

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

前報（その1）¹⁾に引き続き、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。

本報告ではCES柱の基本的な構造性能を把握するため、柱部材としての基本性能を表す圧縮性状について、普通コンクリートとの比較を基に検討を行った。²⁾

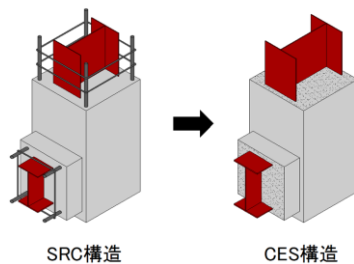


図-1 CES構造システム

2 実験概要

2.1 試験体

試験体の一覧を表-1に、代表的な試験体の断面形状を図-2に示す。

試験体は、断面形状を $b \times D = 150 \times 150 \text{ mm}$ の正方形断面とし、H形鋼（H-100 $\times$ 100 $\times$ 6 $\times$ 8）をコンクリートで被覆した試験体を標準として、内蔵鉄骨の形状（H形鋼，交差型H形鋼（2H-100 $\times$ 50 $\times$ 5 $\times$ 7））および有無，被覆コンクリートの有無およびコンクリートの種類（普通コンクリート，FRC）を実験変数とした7体を計画した。なお，試験体の高さは450mmとし、

表-1 試験体一覧

試験体 名称	断面構成	
	内蔵鉄骨	被覆部
S-SH	H-100*100*6*8	—
S-DH	2H-100*50*5*7	—
SC-SH	H-100*100*6*8	普通コンクリート
PC	—	
CES-SH	H-100*100*6*8	繊維補強コンクリート
CES-DH	2H-100*50*5*7	
FRC	—	

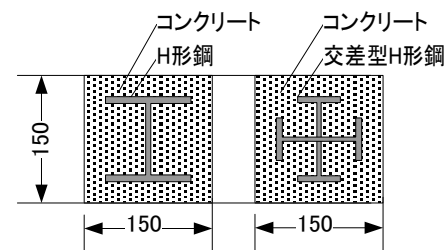


図-2 代表的な試験体形状

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軸力が作用するように、ワイヤーブラシで研磨した後、鋼材と高さが等しくなるようセメントペーストを用いて平滑に仕上げた。なお試験体はシートで覆い実験室内で養生した。

2.2 使用材料

使用したコンクリートの調査表を表-2に、材料試験（圧縮試験）結果を表-3に示す。各コンクリートの設計基準強度は 36 N/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

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

－ Part.2 Investigation of Compression Behavior －

Rinako ROKUTA, Ryoma ARAMAKI and Toshiaki FUJIMOTO

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供試体は $\phi 100 \times 200$ とし、封かん養生とした。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-3に示すように、試験体上下の拘束条件を固定として実施した。載荷は5000kN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-3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。

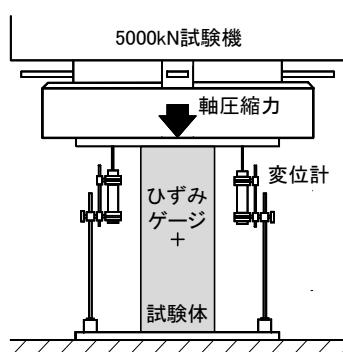


図-3 実験方法

3 実験結果

3.1 鉄骨柱試験体

鉄骨柱試験体の圧縮試験結果を図-4および表-5に、最終破壊形状を図-5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 、圧縮試験結果から0.2%オフセット法により求めた降伏強度 σ_{yc} および降伏耐力 N_{yc} を示している。いずれの試験体も、最大耐力は局部座屈により決定した。また、H形鋼と交差型H形鋼では引張試験に比べ圧縮試験の降伏耐力が高い値を示した。

