

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5 中心圧縮実験—

日大生産工 (学部) ○大崎 広貴 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(以下、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)の実用化に向け、構造性能の検討を行っている。

既報(その2)¹⁾では、比較的幅厚比の小さい内蔵鉄骨を用いたCES柱の圧縮実験により、CES柱が優れた圧縮性能を示すことを明らかにした。しかしながら、今後のCES構造の実用化を考えた場合、内蔵鉄骨の幅厚比の適用範囲についても明らかにする必要がある。

そこで本報告では、CES柱の基本的な構造性能を表す圧縮性状について、内蔵鉄骨の幅厚比を実験変数とした中心圧縮実験により検討を行った。

2 実験概要

2.1 試験体

実験は、鉄骨をFRCにより被覆したことによる内蔵鉄骨の補剛効果を検証するため、幅厚比を実験変数とした。試験体の一覧を表-1に示す。試験体は、幅厚比の異なる3種類の鉄骨試験体と、その鉄骨を内蔵したCES試験体、ならびにFRC試験体の合計7体である。

No.1の鉄骨断面は日本建築学会「鋼構造計算規準」(以下S規準²⁾)の幅厚比制限値を満足する試験体であり、No.2はフランジのみS規準を満足せず、No.3のフランジはS規準および日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート構造規準」(以下SRC規準³⁾)を満足せず、ウェブはS規準を満足しない幅厚比とした。なお、FRC断面は

$b \times D = 150 \times 150 \text{mm}$ の正方形断面とし、試験体高さは $300 \text{mm} (=2D)$ とした。また、コンクリートの打設は試験体上端より、縦打ちで行った。コンクリート打設面は、鋼材とコンクリート断面に均等に軸力が作用するように、サンダーで研磨した後、石膏を用いて平滑に仕上げた。

表-1 試験体の一覧

試験体	断面構成		
	内蔵鉄骨 (mm)	断面積 (mm ²)	FRC断面 $b \times D$ (mm)
S-No.1	BH-100×100×3.2×4.5	1199	—
S-No.2	BH-100×100×2.3×3.2	849	—
S-No.3	BH-150×150×2.3×3.2	1281	—
CES-No.1	BH-100×100×3.2×4.5	—	150×150
CES-No.2	BH-100×100×2.3×3.2	—	150×150
CES-No.3	BH-150×150×2.3×3.2	—	150×150
FRC	—	—	150×150

Fc27N/mm² 繊維:ピニロンファイバー(RF4000) 体積混入率1%

BH-100×100×3.2×4.5 BH-100×100×2.3×3.2 BH-150×150×2.3×3.2

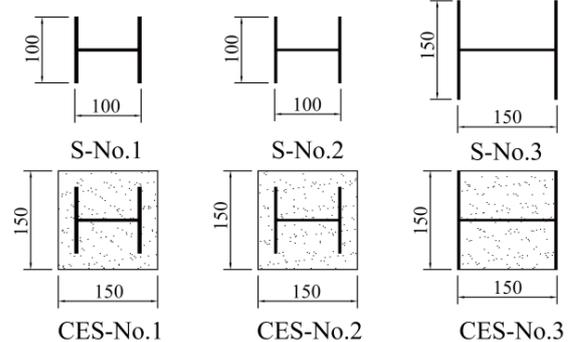


図-1 試験体形状

表-2 コンクリート調査表

種類	W/C (%)	単位質量 (kg/m ³)			
		水	セメント	細骨材	
コンクリート	65	183	282	山砂	砕砂
				658	169

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

— Part.5 Compression Test —

Hiroataka OSAKI, Rinako ROKUTA, Ryoma ARAMAKI and Toshiaki FUJIMOTO

2.2 使用材料

使用したコンクリートの調合表を表-2に、材料試験（圧縮試験）結果を表-3に示す。コンクリートの設計基準強度は、 27N/mm^2 を目標とした。FRCに使用した繊維は、直径 0.66mm 、長さ 30mm のビニロンファイバー（RF4000）であり、普通コンクリートに体積混入率で 1.0% 混入して製作した。コンクリートの強度用試験体は $\phi 100 \times 200$ とし、封かん養生とした。

