

V-475

炭素繊維による円柱コンクリート拘束効果の検討

ショーボンド建設 正会員 小牟禮 建一
 ショーボンド建設 正会員 栗原 慎介
 大阪大学工学部 正会員 松井 繁之

1. まえがき

既存橋脚の耐震補強工法として、RC補強工法、鋼板接着工法等に加えて連続繊維による補強工法が実績を伸ばしている。しかし、現在この工法は曲げ補強及びせん断補強のみを目的としており、フープ方向の横拘束による圧縮応力及び終局軸歪みの向上、すなわち拘束効果については全く考慮していない。そこで今回、連続繊維によるコンクリート拘束効果の基礎的知見を得る目的で、炭素繊維で拘束した無筋円柱コンクリートの圧縮試験を行い拘束効果の検討を行ったので報告する。

2. 試験概要

図1に供試体作製概要を、表1に供試体一覧を示す。今回の実験では、無筋円柱コンクリート（ $\phi 100 \times 200$ ）のフープ方向に炭素繊維シートを巻き、エポキシ樹脂で接着したものを供試体とした。補強材に強度、弾性率の異なる2種類の炭素繊維を使用し、それぞれ表1に示した補強量で巻き付けた。試験は1軸圧縮試験とし、ロードセルで圧縮荷重を、供試体中央の歪みゲージでコンクリート軸歪み、フープ方向繊維歪みを測定した。なお試験は物性の異なる2種類のコンクリートを用いて行い、それぞれシリーズ1、2と表した。

3. 試験結果及び考察

図2、図3はシリーズ1、2の軸応力（ F_c ）－軸歪み（ ε_c ）、繊維歪み（ ε_{cf} ）－軸歪みを同時に表したものである。まず $F_c - \varepsilon_c$ 曲線を見ると、全ての補強供試体は、初期弾性域では無補強供試体と比較して明確な違いは見られないが、最大軸応力（ F_{uc} ）、終局軸歪み（ ε_{uc} ）は無補強のものより大きく、圧縮強度、じん性の両方が向上していることが判る。初期弾性域以降の応力上昇の傾きは高弾性繊維の方が大きい。また、最大応力は同一補強材間では補強量に伴って大きくなったが、同一補強量の場合、補強量 $150\text{g}/\text{m}^2$ 以下では高弾性の繊維、それ以上では高強度繊維の方が大きかった。これは微少なフープ方向歪みしか発生しない初期弾性域において、弾性率の低い高強度繊維の低補強量域では被補強コンクリートのボンドクラックの発生を抑制するのに十分な拘束応力が得られなかったためと思われる。

次に $\varepsilon_{cf} - \varepsilon_c$ 曲線では、補強量が多いほど同一 ε_c 時の ε_{cf} を小さくし、よりよく拘束性を発揮していることが判る。なお同一補強量では高弾性繊維の方が拘束性は高い。また、より大きい ε_{uc} は高弾性繊維より高強度繊維によって得られている。このときの無補強コンクリートからの ε_{uc} の増加率は図4に示すように同一シリーズ、繊維間では補強量と比例関係にあった。

拘束効果の解析をするに当たり、文献1)に示される帯

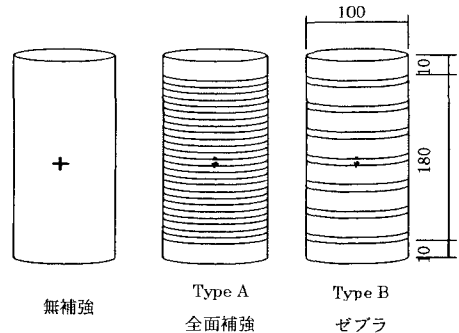


図1. 供試体作製概要

表1. 作製供試体一覧

シリーズ1 ($F_c=38.0 \text{ N/mm}^2$, $E_c=24567 \text{ N/mm}^2$)

供試体	補強材	FRP強度	FRP弾性率	使用量	補強TYPE
無補強	—	—	—	—	—
CM100	高弾性 (CM)	2907N/mm ²	440000N/mm ²	100g/m ²	TYPE A
CM200				200g/m ²	
CM300				300g/m ²	
CT100	高強度 (CT)	3868N/mm ²	230000N/mm ²	100g/m ²	TYPE A
CT200				200g/m ²	
CT300				300g/m ²	

シリーズ2 ($F_c=43.2 \text{ N/mm}^2$, $E_c=33872 \text{ N/mm}^2$)

供試体	補強材	FRP強度	FRP弾性率	使用量	補強TYPE
無補強	—	—	—	—	—
CM50	高弾性 (CM)	2907N/mm ²	440000N/mm ²	50g/m ²	TYPE B
CM100				100g/m ²	TYPE A
CM150				150g/m ²	TYPE B
CM600				600g/m ²	TYPE A
CT50	高強度 (CT)	3868N/mm ²	230000N/mm ²	50g/m ²	TYPE B
CT100				100g/m ²	TYPE A
CT150				150g/m ²	TYPE B
CT600				600g/m ²	TYPE A

