# 壁筋の定着状況の異なる腰壁付き CES 柱の有限要素法解析

合成構造	壁付き部材	損傷状況
終局耐力	危険断面	

### 1. はじめに

鋼コンクリート合成構造(Concrete Encased Steel:以下, CES 構造)は鉄骨と繊維補強コンクリート(以下, FRC)の みからなる合成構造である。これまでの実験的研究<sup>11</sup>により 鉄骨鉄筋コンクリート構造(以下, SRC 構造)と同等以上の 優れた履歴特性を示し,高い耐震性能を有することが確認さ れている。

建築物には、袖壁や腰壁などの壁付き部材が存在する。こ の壁板により柱・梁の剛性および耐力の増大が期待される一 方で、壁による柱・梁の変形の拘束が予想される。文献 2)で は、壁による変形拘束を考慮した SRC 構造腰壁付き部材の 耐力評価法が提案されている。しかし、CES 構造において壁 付き柱・梁部材の研究例 <sup>3),4</sup>は少なく、その耐力評価精度お よび損傷状態は不明瞭である。

本研究では,腰壁付き CES 柱の最大耐力および損傷状況 の解明を目的として文献 3), 4)で提案された壁筋の定着状況 に着目した腰壁付き柱試験体の有限要素法(以下,FEM)解 析を実施した。

#### 2. 解析対象試験体

## 2.1 試験体

解析対象試験体は、高層建築物における下層を想定した実 大の約 1/3 縮尺のもの 3 体である。図 1 に試験体の形状およ び寸法を、表 1 に試験体の部材断面詳細を示す。試験体の柱 断面は 300mm 角、内蔵鉄骨は BH-200×150×6×9、スタブ上端 から加力点までの高さは 750mm (せん断スパン比 2.5) であ る。本試験体では、柱の片側にのみ腰壁の接続を仮定した。 腰壁の厚さは 100mm とし、高さおよびせいはそれぞれ 300mm とした。壁筋は D6@75 (鉄筋比 0.42%) であり、作 用軸力は全試験体ともに柱軸力比  $N/N_0$  (N:作用軸力,  $N_0$ : 軸圧縮耐力) 0.2 に相当する 900kN である。

表2に解析変数を示す。解析変数は壁筋の定着の有無であ る。試験体 VHA は壁縦筋をスタブに,壁横筋を柱にそれぞ れ定着させたものである。試験体 HA は壁縦筋の定着を,試 験体 VA は壁横筋の定着をそれぞれ省略した。

表3にコンクリートの材料特性を,表4に鋼材の材料特性 を示す。スタブには普通コンクリート,柱にはFRCを仮定 した。コンクリートの圧縮強度は50N/mm<sup>2</sup>,鋼材の降伏強度 は規格降伏点の1.1倍を仮定した。



1240047 片岡 慎太郎\*

鈴木

卓

指導教員

表 1 部材断面詳細

試験体		VHA	HA	VA
軸力 N (kN)		9	900 ( <i>N/N</i> <sub>0</sub> =0.2)	
cb x cD (mm)		300x300		
杜	鉄骨	BH-200x150x6x9		
me	壁厚 (mm)	100		
胺壁	補強筋	D6@75 千鳥 ( <sub>w</sub> p=0.42%)		

Finite Element Method Analysis of CES Column with Spandrel Wall with Different Anchorage Conditions of Wall Reinforcements

#### 2.2 終局耐力評価

腰壁上端の柱曲げ耐力およびスタブ上端の腰壁付き柱の 曲げ耐力は一般化累加強度理論を用いて算出した。併せて, 文献 2)を基に腰壁による危険断面の影響を考慮した曲げ耐 力も算出した。仮定した運動力学モデルを図2に示す。同図 では,前述の一般化累加強度理論を用いて算出した柱の曲げ 終局モーメントが腰壁上端高さから高さ S 内側に作用する ことを想定している。また,当該高さSの範囲において柱か ら壁に伝達される斜め圧縮応力を斜め45 度方向の一様な圧 縮ストラットに仮定されている。外部仕事および内部仕事の つり合いから得られる終局耐力評価式を式(1)に,Sの算定式 を式(2)に示す。

$$P = \left(\frac{\gamma_u \sigma_B t_w}{4} S^2 + \frac{\gamma_u \sigma_B t_w X_n}{2} S + M_y\right) / (S + h_0)$$
(1)

$$S = -h_0 + \sqrt{h_0 \left(h_0 - \frac{D}{2}\right) + \frac{4M_y}{\gamma_u \sigma_B t_w}}$$
(2)

ここで、 $t_w$ : 壁厚、 $h_w$ : 腰壁高さ、 $h_0$ : 柱頂部から腰壁高さま での距離、 $\sigma_B$ : コンクリートの圧縮強度、 $X_n$ : 降伏位置の曲 げ圧縮せい、D: 柱せい、 $\gamma_u$ : コンクリート低減係数 (=0.85)、  $M_v$ : 柱の降伏曲げモーメントである。

表5に各算定法による終局耐力計算結果を示す。壁圧縮側の載荷方向では、式(1)の計算値が最も低く、腰壁付き柱の計算値が最も高い。また、式(1)から得られる腰壁上部から柱降伏位置までの鉛直距離*S*は93mm(壁高さ300mm)であった。これらのことから、当該部材の危険断面高さは腰壁上端から内側位置であることが予想された。一方で壁引張側の載荷方向では、腰壁付き柱の計算値が柱の計算値と比べて低く、当該部材の危険断面高さは腰壁下端である。

#### 3. FEM 解析

解析には、市販の解析ソフトウェア FINAL を使用した。 図3に試験体の要素分割を示す。解析は平面応力場を仮定した。スタブ下端のコンクリートおよび鉄骨要素の節点は完全 固定とした。

