

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月20日現在

機関番号：32665

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23860049

研究課題名（和文）繊維補強コンクリートを用いた鋼コンクリート合成構造柱部材の構造特性に関する研究

研究課題名（英文）Study on Structural Performance of Steel Concrete Composite Columns using Fiber Reinforced Concrete

研究代表者

藤本 利昭 (FUJIMOTO TOSHIKI)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：30612080

研究成果の概要（和文）：本研究では、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（以下、FRC）を用いた鉄骨コンクリート（以下、CES）構造の実用化に向け、内蔵鉄骨形状・断面幅が異なる 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。実験結果より、コンクリートの有効幅の影響を考慮した簡便なせん断耐力式を提案した。提案式は、CES 部材の終局せん断耐力を、内蔵鉄骨・断面幅の差異によらず精度よく評価できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Concrete Encased Steel (CES) structural system consisting of fiber reinforced concrete (FRC) and encased steels is a new composite structural system proposed by the authors. This paper discusses how to evaluate the ultimate shear strength of CES columns. It is revealed based on the test results that the AIJ design formulas for SRC structures cannot be applied for evaluating the ultimate strengths of CES columns. Improved design formulas to estimate the ultimate shear strength are proposed for CES columns.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

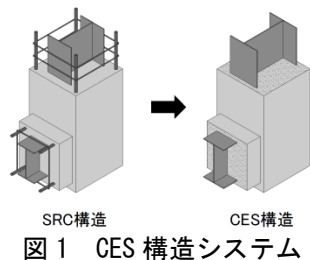
キーワード：合成構造・CES構造・柱部材・せん断性状

## 1. 研究開始当初の背景

(1)鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRC）構造は、鉄骨（以下、S）構造と鉄筋コンクリート（以下、RC）構造を合成した構造システムであり、優れた耐震性能を有する構造形式である。しかしながら、施工性に関しては鉄骨工事と鉄筋工事の両方を要するため、構造設計や施工が非常に複雑となり、それに伴う建

設コストの上昇、工期の長期化といった問題点が生じ、建設数は減少の一途をたどっている。しかし、1995年の兵庫県南部地震において明らかにされたように、SRC構造建築物では柱脚部及び内蔵鉄骨の継手部の耐力不足等、施工の困難さに起因する被害が少なからず見られたものの、総合的な耐震性能は他の構造と比べても優れたものである。

(2)SRC 構造の構造特性を生かしつつ施工を合理化するため、鉄筋を用いることなく、繊維補強コンクリート（以下、FRC）と内蔵鉄骨のみで構成される合成構造（Concrete Encased Steel：以下、CES 構造）（図 1 参照）の開発研究を継続的に行ってきた。



(3) CES 構造の実用化には、構造特性の評価及びにより精度の高い設計法の確立が必要である。

(4)これまでの CES 柱、CES 柱梁接合部および 2 層 2 スパンフレームを対象とした研究により、鉄筋を省略しても繊維補強コンクリートを用いることによって大変形時においてもコンクリートの損傷・剥落を抑制することが可能であること、CES 構造が SRC 構造と同等の優れた復元力特性および履歴特性を示し、高い耐震性能を有することが確認され、これらの構造性能に関して概ね把握するに至っている。

(5)2007 年度より設置された日本建築学会・「CES 構造性能評価小委員会（主査：倉本洋大阪大学教授）」において、上記の研究に基づいて CES 構造の設計ガイドラインの作成が進められており、本研究代表者も本委員会の幹事としてその活動に携わっている。

(6)これまで行われてきた研究では、内蔵鉄骨と被覆コンクリートの断面形状が限られているため、より汎用性のある精度の高い設計式の構築のためには、断面形状を実験変数とした実験による検証が必要とされている。

(7)以上の(1)～(6)に示した内容に基づき、本研究では、高度な耐震安全性と耐損傷性を有し、施工性の優れた CES 柱部材の構造性能の把握と性能評価法の構築に取り組む。

## 2. 研究の目的

(1)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の検討を行う。

(2)内蔵鉄骨形状・断面幅が異なる CES 部材の曲げせん断実験を行うことで、内蔵鉄骨形

状・断面幅が CES 部材のせん断耐力に及ぼす影響を検討するとともに、せん断耐力の評価法を検討する。

## 3. 研究の方法

(1)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）で、それぞれ断面が  $b \times D = 200 \times 300\text{mm}$ 、 $300 \times 300\text{mm}$ 、 $400 \times 300\text{mm}$  の 3 体、計 6 体の試験体を用いた。

