

繊維補強コンクリートを用いた鉄骨コンクリート部材の 構造性能に関する研究

— その4 繊維補強コンクリートの偏心圧縮実験 —

日大生産工 (院) ○六田莉那子
日大生産工 (院) 荒牧 龍馬
日大生産工 藤本 利昭

1 はじめに

筆者らは、鉄骨鉄筋コンクリート (SRC構造) の鉄筋を省略し、繊維補強コンクリート (Fiber Reinforced Concrete, 以下FRC) を用いた鉄骨コンクリート構造 (Concrete Encased Steel Structure, 以下CES構造とする。図-1参照) の実用化に向け、構造性能の検討を行っている。CES構造の構造性能を適切に評価するためには、CES構造に適用されるFRCの構造性能を把握することも重要であり、既報 (その1)¹⁾ において、FRCの圧縮、曲げ、割裂引張実験により、圧縮強度ならびにひび割れ強度の検討を行ってきた。本報告では、FRCの偏心圧縮実験を行い、FRCの曲げ圧縮特性について検討を行った。

2 実験概要

2.1 試験体

試験体形状は、 $b \times D = 100 \times 100 \text{mm}$ の正方形断面で長さ $L = 400 \text{mm}$ とした。表-1に調査表を示す。試験体数は8体で、設計基準強度 $F_c = 27 \text{N/mm}^2$ の普通コンクリートに直径 0.66mm 、長さ 30mm のビニロンファイバー (RF4000) を体積混入率で1.0%混入して製作した。

2.2 実験方法

実験方法を図-2に示す。加力は、2000kN試験機を用いて行った。試験体上下の拘束条件は、かまぼこ型球座を用いてピン支持として実施した。実験は、中心圧縮実験、断面主軸方向に偏心圧縮した1軸偏心圧縮実験、主軸に対して45度方向に偏心圧縮した2軸偏心圧縮実験の3種類とした。

偏心距離 e は試験体断面の図心位置からとし、1軸偏心圧縮実験では、 $e = 5 \text{mm} \sim 25 \text{mm}$

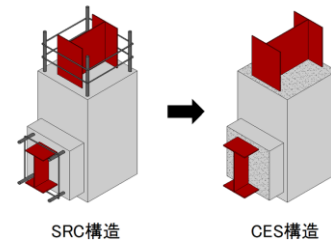
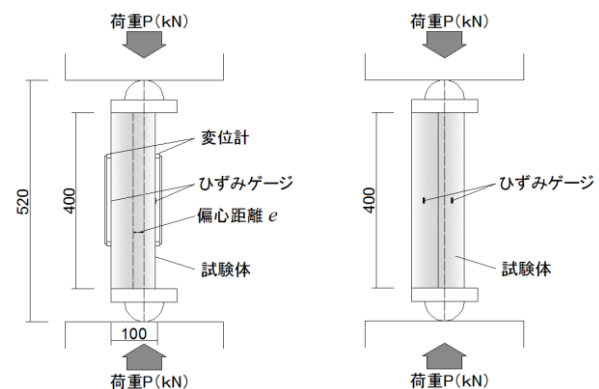


図-1 CES構造のシステム

表-1 調査表

W/C (%)	単位質量 (kg/m ³)				
	水	セメント	細骨材		
			山砂	砕砂	粗骨材
64	190	297	635	164	979



(a) 1軸偏心 (b) 2軸偏心

図-2 実験方法

とし、5mmピッチで変化させた。2軸偏心圧縮実験では、主軸のX、Y方向にそれぞれ $e_x = e_y = 10 \text{mm}$ 、 15mm の2ケースとした。計測は、図-2に示すように1軸偏心圧縮実験では試験体長さ中央部に貼り付けた2枚のひずみゲージと同一面に取り付けたパイ型変位計 (検長200mm) により試験体の軸ひずみならびに曲率を測定

Study on Structural Performance of Concrete Encased Steel Member using Fiber Reinforced Concrete

— Part.4 Eccentric Compression Experiment of Fiber Reinforced Concrete —
Rinako ROKUTA, Ryoma ARAMAKI and Toshiaki FUJIMOTO

