

# 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3 せん断性状の検討 -

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

### 1 はじめに

本報では、前報 (その1)<sup>1)</sup>、(その2)<sup>2)</sup>に引き続き、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 (Concrete Encased Steel, 以下CES) 部材のせん断耐力評価法を検討する基礎資料を得るため、せん断破壊が先行するように設計したCES部材の曲げせん断実験を行い、せん断性状について検討を行った。

### 2 実験計画

#### 2.1 試験体

試験体の一覧を表-1に、試験体形状を図-1に示す。試験体は、内蔵鉄骨にH-194×150×6×9のH形鋼を用いたもの (以下、SHシリーズ) と、2-H-200×100×5.5×8の交差型H形鋼を用いたもの (以下、DHシリーズ) の2シリーズとした。実験変数は、それぞれのシリーズにおいて、FRC部分の断面せい (D) を一定として、断面幅 (b) を変数とした  $b \times D = 200 \times 300\text{mm}$ 、 $300 \times 300\text{mm}$ 、 $400 \times 300\text{mm}$  の3体、計6体の試験体を用いた。

#### 2.2 使用材料

鋼材の材料試験結果を表-2に示す。内蔵鉄骨にはSS400材を使用し、材料試験は5号試験片を用いて行った。FRCの材料試験結果を表-3に示す。コンクリートの設計基準強度は  $F_c = 27\text{ N/mm}^2$  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、体積混入率を1.0%とした。

#### 2.3 試験方法

加力装置は、日本大学生産工学部の5000kN構造物試験機を用いて行った。加力方法および変位計位置を図-2に、試験状況を図-3に示す。

表-1 試験体一覧

試験体	内蔵鉄骨	繊維補強コンクリート( $F_c=27$ )
SH-200	シングル H	$b \times D = 200\text{mm} \times 300\text{mm}$
SH-300	H-194×150×6×9	$b \times D = 300\text{mm} \times 300\text{mm}$
SH-400	(SS400)	$b \times D = 400\text{mm} \times 300\text{mm}$
DH-200	ダブル H	$b \times D = 200\text{mm} \times 300\text{mm}$
DH-300	2-H-200×100×5.5×8	$b \times D = 300\text{mm} \times 300\text{mm}$
DH-400	(SS400)	$b \times D = 400\text{mm} \times 300\text{mm}$

繊維: ビニロンファイバー (RF4000)、体積混入率1%

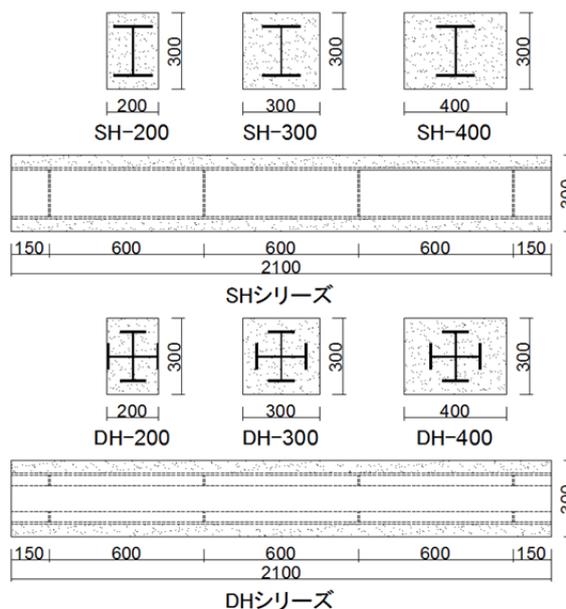


図-1 試験体形状

表-2 鋼材材料試験結果

	板厚 t (mm)	降伏強度 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び $\epsilon$ (%)
SHウェブ	6.22	332	467	205000	27.8
SHフランジ	9.19	315	462		26.3
DHウェブ	5.02	345	458		32.8
DHフランジ	7.53	326	462		40.3