表 1 試験体一覧

試験体	内蔵鉄骨	繊維補強コンクリート( $F_c27$ )
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	クロス 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)	$b \times D = 400\text{mm} \times 300\text{mm}$

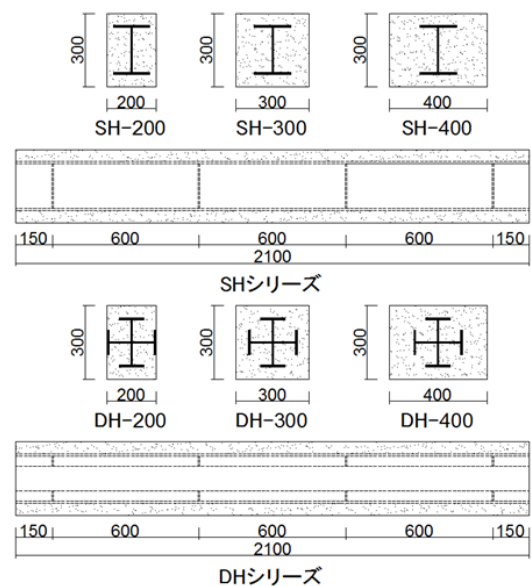


図 1 試験体形状

(2)鋼材の材料試験結果を表 2 に、FRC の材料試験結果を表 3 に示す。

表 2 鋼材の材料試験結果

	板厚 $t(\text{mm})$	降伏強度 $\sigma_y(\text{N}/\text{mm}^2)$	引張強度 $\sigma_t(\text{N}/\text{mm}^2)$	ヤング係数 $E_s(\text{N}/\text{mm}^2)$	伸び率 (%)
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

使用材料は、内蔵鉄骨には SS400 材を使用し、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、FRC は設計基準強度  $F_c=27\text{N/mm}^2$  とした普通コンクリートに繊維を体積混入率で 1.0%混入して製作した。

表 3 FRC の材料試験結果

	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

(3)加力装置は、日本大学生産工学部の 5000 kN 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 に示す。加力は、中央部を試験区間とした逆対称加力 (大野式加力) とし、一方向単調載荷とした。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。

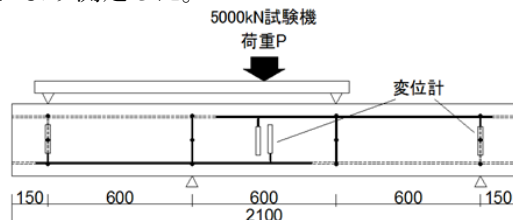


図 2 加力方法および変位計位置

#### 4. 研究成果

(1)図 3 に各試験体の最終破壊状況を示す。各試験体とも、はじめに加力点および支点付近から縦方向に曲げひび割れが生じ、その後、加力点と支点を繋ぐよう斜め方向にせん断ひび割れが発生した。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剝落も確認されなかった。

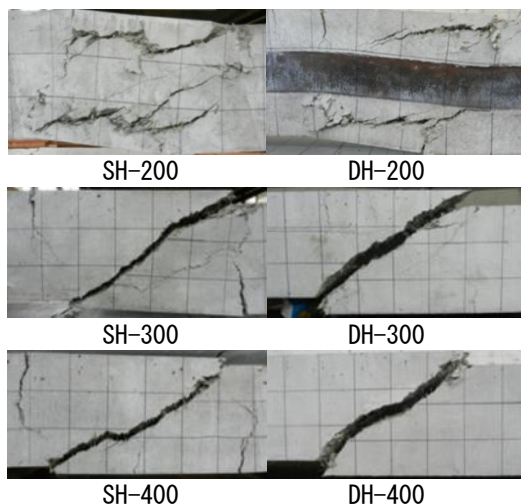


図 3 最終破壊形状

(2)SH シリーズ試験体のせん断力-変形角関係を図 4 に、DH シリーズのせん断力-変形角関係を図 5 に示す。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。

