

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04771

研究課題名（和文）CFT部材の新しい接合法とCFT構造の中低層建築物への展開

研究課題名（英文）New connecting methods for CFST members and the implementation of CFST structures in mid-rise and low-rise buildings

研究代表者

藤永 隆（Fujinaga, Takashi）

神戸大学・都市安全研究センター・准教授

研究者番号：10304130

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：柱梁接合部に梁貫通形式接合を用い、柱継手に孔あき鋼板リブを用いた継手を用いたコンクリート充填鋼管構造（CFT）の構造システムを提案し、その構造性能評価法を提示することによって、CFT構造を中低層の建築物へ使用拡大をすることを目的として、1)孔あき鋼板を用いたCFT柱継手の性能検討と2)梁貫通形式CFT柱梁接合部性能の検討、を行った。  
孔あき鋼板の引抜き実験およびCFT柱継手の引張実験を行い、孔あき鋼板の引抜き耐力の評価法を提示するとともに、その耐力式を用いて継手の引張性能を評価できることを示した。  
梁貫通形式CFT柱梁接合部の梁貫通方向と直交方向両方の性能を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

梁貫通形式接合部の優れた接合部性能を提示しており、貫通梁方向のみならず貫通梁と直交する方向の接合法も提案している。隅肉溶接のみで形成される梁貫通形式接合部の利用拡大につながる。  
次に鋼管拘束状態での孔あき鋼板の引抜き性状に関する研究は皆無であったが、引抜き耐力の提案まで行っており、初期ずれ剛性の高さを有効に利用できる鋼コンクリート間のずれ止めの建築分野での適用が期待できる。また、孔あき鋼板を用いた新しいCFT柱継手は超高強度鋼材同士の継手等でも継手強度不足分の補完法として適用の可能性がある。  
提案する構造形式は、構造性能に優れており、施工の簡素化に大きく貢献する。

研究成果の概要（英文）：A structural system of concrete-filled steel tube (CFST) using a through beam type beam-to-column connection and a new column splice with perforated steel plates were proposed. A structural performance evaluation method was presented to expand the use of CFST structures in mid-rise and low-rise buildings. Experiments for evaluating 1) performance evaluation of CFST column splices using perforated steel plates and 2) evaluation of performance of the through beam type beam-to-column connections were conducted.  
The pull-out strength of the perforated steel plates were proposed from the pull-out experiments on the perforated steel plates. Tensile performance of the CFST column splices were also evaluated using the proposed tensile strength of perforated steel plates.  
The performance of both the through-beam-type CFST beam-to-column connections and the orthogonal direction to the through beam were also presented.

研究分野：鋼コンクリート合成構造

キーワード：CFT構造 柱梁接合部 柱継手 孔あき鋼板

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

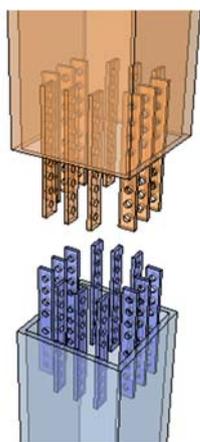
兵庫県南部地震では多くの中低層建物が構造被害を受け、東北太平洋沖地震では湾岸地域において多くの低層鋼構造建物が津波漂流物の衝突によって甚大な被害を受けた。レジリエンス性の高い、持続可能な社会の実現のためには、大地震にも耐える高いエネルギー吸収性能を持ち、津波漂流物による衝撃荷重にも耐え得る構造システムを中低層建物に適用することが解決策の一つである。現在、超高層・高層建築物では、その優れた構造性能より CFT 柱が多く用いられている。しかし、その使用は中低層建物には広がっていない。その要因に CFT 接合部（ダイヤフラム）設計の煩雑さ、溶接技術の高いファブリケータの確保、充填コンクリートの性能確保の問題が挙げられる。充填コンクリートの性能に関しては、地方のプラントでも比較的流動性の高い高強度のコンクリートの供給が実現しつつある。つまり簡易で性能の高い接合部の実現が可能であれば、中低層の建築物での CFT 構造の使用も拡大されると予想される。また柱継手において、現場での溶接接合は熟練の技術を要するが、現場溶接を用いない簡易な方法があれば建設現場の施工簡略化につながる。CFT 構造は充填コンクリートが存在するため、充填コンクリートを介してその圧縮抵抗能力を応力伝達に使用することが可能である。