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

- Part.3 Investigation of Shear Behavior -

Ryoma ARAMAKI, Rinako ROKUTA and Toshiaki FUJIMOTO

加力は中央部を試験区間とした逆対称加力（大野式加力）方式とし、一方向単調载荷とした。

計測は、部材中央の曲げ変形ならびにせん断変形を変位計により測定した。また、内蔵鉄骨フランジおよびウェブのひずみをひずみゲージにより測定した。

### 3 試験結果および考察

#### 3.1 破壊形状および実験結果

各試験体の最終破壊形状を図-4に示す。各試験体とも、はじめに加力点および支点付近断面の引張側に縦方向に曲げひび割れが生じ、その後、曲げひび割れが生じた加力点と支点の圧縮側を繋ぐよう、斜め方向にせん断ひび割れが発生した。図-4からわかるように、断面幅が細い試験体SH-200, DH-200では、せん断ひび割れの角度が小さく、断面上下に主要な2本のひび割れが発生している。それに対し、断面幅が300mm, 400mmの試験体では、初期に発生した主要な1本のせん断ひび割れが伸展・拡大するのみであり、ひび割れ本数の増加は殆ど認められなかった。また、各試験体で初期のひび割れが発生した後も荷重は上昇し、ひび割れの伸展・拡大が確認されたが、それによる耐力の大幅な低下は見られず、コンクリートの大きな剥落も確認されなかった。

#### 3.2 部材のせん断特性

せん断実験結果を表-4に示す。また、SHシリーズのせん断力-変形角(Q-R)関係を図-5に、DHシリーズのせん断力-変形角(Q-R)関係を図-6に示す。なお横軸の変形角Rは、試験体中央部の試験区間の鉛直変位 $\delta$ を試験区間の長さL(=2D=600mm)で除した値 $R = \delta/L$ で示している。内蔵鉄骨の差異に関わらず、断面幅が大きくなることにより最大せん断耐力は大きくなるのがわかる。また、断面幅の違いによる特性として、断面幅が200mm・300mmの試験体では、せん断耐力が最大に達した後、部材の変形が進行しても耐力は急激に落ちることなく保ち続けるのに対し、400mmの試験体では、最大耐力に達した後、200mm・300mmの試験体と同等まで耐力が低下することがわかる。これらのことから、内蔵鉄骨幅に対してFRC部の断面幅を拡大することにより、最下耐力を増加することは可能であるが、その一方で変形性能は低下するものといえる。

表-3 FRC 材料試験結果

	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	材齢	圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張り強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
SH	27	36日	31.9	29985	—	2.8
DH	27	58日	31.7	27448	5.1	2.7

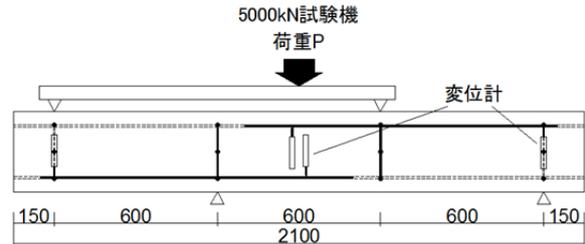


図-2 加力方法および変位計位置



図-3 試験状況

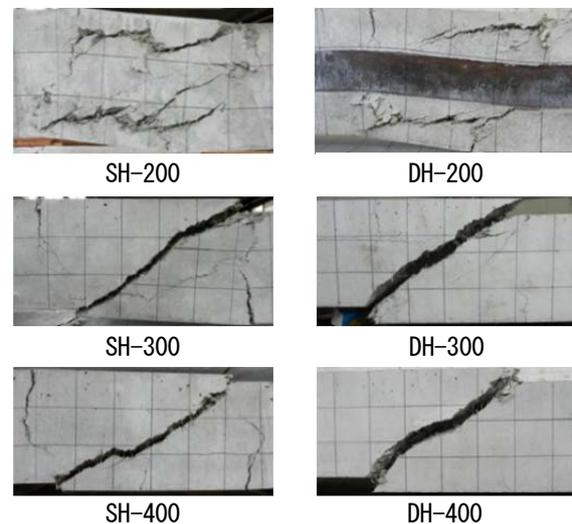


図-4 最終破壊形状

表-4 せん断実験結果

試験体	せん断ひび割れ発生荷重 $P_c$ (kN)	せん断降伏荷重 $P_y$ (kN)	最大荷重 $P_{max}$ (kN)	最大せん断力 $Q_{max}$ (kN)
SH-200	65	732	828	414
SH-300	112	932	990	495
SH-400	172	1194	1198	599
DH-200	101	562	916	458
DH-300	107	622	990	495
DH-400	145	956	1148	574

$$Q_{max} = P_{max} / 2$$

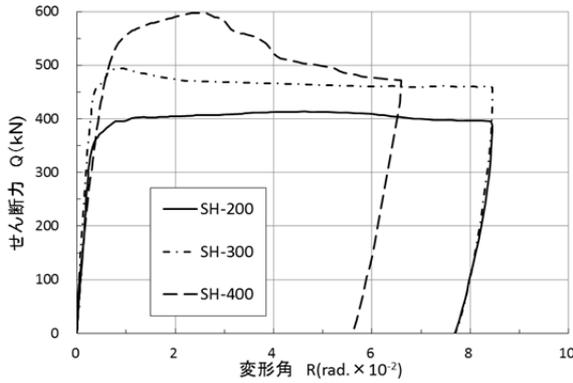


図-5 せん断力-変形角 (SH)

