

# コンクリートの圧縮性状に及ぼす炭素繊維シート巻付けの影響 —断面の形状および寸法の影響(その2)—

川 上 英 男\*

## Effects of Carbon Fiber Sheet Reinforcement on the Mechanical Behavior of Concrete

Hideo Kawakami

Concrete cylinder and prism specimens of four kinds of cross section size were tested. With carbon fiber sheet pasted around it, specimens under uniaxial compression showed the increase of compressive strength and of the strain at the maximum stress. The general tendency of the effects were expressed as a function of sheet reinforcement ratio against the longitudinal cross section area of the specimen. The effect at the prism specimens were found to be limited within one fifth of those at cylinder specimens.

### 1. ま え が き

地震時の剪断補強を目的として炭素繊維(CF)シートで既存の鉄筋コンクリート柱を巻く補強工事が行われている<sup>1)</sup>。一方、直下型地震の動的荷重や衝撃荷重に対してコンクリート柱の崩壊ひいては建物の層崩壊を防ぐことが重要である<sup>2)</sup>。本論は円柱と角柱の試験体に対するその軸圧縮補強効果を比較検討することを目的とする。すなわち正方形断面の角柱では炭素繊維シートを巻き付けてもその試験体の横方向変形拘束効果が円形断面に比べてかなり低いことが既報<sup>3)</sup> および中塚ら<sup>6)</sup>によって報告されており、それらの補強効果と断面寸法との関係についてより一般的な関係を求めようとするものである。実大柱に相等する軸圧縮試験は試験機容量の面から極めて困難である。そこで各種サイズの円柱と角柱の試験体の実験を行い、その延長上に実大柱の補強効果を推定する手掛かりを得ることを狙いとするものである。実験結果の一部は既報<sup>3)</sup>に記載したが、今回繊維目付けの異なる炭素繊維シートを用いた実験を新たに行い、それら全体の結果に考察を加えて、より包括的な結論を得るに至ったので既報<sup>3)</sup>の結果を含めて、ここに報告するものである。

---

\* 建設工学科 建築学専攻

## 2. 実験概要

### 2.1 実験計画

円形と正方形の2種類の断面形状（直径または辺長と高さの比は1:2）を取り上げ、それぞれに4種類の寸法（円形直径: 5, 7.6, 10, 15 cm、角柱辺長: 4, 7.5, 10 または 9, 15 cm）の試験体を作製し、シート巻付けの有無について圧縮性状の比較を行う。実験は3シリーズで、調合、養生、試験材齢、シート種類の組み合わせがそれぞれ異なる（表1 参照）。同一形状・寸法の試験体6本を1組とし3本にシートを巻付け（補強試験体）、残りの3本（普通試験体）と比較した。1組の養生、材齢はすべて同じである。試験体は26組、合計156本である。

表1 調合、養生、試験材齢

実験 No.	w/c	調合 ( $l/m^3$ )				繊維目付 ( $g/m^2$ )	水中 養生	試験 材齢
		水	セメント	砂	砂利			
1	0.45	200	141	299	350	300	3日	4週
2	0.60	196	104	340	350	300	3日	4週
3	0.60	181	96	313	400	200	4週	3-4月

### 2.2 使用材料

使用材料を表2に示す。

表2 使用材料

セメント: 普通ポルトランドセメント、比重 3.15

砂: 九頭竜川産 粒大2.5mm, 表乾比重 2.60

砂利: 九頭竜川産 表乾比重 2.63, 5-10mm: 断面辺長 4 cm または 径 5 cm 用

5-15mm: 断面辺長 7.5 cm または 径 7.6 cm 用

5-25mm: 断面辺長または 径 10 cm および 15 cm 用

炭素繊維シート: PAN系 (N社製)<sup>4)</sup> 比重 1.8, ( ) 内は実験値<sup>5)</sup>

繊維目付 300, 200 ( $g/m^2$ ) | 引張強度 35,000 (40500- 43800)  $kgf/cm^2$

設計厚さ 0.167, 0.111 (mm) | 弾性係数  $2.35 \times 10^6$  ( $2.32 - 2.60 \times 10^6$ )  $kgf/cm^2$

接着剤: 無溶剤液状エポキシ樹脂

プライマー: コンクリート用エポキシ樹脂プライマー

### 2.3 養生、シート巻付け

コンクリート打込み翌日キャッピング、翌々日脱型、水中養生後は室内に置いた。角柱試験体では側面隅角部 1 - 2 mm 程度の面取りを行った。試験体の上下端 10 - 15 mm を残してシートを巻付け、翌日エポキシ樹脂の上塗りを施した。シートの重ね長さは円柱体、角柱体共、最小サイズの試験体では約 25 mm, その他は約 50 mm である。

