

EWECS 柱の終局強度評価精度に関する研究

一般化累加強度
アーチ簡略破壊性状
分割アーチ集成材
SRC 規準1230030
指導教員大瀬良 拓真*1
鈴木 卓

1. はじめに

近年の国産木材の安定流通および有効活用の需要から、EWECS (Engineering Wood Encased Concrete-Steel) 構造が提案されている。同構造はコンクリート、内蔵鉄骨および外殻集成材から構成される合成構造である。図1にEWECS 柱のイメージを示す。EWECS 構造は外殻集成材内部のコンクリートと鉄骨により耐火性能と構造性能に優れている。また、外殻集成材は施工時に型枠の役割を兼用する。そのため、集成材による柱コンクリートの拘束および施工の簡略に伴う工期とコスト削減が期待される。

構造設計では、安全性を確保するために柱や梁の終局強度の計算が行われる。この終局強度計算の評価精度が正確でない場合、荷重が計算値に達していないにも拘わらずに建物倒壊の可能性がある。既往のEWECS 柱の開発研究では、曲げ終局強度の算定法は文献ごとに異なっており、研究全体を通しての評価精度は検討されていない。また、せん断終局強度は簡略アーチ式¹⁾のみで評価されており、他の評価手法は検討されていない。

そこで本研究では、既往の文献に示されるEWECS 柱の試験体を対象として各種終局強度評価精度の比較検討を行う。本論では、試験体の概要を述べるとともに、終局強度評価法の説明、曲げ破壊型、せん断破壊型の試験体の実験値と計算値の比率（以降、耐力比と呼称）および破壊モードの予測の検討結果を述べる。

2. 試験体概要²⁾⁻⁸⁾

図2にEWECS 柱の断面を、図3にEWECS 柱の立面を、図4に試験体変数を示す。同図は試験体のコンクリート強度、鉄骨比、せん断スパン比、軸力比、集成材の埋め込みの有無、全体の幅とコンクリート幅の比およびコンクリート幅と鉄骨の応力中心間距離の比をそれぞれ示している。

対象とした試験体の実験における破壊性状は曲げ破壊型の試験体が22体、せん断破壊型の試験体が11体である。

3. 終局強度評価法

3.1 曲げ強度

EWECS 柱の曲げ強度は一般化累加強度理論法¹⁾で求めた。ここで、鉄骨ウェブは文献1)の簡略式と精算式の2通りの手法により算定した。また、簡略式を対象にコンクリート強度の低減係数を式(1)に従ったものと1.0としたものの2通りを算定した。一般化累加強度理論は縦軸を軸力、横軸を曲げ強度で示すと図5のように表せる。また、一般化累加強度理論による曲げモーメント計算値のせん断力への換算では $P-\delta$ 効果が考慮されている。