した。2軸偏心圧縮実験では、試験体側面の長さ中央部にそれぞれ4枚のひずみゲージを貼り付け、試験体の軸ひずみならびに曲率を測定した。

3 実験結果

3.1 軸方向応力—軸ひずみ関係

実験結果の一覧を表-2に示す。図-3に軸方向応力—軸ひずみ関係を示す。図の縦軸は荷重 N を試験体の断面積で除したもので、横軸は試験体の図心位置における軸ひずみである。なお本報告では、圧縮ひずみを正、引張りひずみを負として示している。図中には弾性剛性 E も示しているが、いずれの試験体も初期剛性はほぼ一致している。偏心距離が大きい試験体ほど、軸方向応力が低い段階で剛性低下が生じ、低い応力度で最大値に達している。

3.2 曲げモーメント—曲率関係

図-4に曲げモーメント—曲率関係を示す。図の縦軸 M は、 $M=N \cdot e$ として求めた値であり、横軸は1軸および2軸偏心圧縮実験ともに断面主軸方向の曲率を示している。いずれの試験体においても、実験の初期剛性は、計算弾性剛性 EI とほぼ一致していることがわかる。一方で、偏心距離 e が大きくなるほど、モーメントが高くなる傾向となった。1軸と2軸偏心圧縮実験で偏心距離が等しい場合、曲げモーメントの最大値は2軸偏心が小さくなるが、最大値までの挙動はほぼ同様といえる。

3.3 断面内のひずみ分布

図-5に最大荷重時における断面内のひずみ分布を示す。1軸偏心圧縮実験では変位計より求めた値を、2軸偏心圧縮実験ではひずみゲージの値を示している。本試験体では偏心距離が、1軸偏心では $e \leq 15\text{mm}$ 、2軸偏心では $e_x, e_y \leq 10\text{mm}$ が断面の核の内側になるが、実験では1軸偏心が $e=5\text{mm}$ 、2軸偏心が $e_x, e_y=10\text{mm}$ の場合のみ断面内のひずみが圧縮側となった。他の試験体では、中立軸は断面内にあり、偏心距離が大きくなるほど圧縮縁から中立軸までの距離が短くなっていることが確認できる。圧縮側の縁ひずみは1軸偏心圧縮実験では、いずれの試験体も $\varepsilon \approx 0.003 \sim 0.004$ で、2軸偏心では $\varepsilon \approx 0.002$ であった。

4 FRCの曲げ圧縮耐力

4.1 1軸偏心実験

軸方向力と曲げモーメントを受けるCES部材の耐力は、日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」²⁾ (以下SRC規準

表-2 実験結果の一覧

	偏心距離 $e(\text{mm})$	最大荷重 $N(\text{kN})$	モーメント $M(\text{kN}\cdot\text{m})$	中立軸 (mm)	ひずみ $\varepsilon_x(\times 10^{-6})$	ひずみ $\varepsilon_y(\times 10^{-6})$
中心圧縮	$e=0$	397	-	-	1854	2318
	$e=5$	335	1.67	107.0	3131	205
	$e=10$	312	3.12	85.3	3578	-614
	$e=15$	250	3.75	79.5	3849	-995
	$e=20$	235	4.71	66.7	4163	-2077
1軸偏心	$e=25$	219	5.48	58.7	4059	-2859
	$e_x=e_y=10$	267	3.77 (2.67)	110.1 108.5	2224 1717	205 135
	$e_x=e_y=15$			94.3	2406	-144
			212	4.51 (3.19)	88.7	2258