FRCの圧縮強度は、普通コンクリートに比べ低下することが既報（その1）⁴⁾においても報告しており、本実験結果も同様の結果といえる。

表-4に鋼材の材料試験結果を示す。内蔵鉄骨にはSS400材を用いた。なお鋼材の引張試験片は5号試験片を用いた。

2.3 加力および計測方法

加力は図-2に示すように、試験体上下の拘束条件を上端球座、下端固定として実施した。載荷は 2000kN 試験機による単調載荷とし、試験体の平均軸方向ひずみ ε ($=\delta/h$, δ =軸力方向変位, h =試験体高さ)が 5% に達するまで行うことを原則とした。

測定は、図-2に示すように試験体2ヶ所に変位計を取り付け、上下加力用プレート間の平均変位を測定した。また、H形鋼のフランジには1軸ひずみゲージを、ウェブには2軸ひずみゲージを貼付し、FRCの側面（4面）にも、1軸ひずみゲージを貼付して、各部のひずみを測定した。

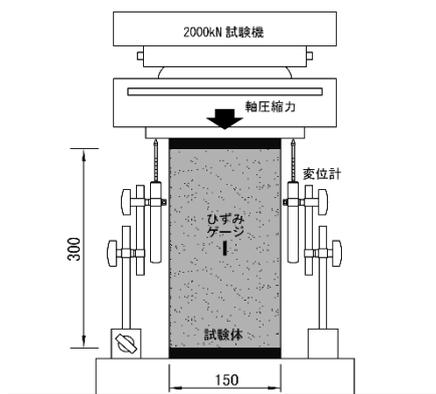


図-2 実験方法およびゲージ位置

3 実験結果

3.1 鉄骨試験体

鉄骨試験体（S-No.1, 2, 3）の圧縮試験結果を表-5および図-3に、最終破壊形状を図-4に示す。表-5には、材料試験による降伏強度 σ_y を用いた降伏耐力 N_y と実験から得られた最大耐力 N_{exp} を示している。また、図-3の縦軸は各試験

体の荷重 N を計算降伏耐力 N_y で基準化 (N/N_y)して表している。

各試験体の最大耐力はS-No.1, No.2では、降伏耐力 N_y を上回り、 $1.16 \sim 1.20$ 倍の耐力を発揮

表-3 コンクリートの材料試験結果

種類	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)
ベースコンクリート	30654	34.3
繊維補強コンクリート	28007	31.8

表-4 鋼材の材料試験結果

種類	板厚 t (mm)	ヤング係数 E_s	降伏強度 σ_y	引張強度 σ_t	破断伸び ε	
		(kN/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	
BH- 100×100×3.2×4.5	ウェブ	3.18	197	307	425	38.2
	フランジ	4.55	195	290	442	40.4
BH- 100×100×2.3×3.2	ウェブ	2.28	200	307	362	35.8
	フランジ	3.18	197	307	425	38.2
BH- 150×150×2.3×3.2	ウェブ	2.28	200	307	362	35.8
	フランジ	3.18	197	307	362	38.2

表-5 鉄骨柱試験体の耐力一覧

	N_y (kN)	N_{exp} (N/mm ²)	N_{exp}/N_y
S-No.1	358	430	1.20
S-No.2	261	302	1.16
S-No.3	393	302	0.77

N_y :降伏耐力 ($=\sigma_y \cdot A$:鋼材の断面積), N_{exp} :最大耐力

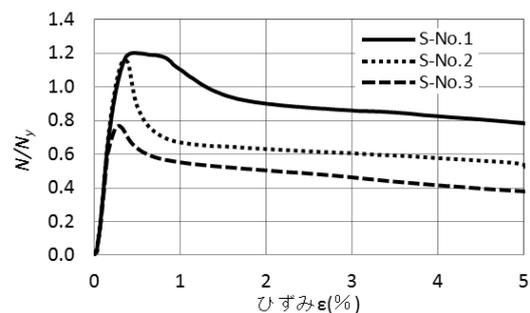


図-3 鉄骨試験体の実験結果



図-4 鉄骨の最終破壊形状

し、その後フランジおよびウェブの局部座屈が顕著になり、耐力が低下した。最大耐力後の耐力低下は、S-No.1に比べ幅厚比の大きいS-No.2の方が大きくなっている。一方、最も幅厚比が大きいS-No.3では、降伏耐力 N_y に達する前の $0.77N_y$ 時に局部座屈により耐力低下が生じた。