$$r = 0.85 - 2.5 \frac{s a_f}{c b c D} \quad (1)$$

ここで、 $s a_f$ ：圧縮側鉄骨フランジの断面積、 $c b$ ：コンクリートの幅、 $c D$ ：コンクリートの断面せいである。



図1 EWECS 柱のイメージ

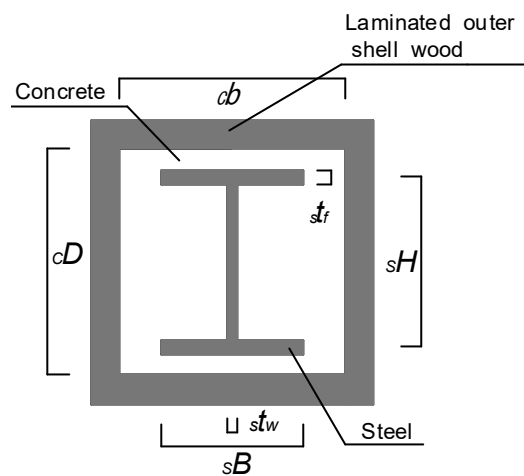


図2 EWECS 柱の断面

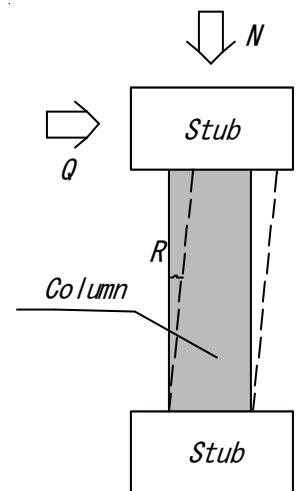


図3 EWECS 柱立面

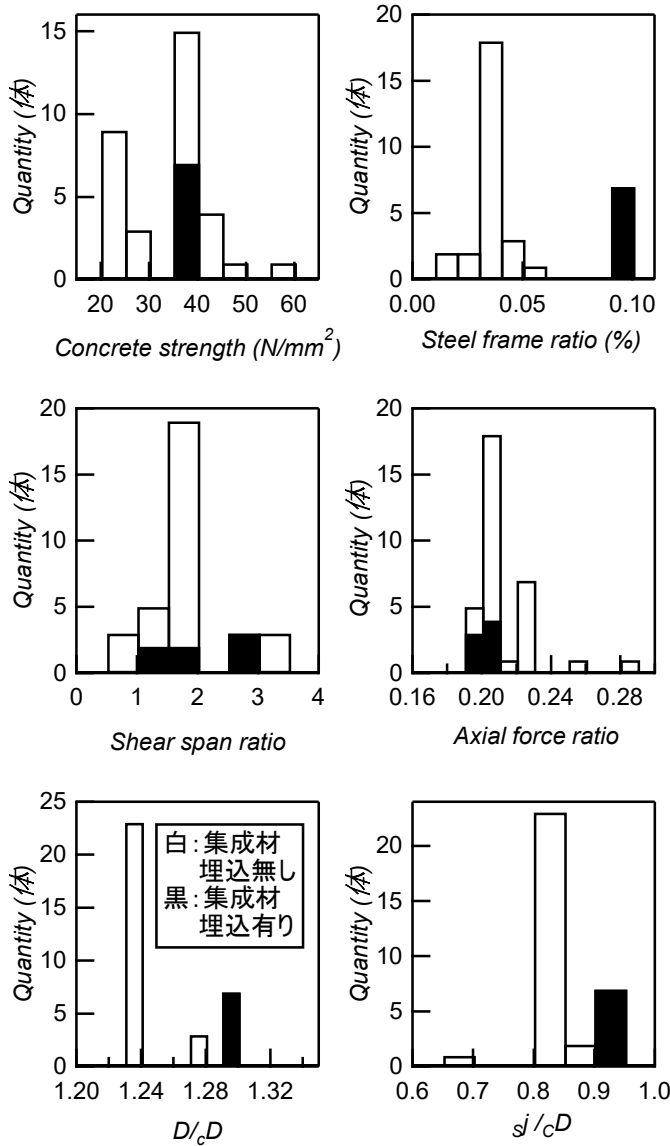


図4 試験体変数

3.2 セン断強度

せん断強度は SRC 規準式、簡略アーチ式および分割アーチ式の3つの手法より算定した。図6に簡略アーチ式および分割アーチ式に用いられるコンクリートのアーチ機構を示す。また、計算に用いた33体の試験体の鉄骨形状はH形鋼であることから、鉄骨ウェブのせん断強度は充複型の降伏強度式を用いた。

(a) 簡略アーチ式

簡略アーチは鉄骨によるコンクリートアーチ機構の分断を考慮していないせん断強度算定手法であり、式(2)～(4)に従い算定される。

$$rQ_{su} = \tan\theta (cb - b') \mu D \frac{F_c}{2} + \frac{s a_w s \sigma_w}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