$$\ast M = N \cdot e, \quad M = N \cdot \sqrt{2}e_x = N \cdot \sqrt{2}e_y$$

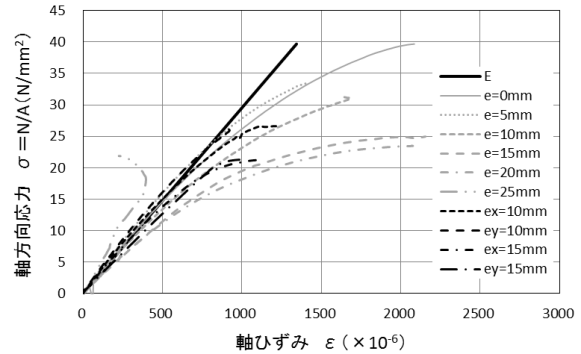


図-3 軸方向応力—軸ひずみ関係

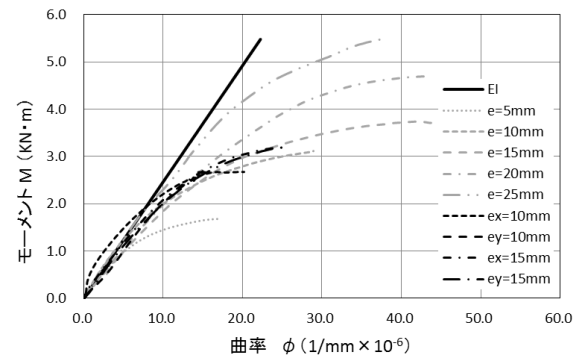


図-4 曲げモーメント—曲率関係

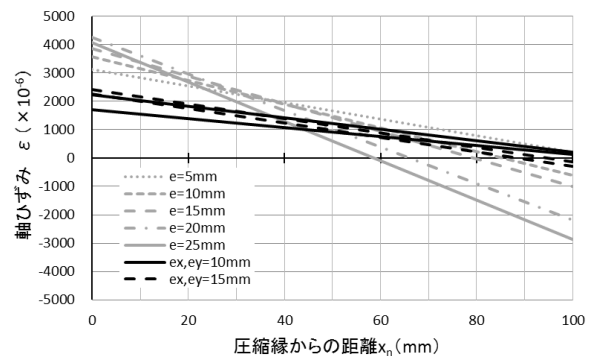


図-5 断面内のひずみ分布

とする)に基づく一般化累加耐力式により算定される。SRC規準では、短期許容曲げ耐力ならびに終局曲げ耐力を図-6に示すようなストレスブロックを仮定することで、求められることができる。また、短期許容圧縮耐力 N_s および短期許容曲げモーメント M_s は、次式により求めた。

・中心圧縮

$$N_s = f_c \cdot b \cdot D, \quad M_s = 0$$

ここで、 f_c : FRC の短期許容応力度 ($= (2/3)\sigma_B$), b, D : 断面の幅およびせい (本実験では $b=D=100\text{mm}$) である。

・偏心圧縮

$$N_s = f_c \cdot b \cdot x_n / 2$$

$$M_s = f_c \cdot b \cdot x_n (3D - 2x_n) / 12$$

ここで、 x_n : 圧縮縁から中立軸までの距離である。

同様に、終局圧縮耐力 N_u および終局曲げモーメント M_u は、次式により求めた。

・中心圧縮

$$N_u = c r_u \cdot \sigma_B \cdot b \cdot D, \quad M_u = 0$$

・偏心圧縮

$$N_u = c r_u \cdot \sigma_B \cdot b \cdot x_n$$

$$M_u = c r_u \cdot \sigma_B \cdot b \cdot x_n (D - x_n) / 2$$

ここで、 $c r_u$: 鉄骨比に応じて定まるコンクリート強度の低減係数 ($c r_u = 0.85 - 2.5_s P_c$, $s P_c$: 圧縮側鉄骨比) である。

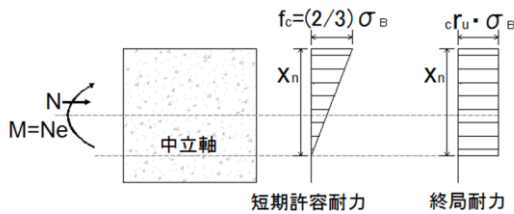


図-6 SRC 標準によるストレスブロック

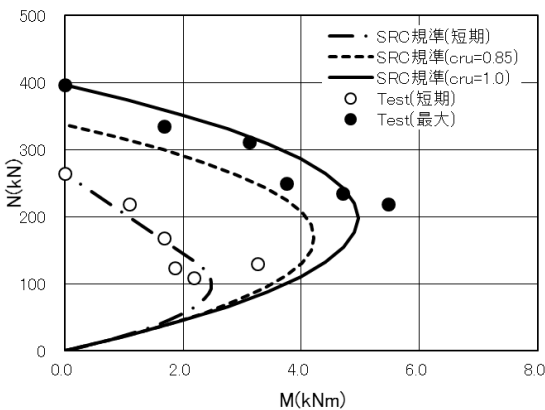


図-7 1 軸偏心圧縮の M-N 相関関係

図-7 に SRC 標準による各耐力の計算値に実験結果をプロットして示す。本実験は FRC のみの試験体であるため、 $c r_u = 0.85$ となるが、参考のため $c r_u = 1.0$ とした計算結果も併せて示している。また、偏心圧縮試験体の短期許容耐力は、中心圧縮実験より得られた応力-ひずみ関係を基に、圧縮応力度が $(2/3)\sigma_B$ に達

