

EWECs 柱の構造実験と終局強度に関する研究
その2：終局強度評価および変形性能

EWECs 構造 集成材 柱
合成構造 静的載荷実験 終局強度評価

正会員 ○松原 浩介* 同 黒川 洋一**
同 松井 智哉*** 同 田口 孝****

1. はじめに

本報では前報(その1)に引き続き EWECs 柱における強度および変形性能について検討を行った。

2. 実験結果

2.1 セン断力-変形角関係

図1に各試験体のせん断力-変形角関係を、図2に各試験体の軸変形-変形角関係を、表1に各試験体の鉄骨フランジ引張降伏時の耐力および最大耐力をそれぞれ示す。図1中には、曲げ強度の計算結果(3章で後述)を破線で示している。

試験体 WCM21 および WCM25 は鉄骨フランジ降伏後、最大耐力に達し、最終変形角まで耐力低下は小さい。試験体 WCM22,23 および WCM24 では、耐力低下とそれに伴った軸方向変位の圧縮側への急激な増大が見られた(図2参照)。変動軸力とした試験体 WCM24 は、最終的に正載荷時に耐力低下が大きく生じているが、軸力比 0.4 程度の高軸力において $R=3.0 \times 10^{-2}$ rad. まで最大耐力の 8 割程度を維持している。また、全試験体ともに最大耐力が計算耐力を上回っていることが確認できた。

3. 終局強度評価

表2に実験の最大耐力(実験値)と終局強度の計算値の比較を示す。EWECs 柱の曲げ強度は一般化累加強度理論により、せん断強度は文献1)に示される式(1)から式(3)より算出した。また、両終局強度の算出において集成材の影響は無視している。

$$Q_{su} = \tan\theta \cdot c \cdot b \cdot \mu \cdot c \cdot D \cdot \sigma_B / 2 + s_t w \cdot s_d w \cdot s \sigma_{wy} / \sqrt{3} \quad (1)$$

$$\tan\theta = \sqrt{(h_0/cD)^2 + 1} - h_0/cD \quad (2)$$

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

ここで、 $c b'$: コンクリートの有効幅(= $c b - s b_f$)、 $s b_f$: 鉄骨フランジ幅、 $s_d w$: 鉄骨ウェブせい、 $s_t w$: 鉄骨ウェブ厚さ、 $s \sigma_{wy}$: 鉄骨ウェブの降伏強度である。

各試験体ともに実験値が計算値を上回ることが確認できる。計算値に対する実験値の比率は、変動軸力を受ける試験体 WCM24 の負荷側を除けば、1.03~1.14 と概ね1割程度大きくすることが確認できた。一方で、試験体

表1 鉄骨フランジ降伏時耐力および最大耐力

試験体	鉄骨フランジ降伏時耐力(kN) (変形角($\times 10^{-2}$ rad.))	最大耐力(kN) (変形角($\times 10^{-2}$ rad.))
WCM21	542(0.66)	-627(-2.79)
WCM22	596(0.56)	-770(-2.00)
WCM23	484(0.66)	-580(-2.88)
WCM24	正載荷	561(0.75) / 563(1.41)
	負載荷	-194(-0.36) / -362(-4.00)
WCM25	364(0.48)	-482(-1.25)

WCM24 の負荷側では 1.44 となり、実験値は計算値を大きく上回った。

図3に本研究の試験体および文献2), 3)で報告されている試験体の実験値と曲げ強度の計算値の比較を示す(図3は図4の凡例と同一)。すべての試験体において、実験値が計算値を上回っており、その比率の平均値は 1.12 であることが確認された。また、試験体 WCM24 の負荷側を除いて、計算値は実験値の2割の範囲内にあることから、EWECs 柱の曲げ耐力は一般化累加強度理論により概ね評価できているといえる。