### 2. 研究の目的

本研究は、柱梁接合部に梁貫通形式接合を用い、柱継手に孔あき鋼板リブを用いた継手を用いたコンクリート充填鋼管構造 (CFT) の構造システムを提案し、その構造性能評価法を提示することによって、コンクリート充填鋼管構造を中低層の建築物へ使用拡大をすることが目的である。そのためには簡易な溶接による接合法のみを用いる。具体的には、1) 梁貫通形式 CFT 柱梁接合部の構造性能評価法を貫通梁直交方向も含めて提示する。2) 孔あき鋼板を用いた CFT 柱継手の引張性能評価と曲げ性能評価法を提示する。3) 上記の新しい柱梁接合・柱継手方法を用いた中低層 CFT 構造の設計法と半剛接 CFT 構造の設計法の検討を行う。

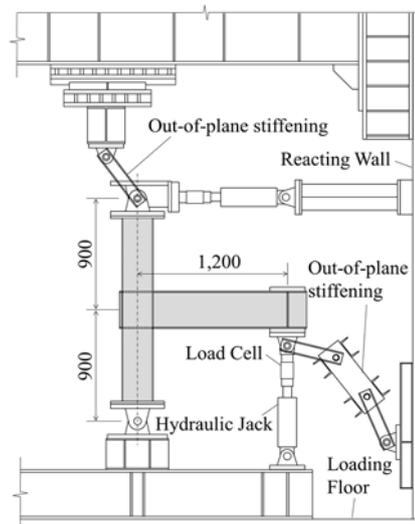
### 3. 研究の方法

梁貫通形式 CFT 柱梁接合部の構造性能を評価するために、CFT 柱の断面として角形と円形の両方の部分架構実験を行った。これまで行われた梁貫通形式接合部の実験では柱に軸力が導入されておらず、接合部分の梁直上直下の曲げ引張時の応力集中の状況は実際の接合部のものと異なるため、柱軸力を実験変数とした。また、柱鋼管の局所のひずみ集中が問題となる可能性があるため、柱鋼管の幅厚比・径厚比もパラメータとし、幅厚比・径厚比の比較的大きい試験体の実験も行った。また、貫通形式 CFT 柱梁接合部では、貫通梁と直交する方向の接合部性能を検討する実験を行った。これまで角形柱で提案していた方法に加えてより簡易な方法を提案して接合部性能の検討を行った。



CFT 柱継手については、柱継手内での鋼とコンクリート間の応力伝達要素である孔あき鋼板の引抜実験を行い、孔あき鋼板の引抜耐力評価法の検討を行った。鋼とコンクリート間の付着の有無、孔数、孔間隔、孔埋め込み深さを実験変数にとって引抜き実験を行った。また、柱継手に用いる際にコンクリートの二面せん断耐力を確保するために新たな孔形状の孔あき鋼板として長孔形状の孔をもつ孔あき鋼板の引抜き実験をコンクリート強度と孔形状を実験変数にとって行った。