3.2 コンクリート柱試験体の圧縮性状

コンクリート柱試験体の圧縮試験結果を表-6に示す。いずれの試験体も最大耐力を示した後に急激な破壊に伴い耐力が低下し、実験は終了した。最大耐力から求めたコンクリートの圧縮強度は、材料試験による圧縮強度とほぼ同等であった。よって、次節以降の検討ではコンクリートの圧縮強度は、材料試験結果の値 σ_B を用いることとした。

表-2 コンクリートの調合表

種類	W/C (%)	単位質量 (kg/m ³)			
		水	セメント	細骨材	粗骨材
普通コンクリート	52	185	356	山砂	砕砂
				617	156
					砕石
					979

表-3 コンクリートの材料試験結果

種類	ヤング係数 E_c (kN/mm ²)	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)
普通コンクリート	32.9	37.8
繊維補強コンクリート	30.3	34.1

表-4 鋼材の材料試験結果

種類	板厚 t (mm)	ヤング係数 E_s (kN/mm ²)	降伏強度 σ_y (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	破断伸び ε (%)
H-100*100*6*8	ウェブ	5.52	191	329	459
	フランジ	7.43	195	325	462
H-100*50*5*7	ウェブ	4.79	190	323	438
	フランジ	6.23	195	307	429

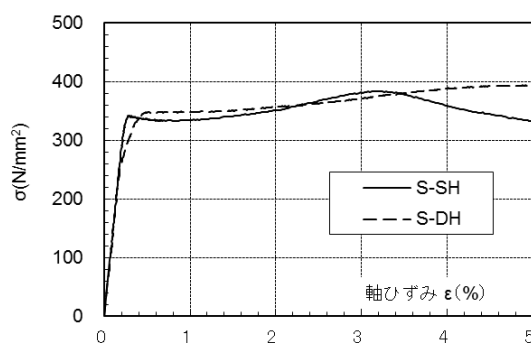


図-4 鉄骨試験体の実験結果

表-5 鉄骨柱試験体の耐力一覧

	N_y (kN)	N_{yc} (kN)	σ_{yc} (N/mm ²)	N_{exp} (kN)	N_{exp}/N_y	N_{exp}/N_{yc}
S-SH	655	678	337	772	1.18	1.14
S-DH	680	712	328	855	1.26	1.20

N_y : 降伏耐力 ($=\sigma_y \cdot A_s$, A_s : 鋼材の断面積), σ_{yc} , N_{yc} : 圧縮試験による降伏強度(0.2%オフセット法)および降伏耐力, N_{exp} : 最大耐力



S-SH S-DH

図-5 最終破壊形状

3.3 SC柱・CES柱試験体の圧縮性状

普通コンクリートを用いたSC柱・FRCを用いたCES柱試験体の圧縮試験結果を図-6および表-7に、最終破壊形状を図-7に示す。なお、表-7には、式(1)による内蔵鉄骨と被覆コンクリートによる単純累加耐力 N_0 、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（以下、SRC規準）」³⁾に示された圧縮耐力 N_u も併せて示している。

$$N_0 = N_s + N_c = \sigma_y \cdot A_s + \sigma_B \cdot A_c \quad (1)$$

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 、 A_c ：鉄骨およびコンクリート部分の断面積、 σ_B ：コンクリート圧縮強度である。

$$N_u = N_s + N_c = \sigma_y \cdot A_s + c_{ru} \cdot \sigma_B \cdot A \quad (2)$$

ここで、 c_{ru} ：コンクリート強度の低減係数（ $=0.85-2.5s_{pc}$ 、 $s_{pc}=A_s/A$ ）、 A ：合成部材の全断面積である。

SC柱試験体は、最大耐力を示した後、かぶりコンクリートの剥落を伴いながらほぼ一定の荷重を維持していた。一方CES柱試験体では、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剥落は認められなかった。

