

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760451

研究課題名(和文)CES柱梁接合部の弾塑性挙動と応力伝達機構の解明

研究課題名(英文)Study on elastic-plastic behavior and stress transferring mechanisms of composite CES beam-column joints

研究代表者

松井 智哉(Matsui, Tomoya)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20402662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、CES柱梁接合部の性能評価法を構築することを目的として、破壊形式、柱長さ(シアスパン)、パネルゾーンの幅および鉄骨のフランジ幅を実験変数として静的加力実験を行い、各構造因子がCES造柱梁接合部の構造性能に及ぼす影響を把握するとともに、せん断強度評価法の提案を行った。

その結果、柱内蔵鉄骨フランジ幅が、変形性状やパネルゾーンの復元力特性にほとんど影響を及ぼしていないことが確認できた。さらに接合部パネルのせん断強度式を提案し、実験結果を概ね評価できることを示した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to develop evaluation method of CES beam-column joint in composite Concrete Encased Steel structures composed of fiber reinforced concrete and steel. Static loading tests were conducted on the CES beam-column joints with different width of panel zone and width of steel flange, and the effects of experimental parameter on structural performance were examined together with evaluation method of shear strength of CES beam-column joint. As the results, it was found that the restoring characteristics was not so influenced by width of steel flange in panel zone. And it was shown that experimental shear strength of CES beam-column joint could be evaluated by using proposed evaluation method.

研究分野：13

科研費の分科・細目：5301

キーワード：鋼コンクリート合成構造 CES構造 繊維補強コンクリート 柱梁接合部 せん断強度 静的加力実験

た。試験体は柱上下端部および梁左右端部にそれぞれ取り付けられたピン支承を介して載荷装置に設置し、試験体に柱部材軸と平行に作用させた軸力下で静的漸増繰り返し水平力載荷を行った。作用させた軸力は、SRC 規準に従って算定した CES 柱の終局圧縮耐力 N_0 に対する軸力比 N/N_0 でほぼ 0.15 とした。水平力載荷は変形制御とし、柱上下端に取付けたピン支承間の相対水平変位 δ と上下ピン支承間距離 h で与えられる相対部材角 $R (= \delta/h)$ で、0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.03rad. および 0.04rad. を 2 サイクルずつ繰り返した後 0.05rad. まで載荷を行い、実験を終了した。

(3) 計測計画

計測変位は、制御変位となる水平変位、接合部パネル及び梁端部の変形とした。また、鉄骨フランジ及びウェブのひずみをひずみゲージにより計測した。また、繰り返し載荷における第 1 サイクルのピーク時と除荷時においてクラックスケールを用いてひび割れ幅を計測した。

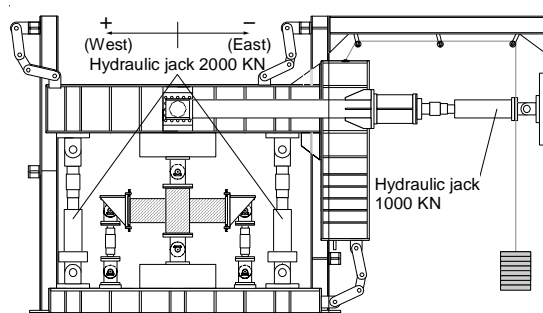


図 2 載荷装置

4. 研究成果

(1) 破壊性状と水平荷重-層間変形角関係

図-3 に各試験体の水平荷重-層間変形角関係を、図-4 に各試験体の最大耐力時のパネルゾーン周辺の破壊状況を示す。

接合部せん断破壊型試験体の内、柱長さが異なる試験体 JP-1 および JP-2 の 2 体においては、類似した破壊経過を示している。1/200rad. のサイクルで梁に曲げひび割れ及びパネルゾーンにせん断ひび割れが発生し、接合部ウェブの降伏を確認した。1/100rad. のサイクルでは、パネルゾーンのせん断ひび割れが進展し、新たなせん断ひび割れも発生した。また、梁鉄骨フランジの降伏を確認した。その後の 1/67rad. のサイクルでパネルゾーンのせん断ひび割れが拡幅し、両試験体共に最大耐力に達した。最大耐力以降は、パネルゾーンのコンクリートの損傷の進行とともに耐力が低下していく。接合部せん断破壊型試験体で柱の断面が $300 \times 400\text{mm}$ である試験体 JP-3 では、1/67rad. のサイクルで最大耐力に達した時の損傷状況を見ると、試験体 JP-1, JP-2 ではパネルゾーンにおけるコンクリートの損傷状況は、中央に X の字に発生するせん断ひび割れが大きく拡幅していくのに対し、試験体 JP-3 の場合は、パネルゾ