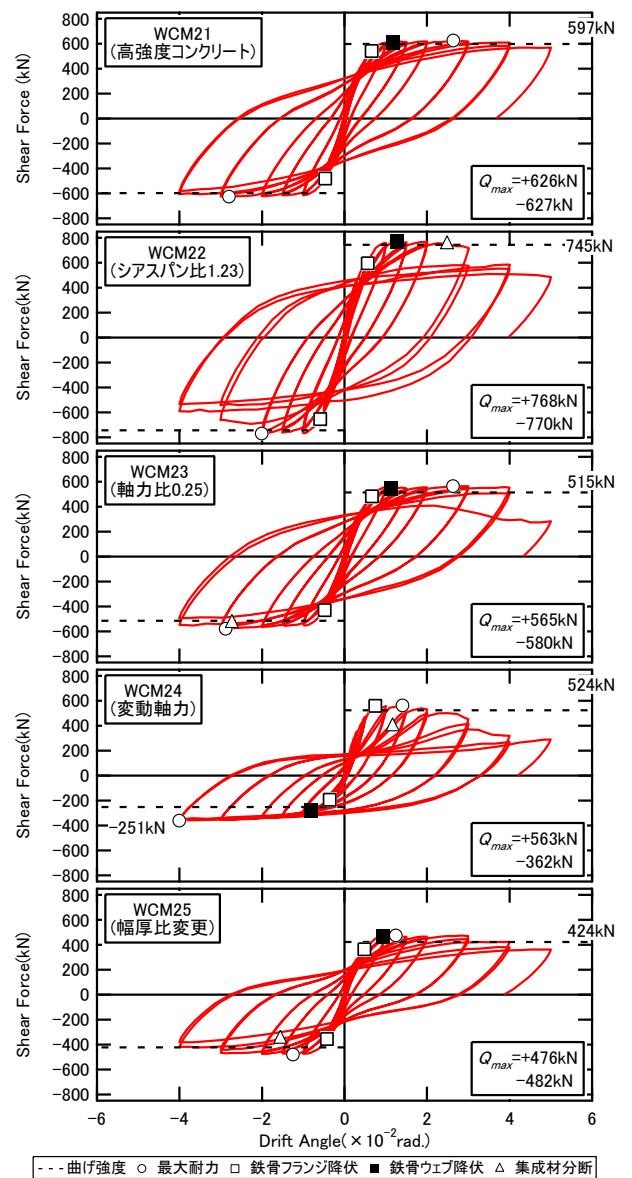


図1 セン断力-変形角関係

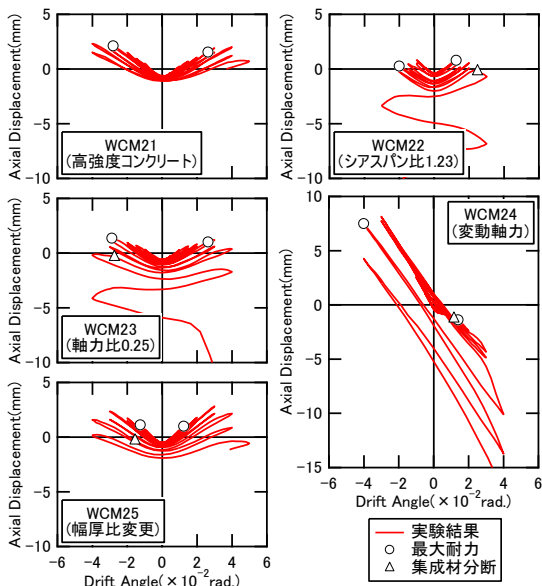


図2 軸方向変形-変形角関係

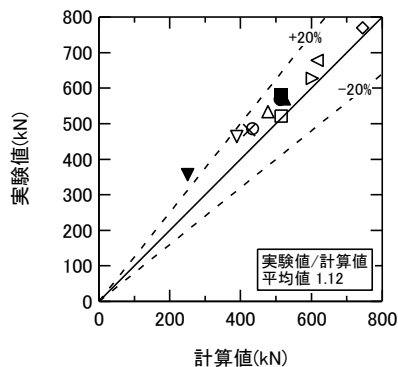


図3 実験値と計算値の比較

4. 終局変形性能

図4に本研究の試験体および文献2), 3)で報告されている試験体の終局変形角と軸力比, せん断余裕度の関係を示す。終局変形角は最大耐力の8割にせん断力が低下したときの変形角とした。荷重-変形角の履歴上に終局変形点がない場合は, サイクルピーク時の点を結んだ直線状の点を用いた。また, 軸力比が0.2の試験体は白抜きの記号, 軸力比が0.2よりも大きい試験体は黒塗りの記号を用いて示している。

図4(a)には, 基準試験体と同一断面で軸力比のみ異なる試験体の結果を表記しているが, これによると, 軸力比が大きくなるにしたがって終局変形角は小さくなることわかる。

