

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820268

研究課題名(和文) 外ダイアフラム形式角形CFT柱梁接合部の設計法合理化のための現実的因子の解明

研究課題名(英文) Elucidation of Realistic Factors for Rationalization of the Design Method of Beam to CFT Column Connections with Exterior Diaphragms

研究代表者

松尾 真太郎 (Matsuo, Shintaro)

九州大学・人間・環境学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40583159

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：完全溶込み溶接を要しない外ダイアフラム形式は、耐震性能に高い信頼性を与えることができる点で合理的な接合法である。本研究では、コンクリート充填角形鋼管(角形CFT)柱を対象とした外ダイアフラム形式柱梁接合部の設計法の合理化を目的としている。合理化へ向けて、実設計で配慮すべき因子として、左右の梁せいが異なる接合詳細ならびにコンクリートスラブの有無が挙げられる。本研究は、このような2種類の因子を中心とした系統的な繰返し載荷実験を実施し、接合部の構造性能評価法について検討したものである。

研究成果の概要(英文)：Exterior diaphragm type connection, which does not require complete joint penetration weld, is a rational method of connection between beams and columns in terms of high reliability for its seismic performance. The objective of this study is to rationalize the design method of exterior diaphragm type connection for concrete filled steel tubular structures. For the rationalization, details of connections, in which the beams on either side of the columns have a different depth, and existence of concrete slabs are important factors which should be considered in the practical design. In this study, a systematic cyclic loading test including two factors of the above was conducted, and the estimation methods of structural performances of the connections were investigated.

研究分野：工学，建築学，建築構造・材料

キーワード：コンクリート充填鋼管構造 外ダイアフラム 柱梁接合部 段違いパネル コンクリートスラブ 繰返し載荷実験 塑性解析

1. 研究開始当初の背景

兵庫県南部地震(1995年)において経験した重大な損傷部位として、中低層鉄骨造の柱梁接合部が挙げられる。特筆すべき被害として、完全溶込み溶接近傍の柱や梁フランジの破断が観察されたことを受け、その被害軽減の対策の一つとして外ダイアフラムに着目した研究が種々行われてきた。特に梁降伏型の接合部設計法については概ね構築され、実用化にも到っている。しかしながら、これまでに対象とされてきた接合部の詳細は、比較的標準的なものに限られており、この種の接合部をより広く実用化していくためには、実設計で配慮すべき現実的諸因子の影響を十分に把握し、設計に生かす必要がある。特に重要な因子としては、柱に取り付く左右の梁せいに差が生じる場合、コンクリートスラブが取り付く場合、柱梁接合部に2方向から力が入力される場合、が考えられる。研究開始当初において、既にこの課題については研究成果も蓄積されつつあったので、本研究では、この課題に焦点を絞ることとした。なお、本研究で対象とする外ダイアフラム形式柱梁接合部では、鋼管柱にコンクリートを充填したCFT構造を主として扱っている。これは、外ダイアフラムの性質上、CFT構造と相性が良いことに加えて、東北地方太平洋沖地震以降、巨大地震のみならず津波による漂流物に対する耐衝撃性能の向上にもCFT構造が有利と考えられ、今後、CFT構造の採用が更に増えることも期待されるためである。

2. 研究の目的

本研究課題では、上記の研究背景を踏まえて以下のことを検討する。

- (1) 左右の梁せいが異なる外ダイアフラム形式角形CFT柱梁接合部の地震荷重に対する構造性能を明らかにする。
- (2) コンクリートスラブの存在が外ダイアフラム形式柱梁接合部の構造性能に与える影響について明らかにする。
- (3) (1)と(2)の実験結果に基づいて、外ダイアフラム形式角形CFT柱梁接合部の耐力算定式をそれぞれ提案する。(1)については、梁せいを考慮した接合部パネル(段違いパネル)の終局せん断耐力の評価法、(2)については、コンクリートスラブによる合成効果を考慮した梁端接合部の終局曲げ耐力の評価法を構築する。

3. 研究の方法

上記(1)~(3)の研究課題について、以下に述べる方法をとった。

- (1) 左右の梁せいが異なる外ダイアフラム形式角形CFT柱梁接合部パネルの弾塑性挙動を調査するために、図1に示す荷重装置により、柱梁接合部を取り出した十字形部分架構試験体に繰返し荷重を作用させ、接合部パネルの剛性、耐力、履歴性状、崩壊