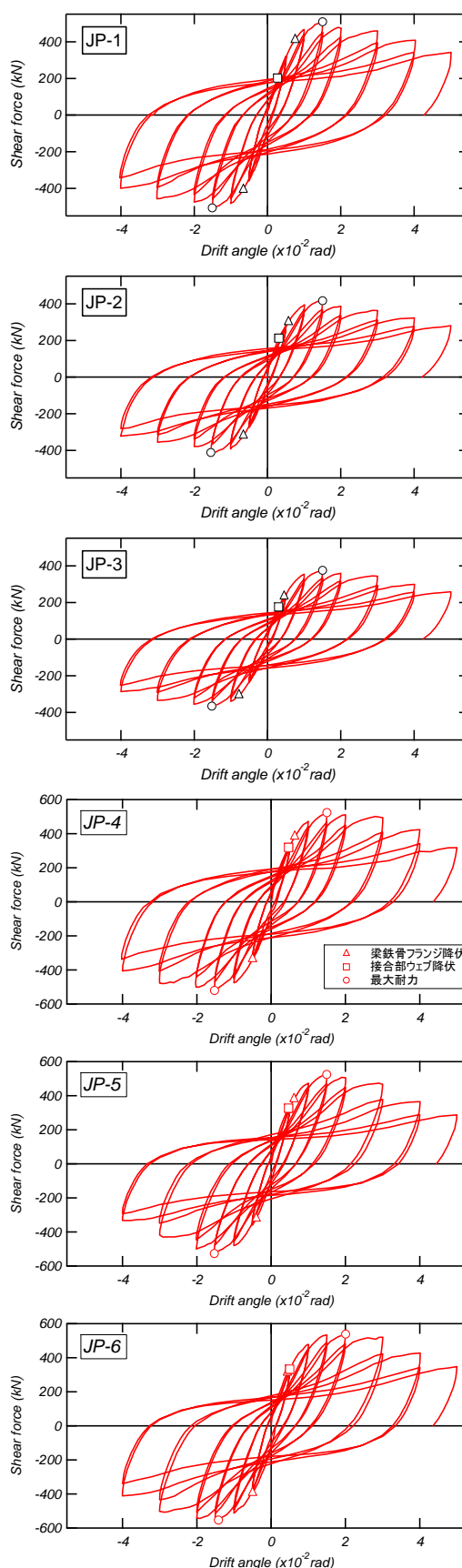


図 3 水平荷重-層間変形角関係

ンにせん断ひび割れが分散して発生し、コンクリートが損傷を受けている。このことから、試験体 JP-3 で観察できる梁と柱により囲まれたパネルゾーンの最外部コンクリートと、