$$\tan\theta = \sqrt{\left(\frac{l}{D}\right)^2 + 1} - \frac{l}{D} \quad (3)$$

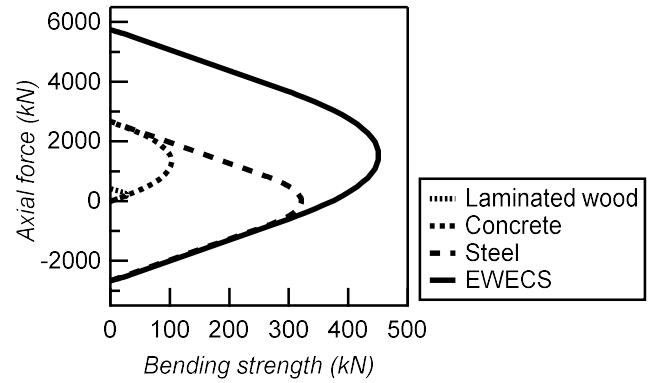


図5 一般化累加強度理論

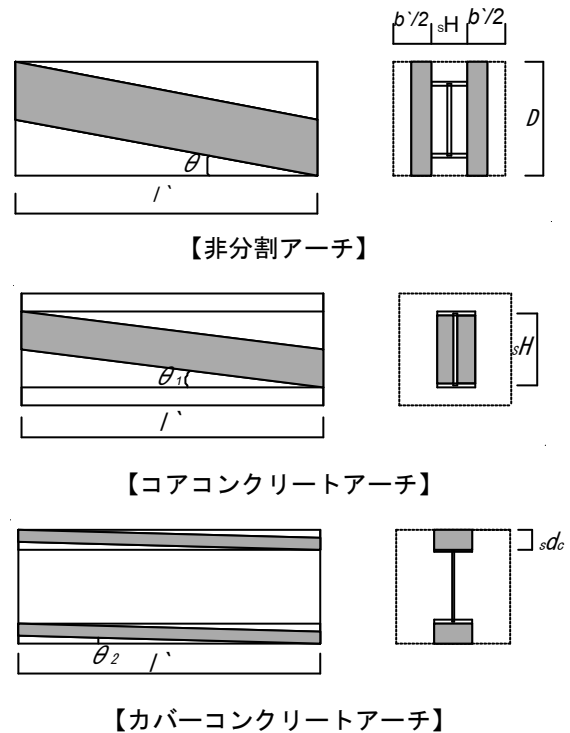


図6 コンクリートのアーチ機構

$$b' = cb - sB, \mu = 0.5 + \frac{b'}{cb} \leq 1.0 \quad (4)$$

ここで、 F_c : コンクリートの圧縮強度、 $s a_w$: 鉄骨ウェブの断面積、 $s \sigma_w$: 鉄骨ウェブの降伏強度、 θ : 非分割アーチの材軸に対する傾き、 l : 柱の内法スパン、 sB : 鉄骨フランジ幅、 b' : 強軸のコンクリート有効幅である。

(b) 分割アーチ式

分割アーチ式は鉄骨によるコンクリートアーチ機構の分断を考慮したせん断強度算定手法であり、式(5)～(8)に従い算定される。

$$rQ_{su} = \tan\theta b' c D \frac{v F_c}{2} + \tan\theta_1 (sB - s t_w) s H \frac{v F_c}{2}$$

$$+ \tan\theta_2 s B s d_c v F_c + \frac{s a_w s \sigma_w}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

$$\tan\theta_1 = \sqrt{\left(\frac{l}{sH}\right)^2 + 1} - \frac{l}{sH} \quad (6)$$

$$\tan\theta_2 = \sqrt{\left(\frac{r}{s d_c}\right)^2 + 1} - \frac{r}{s d_c} \quad (7)$$

$$s d_c = d_c + \frac{s t_f}{2} \quad (8)$$

ここで、 $s t_w$ ：鉄骨ウェブの厚さ、 $s H$ ：鉄骨ウェブの幅、 v ：コンクリートの有効係数で $0.7 - F_c/200$ 、 θ_1 ：コアコンクリートアーチの材軸に対する傾き、 θ_2 ：カバーコンクリートアーチの材軸に対する傾き、 d_c ：コンクリートのかぶり、 $s t_f$ ：鉄骨フランジの厚さである。

(c) SRC 規準式

EWECS 構造は外殻集成材の影響を考慮しない場合に内蔵鉄骨およびコンクリートから構成されており、鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRC）から鉄筋を取り除いた構造と考えられる。ここでは、SRC 規準に示されるせん断終局強度式から鉄筋部分の式を取り除いた式(9)～(11)に従いせん断終局強度を算定した。

$$Q_u = c b r j F_s \frac{b'}{b} + \frac{s a_w s \sigma_w}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

$$r j = \frac{7}{8} \left(c D - d_c - \frac{s t_f}{2} \right) \quad (10)$$

$$F_s = \min \left(0.15 F_c, 2.25 + \frac{4.5 F_c}{100} \right) \quad (11)$$

ここで、 $r j$ ：コンクリート部分の応力中心間距離である。

4. 終局強度の評価精度

4.1 曲げ破壊型試験体

曲げ終局強度の計算値および実験値の耐力比を図6に示す。同図の縦軸は実験値を、横軸は計算値を示しており、3本の斜め線は耐力比が0.7、1.0および1.3を示している。

各算定法の耐力比の平均値は、鉄骨ウェブの簡略式ではコンクリート低減係数を式(1)に従った場合が1.15、コンクリート低減係数を1.0とした場合が1.09、鉄骨ウェブを精算式とした場合が1.17であった。低減係数を1.0とした場合の耐力比の平均値が他の計算法と比べて1.0に最も近くなる傾向が確認された。しかしながら、当該計算法では、耐力比が1.0を下回る試験体が1体確認された。また、各耐力比の標準偏差はいずれも7%程度であり、大きなばらつきの差異は認められなかった。