3.2 FRC試験体

FRC試験体の圧縮試験結果を表-6および図-5に示す。本実験では、最大耐力から求めたコンクリートの圧縮強度 σ_{exp} は、材料試験による圧縮強度 σ_B に比べ、若干低い結果となった。原因は明らかではないが、寸法効果や断面形状の影響が考えられる。

3.3 CES試験体

CES試験体の圧縮試験結果を表-7および図-6に、最終破壊形状を同一断面の鉄骨試験体と比較して図-7に示す。表-7には、SRC規準³⁾に示された式(1)による計算圧縮耐力 N_u も示している。

$$N_u = N_s + N_c = \sigma_y \cdot A_s + r_u \cdot \sigma_B \cdot A \quad (1)$$

ここで、 N_s 、 N_c ：鉄骨およびコンクリート部分の終局圧縮耐力、 σ_y ：鉄骨の降伏強度、 A_s ：鉄骨の断面積、 r_u ：コンクリート強度の低減係数(=0.85-2.5 p_c 、 $p_c=A_s/A$)、 σ_B ：コンクリート圧縮強度、 A ：合成部材の全断面積である。また図-6の縦軸は、軸方向力 N を計算圧縮耐力 N_u で基準化(N/N_u)して表している。

CES試験体では、耐力低下と共にひび割れが発生したものの、実験終了までコンクリートの大きな剥落は認められなかった(図-7参照)。図-6より、いずれの試験体においても計算耐力

表-6 コンクリート柱試験体の耐力一覧

	N_{exp} (kN)	σ_{exp} (N/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	σ_{exp}/σ_B
FRC	586	26.1	31.8	0.82

σ_{exp} ：圧縮強度(= N_{exp}/A_c 、 A_c ：コンクリート断面積)

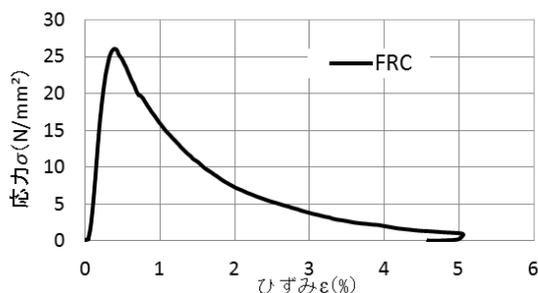


図-5 FRC試験体の実験結果

表-7 CES柱試験体の耐力一覧(単位:kN)

	N_c	N_s	N_u	N_{exp}	N_{exp}/N_u
CES-No.1	513	358	871	1003	1.15
CES-No.2	541	261	801	908	1.13
CES-No.3	506	393	900	1014	1.13