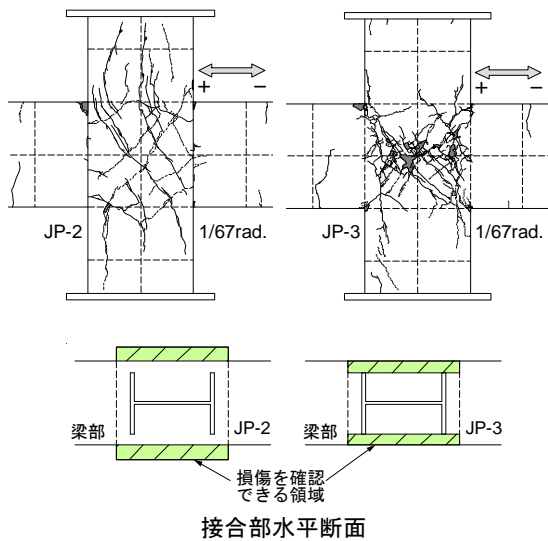


図3 最大耐力時における破壊状況

試験体 JP-1, JP-2 におけるパネルゾーンの最外部コンクリートの応力伝達状態は異なっていることがいえる。

(2) パネルゾーンの復元力特性

図4に接合部せん断破壊型試験体におけるパネルゾーンの負担せん断力-パネルのせん断変形関係の包絡線を示す。

接合部せん断破壊型試験体では、ばらつきはあるが、概ね $\gamma_p = 0.05 \sim 0.16 \times 10^{-2} \text{rad}$ 時にパネルウェブがせん断降伏している。また、どの試験体もパネルゾーンはおよそ $\gamma_p = 1.6 \times 10^{-2} \text{rad}$ 付近で最大耐力に達することがわかる。大局的にみると、 $\gamma_p = 1.0 \times 10^{-2} \text{rad}$ あたりでは最大耐力程度のせん断力に達しており、変形の増大とともに緩やかにせん断力が上昇し、 $\gamma_p = 1.5 \sim 1.8 \times 10^{-2} \text{rad}$ 付近で最大耐力に達しており、柱長さ、パネルゾーンの幅および鉄骨のフランジ幅が及ぼす影響は小さい。

また、試験体 JP-4 と JP-5 は、パネルゾーンの鉄骨フランジ幅が異なり、鉄骨に囲まれるコンクリートの領域が異なる。鉄骨の拘束効果によりコンクリートの応力状態が変わることから、最大耐力に影響を及ぼす可能性も考えられたが、両試験体の荷重-変形関係の包絡線はほとんど違いが見られず、最大耐力に及ぼす影響は小さいことがわかった。

(3) 接合部の終局せん断強度式の提案

図5に過去に実施した実験試験体を含む最大耐力計算結果をそれぞれ示す。柱および梁の終局曲げ耐力は一般化累加強度理論により計算し、接合部パネルせん断強度は次式により算出した。

$$Q_{ju} = {}_J F_s \cdot {}_J \delta \cdot A_e + \frac{1.2 \cdot \sigma_{sw} \cdot A}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$${}_J F_s = \begin{cases} 0.018 F_c + 3.2 & (21 \leq F_c \leq 50) \\ 4.1 & (50 \leq F_c \leq 60) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 ${}_J F_s$: コンクリートのせん断応力度、

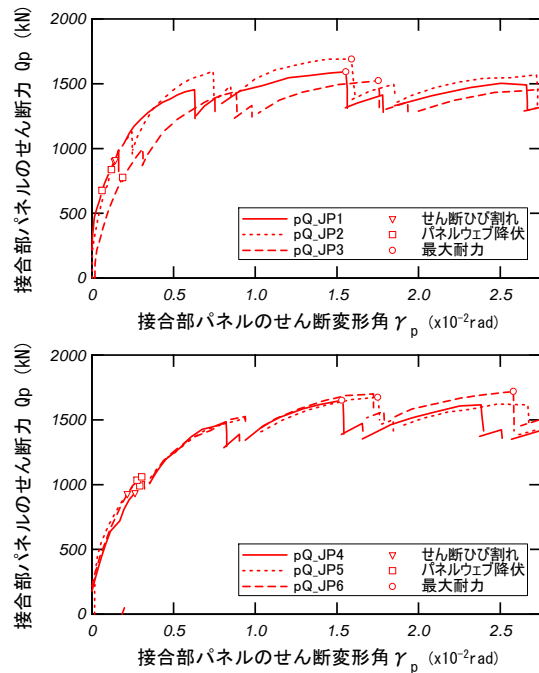


図4 パネルゾーンのせん断力-せん断変形関係

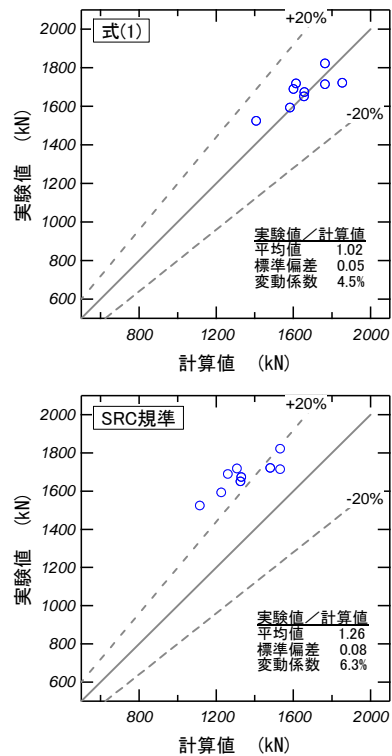


図5 接合部せん断強度の比較

${}_J \delta$: 接合部の形状により決まる係数(十字形は3、ト形およびT形は2、L形は1である)、 ${}_{sw} \sigma_y$: 鉄骨ウェブの降伏強度、 ${}_{sw} A$: 鉄骨ウェブの断面積、 A_e : コンクリートの有効断面積 ($= b_e \cdot d_e$)、 b_e : 柱幅と梁幅の平均値、 d_e : 柱鉄骨せいと柱せいの平均値、 ${}_{sw} A$: 鉄骨ウェブの断面積、 A_e : コンクリートの有効断面積 ($= b_e \cdot d_e$)、 b_e : 柱幅と梁幅の平均値、 d_e : 柱鉄骨せいと柱せいの平均値である。

