFRPひずみ関係

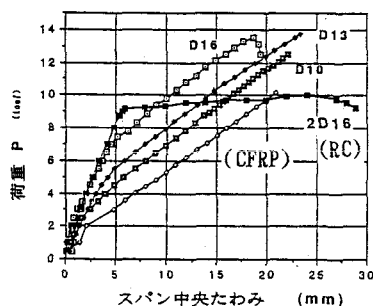


図-5 荷重
～スパン中央たわみ関係
(一方向)