性状等を確認した。左右の梁せい差(0mm, 75mm, 150mm)と荷重方法(繰返し, 単調)を実験変数とする計4体である。

- (2) コンクリートスラブ付きの外ダイアフラム形式柱梁接合部の弾塑性挙動を調査するために、(1)と同じ荷重装置により、柱梁接合部を取り出したT字形あるいは十字形部分架構試験体に繰返し荷重を作用させ、梁端接合部の剛性、耐力、履歴性状、崩壊性状等を確認した。T字形試験体は、充填コンクリートの有無、コンクリートスラブの有無を実験変数とする計4体である。十字形試験体は、(1)の梁せい差0mmと同じ詳細(スパンは若干異なる)を持つものにコンクリートスラブを打設したものの1体である。
- (3) (1)、(2)で得られた接合部パネルあるいは梁端接合部の履歴挙動や崩壊性状を参照し、それぞれの耐力を評価するための崩壊機構を仮定し、塑性解析の手法を利用して耐力算定式を導出した。さらに実験結果との比較により算定式の妥当性を検討した。また、接合部パネルについては、予想以上にコンクリートに対するコンファインド効果が確認されたため、接合部パネルの崩壊性状あるいは応力伝達機構については、有限要素法による解析的検討もさらに加えて、耐力評価法を考察した。

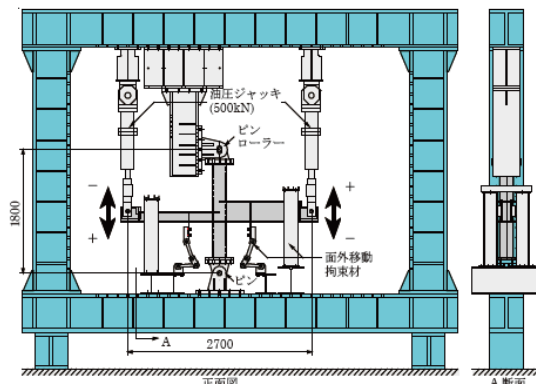


図1 荷重装置

4. 研究成果

(1) 段違いパネルの弾塑性挙動

充填コンクリートの破壊が繰返し荷重下で進展するため、履歴性状は紡錘形から若干細る傾向はあるが、これはCFT接合部パネルの一般的な傾向であり、梁せい差が影響したものではない。梁せい差によらず履歴挙動は安定しており、高い変形能力を示した。

梁せい差が大きくなるほど、接合部パネルの耐力は低下する傾向を示した。加力方向の違いにより、パネルゾーンの充填コンクリートは異なる高さの圧縮ストラットを形成するが、接合部全体としてのせん断耐力には大きな差はなかった。繰返し荷重と単調荷重による接合部パネルの挙動にも大きな差はなかった。

(2)スラブ付き外ダイアフラム形式柱梁接合部の弾塑性挙動

充填コンクリートの有無によらず、コンクリートスラブの存在によって、正曲げ時の剛性・耐力は明瞭に上昇した。一方、負曲げ時には、耐力の上昇はわずかであるが、剛性については 2 割程度の上昇が認められた。

コンクリートスラブの存在により、負曲げ時においても、剛接合と見なした場合の弾性剛性の計算値と同等程度の剛性を有している可能性を確認した。すなわち、スラブの効果により、通常半剛接として扱われる外ダイアフラム形式接合部を剛接と見なせる可能性がある。

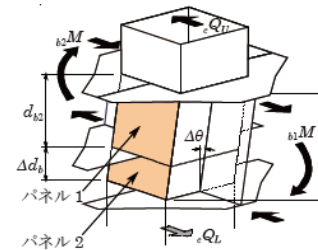
中空鋼管の場合、コンクリートスラブからの支圧により鋼管壁が鋼管内へ面外変形するため、スラブの損傷は、特に鋼管角部周辺で顕著に現れた。それに比べて、CFT の場合、鋼管内への面外変形が抑制されるため、鋼管幅全体にわたって支圧力を伝達できるため、スラブの損傷は小さくなった。