### 3. 実験結果

実験結果を表3に一括して掲げる。各値は試験体3本の平均値である（以下同じ）。

表3 実験結果

NO.	実験1				実験2				実験3			
	L	Fc	E	$\epsilon_{\max}$	L	Fc	E	$\epsilon_{\max}$	L	Fc	E	$\epsilon_{\max}$
	cm	(MPa)	(GPa)	(10 $\mu$ )	cm	(MPa)	(GPa)	(10 $\mu$ )	cm	(MPa)	(GPa)	(10 $\mu$ )
円柱 1-S	5	84.4	43.3	1461	5	80.2	47.5	1720	5	68.1	26.1	1025
円柱 1-O	5	42.2	36.4	235	5	28.2	38.7	226	5	38.2	25.6	242
円柱 2-S	7.6	78.6	38.1	1309	7.6	68.4	49.8	1624	7.6	58.0	31.8	485
円柱 2-O	7.6	39.5	32.0	203	7.6	32.1	42.8	224	7.6	40.6	29.4	216
円柱 3-S	10	63.0	33.4	826	10	50.2	39.6	1319	10	44.6	28.1	472
円柱 3-O	10	40.9	36.4	233	10	28.7	39.1	223	10	34.1	27.8	205
円柱 4-S	15	51.9	31.4	464	15	45.3	34.5	734	15	40.8	27.5	257
円柱 4-O	15	42.6	32.6	202	15	35.9	36.8	221	15	37.2	26.8	210
円柱 D-S									15	54.2	29.9	615
円柱 D-O									15	36.6	31.2	179
角柱 1-S	4	51.9	32.2	675	4	40.4	25.6	606	4	39.0	26.6	398
角柱 1-O	4	45.1	30.8	326	4	29.9	23.8	267	4	28.2	29.4	183
角柱 2-S	7.5	56.0	32.4	320	7.5	44.7	31.4	348	7.5	46.4	35.3	268
角柱 2-O	7.5	50.7	32.6	225	7.5	37.4	28.5	249	7.5	43.4	30.9	206
角柱 3-S	10	57.6	31.6	318	10	41.3	29.2	314	9	51.5	31.9	291
角柱 3-O	10	50.1	31.9	230	10	38.4	27.0	227	9	42.8	30.6	199
角柱 4-S	15	47.9	32.7	247	15	37.3	29.6	261	15	37.7	31.5	222
角柱 4-O	15	40.2	29.6	190	15	35.5	26.2	227	15	40.0	29.3	208
角柱 D-S									15	45.6	33.1	229
角柱 D-O									15	38.6	31.8	167

(L：直径又は辺長，O：普通試験体，S：1層補強試験体，D S：2層補強試験体)

(Fc：圧縮強度，E：縦弾性係数， $\epsilon_{\max}$ ：最大応力時の縦歪度)

### 4. 考察

#### 4.1 応力度歪度 ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) 関係 と破壊

$\sigma$ - $\epsilon$  関係の典型的例として実験3の直径・辺長15cmの2層補強の場合を普通試験体 (plain) と比較して図1に示す。 $\sigma$ - $\epsilon$  関係は両者共、普通試験体の最大応力度の8割程度までは殆ど同じである。それ以上になると円柱補強試験体 (図1左側) では縦歪、横歪共に伸びが顕著であり、圧縮強度の向上もそれに伴って認められる。角柱補強試験体 (図1右側) では縦歪、横歪共にその伸びは円柱に比べて小さい。角柱ではシート巻付けの変形拘束効果が少ないためである。