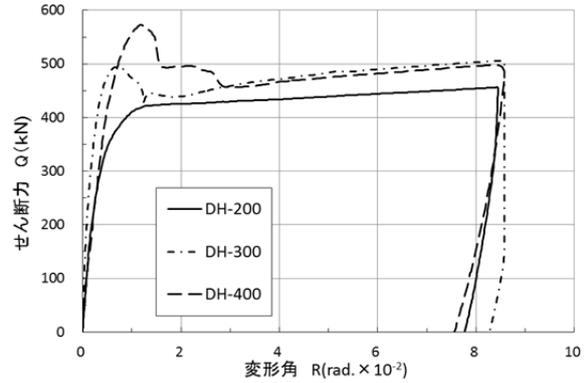


図-6 せん断力-変形角 (DH)

#### 4 耐力評価式

CES部材の終局曲げ耐力は、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」<sup>3)</sup> (以下、SRC規準) の考え方に基づく一般化累加強度耐力式によって評価できることが、既往の研究<sup>4)</sup>によって明らかであることから、本研究でも同様に一般化累加強度式により算定した。

CES部材の終局せん断耐力においても曲げ耐力と同様にSRC規準を基に評価方法を検討した。

##### 4.1 CES部材の終局せん断耐力

CES部材の終局せん断耐力 ( $_{sc}Q_u$ ) は、下記のようにSRC規準に基づき、鉄骨部分の終局せん断耐力 ( $_{s}Q_{su}$ ) とコンクリート部分の終局せん断耐力 ( $_{c}Q_{su}$ ) を足し合わせて評価する。

$$_{sc}Q_u = _sQ_{su} + _cQ_{su} \quad (1)$$

##### 4.2 鉄骨部分の終局せん断耐力

鉄骨のせん断降伏によって決まるせん断耐力は、SRC規準に基づき以下による。

$$_sQ_{su} = t_w \cdot d_w \cdot \sigma_y / \sqrt{3} \quad (2)$$

ここで、 $t_w$ : 鉄骨ウェブ厚さ、 $d_w$ : 鉄骨ウェブせい、 $\sigma_y$ : 鉄骨ウェブの降伏応力度

##### 4.3 コンクリート部分の終局せん断耐力

SRC規準において、コンクリート部分の終局せん断耐力式は、本文に記載された規準式の外、解説に精度の良いコンクリートのせん断耐力式として、簡略化せん断耐力式<sup>5)</sup>が記載されている。ここでは、文献5)を参考に、簡略化せん断耐力式を用いて検討した。以下に算定式および文献6) 7)によるCES部材に対する提案式を示す。また、断面の定義を図-7に示す。

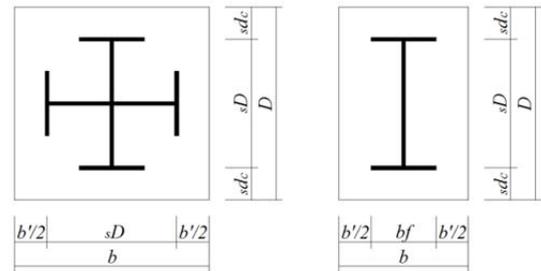


図-7 断面の定義

##### a) 簡略化せん断耐力式

$$_cQ_{su} = \tan \theta \cdot b \cdot D \cdot \mu \cdot \sigma_B / 2$$

$$\mu = (0.5 + b'/b) \leq 1.0 \quad (3)$$

$$\tan \theta = \sqrt{(l/D)^2 + 1} - l/D$$

簡略化せん断耐力式は、分割アーチ式<sup>3)</sup>を簡略化した式であり、 $\mu$ はアーチの有効係数である。式(3)は、RC終局強度指針式<sup>5)</sup>のコンクリートの有効係数 $v$ を $\mu$ に置き換えた式に見えるが、式の導出にあたって、 $v=1.0$ とし、アーチの有効係数 $\mu$ を導入した式である。よって、式(3)は以下のように書き換えられる。

$$_cQ_{su} = \tan \theta \cdot (0.5 + b'/b) \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_B / 2$$

$$= \tan \theta \cdot 0.5 \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_B / 2 \quad (4)$$

$$+ \tan \theta \cdot b' \cdot D \cdot v \cdot \sigma_B / 2$$

ここで、式(4)の第2項は、鉄骨幅外側部分のせん断耐力を表している。一方第1項は、鉄骨幅内側部分のせん断耐力を表している。アーチが鉄骨で分断されても鉄骨が入っていない場合、すなわちアーチが分断されていない場合の0.5倍のせん断力は確保されるということで、 $b'=0$ すなわち鉄骨幅と柱幅が等しい場合となっても $\mu=0.5$ となるように $\mu$ の式を決めている。よって、式(4)の第1項の0.5は、 $\tan \theta$ の係数である。なお $b'=b$ の場合、すなわち内蔵鉄骨がない場合は、 $\mu=1.5$ となり1.0を超えるため、 $\mu=1.0$ として計算することになる。