続いて孔あき鋼板を用いた CFT 柱継手の引張実験も行った。内蔵鋼板の孔形状は円形と長孔である。

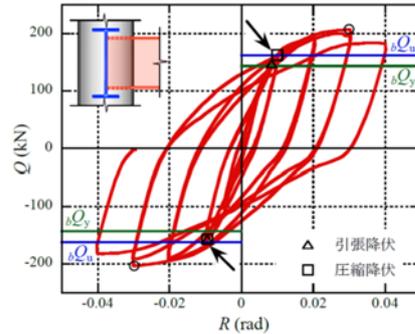
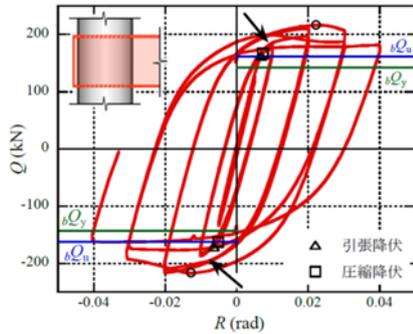


### 4. 研究成果

#### 【梁貫通形式柱梁接合部】

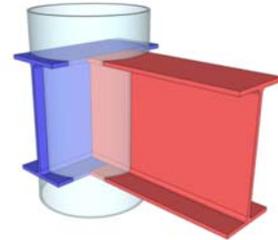
梁貫通形式 CFT 柱梁接合部全体の荷重変形関係は、軸力比や幅厚比・径厚比の大小によらず紡錘形状の安定した履歴形状を示しており、鋼梁の曲げ耐力が十分に発揮されていた。

鋼梁周辺の柱鋼管表面に貼付したひずみを比較すると、柱に軸力が導入されていない場合には、接合部分の梁直上直下の曲げ引張時に応力集中が見られたが、柱軸力の存在によって初期状態での圧縮ひずみにより曲げ引張側のひずみの増大が低減されていた。また、柱断面形状が角形の場合に観察された応力集中が円形柱試験体では観察されず、鋼管周方向の引張抵抗が曲げ引



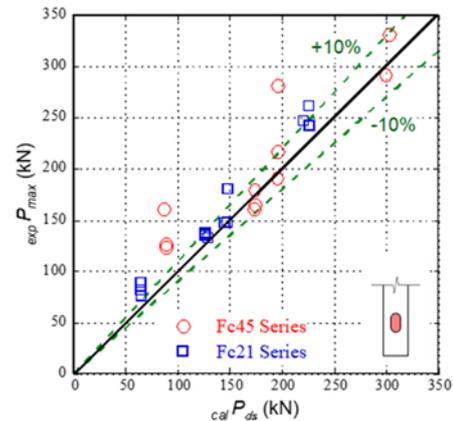
張側の応力伝達に寄与することがわかった。

梁貫通形式接合部の検討に加えて、貫通梁と直交する方向の接合部性能の検討を行った。これまで角形柱で提案していた方法に加えて、より簡易な方法を提案し、提案方法で円形 CFT 柱の場合には接合部性能を向上させることができることを示した。接合部局部での応力状態や応力分担を検討しており、応力伝達メカニズムのモデルの提案につながる。

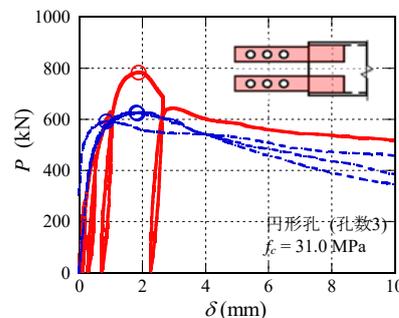
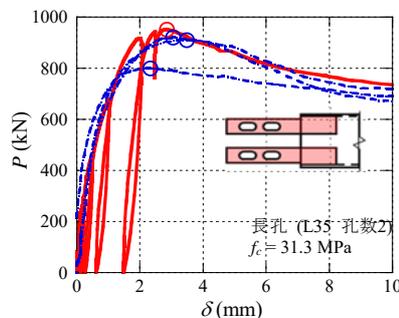
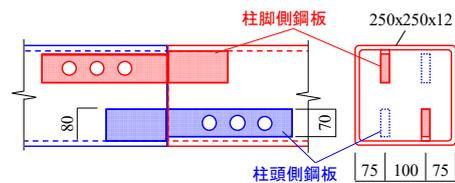


