

カーボンシートによるコンクリートの補強効果

鳥取大学 正会員 西林新蔵
鳥取大学 正会員 井上正一

岡山能開短大 正会員 ○宮内克之
オリエンタル建設(株) 正会員 中安義顕

1. はじめに

既存鉄筋コンクリート構造物の耐久性・耐力の診断・評価、補修・補強といった事項が切迫した事柄となっている。また地震により被災した場合早期復旧が望まれるが、その施工性によりカーボン繊維シート貼り付けによる補強は極めて有望であると思われる。しかし本格的な実用化にあたっては、構造機能、設計法、耐久性等について十分に検討する必要がある。そこでカーボン繊維シートを貼り付けたコンクリート供試体の圧縮および曲げ試験を実施することにより、その基本的な強度変形特性を明らかにするとともに、補強効果について検討を行った。

2. 実験概要

圧縮試験用としては $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体を用い、カーボン繊維シートを周方向に貼り付けた。曲げ試験用としては $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体を用い、カーボン繊維シートをスパン方向下面に貼り付けた。貼り付けの種類は、1層、2層および無処理の3水準である。コンクリート強度は、材令7日における目標強度が200, 300, 400 kgf/cm²の3水準とした。表-1に実験計画を、表-2にカーボン繊維シートの力学的特性を示す。

圧縮試験は、カーボン繊維シートが破断するまで一定荷重刻みの漸増荷荷を行い、軸方向ひずみと周方向ひずみを測定した。曲げ試験はスパン36cmの3等分点集中荷荷とし、スパン中央の変位ならびに上縁、下縁および側面3ヶ所のひずみを測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度特性

表-3に圧縮試験の結果を、また図-1に軸方向の応力～ひずみ関係を示す。カーボン繊維シートを貼り付けた供試体は、すべて供試体中央部のカーボン繊維シート重ね合わせ部分で破断して破壊に至った。シートを貼り付けていない供試体では、縦ひずみが $2.5 \sim 2.8 \times 10^{-3}$ で最大応力に達し破壊に至ったが、シートを貼り付けた供試体においては、 2.0×10^{-3} ひずみを過ぎた辺りから応力の増加は緩やかになるものの、最終的には1層のもので $1.0 \sim 1.8 \times 10^{-2}$ 、2層のもので 2.2×10^{-2} ひずみにまで達し、応力も1.5～4.0倍まで増加した。シートの最大ひずみは、貼り付け層数によらず $1.2 \sim 1.8 \times 10^{-2}$ であり、シートに発生している最大応力は引張強度の約65%以上であったと思われる。

Richartらによる3軸圧縮応力下のコンクリートの構成式に有効係数 k_c を取り入れた(1)式により、シート貼り

表-1 実験計画

試験の種類		圧 縮			曲 げ		
供試体寸法 (cm)		$\phi 10 \times 20$			$10 \times 10 \times 40$		
材齢 7日目標強度 $f'_{c,7}$ (kgf/cm ²)		200	300	400	200	300	400
カーボン繊維 シートの貼付け 層 数	無処理	○	○	○	○	○	○
	1層	○	○	○	○		○
	2層	○	○		○	○	

表-2 カーボン繊維シートの諸性質

設計厚さ (mm)	繊維目付 (g/m ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
0.110	200	44,800	2.49×10^6

表-3 圧縮試験結果

コンクリート強度 $f'_{c,7}$ (kgf/cm ²)	カーボン 繊維シート の貼付け層数	圧 縮 強 度 $f'_{c,cr}$ (kgf/cm ²)	最大応力時 の縦ひずみ ($\times 10^{-3}$)	最大応力時 の横ひずみ ($\times 10^{-3}$)	有効係数 K_c
200	無処理	186	2.807	3.371	—
	1層	512	17.759	12.365	0.81
	2層	766	22.784	11.793	0.72
300	無処理	296	2.600	2.338	—
	1層	614	12.634	12.909	0.79
	2層	889	22.606	13.901	0.73
400	無処理	406	2.503	1.742	—
	1層	703	9.780	17.893	0.74

付けによる横拘束が強度増加に与える効果を定量的に把握した。計算結果を表-3に示す。コンクリート強度および貼り付け層数により若干の差はあるが、実験の範囲からは $k_c=0.73$ 程度と考えればよいことがわかった。

$$f'_{c,F} = f'_c + 4 \cdot 1 \cdot k_c \cdot f_{c,F} \cdots (1)$$

ここに、 f'_c および $f'_{c,F}$ はそれぞれ無処理およびシートを貼り付けたコンクリートの圧縮強度、 $f_{c,F}$ はシートによる拘束応力である。