* E_c は歪みゲージよりの実測値

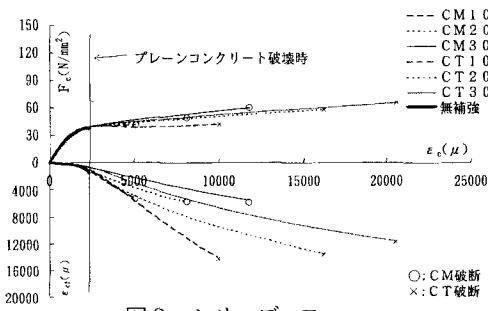


図2. シリーズ1 $F_c - \epsilon_c$, $\epsilon_{cf} - \epsilon$

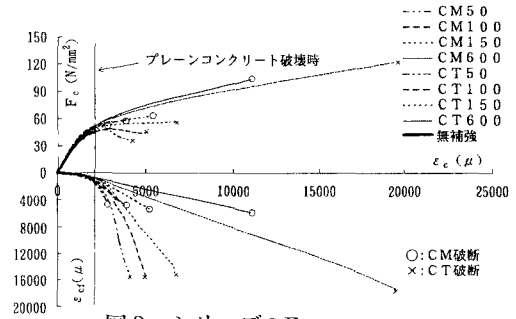


図3. シリーズ2 $F_c - \epsilon_c$, $\epsilon_{cf} - \epsilon$

鉄筋の拘束解析式を、式中の記号を変えて式(1)に示す。

$$F_{uc}/F_0 = 1 + 3.70 \cdot \rho_s \cdot \sigma_{yh}/F_0 \quad (1)$$

F_0 : 無補強コンクリート圧縮応力
 ρ_s : 帯鉄筋体積比
 σ_{yh} : 帯鉄筋降伏強度

ここで ρ_{cf} : 炭素繊維体積比、 σ_{ucf} : CFRP引張強度として縦軸に F_{uc}/F_0 、横軸に $\rho_{cf} \cdot \sigma_{ucf}/F_0$ をとり、今回の実験結果をプロットした結果、グラフの傾きは(1)式の約50%となり³⁾、低減率の必要性が示唆された。ここで文献1)において中川、中塚らはスパイラル状の横拘束筋を用いた拘束実験で、拘束効果による最大軸圧縮応力の上昇率について、次のように提案している。

$$F_{uc}/F_0 = 1 + 4.41 \cdot \kappa_F \cdot p_s \cdot \sigma_{sy}/F_0 \cdot (1 - 1.24S/D) \quad (2)$$

κ_F : $1 - e^{-A_{F1} \cdot (100 \cdot p_s)}$ A_{F1} : $1/(\sigma_{sy}/200 \cdot A_{F2})^2 + A_{F2}$
 A_{F2} : $2.0 (F_0 \leq 60)$, $-F_0/30 + 4 (60 < F_0 < 120)$
 F_{uc} : 軸圧縮応力 κ_F : 低減係数
 p_s : 横補強筋面積比 σ_{sy} : 横補強筋降伏強度
 D : 横補強筋巻径 S : 横補強筋ピッチ

この式から、 p_{cf} : 炭素繊維面積比、 σ_{ucf} : CFRP引張強度として縦軸に F_{uc}/F_0 、横軸に $\kappa_F \cdot p_{cf} \cdot \sigma_{ucf}/F_0$ をとってプロットした結果を図5に示す。実験値は(2)式の値とほぼ近似しており、横拘束筋の場合と同様の解析式を炭素繊維にも適用できる可能性があることが判る。

4. まとめ

今回の実験で以下のことが判った。

- 1) 炭素繊維巻き付け補強では、コンクリートの初期弾性域を超えた後、明確な拘束効果を発揮する。
- 2) 補強コンクリートの終局軸歪み、最大軸圧縮応力は、補強量の増大に伴って増加する。
- 3) 炭素繊維を補強材に用いた場合、最大軸圧縮応力、終局歪み増加の面から、高強度繊維の方が有利である。
- 4) 炭素繊維の場合も、横拘束筋と同様の解析式によって最大軸圧縮応力を算定できる可能性がある。

- 参考文献
- 1) 川島彦、星隈順一、長屋和宏：帯鉄筋による拘束を取り入れたコンクリートの応力-ひずみ関係式の提案、土木技術資料 36-3、pp.46～51、1994
 - 2) 中川裕史、中塚佑、鈴木計夫、坂井由尚：コンファインドコンクリートの強度・変形特性推定式、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.305～306、1995、8月
 - 3) 小牟禮建一、栗原慎介、松井繁之：円柱コンクリートの炭素繊維による拘束効果の検討、土木学会関西支部、1996、5月

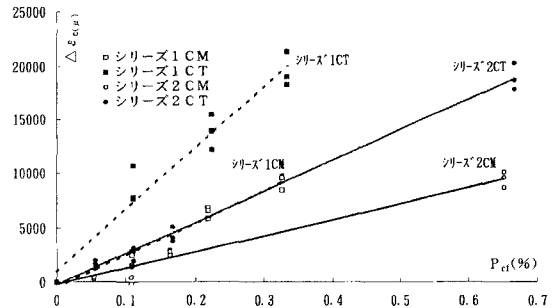


図4. $\Delta \epsilon_c - p_{cf}$ 関係

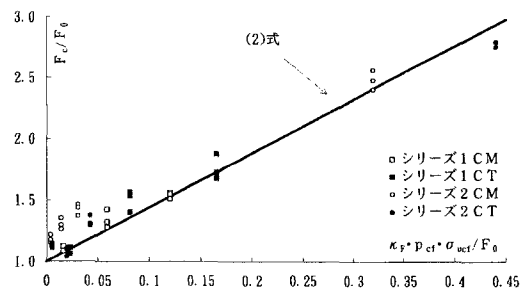


図5. 最大軸圧縮応力上昇率の解析式