図4(b)によると, 軸力比を0.2とした試験体(白抜き記号)に限ってみると, せん断余裕度が小さくなるにしたがって終局変形角が小さくなる傾向がみてとれる。

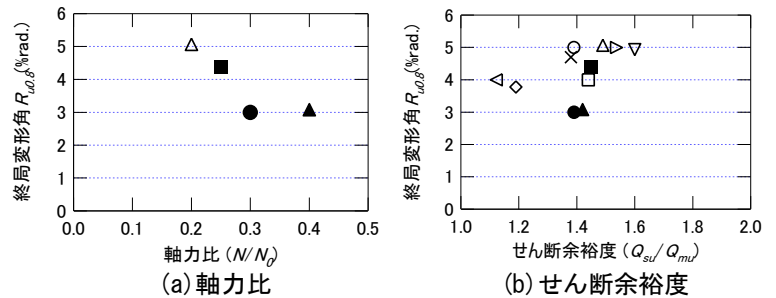
5. まとめ

本研究では, 以下の知見が得られた。

- 1) 高強度コンクリートとした試験体および鉄骨幅厚比を変更した試験体では, 大変形時まで安定した履歴

表2 実験値および終局強度の計算値

試験体	WCM21	WCM22	WCM23	WCM24		WCM25
				正載荷	負載荷	
実験値(kN)	627	770	580	362	563	482
曲げ強度 Q_{mi} (kN)	597	745	515	251	524	424
せん断強度 Q_{su} (kN)	913	886	745	745	745	585
せん断余裕度 (Q_{su}/Q_{mi})	1.53	1.19	1.45	2.97	1.42	1.38
実験値/曲げ強度	1.05	1.03	1.13	1.44	1.07	1.14



(a) 軸力比

(b) せん断余裕度

本研究	▷	WCM21	$\sigma_B=57.3\text{N/mm}^2$	文献2)	○	WCM2	$\sigma_B=27.9\text{N/mm}^2$
	◇	WCM22	シラスパン比 1.23		□	WCM5	$\sigma_B=44.4\text{N/mm}^2$
	■	WCM23	軸力比 0.25	文献3)	△	WCM11	基準試験体
	▲	WCM24	変動軸力:正載荷		▽	WCM12	鉄骨比 2.85%
	▼	WCM24	変動軸力:負載荷		◁	WCM13	鉄骨比 5.95%
	×	WCM25	鉄骨幅厚比変更		●	WCM14	軸力比 0.3

図4 終局限界変形

特性を示すことが確認された。

- 2) シラスパン比を1.23とした試験体では, 大変形時に耐力低下が生じ, 内部コンクリートでせん断破壊の様相が確認された。
- 3) 変動軸力を受ける試験体では, 軸力比0.4程度の圧縮軸力においても変形角 $R=3.0 \times 10^{-2}\text{rad}$ まで耐力を維持していることが確認された。
- 4) EWECs 柱の曲げ強度は一般化累加強度理論により概ね評価可能である。ただし, 変動軸力による引張り側の試験体は, 実験値が曲げ強度の計算値を大きく上回ることが確認された。
- 5) 試験体の軸力比が大きくなるにしたがって, 終局変形角が小さくなることが確認された。
- 6) 軸力比0.2の試験体において, せん断余裕度が小さくなるにしたがって, 終局変形角が小さくなる傾向が確認された。

参考文献

- 1) 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, 2014.1
- 2) 平松拓宏, 鈴木卓, 吉田浩輝, 田口孝: 外殻集成材の上下端部にd隙間を設けたEWECs柱の構造性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, pp.1129-1134, 2018.7
- 3) 黒川洋一, 森本征晃, 松井智哉, 田口孝: 鉄骨断面積比および軸力比が異なるEWECs柱の構造性能に関する研究, コンクリート工学会年次論文集, Vol.41, No.2, pp.1135-1140, 2019.7

* 豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻 大学院生
 ** 豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻 元大学院生
 *** 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 准教授・博士(工学)
 **** 矢作建設工業(株) エンジニアリングセンター 博士(工学)

Graduate Student, Dept. of Architecture and Civil Eng., TUT.
 Former Graduate Student, Dept. of Architecture and Civil Eng., TUT.
 Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Civil Eng., TUT., Dr. Eng.
 Engineering Center, YAHAGI CONSTRUCTION Co., Ltd., Dr. Eng.