3.2 曲げ強度特性

曲げ試験の結果を表-4に示す。また荷重～スパン中央たわみ関係の一例を図-2に示す。シートを貼り付けた供試体においては、最大荷重が大幅に増大した。しかしながら無処理の供試体では曲げスパン内に発生したひびわれにより曲げ破壊したのに対し、シートを貼り付けた供試体においては、シートとコンクリート界面において剥離が生じ、せん断スパン内に斜めひびわれが発生して破壊に至った。図-3はひずみ分布の一例を示したものであるが、平面保持の仮定がほぼ成立しているものと考えられる。そこで供試体下面にシートを貼り付けることによる曲げに対する補強効果を、平面保持を仮定し(2)式により評価した。計算により得られた曲げに対する補強の効果係数 k_b を表-4に示す。供試体の破壊がシートの剥離によって生じたため、効果係数は1層で0.42～0.46、2層で0.26程度であった。

$$M_{cr} = k_b \cdot T_{c,F} \cdot z \cdots (2)$$

ここに、 M_{cr} は最大曲げモーメント、 $T_{c,F}$ はシートの引張力、 z はアーム長で実験結果より高い5/6とした。

4. まとめ

カーボン繊維シートを貼り付けることによる補強効果を検討するため、圧縮および曲げ試験を実施した結果、次のことが明らかとなった。

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り、コンクリートの体積膨張が拘束され、圧縮強度、最大応力時のひずみが著しく増大する。さらに貼り付け層数を増すことにより、拘束力が増大し圧縮強度も増大する。また(1)式において有効係数 $k_c=0.73$ を用いることにより、シートによって補強された円柱供試体の圧縮強度がほぼ予測できる。

②角柱供試体下面にカーボン繊維シートを貼り付けることにより曲げ耐力が増大するが、供試体の破壊がシートの剥離によって生じたため、その効果を定量的に把握するまでには至らなかった。

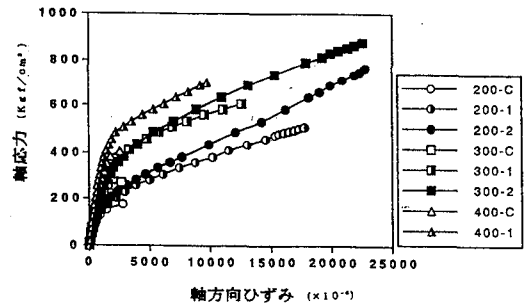


図-1 応力～ひずみ関係

表-4 曲げ試験結果

コンクリート強度 f'_c (kgf/cm²)	カーボン 繊維シート の貼り付け層数	最大荷重 P (tonf)	曲げ強度 σ_b (kgf/cm²)	最大曲げ モーメント M_{cr} (kgf·cm)	曲げ補強 効果係数 k_b
200	無処理	0.972	35.0	5.83	—
	1層	2.880	104	17.3	0.42
	2層	3.435	124	20.6	0.25
300	無処理	1.235	44.5	7.41	—
	2層	3.775	136	22.6	0.27
400	無処理	1.466	52.8	8.80	—
	1層	3.155	114	18.9	0.46

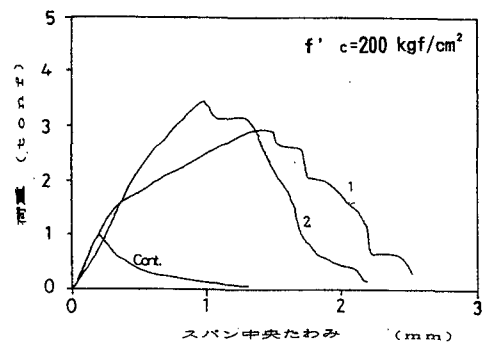


図-2 荷重～スパン中央たわみ関係

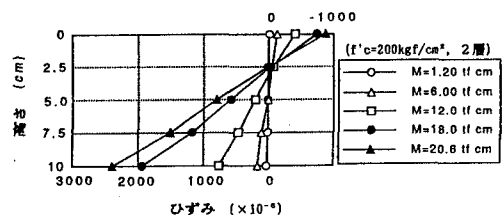


図-3 横断面ひずみ分布