円柱試験体ではシートが破断または剥離して破壊に至るが、角柱試験体ではシートが破断する以前に圧縮破壊に至っている。

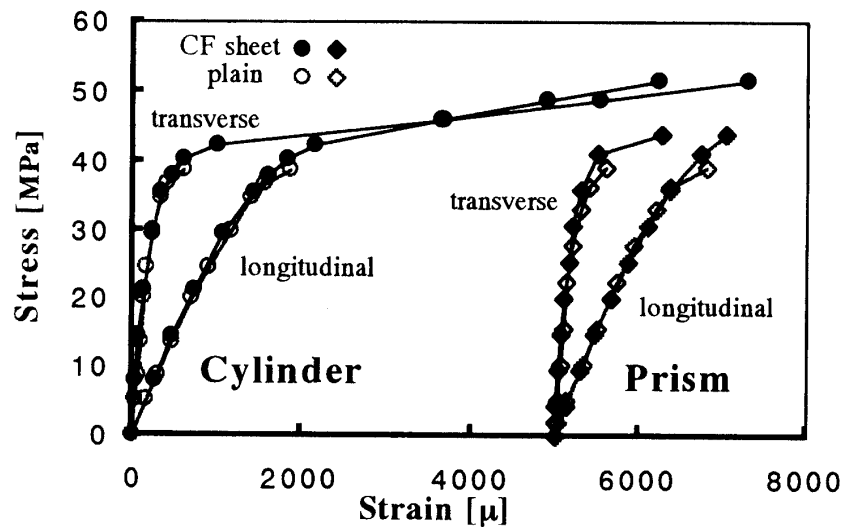


図1 応力度歪度関係（2層補強体と普通試験体）

#### 4.2 圧縮強度に及ぼす効果

補強効果の指標として普通試験体の圧縮強度に対する補強試験体の圧縮強度の比率（Fc ratio）を取り上げ、また各試験体サイズとCFシートの種類・層数を一括する指標としてCFシート補強比（Pf）（%）を取りあげた〔式（1）参照〕。

$$Pf = [2 \times \text{CF設計厚さ} / \text{直径（または辺長）} \times 100] \dots\dots\dots (1)$$

CFシート補強比（Pf）、圧縮強度比（Fc ratio）及び後述の最大歪み比（Emax ratio）を算定した結果を表4に示す。図2にFc ratioとPfとの関係を示す。

表4 補強効果（Fc ratio, Emax ratio）

No.	実験 1			実験 2			実験 3			
	Pf	Fc ratio	Emax ratio	Pf	Fc ratio	Emax ratio	Pf	Fc ratio	Emax ratio	
円柱	1 - S	0.668	2.00	6.22	0.668	2.84	7.61	0.44	1.78	4.24
	2 - S	0.439	1.99	6.45	0.439	2.13	7.25	0.29	1.43	2.25
	3 - S	0.334	1.54	3.55	0.334	1.75	5.91	0.22	1.31	2.30
	4 - S	0.223	1.22	2.30	0.223	1.26	3.32	0.147	1.10	1.22
	D-S							0.293	1.48	3.44
角柱	1 - S	0.834	1.15	2.07	0.834	1.35	2.27	0.55	1.38	2.18
	2 - S	0.445	1.10	1.42	0.445	1.20	1.40	0.293	1.07	1.30
	3 - S	0.334	1.15	1.38	0.334	1.08	1.38	0.244	1.20	1.46
	4 - S	0.223	1.19	1.30	0.223	1.05	1.15	0.147	0.94	1.07
	D - S							0.293	1.18	1.37

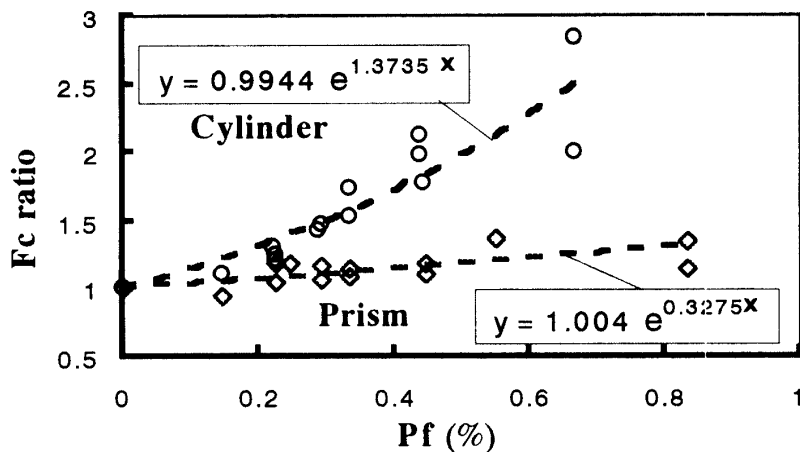


図 2 CFシート補強比 ( $P_f$ ) と強度比 ( $F_c$  ratio)

図 2 は 円柱・角柱ともに  $P_f$  の増加につれて圧縮強度比が増大する傾向を示している。角柱の圧縮強度比は円柱の場合よりかなり低いことが明らかとなった。また  $P_f = 0$  で強度比 1 の点を通るように円柱について指数関数の回帰式を求めて図中に示した。角柱では線形でもよい近似となるが円柱と同様に指数関数を当てた。これより断面  $50 \times 50$  cm の柱に繊維目付け  $300 \text{ g/m}^2$  のシート 3 層巻の場合 ( $P_f = 0.2 \%$ ) を例にとると圧縮強度比は 1.068 で円柱の 1.316 との比較ではその補強効率は  $1/4.8$  となる。