各試験体の最大耐力は、式(1)による単純累加耐力 N_0 の0.95～1.01倍、式(2)によるSRC規準の圧縮耐力 N_u の1.05～1.10倍で、圧縮耐力へのコンクリートの種類および鉄骨形状の違いによる影響は僅かであった。一方、変形性状に関しては、コンクリートの違いによる差異は殆ど認められないものの、内蔵鉄骨の形状により最大耐力以降に保持する荷重が異なる。内蔵鉄骨がH形鋼の試験体は、鉄骨の負担軸力 N_s （0.46～0.48 N_0 ）を若干上回る荷重を維持しているのに対し、交差型H形鋼とした試験体では、 N_s （0.50 N_0 ）を大きく上回る荷重を維持していた。

破壊形状を観察したところ、図-8に示すようにH形鋼の試験体では、2枚のフランジに囲まれたコンクリートは剥落しないものの、ウェブの局部座屈により外側にはらみ出し、圧縮力が負担できなくなったものと推測される。ただし、フランジの座屈補剛材としての効果は認められることから、大変形に至るまでH形鋼の耐力を保持できたものと考えられる。一方交差型H形鋼の試験体では、4枚のフランジに囲まれたコアコンクリート（図-8参照）は、実験終了までフランジにより拘束されており、はらみ出しおよび剥落は認められない。最大耐力以降に保

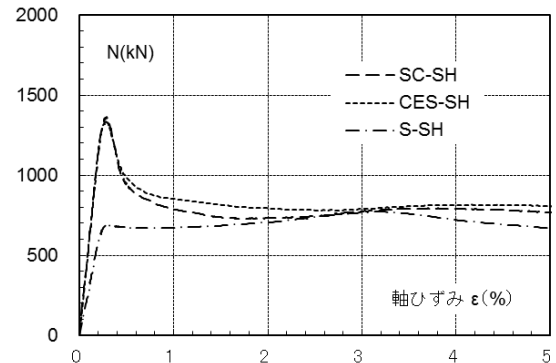
表-6 コンクリート柱試験体の耐力一覧

	N_{exp} (kN)	σ_{exp} (N/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	σ_{exp}/σ_B
PC	821	36.5	37.8	0.97
FRC	776	34.5	34.1	1.01

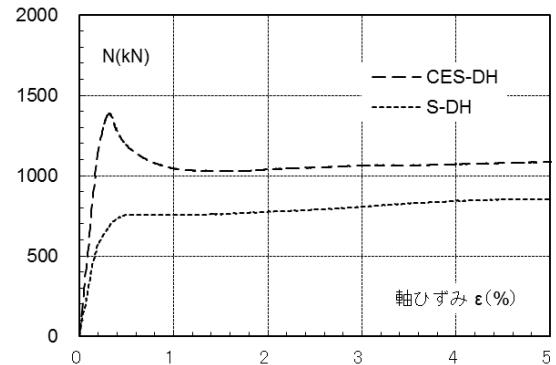
σ_{exp} ：圧縮強度（ $=N_{exp}/A_c$ 、 A_c ：コンクリート断面積）

表-7 SC柱・CES柱試験体の耐力一覧（単位：kN）

	N_c	N_s	N_0	N_u	N_{exp}	N_{exp}/N_0	N_{exp}/N_u
SC-SH	774	655	1430	1302	1362	0.95	1.05
CES-SH	699	655	1354	1239	1336	0.99	1.08
CES-DH	693	680	1373	1258	1388	1.01	1.10



(a) SC柱試験体（H形鋼）



(b) SC柱試験体（交差型H形鋼）

図-6 試験体の荷重－変形関係



SC-SH CES-SH CES-DH

図-7 最終破壊形状

持した荷重は、内蔵鉄骨とフランジに囲まれた8角形のコアコンクリート部分と内蔵鉄骨の累加耐力（0.66 N_0 ）を上回っている。このことから、コアコンクリートが圧縮力を負担し、結果