## b) CES部材のせん断耐力提案式

$${}_c Q_{su} = \tan \theta \cdot b \cdot D \cdot \mu \cdot \sigma_B / 2 \quad (5)$$

ここで、 $b$ ：部材断面幅、 $D$ ：部材断面せい、 $\sigma_B$ ：コンクリート圧縮強度

提案式として、式(5)は、簡略化せん断耐力式(3)のコンクリート有効幅係数 $\mu$ を、既往のCES部材の実験結果に基づき、SHシリーズの場合0.80<sup>6)</sup>、DHシリーズの場合0.87<sup>7)</sup>として用いた式とした。

算定式による計算値と実験値を表-5に示す。また、算定式による計算値と実験値との比較を図-8に示す。表-5および図-8より、簡略化式により求めた計算値は実験値との対応は良いが、試験体SH-400のように計算結果が曲げ破壊先行となるような破壊モードと一致しない場合が生じている。これらの理由としてCES部材では鉄筋による負担せん断強度がないこと、鉄骨せいが大きいことコンクリートの有効幅 $b'$ が小さくなること、被覆コンクリートにFRCを用いていることによって、かぶりコンクリートを含めたコンクリートが一体で挙動するため、簡略化式と比べてもコンクリートの有効幅を大きく取れる可能性が考えられることなどが挙げられる。提案式では、簡略化式のコンクリート有効幅係数 $\mu$ を、既往のCES部材の実験結果に基づきSHシリーズの場合0.80、DHシリーズの場合0.87と低減した式を用いたため、実験結果と良好な対応を示している。

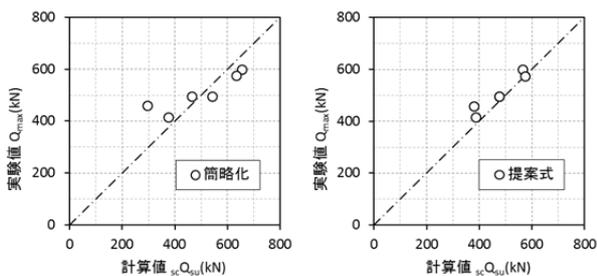


図-8 計算値と実験値の比較

表-5 計算値および実験値一覧

		SH-200	SH-300	SH-400	DH-200	DH-300	DH-400
鉄骨	${}_s Q_{mu}$ (kN)	320			250		
	${}_s Q_{su}$ (kN)	208			185		
曲げ耐力	${}_{sc} Q_{mu}$ (kN)	539	561	580	564	639	707
簡略化	$\mu$	0.75	1.00		0.50	0.83	1.00
	${}_{sc} Q_{su}$ (kN)	375	543	654	296	462	629
提案式	$\mu$	0.80			0.87		
	${}_{sc} Q_{su}$ (kN)	387	476	565	380	478	576
実験値	$Q_{max}$ (kN)	414	495	599	458	495	574

## 5 まとめ

CES部材のせん断性状を把握することを目的とし、内蔵鉄骨および部材幅の異なる試験体を用いた曲げせん断実験を行い、破壊形状、耐力性能およびせん断特性について把握した。さらに、耐力評価法の検討として、各耐力評価式において実験値との比較検討を行った。

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 各試験体とも曲げ耐力に達する前にせん断破壊が生じ、CES部材のせん断耐力評価の基礎資料を得た。
- CES部材の終局せん断耐力は、簡略化せん断耐力式におけるコンクリートの有効幅係数を、適切に評価することによって内蔵鉄骨および部材幅の差異によらず評価可能である。

### 「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) 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
- 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) 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
- 5) 土井希祐, 称原良一: SRC部材の塑性理論に基づくせん断設計式の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第516号, pp.151-158, 1992.2
- 6) 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
- 7) 藤本利昭, 倉本洋, 松井智哉: 交差H型断面鉄骨を内蔵したCES柱の構造性能, 第8回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 土木学会/日本建築学会, Paper No.4, 2009.11