#### 4.3 最大応力時の縦歪

補強試験体の普通試験体に対する最大応力時の縦歪の比率（最大歪比： $\epsilon_{\text{max. ratio}}$ ）を指標として取り上げ、表 4 に算定結果を掲げた。図 3 に  $P_f$  と  $\epsilon_{\text{max. ratio}}$  の関係を示す。

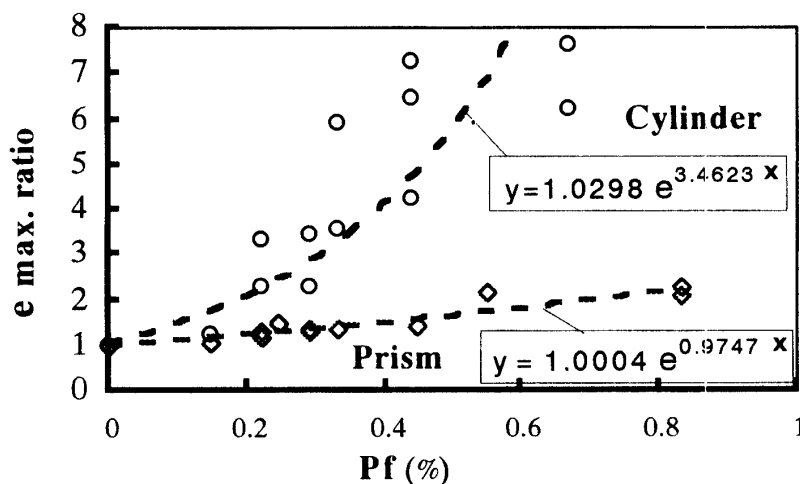


図-3 最大歪比 ( $\epsilon_{\text{max. ratio}}$ ) と  $P_f$

格段に小さい。前記同様に両者の回帰式を同図に示す。前述のように $P_f = 0.2\%$ の場合を取り上げ回帰式から算定すると、円柱の106%増加に比べて角柱では21.5%増加である。すなわちその補強効率は約1/5に留まっている。

## 5. むすび

本研究ではコンクリート柱の軸圧縮に対する炭素繊維シート巻付けの補強効果に関する実験によってその基本的性質に関する知見を得た。特に補強効果として注目される圧縮強度比、最大応力時の縦圧縮歪比について、主として断面の形状とCFシート補強比の関係について検討した結果は次の通りである。

- 1) 圧縮強度比はCFシート補強比 ( $P_f$ ) の増加と共に大きくなる。指数関数回帰式によれば  $P_f = 0.2\%$  の例では圧縮強度は円柱では32%の増加が見込まれるのに対し、角柱では約6.8% (円柱の約1/5) 程度の増加が見込まれるにすぎない。
- 2) 最大応力時の圧縮歪はCFシート補強比 ( $P_f$ ) の増加と共に大きくなる。指数関数回帰式によれば圧縮歪み比  $P_f = 0.2\%$  の例では円柱の206% に比べて角柱では121.5%を示し、その補強効果は約1/5程度に過ぎない。

以上円柱と角柱についてCFシート補強比 ( $P_f$ ) と圧縮強度及び最大歪の増大効果に関する回帰式が得られたことから円柱と角柱の比較が明らかになると共に実大柱のシート巻き付け量とその効果の推定が可能になった。

## 謝辞

実験とデータの解析では卒業研究として取組んだ福井工業大学学生 中村安孝、佐久間隆一、針間壘、吉田敬洋、金子旭、吉村貴生、吉田圭助の諸君に負うところ大きく、機器の整備には助手 伊豆蔵庫喜氏の御協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会構造委員会, 新素材ファイバー補強構造小委員会;  
連続繊維補強材のコンクリート構造への応用, 日本建築学会, 1998.12.12.
- 2) 富井政英; コンクリートの拘束の勧め, コンクリート工学, Vol.36, No.6, p.21, 1998.
- 3) 川上英男; コンクリートの圧縮性状に及ぼす炭素繊維シート巻付けの影響, 福井工業大学研究紀要 第30号 第1巻, pp. 203-210, 2000.
- 4) N社技術資料, 炭素繊維耐震補強工法; クロスの継ぎ手強度評価, GT1301-R01-1/1, p. 5, 1997.5
- 5) N社技術資料, 鉄筋コンクリート構造物補強補修; CFRP引張試験結果比較, p. 8.
- 6) 中塚信, 小牟禮健一, 田垣欣也; 炭素繊維シートを用いたコンファインドコンクリートの軸応力度-軸ひずみ度特性, コンクリート工学論文集, 第9巻, 第2号, 1998.7, pp.65-77.

(平成12年11月28日受理)