(3)接合部パネルおよび梁端接合部の耐力算定

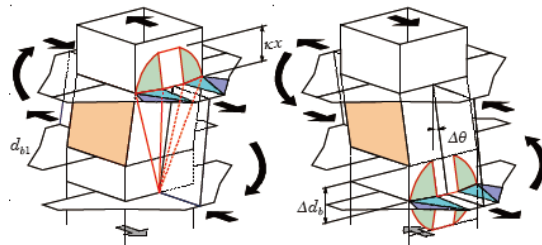
接合部パネルの耐力評価については、実験による崩壊性状を参照して、図 2 に示す 3 種類の崩壊機構を仮定し、塑性解析により全塑性耐力を導出した。その結果、耐力計算値は実験値を 2 割程度過小評価する傾向が認められた。この一因としては、パネルゾーンの充填コンクリートがせん断ひび割れを起こして、体積膨張しようとする際に、鋼管がそれを拘束することで、充填コンクリートの耐力・変形能力を向上させていることが考えられる(ここでは、便宜上、コンファインド効果と称する)。このコンファインド効果による充填コンクリートの耐力上昇を理論的に評価することは、現状では困難なので、本研究では、提案する耐力算定式と耐力実験値を用いて、充填コンクリートの耐力上昇率を推定した。耐力上昇率はおよそ 2.0 前後の値となったが、試験体数が少ないので、ここでは、有限要素法解析により、さらにパラメータを補充して検討を進めた。解析により、鋼管幅厚比と梁せい差が耐力上昇率に大きく影響することが確認できた。今後は、さらに対象パラメータの範囲を広げ、耐力上昇率に関する予測式(回帰式)を誘導することが課題である。

コンクリート付き外ダイアフラム形式柱梁接合部の正曲げ耐力の算定法については、図 3 に示す応力伝達モデルを仮定し、スラブの支圧耐力と外ダイアフラム接合部の局部耐力の大小関係による場合分けを考慮して、全塑性耐力を導出した。ここで、中空鋼管の場合の外ダイアフラム接合部の局部耐力 P_p は既往の研究成果を利用し、CFT の場合の外ダイアフラム接合部の局部耐力 P_{pc} は図 2(b)の機構 P_A にお

る面外崩壊機構を適用している。本解析手法により、比較的精度良く実験結果を予測することが確認できたが、上フランジ側におけるスラブの支圧力による負担分と外ダイアフラム接合部の圧縮力による負担分の割合など、未だ不明確な点も残されている。この点については、今後、有限要素法等も活用しながら、さらに検討を進め、より明解な耐力評価法へ修正していく必要があると考える。



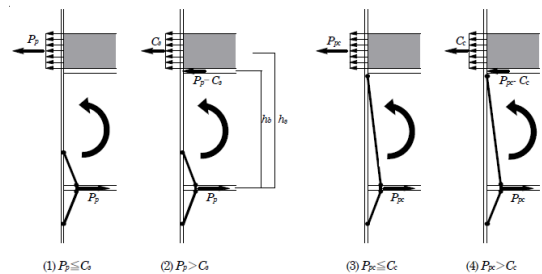
(a) 機構 E



(b) 機構 P_A

(c) 機構 P_B

図 2 段違いパネルの崩壊機構



(a) 中空鋼管の場合

(b) CFT の場合

図 3 スラブ付き外ダイアフラム形式柱梁接合部の応力伝達モデル

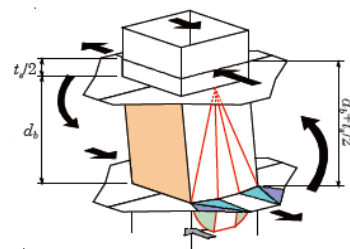


図 4 スラブ付き外ダイアフラム形式柱梁接合部パネルの崩壊機構

コンクリートスラブ付き外ダイアフラム形式柱梁接合部パネルの耐力評価については、図 4 の崩壊機構を仮定し、塑性解析により全塑性耐力を導出した。本機構は、正曲げを受ける側の接合部パネルがスラブを介して圧縮力を受けると考えることで、あたかも図 2(b)の機構 PA に類似した機構と見なせることを利用したものである。本機構により、スラブの寄与率を適切に考慮できることが確認できた。

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)

池田竜輔, 竹内卓也, 壇 泰朗, 牟 犇, 松尾真太郎: 段差を有する外ダイアフラム形式 CFT 柱梁接合部の力学的挙動, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 22 巻, pp.545-552, 2014.11.

Ben MOU, Shintaro MATSUO, Ryusuke IKEDA and Akihiko KAWANO: An Experimental Study on Offset H-shaped Steel Beams to Square Concrete Filled Steel Tubular Column Connection Panels with Exterior Diaphragms, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 査読有, 第 26 巻, pp.101-110, 2014.7.