的にH形鋼と比べて、変形性能（荷重保持能力）が高くなったものと判断される。

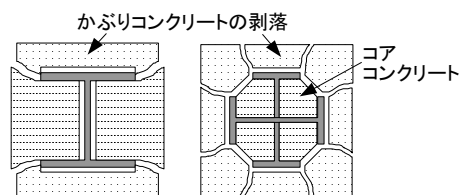


図-8 SC柱・CES柱試験体の実験結果

3.4 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、日本建築学会「鋼構造設計規準（以下、S規準）」⁴⁾の制限値に基づいて、裸鉄骨の場合のフランジで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構造と異なるのは主筋およびせん断補強筋がないこと、被覆コンクリートにFRCを用いていることである。このことを考慮すると、CES構造の内蔵鉄骨の横補剛効果は、SRC構造ほど見込めないものと予想される。

しかしながら、SRC規準における幅厚比制限緩和の根拠は、同解説によればフランジに関しては「SRC 構造部材では、コンクリートのかぶり部がはく落した後でも、フランジ局部座屈が生じる。裸鉄骨と根本的に違うのは、裸鉄骨ではウェブ上縁の支持縁がピンのような座屈波を呈するのに対し、SRC 部材では内部コンクリートの拘束により、支持縁が固定のような座屈波となることである。5)～7)」とされており、かぶりコンクリートの拘束は無視し、フランジとウェブに挟まれたコンクリート影響のみを考慮していることがわかる。CES構造に関しても、図-7、8から同様の効果が認められることから、フランジに対してはSRC構造と同様の幅厚比制限（裸鉄骨の1.5倍）を用いても良いものと考えられる。

一方、ウェブに関しては、SRC規準では「H形鋼のウェブでは、その両面が厚いコンクリートで押さえられているので、更に局部座屈が生じにくい」こと、「帯筋の形状によっては、コンクリートの圧壊後内部コンクリートに対する拘束力が減少し、ウェブの座屈波形がコンクリートを押し出して座屈することがあるが、このような現象は、柱軸力が相当に大きく、破壊も相当進んだ時点で生じ、一般の部材ではあまり考える必要はないと思われる」ことなどから裸鉄骨の場合の制限値の2倍としている。

このことから、ウェブの幅厚比制限に関しても、鉄筋による拘束効果は見込まれておらず、CES部材に関してもSRC部材同様の幅厚比制限（裸鉄骨の2倍）とできることが示唆されている。

以上のことから、CES構造の幅厚比制限値は、SRC構造と同様に裸鉄骨の場合のフランジで1.5倍、ウェブで2.0倍としてよいものと考えられるが、本報告に用いた試験体の内蔵鉄骨の幅厚比はS規準を満足しており、非常に小さく、実験的に十分検証できているとは言えない。今後幅厚比の大きい内蔵鉄骨を用いたCES部材により、構造性能を検証する必要がある。

4 まとめ

普通コンクリートを用いたSC柱・FRCを用いたCES柱の中心圧縮試験を行い、以下の知見が得られた。

- CES柱の圧縮性状は、SC柱と比較すると同等か、むしろ高い耐力および変形能力を示した。
- 内蔵鉄骨の幅厚比制限は、SRCと同等に評価して良いものと考えられる。

今後は幅厚比の大きい内蔵鉄骨を用いたCES部材の検討を行う予定である。

「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) 藤本利昭，小松博，櫻田智之：再生骨材コンクリートの合成構造への適用に関する研究—中心圧縮性状—，日本建築学会技術報告集，第35号，pp.183-186，2011.2
- 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，2001.1
- 4) 日本建築学会：鋼構造設計規準，2005.9
- 5) 千田信彦，那須敏男：幅厚比の大きい鉄骨を用いたSRC部材の耐震性能に関する研究(その1・2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造系，pp.2239-2242，1982.10，
- 6) Sakai, M., Chida, N., and Nasu, T.: Confinement of Steel Buckling by Concrete Members, IABSE-ECCS Symposium Luxembourg, pp. 335-342, 1985. 9
- 7) 和田章，木村衛ほか：高張力鋼を用いたSRC構造の開発研究(6・7)，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造II，pp.1325-1328，1986.8