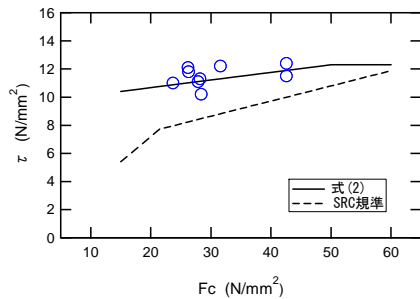


図6 コンクリートのせん断応力度の比較

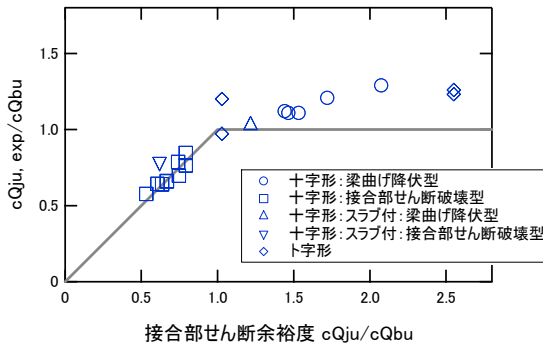


図7 試験体の終局耐力の実験値と計算値の比較

比較のため、式(2)をSRC規準で用いられている終局時のコンクリートのせん断応力度を用いた場合の結果も示している。その場合は、図5に示すように終局せん断強度を若干過小評価する結果となる。

そこで、実験結果に基づいて終局せん断強度時のコンクリートのせん断応力度を定めることとした。図6は実験による最大耐力を用いて式(1)から逆算したコンクリートのせん断応力、式(2)およびSRC規準によるせん断応力である。図に示すように実験結果の概ね平均値を与えるように式(2)を定めた。

結果として、終局せん断強度の計算値は、図5に示すように実験値のほぼ平均値を与えていることがわかる。

図7は、接合部せん断余裕度（梁の終局曲げ耐力に対する接合部の終局せん断耐力）と試験体の最大耐力との比較である。梁曲げ降伏型の試験体においては、計算耐力に対する実験値の比は1.03から1.29の範囲となっている。実験における試験体の破壊形式と計算耐力による判定も可能であることがわかる。

(5) まとめ

- 1) 接合部パネル幅が異なる試験体の比較において、外部コンクリートにおける損傷状況が異なっていることから、応力伝達状態は異なることが伺えた。
- 2) 今回の試験体においては、柱長さが接合部の変形性状に及ぼす影響は小さいことが確認された。
- 3) ひび割れ状況に差異はみられたが、柱内蔵鉄骨フランジ幅および柱断面形状が、変形

性状やパネルゾーンの復元力特性にほとんど影響を及ぼしていないことが確認できた。
4) 接合部パネルのせん断強度式を提案し、実験結果を概ね評価できることを示した。

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 2 件)

- ① 小山勉, 小島佑太, 広瀬潤, 松井智哉: CES 造柱梁接合部の構造性能に及ぼすパネルゾーンの内蔵鉄骨フランジ幅の影響, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 36, No. 2, 2014. 7 (採択)
- ② 小島佑太, 吉野貴紀, 小山勉, 松井智哉: CES 造柱梁接合部のせん断抵抗機構に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 35, No. 2, pp. 1219-1224, 2013. 7

[学会発表] (計 2 件)

- ③ 小山 勉, 小島佑太, 吉野貴紀, 松井智哉: 柱長さ及び柱の断面形状が異なる CES 柱梁接合部の静的加力実験 その1 実験概要と破壊性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 1415-1416, 2013. 8
- ④ 小島佑太, 小山 勉, 吉野貴紀, 松井智哉: 柱長さ及び柱の断面形状が異なる CES 柱梁接合部の静的加力実験 その2 水平荷重一層間変形角関係と終局耐力の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp. 1417-1418, 2013. 8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 智哉 (MATSUI TOMOYA)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科
・准教授
研究者番号：20402662