

カーボン繊維シートによるコンクリート柱の補強効果

鳥取大学 正会員 西林新蔵
鳥取大学 正会員 井上正一
鳥取大学 学生員 ○小椋貴史

岡山能開短大 正会員 宮内克之
東燃株式会社 正会員 田中良典
オリエンタル建設(株) 正会員 村田昌寛

1. はじめに

耐震補強を含め既存鉄筋コンクリート構造物の補強法として、施工性の容易さからカーボン繊維シート（以下CFシートと称す）貼付による補強が有望であると思われる。しかしその実用化にあたって、補強基準、補強性能、耐久性などについて十分に検討しておく必要がある。そこで本研究は、コンクリート柱を対象としてCFシートを貼付けた供試体の圧縮試験を行うことによって、補強効果を強度と変形特性の観点から検討したものである。

2. 実験概要

実験計画を表-1に示す。表-2にカーボン繊維シートの力学的特性を示す。なお、表-1におけるCFシート繊維率を次のように定義する。

$$\rho_{CFR} = 4 \cdot nt / \phi$$

なお、 ρ_{CFR} はn層のカーボン繊維率(体積比)、tはCFシートの設計厚さ(0.011cm)、 ϕ は供試体の直径 圧縮試験は、最大荷重付近に達するまでは一定荷重刻みの漸増載荷を行い、その後、最大荷重付近前後から変位制御にし各荷重(変位)段階で、供試体の軸方向と周方向ひずみを測定した。

3. 結果と考察

3.1 応力～ひずみ関係

表-3に圧縮試験の結果を、図-1に軸方向の応力～ひずみ関係の一例を示す。CFシート貼付け供試体は、CFシートが破断して破壊に至り、爆裂して原形をとどめないものも見られた。

図-1より、CFシート無貼付供試体では、軸方向ひずみが 2000×10^{-6} 付近で最大応力に達して破壊に至る。一方、CFシート貼付け供試体においては、軸ひずみ 2000×10^{-6} 付近から応力の増加は緩やかになり、最大応力および最大応力時のひずみともシートの貼付け層数を増やすことによって増加することがわかる。

表-1 実験計画

コンクリート強度 (kgf/cm^2)	供試体寸法 (cm)	カーボン繊維シート の貼付け層数	CFシート繊維率 ρ_{CFR} (%)
$f'_{co} = 300$	$\phi 10 \times 20$	0層	—
		1層	0.440
		2層	0.880
		3層	1.320
500	$\phi 10 \times 20$	0層	—
		1層	0.440
		2層	0.880
300	$\phi 15 \times 30$	0層	—
		1層	0.293
		2層	0.587
500	$\phi 15 \times 30$	0層	—
		1層	0.293
		2層	0.587

表-2 カーボン繊維シートの物理的性質

目付 (g/m^2)	引張強度 f_{CF} (kgf/cm^2)	弾性係数 (kgf/cm^2)	設計厚さ t(cm)
200	35,500	2.35×10^6	0.011

表-3 圧縮試験結果
円柱供試体 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$)

コンクリート強度 f'_{co} (kgf/cm^2)	カーボン繊維 シートの貼付 け層数	圧縮強度 $f'_{co,CF}$ (kgf/cm^2)	最大応力時の 縦ひずみ ($\times 10^{-6}$)	最大応力時の 横ひずみ ($\times 10^{-6}$)
372	1層	710	10500	12435
	2層	898	14875	11300
	3層	1120	19000	10450
581	1層	767	9563	12881
	2層	1067	12375	11310

円柱供試体 ($\phi 15 \times 30\text{cm}$)

318	1層	534	10813	13564
	2層	687	14500	13337
	3層	832	19250	10786
461	1層	605	9450	13207
	2層	806	12450	12524

3.2 圧縮強度特性

CFシートの補強効果を定量的化するため、Richartらによる3軸圧縮応力下のコンクリートの構成式(式(1)の $k_c=1$)において k_c を導入して評価することにした。その結果を図-2に示す。図より、コンクリート強度、供試体寸法の大きさに関係なく一つの直線で近似できる。すなわち、実験の範囲からは、 $k_c=0.81$ とすることによって、式(1)で圧縮強度を精度良く予測できるといえる。

$$f'_{c,CF} = f'_{c0} + 4.1k_c \cdot f_r \quad \cdots(1)$$

$$f_r = (2/\phi \cdot L) \cdot T, \quad T = f_{CF} \cdot L \cdot t$$

ここに、 f'_{c0} および $f'_{c,CF}$ はそれぞれ使用したコンクリート(無補強供試体)およびシートを貼付けた供試体の圧縮強度、 f_r は終局状態(シート破断時)においてカーボン繊維シートから受けるコンクリートの側圧、 T は長さ(幅) L 、厚さ t のCFシートの引張強度