[学会発表](計 1 1 件)

Ben MOU, Ryusuke IKEDA, Shintaro MATSUO: Elasto-Plastic Behavior of Offset H-shaped Steel Beam to Concrete Filled Square Steel Tube Column Connection Panel with Exterior Diaphragms Part 4. Improved collapse mechanism and validation for formulae, 日本建築学会研究報告九州支部, 査読無, 第 54 号・1, 構造系, pp.353-356, 2015.3, 熊本県熊本市

池田竜輔, 牟 犇, 松尾真太郎: 段差を有する外ダイアフラム形式コンクリート充填角形鋼管柱梁接合部の力学的挙動 その 5. スラブ付き十字形部分架構試験体による載荷実験と考察, 日本建築学会研究報告九州支部, 査読無, 第 54 号・1, 構造系, pp.357-360, 2015.3, 熊本県熊本市
作本尚哉, 竹内卓也, 松尾真太郎: 床スラブのついた外ダイアフラム形式柱梁接合部の力学性能評価 その 1. 実験概要と実験結果, 日本建築学会研究報告九州支部, 査読無, 第 54 号・1, 構造系, pp.361-364, 2015.3, 熊本県熊本市

竹内卓也, 作本尚哉, 松尾真太郎: 床スラブのついた外ダイアフラム形式柱梁接合部の力学性能評価 その 2. 実験結果と耐力算定, 日本建築学会研究報告九州支部, 査読無, 第 54 号・1, 構造系, pp.365-368, 2015.3, 熊本県熊本市

池田竜輔, 竹内卓也, 牟 犇, 壇 泰朗, 松尾真太郎: 段差を有する外ダイアフラム形式コンクリート充填角形鋼管柱梁接合部の力学的挙動 その 1. 実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関西), C-1, 構造 III, 査読無, pp.1463-1464, 2014.9, 兵庫県神戸市

竹内卓也, 池田竜輔, 牟 犇, 壇 泰朗, 松尾真太郎: 段差を有する外ダイアフラム形式コンクリート充填角形鋼管柱梁接合部の力学的挙動 その 2. 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関西), C-1, 構造 III, 査読無, pp.1465-1466, 2014.9, 兵庫県神戸市

Ben MOU, Ryusuke IKEDA, Shintaro MATSUO and Akihiko KAWANO: Elasto-Plastic Behaviors of Offset Beam to Concrete Filled Square Steel Tube Column Connection Panel with Exterior Diaphragms Part 3. Simulation of the experimental results by using finite element method analysis, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関西), C-1 構造 III, 査読無, pp.1467-1468, 2014.9, 兵庫県神戸市

壇 泰朗, 池田竜輔, 竹内卓也, 牟 犇, 松尾真太郎: 段差を有する外ダイアフラム形式コンクリート充填角形鋼管柱梁接合部の力学的挙動 その 4. パネル全塑性耐力算定法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関西), C-1, 構造 III, 査読無, pp.1469-1470, 2014.9, 兵庫県神戸市

池田竜輔, 竹内卓也, 牟 犇, 松尾真太郎: 段差を有する外ダイアフラム形式コンクリート充填角形鋼管柱梁接合部の力学的挙動 その 1. 十字形部分架構試験体による載荷実験, 日本建築学会研究報告九州支部, 査読無, 第 53 号・1, 構造系, pp.585-588, 2014.3, 佐賀県佐賀市

竹内卓也, 池田竜輔, 牟 犇, 松尾真太郎: 段差を有する外ダイアフラム形式コンクリート充填角形鋼管柱梁接合部の力学的挙動 その 2. 耐力算定と実験結果比較, 日本建築学会研究報告九州支部, 査読無, 第 53 号・1, 構造系, pp.589-592, 2014.3, 佐賀県佐賀市

Ben MOU, Ryusuke IKEDA, Shintaro MATSUO and Akihiko KAWANO: Elasto-Plastic Behavior of Offset H-shaped Steel Beam to Concrete Filled Square Steel Tube Column Connection Panel with Exterior Diaphragms Part 3. Simulation of the experimental results by using finite element method analysis, 日本建築学会研究報告九州支部, 査読無, 第 53 号・1, 構造系, pp.593-596, 2014.3, 佐賀県佐賀市

6 . 研究組織

(1)研究代表者

松尾 真太郎 (MATSUO SHINTARO)
九州大学大学院人間環境学研究院・准教授
研究者番号：40583159