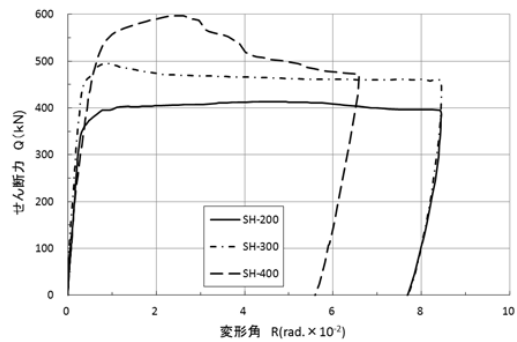


図 4 せん断力-変形角 (SH)

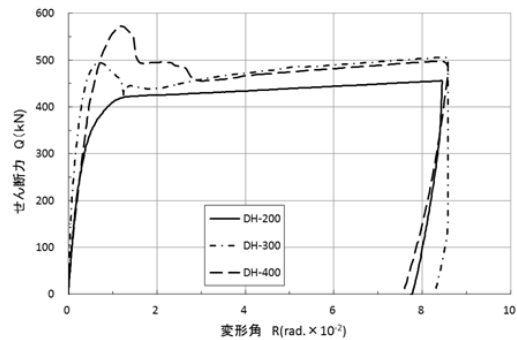


図 5 せん断力-変形角 (DH)

(3)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、2001 (以下、SRC 規準)」に基づき、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は、曲げ耐力と同様に SRC 規準に示される鉄骨鉄筋コンクリート部材の終局せん断耐力の算定式から鉄筋部分を省略した式を用いた (式(1)参照)。また、コンクリート部分の終局せん断耐力式には、SRC 規準の解説に精度の良い式として紹介されている「土井 希祐、称原 良一：SRC 部材の塑性理論に基づく設計式の検討、日本建築学会構造系論文集 516 号、pp. 151~158、1999. 2」に示された簡略化せん断耐力式を用いた。なおコンクリートの有効幅係数  $\mu$  は、筆者らが行ってきた CES 部材の実験に関する研究成果に基づき、SH シリーズ試験体は「溝淵博己、松井智哉、藤本利昭、倉本洋：軸力比および

シアスパン比が異なるH型鉄骨内蔵CES柱の静的載荷実験、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.5 (CD-ROM)、2009年11月」に基づき $\mu=0.80$ 、DHシリーズ試験体は「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 (CD-ROM)、2009年11月」に基づき $\mu=0.87$ とした。

$$Q_u = {}_s Q_{su} + {}_c Q_{su} \quad (1)$$

ここで、 $Q_u$  : CES部材の終局せん断耐力  
 ${}_s Q_{su}$  : 鉄骨部分のせん断降伏耐力  
 ${}_c Q_{su}$  : コンクリート部分のせん断耐力

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

$${}_c Q_{su} = \tan \theta \cdot b \cdot D \cdot \mu \cdot \sigma_B / 2 \quad (3)$$

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

ここで、 $t_w$  : 鉄骨ウェブ厚さ  
 $d_w$  : 鉄骨ウェブのせい  
 $\sigma_y$  : 鉄骨のウェブの降伏応力度  
 $b$  : 部材断面幅  
 $D$  : 部材断面せい  
 $\sigma_B$  : コンクリート圧縮強度  
 $l'$  : 部材の内法スパン

耐力計算値と実験における最大耐力値を表4に示す。各試験体とも計算値と実験値との耐力比は、精度よく評価できており、CES部材の終局せん断耐力は簡略化せん断耐力式において評価できると考えられる。

表4 耐力計算値および実験結果一覧

		SH-200	SH-300	SH-400	DH-200	DH-300	DH-400
曲げ耐力	$Q_{mu}$ (kN)	539	561	580	567	642	709
提案式	$\mu$	0.80			0.87		
	$Q_{su}$ (kN)	387	476	565	381	478	576
実験値	$Q_m$ (kN)	414	495	599	458	495	574

(4) (1)～(3)の結果より、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データを得ることができた。また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で、内蔵鉄骨・部材幅の差異によらず評価可能であ

ることを明らかにした。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① 六田莉那子、荒牧龍馬、藤本利昭、CES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—、日本建築学会大会、2013.8、北海道
- ② 荒牧龍馬、六田莉那子、藤本利昭、CES部材の構造性能に関する研究—その2 せん断性状の検討—、日本建築学会大会、2013.8、北海道

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 利昭 (FUJIMOTO TOSHIAKI)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：30612080

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：