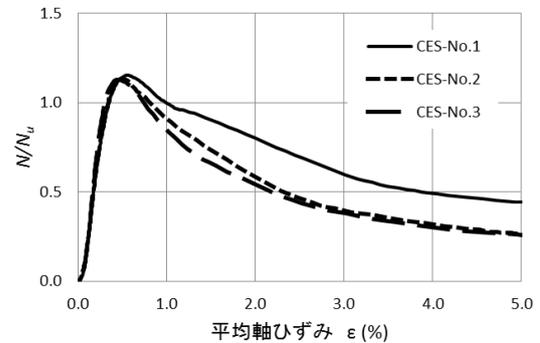


図-6 CES試験体の実験結果



S-No.1 CES-No.1
(a) No. 1試験体



S-No.2 CES-No.2
(b) No. 2試験体

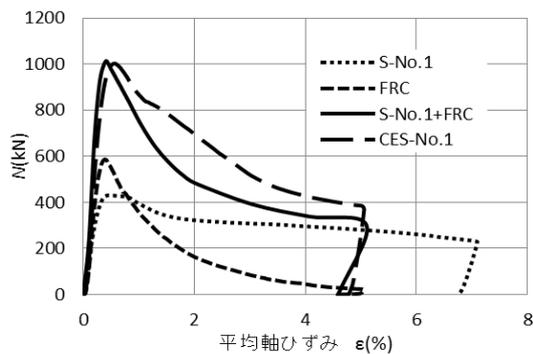


S-No.3 CES-No.3
(c) No. 3試験体

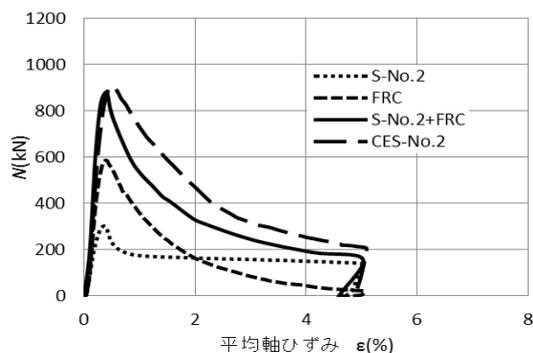
図-7 最終破壊形状の比較

に対する最大耐力の比 (N_{exp}/N_u) に差がないことが分かる。内蔵鉄骨のみでは弾性座屈により降伏耐力に達せず耐力低下したS-No.3が、FRCで被覆したCES-No.3になると計算耐力を上回ったことから、最大耐力に関してはFRCによる内蔵鉄骨の座屈補剛効果が認められたものと考えられる。しかしながら、幅厚比が最も小さいCES-No.1に対してCES-No.2、No.3と幅厚比が大きくなると、最大耐力後の耐力低下が大きくなっており、幅厚比の違いによる変形性能への影響が認められた。

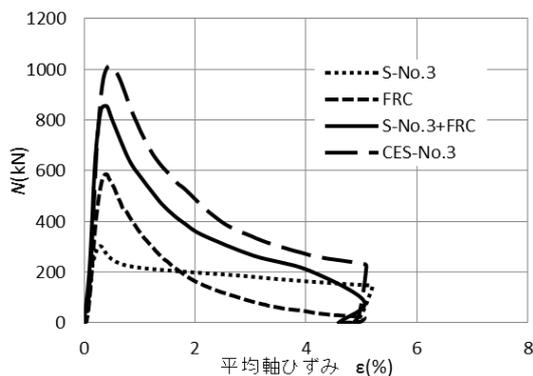
図-8は、CES試験体の実験結果に同断面の鉄骨試験体、FRC試験体、ならびにそれらを足し合わせた結果 (S+FRC) を重ね合わせて示したものである。CESとS+FRCを比較すると、最大



(a) CES-No. 1



(b) CES-No. 2



(c) CES-No. 3

図-8 S+FRC, CESの比較

耐力に関してはNo.1では両者の差は認められないが、No.2ではCESの耐力が若干高くなっている。更にNo.3では、S+FRCに対してCESの耐力が明らかに上回っている。

また最大耐力以降の耐力低下に関しては、No.1~No.3の何れもCESがS+FRCに比べ緩やかであり、これは合成効果によるものと考えられる。

4 内蔵鉄骨の幅厚比制限に関する検討

SRC構造における内蔵H形鋼の幅厚比制限は、SRC規準³⁾において、S規準²⁾の制限値のフランジで1.5倍、ウェブで2.0倍とされている。CES構造における幅厚比制限を考えた場合、SRC構造とは鉄筋がないこととFRCを用いていることが異なる。

しかしながら、SRC規準における幅厚比制限緩和の根拠は、フランジ局部座屈に対しては、フランジとウェブに挟まれたコンクリートにより、支持条件が変わり座屈強度が上昇すること、一方ウェブに関しては、両面が厚いコンクリートで押さえられていることなどとされている。

今回の実験でも図-7, 8からもわかるように、CES構造に関しても同様の効果が認められ、SRC構造と同様の幅厚比制限を用いても良いものと考えられる。

5 まとめ

幅厚比の大きい内蔵鉄骨を用いたCES部材の中心圧縮実験により、以下の知見を得た。

鉄骨部材としてはS規準を満足しない弾性座屈するような断面であっても、FRCで被覆することにより強度と変形性能が向上する。このことから、CES部材としての内蔵鉄骨の幅厚比制限の緩和の可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 六田莉那子, 荒牧龍馬, 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 2 圧縮性状の検討, 日本大学生産工学部第 46 回学術講演会講演概要集, pp.1-4, 2013.12
- 2) 日本建築学会: 鋼構造設計規準, 2005.9
- 3) 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
- 4) 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