3.3 最大応力時のひずみ ϵ'_{cc}

最大応力時のひずみを予測するためにIssaとTobbaによる提案式(2)の適用性を検討した。

$$\epsilon'_{cc}/\epsilon'_{c0} = 1 + a \cdot (f_r/f'_{c0})^b \quad \cdots(2)$$

ここに、 ϵ'_{c0} は無拘束コンクリートの最大応力時の軸ひずみ図-3より、同一 f_r/f'_{c0} であっても、 ϵ'_{cc} はコンクリート強度によって異なるが、 ϵ'_{cc} の値は式(2)によって予測できる可能性のあることが伺える。

3.4 最大応力時まで蓄えられるエネルギー

図-4に、最大応力時まで蓄えられるエネルギー吸収能(応力～ひずみ関係の面積)を示す。図より、供試体寸法やコンクリート強度がエネルギー吸収能に及ぼす影響は小さく、カーボン繊維率の増加にほぼ比例してエネルギー吸収能も大きくなっていることがわかる。

4. まとめ

- (1) 円柱供試体にカーボン繊維シートを貼り付けることによって、圧縮強度および最大応力時のひずみが著しく増大する。
- (2) カーボン繊維シートで補強した円柱供試体の圧縮強度は式(1)の有効係数を $k_c=0.81$ とおくことによって精度良く予測できる。
- (3) カーボン繊維シートによって補強した円柱供試体の最大応力時の軸ひずみは式(2)によって予測できると考えられる。
- (4) 最大応力時まで蓄えられるエネルギーはカーボン繊維シートの貼付け枚数の増加に伴って増加する。

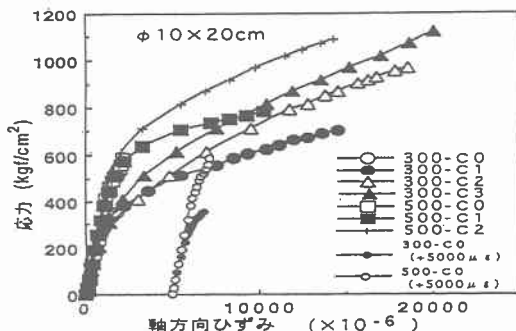


図-1 応力～ひずみ関係 (φ10×20cm)

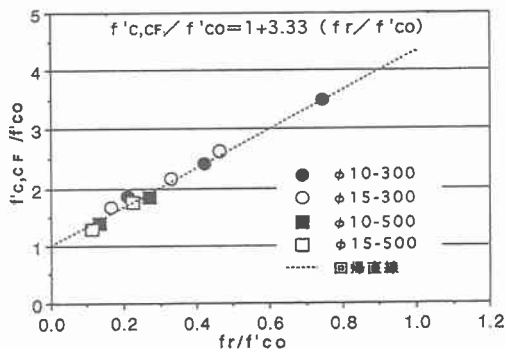


図-2 $f'_{c,CF}/f'_{c0} \sim f_r/f'_{c0}$ 関係

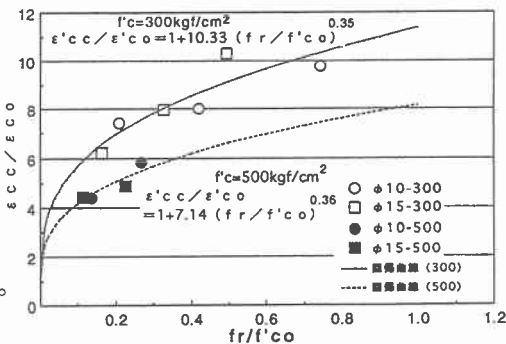


図-3 $\epsilon'_{cc}/\epsilon'_{c0} \sim f_r/f'_{c0}$ 関係

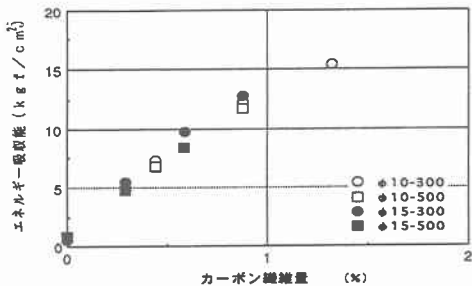


図-4 エネルギー吸収能とカーボン繊維率関係