コンクリート強度の低減係数を式(1)に従ったものは鉄骨ウェブの精算式、簡略式ともに曲げ終局強度の計算値は全ての試験体で実験値を下回っていることが確認された。

4.2 せん断破壊型試験体

せん断終局強度の計算値および実験値の耐力比を図7に示す。

各算定法の耐力比の平均値は、SRC 規準式では1.41、簡略アーチ式では1.16、分割アーチ式では1.24であった。簡略アーチ式の耐力比の平均値が他の計算法と比べて1.0

に最も近くなる傾向が確認された。また、各耐力比の標準偏差はSRC 規準式では15%、簡略アーチ式では8%分割アーチ式では7%であった。したがってSRC 規準式は他の式と比べて大きなばらつきが認められた。

せん断終局強度ではすべての手法で実験値を下回っていることが確認された。しかしSRC 規準式では精度が1.3を超えている試験体が8体、分割アーチ式では1体確認された。

4.3 破壊モードの予測

図8に終局強度計算に基づく破壊モードの予測を示す。同図の縦軸は実験値を曲げ終局強度で除した耐力比を、横軸がせん断終局強度を曲げ終局強度で除したせん断余裕度を表しており、横軸の値が1.0より小さい場合にせん断破壊型、大きい場合に曲げ破壊型と判定される。実験において曲げ破壊の生じた試験体を○で、せん断破壊の生じた試験体を△でそれぞれ示している。また、曲げ終局強度はコンクリート強度の低減係数を式(1)に従った鉄骨ウェブの簡略式を用いた。せん断終局強度は簡略アーチ式を用いた。

すべての試験体において実験と終局強度計算による破壊モードの判定は一致することが確認された。したがって上記の手法に従った終局強度評価によりEWECS 柱の破壊モードを適切に判定することができる。

5. まとめ

本研究では、既往の文献に示されるEWECS 柱の試験体を対象として各種終局強度評価精度の比較検討をした。本論で得られた知見を以下に示す。

- 1) 曲げ破壊型の試験体では、コンクリート強度の低減係数を式(1)に従った一般化累加強度理論式による曲げ終局強度の計算値は全て実験値を下回った。また、コンクリート強度の低減係数を1とした簡略式の曲げ終局強度計算値は実験値を上回るものが確認された。
- 2) せん断破壊型の試験体では、SRC 規準式、簡略アーチ式、分割アーチ式ともにせん断強度の計算値は全て実験値を下回った。しかしSRC 規準式では精度が1.3を超えている試験体が8体、分割アーチ式では1体確認された。
- 3) コンクリート強度低減係数を式(1)としウェブの耐力を簡略式とした曲げ終局強度および簡略アーチ式によるせん断終局強度を用いたEWECS 柱の破壊モードはすべての実験における破壊モードと一致する傾向が認められた。