したときのひずみを求め、圧縮縁ひずみはその値に達したときの荷重から求めている。短期許容耐力に関しては、実験結果に多少のばらつきはあるものの、SRC 標準との対応は良好である。

最大耐力に関しては、実験結果は $c r_u = 0.85$ とした求めた耐力を全ての試験体で上回っている。一方で $c r_u = 1.0$ とした計算結果に対しては、偏心距離が最も大きい $e = 25\text{mm}$ の試験体では計算値を上回っているものの、他の試験体では若干下回った。CES 部材の終局曲げ耐力は、SRC 標準に基づく一般化累加耐力により精度良く求められることがわかっている³⁾。以上のことから、FRC 部分の曲げ耐力は、SRC 標準に準じてストレスブロックの評価に $c r_u$ を用いることで安全側に評価できることがわかった。

4.2 2軸偏心実験

1軸偏心実験と同様に、2軸偏心を受ける FRC 部材の曲げ圧縮耐力の検討を行った。なお2軸曲げを受ける FRC の短期許容耐力 N_s および M_s は SRC 標準により求め、終局圧縮耐力 N_u および終局曲げモーメント M_u は、次式により求めた (図-8 参照)。

$$(0 \leq x_n \leq D/\sqrt{2})$$

$$N_u = c r_u \cdot \sigma_B \cdot x_n^2$$

$$M_u = c r_u \cdot \sigma_B \cdot x_n^2 (D/\sqrt{2} - 2x_n/3)$$

$$(D/\sqrt{2} \leq x_n \leq 2D/\sqrt{2})$$

$$N_u = c r_u \cdot \sigma_B \{D^2 - (2D/\sqrt{2} - x_n)^2\}$$

$$M_u = c r_u \cdot \sigma_B (2D/\sqrt{2} - x_n)(2x_n - D/\sqrt{2})/3$$

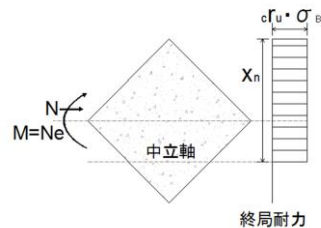


図-8 SRC 標準によるストレスブロック

図-9 に SRC 標準による各耐力の計算値に実験結果をプロットして示す。図の横軸は曲げ方向 (45度方向) の曲げモーメントを、終局耐力の計算値は、図-7 と同様に $c r_u = 0.85$ と $c r_u = 1.0$ とした計算結果を示している。短期許容耐力に関しては、SRC 標準式を若干上回り、実験結果と計算値との対応は良好である。最大耐力に関しては、実験結果は全ての試験体で $c r_u = 0.85$ とした求めた耐力 $c r_u = 1.0$ とした耐力の間にプロットされており、2軸曲げを受

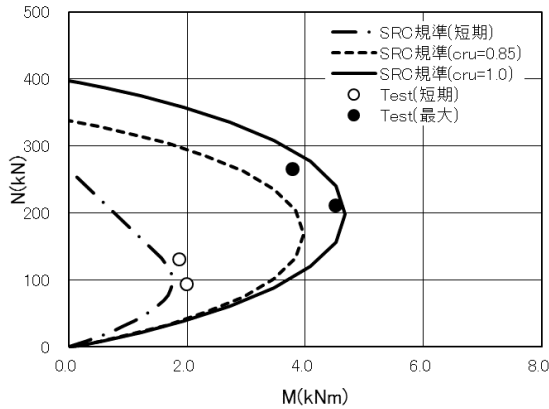


図-9 2軸偏心圧縮のM-N相関関係

ける場合においても、FRC部分の耐力はSRC規準に基づき算定して良いものと判断される。

4.3 断面曲げ解析によるFRCの終局耐力の検討

さらにFRCの耐力を調べるため、平面保持の仮定による断面曲げ解析（ファイバーモデル）による比較を行った。断面曲げ解析によるFRCの応力-ひずみ関係は、文献3)でFRCを対象に提案されたモデルを用いた。このモデルは、圧縮側コンクリートは孫・崎野モデルを基に提案されたもので、引張側はFRCの引張特性を考慮したものである。なお、断面曲げ解析は図-10に示すように曲げ方向に対して断面を20分割している。また耐力曲線は、圧縮縁ひずみ ϵ_{cu} が0.3%の時の耐力で評価している。