コンクリートおよび鉄骨ウェブは四辺形平面応力要素に 置換し,壁筋は埋込み鉄筋としてコンクリート内に層状置換 した。鉄骨フランジは積層シェル線材要素に置換した。鉄骨 およびコンクリート要素間にフィルム要素およびライン要 素を定義した。本研究では,壁筋の定着の有無を表現するた めに,柱・スタブー壁板間に離散ひび割れ要素を定義した。

材料構成則は文献 3), 4)を参照した。解析では,試験体頂 部に等分布荷重を与えつつ,加力高さに設置した加力治具の 左右両端に強制変位を与えた。加力プログラムは, *R*= 0.0625, 0.125×10<sup>-2</sup> rad を1サイクル, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0×10<sup>-2</sup> rad を2サイクルとし,収束計算が不安定になった時点で終了し た。

表 2 解析 変数

解析変数	VHA	HA	VA
壁縦筋	定着あり	定着なし	定着あり
壁横筋	定着あり	定着あり	定着なし

	_ E縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	
柱・腰壁	50.0	31.5	

表4 鋼材の材料特性			
	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm²)	
鉄骨 (SS400)	259	205	



図2 運動力学モデル

表5 各終局耐力の計算結果(単位: kN)

		VHA	HA	VA
	柱	418		
壁圧縮	腰壁付き柱	615	615	615
	式(1)	357 (S = 93 mm)		
壁引張	柱	418		
	腰壁付き柱	259	251	259



#### 4. 解析結果

### 4.1 せん断カー部材角関係および損傷状況

図4にせん断カー部材角関係を示す。同図には表5で示し た終局耐力計算値を併せて示している。また、図5に各試験 体における *R*=0.75×10<sup>-2</sup>rad の正載荷1サイクル目ピーク時の 損傷状況を、図6に同サイクル負載荷ピーク時の解析におけ るコンクリートの損傷状況を示す。同図は試験体の変形およ び要素のひび割れ幅を10倍に拡大して表示している。

壁圧縮となる正載荷側に着目すると、試験体 VHA および HA では R=0.25×10<sup>-2</sup>rad 程度まで同程度の剛性を示している。 しかし, 試験体 VA は他の試験体と比べて剛性が低い。また、 壁縦筋の定着を省略した試験体 HA および壁横筋の定着を 省略した試験体 VA の最大耐力は定着した試験体 VHA のも のと比べて低い。壁板の損傷をみると、試験体 HA の損傷が 最も少なく、試験体 VHA の損傷が最も多い。すなわち、試 験体 HA では、壁縦筋の定着の省略により壁-スタブ境界面 のすべりが生じたことから, 壁板に損傷が生じなかったこと に起因するものと推察される。

壁引張となる負載荷側では、定着を省略した試験体 HA お よび VA は定着のある試験体 VHA と比べて最大耐力が低く、 壁板のひび割れの抑制が確認された。これは、定着の省略に より壁境界部が引張に抵抗できないためであると考えられ る。

#### 4.2 圧縮応力分布

図7に各試験体における *R*=0.75×10<sup>-2</sup> rad の正載荷1サイク ル目ピーク時の最小主応力分布を,図8に*R*=0.5×10<sup>-2</sup>rad お よび*R*=0.75×10<sup>-2</sup>rad の正載荷1サイクル目ピーク時の壁圧縮 時に柱-壁境界部に生じる圧縮応力の高さ方向の分布を示 す。図8の圧縮応力は壁-柱間の接合要素に生じる法線方向 および接線方向応力をベクトル合成した値である。

壁筋の定着された試験体 VHA では、腰壁の頂部から脚部 にかけて斜めに圧縮ストラットの形成が確認された。一方の





試験体 HA および VA では、腰壁に生じる圧縮応力のレベル は試験体 VHA のものと比べて低い。図 8 の壁頂部付近をみ ると、各試験体ともに高い圧縮応力が生じている。脚部付近 をみると、壁縦筋を省略した試験体 HA では応力がほぼ生じ ていない。一方で、試験体 VHA および VA では壁板脚部付 近においても高い圧縮応力が認められた。

## 5. まとめ

本論より得られた知見を以下に示す。

- 正載荷側および負載荷側ともに壁筋の定着を省略した 試験体の耐力は定着したものと比べて低い。

- 4) 柱-壁境界部に生じる圧縮応力の分布から全試験体で 壁板頂部付近に高い圧縮応力の発生がみられた。また、 壁縦筋を省略した試験体は壁板脚部付近で圧縮応力が ほぼ生じていないのに対して、定着をしたものは脚部 付近でも高い圧縮応力が確認された。

#### 参考文献

- (1) 森翔太,他3名:壁端部定着状況の異なる片側袖壁付き CES 柱の構造性能,コンクリート工学年次論文集,第 35巻,第2号, pp.1165-1170, 2013.7
- 塩屋晋一,松吉幸一郎,大隣薫:梁降伏形袖壁付き SRC 造骨組の弾塑性性状と梁の最大せん断力,日本建築学 会構造系論文集,第576号,pp.157-164,2004.2
- 3) 鈴木卓,倉本洋,森翔太:片側袖壁付き CES 柱の3次元 FEM 解析,第10回複合・合成構造の活用に関する シンポジウム講演集,pp.34.1-34.8,2013.11
- 4) 鈴木卓,他2名:壁縦筋の定着方法の異なる CES 造連 層耐震壁の非線形 FEM 解析,日本建築学会構造系論文 集,第76巻,第666号,pp.1533-1540,2011.8

\*高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 Kochi University of Technology, School of System Engineering, Architecture and Infrastructure System