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

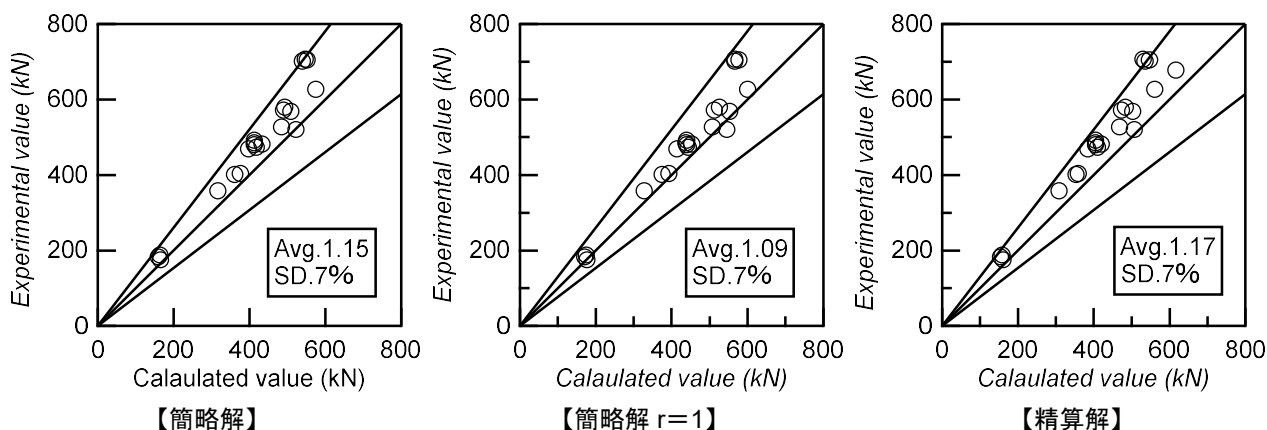


図6 曲げ破壊—計算値と実験値の比率

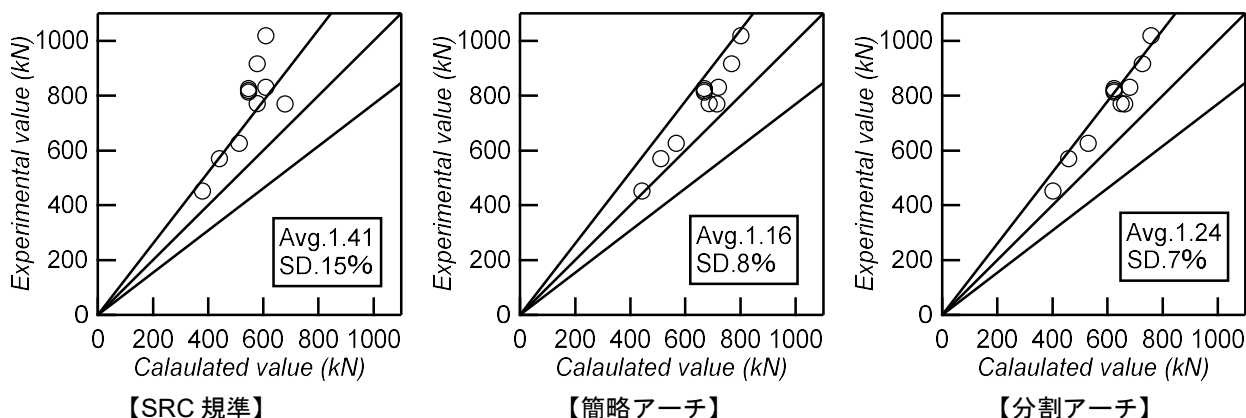


図7 せん断破壊—計算値と実験値の比率

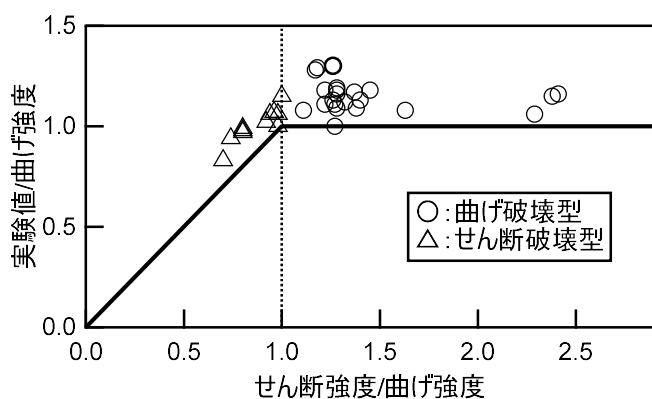


図8 破壊モード予測

- 2) 熊谷将吾, 他 4 名 : EWECS 柱の構造性能に及ぼす外殻集成材の樹種の影響, 日本建築学会構造系論文集 Vol76, No.659, pp.195-203, 2011.1
- 3) 平松卓宏, 他 3 名 : 外殻集成材の上下端部に隙間を設けた EWECS 柱の構造性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.2, 2018.7
- 4) 黒川洋一, 他 3 名 : 鉄骨断面積比および軸力比が異なる

る EWECS 柱の構造性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol41, No.2, 2019.7

- 5) 松原浩介, 黒川洋一, 松井智哉, 田口孝 : EWECS 柱の構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol42, No.2, 2020.7
- 6) 松原浩介, 他 3 名 : 鉄骨幅厚比が異なる EWECS 柱の構造性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol43, No.2, 2021.7
- 7) 神原広輝, 他 2 名 : EWECS 埋め込み柱脚における埋め込み深さ比および集成材分割の影響, 日本建築学会 四国支部研究論文集, No.22, pp.29-32, 2022.5
- 8) Enkhtuvshin Serchinnyamgyal, 他 3 名 : 鉄骨せいを変数とした EWECS 柱の静的載荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol44, No.2, 2022.7