断面曲げ解析による結果と実験結果を1軸偏心に関しては図-11に、2軸偏心に関しては図-12に示す。FRCの引張強度を無視した場合と考慮した場合の2ケースについて示している。また比較のためSRC規準の耐力曲線（ $c_{ru}=0.85$ と $c_{ru}=1.0$ の2ケース）も示している。FRCの引張強度を無視した場合の断面曲げ解析の結果は、SRC規準において $c_{ru}=0.85$ と $c_{ru}=1.0$ の耐力曲線の間に位置しており、実験結果との対応は、SRC規準に比べ良好である。引張強度を考慮した場合の断面曲げ解析の結果は、軸力が高い範囲では引張強度を無視した場合の断面曲げ解析の結果と一致するが、軸力が低い領域ではSRC規準との比較も含め、曲げ耐力が大きく評価されることがわかる。よって、偏心距離が大

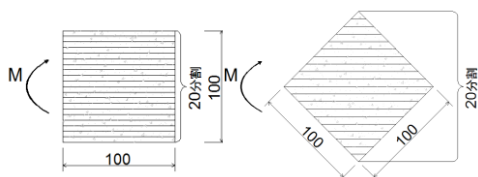


図-10 断面曲げ解析における要素分割

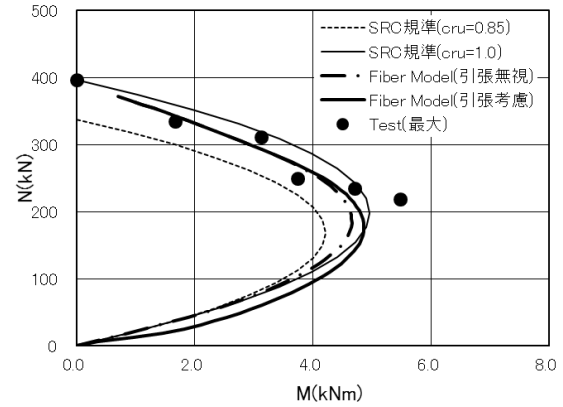


図-11 1軸曲げを受けるFRCの解析との比較

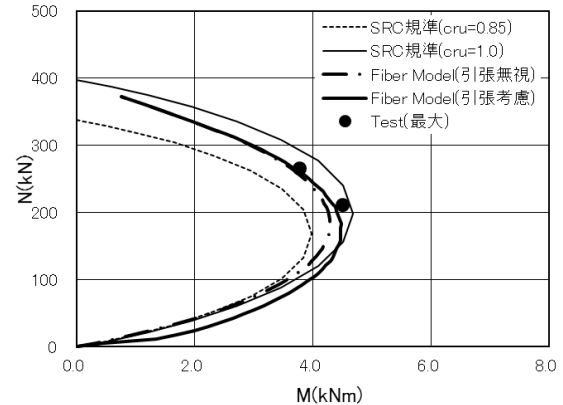


図-12 2軸曲げを受けるFRCの解析との比較

きい（軸力が低い）場合には、FRCの引張強度を考慮したほうが実験との対応が良くなることわかる。

5 まとめ

CES構造に用いられるFRCの曲げ圧縮性能を確認する目的で、偏心圧縮実験を行い、その結果、軸力と曲げモーメントを受けるFRCの耐力は、SRC規準に基づき安全側に評価できることがわかった。更に断面曲げ解析により、FRCの耐力を精度よく評価できることを示した。

参考文献

- 1) 六田莉那子, 藤本利昭: 繊維補強コンクリートを用いた鉄骨コンクリート部材の構造性能に関する研究 その1 ひび割れ強度の検討, 日本大学生産工学部第45回学術講演会講演概要集, pp.57-60, 2012.12
- 2) 日本建築学会: 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2001
- 3) 藤本利昭, 倉本洋, 松井智哉, 小松博: 繊維補強コンクリートの材料特性を考慮したCES柱の終局耐力に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第658号, 2010年12月