### 【孔あき鋼板・CFT 柱継手】

孔あき鋼板の引抜き実験においては、孔の二面せん断面積と引抜き耐力に相関関係があることを示した。また、添付したひずみゲージより応力分担の割合を検討し、最大引抜き耐力時にはほとんどの軸力分担を孔部の二面せん断で負担していることを確認した。付着除去処理を施した試験体で、孔の挿入深さが小さいほど最大引抜き耐力が大きくなる傾向がみられ、最大引抜き耐力には孔内コンクリートの二面せん断耐力に加えて、孔より下側の鋼コンクリート間の摩擦の影響があることが推察される。実験最大引き抜き耐力と、孔内コンクリートの二面せん断耐力と孔より下側の摩擦耐力の和による計算耐力と比較しその妥当性を確認した。安全側の観点からは二面せん断耐力のみで算定するのがよい。孔の二面せん断耐力が支配的であるため、二面せん断面積を増やすため孔形状が長孔の場合の検討も行った。長孔でも円形孔と同様にせん断面積と引抜き耐力が線形関係にあることを示した。しかし、長孔の端部円弧距離が大きくなると最大耐力時のずれ変形が大きくなることが確認された。円形孔と長孔の孔あき鋼板試験体の実験結果を用いて鋼管の拘束下の孔あき鋼板の最大引抜き耐力評価式を提案している。



鋼とコンクリート間のずれ止めとして孔あき鋼板を用いた新しい形式の CFT 柱継手の引張実験を行った。引張挙動は安定しており、最大耐力以降に急激に耐力低下することもなく、孔あき鋼板の引抜き実験の挙動によく似た挙動であった。最終破壊形式でコーン状破壊となる部分の検討が必要ではあるが、孔あき鋼板の引抜き実験結果を用いて最大引張耐力も予想ができることを示した。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takashi Fujinaga, Teruhisa Tanaka	4. 巻 6
2. 論文標題 Pull-out strength of perforated steel plates with oval-shaped perforatio	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japan Architectural Review	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2475-8876.12363	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 土居晃基, 藤永隆, 林開利	4. 巻 25
2. 論文標題 梁貫通形式角形CFT柱梁接合部の構造性能に及ぼす軸力と幅厚比の影響に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 神戸大学都市安全研究センター研究報告	6. 最初と最後の頁 97-112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 本田烈, 土居晃基, 藤永隆	4. 巻 26
2. 論文標題 梁貫通形式円形CFT柱梁接合部の構造性能に及ぼす軸力と径厚比の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 神戸大学都市安全研究センター研究報告	6. 最初と最後の頁 51-65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 安藤希, 本田烈, 藤永隆	4. 巻 27
2. 論文標題 梁貫通形式円形CFT柱梁接合部における貫通梁と直交する方向の接合部性能に及ぼす貫通梁との寸法差の影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 神戸大学都市安全研究センター研究報告	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 土居晃基, 藤永隆
2. 発表標題 梁貫通形式 角形CFT柱梁接合部に関する実験的研究 (その4) 軸力比と幅厚比の影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Doi and Takashi Fujinaga
2. 発表標題 Effect of Strength of Filled-concrete on Structural Performance of Continuous Beam-type Square CFST Beam-to-column Connection
3. 学会等名 International Structural Engineering and Constructions (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuka Nagaoka, Takashi Fujinaga, Teruhisa Tanaka
2. 発表標題 Influence of Bond and Friction on Tensile Strength of Perforated Steel Plate Connector under Confinement
3. 学会等名 International Structural Engineering and Constructions (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長岡優花, 藤永隆, 田中照久
2. 発表標題 鋼管拘束下の孔あき鋼板ジベルの引抜き耐力に関する実験的研究
3. 学会等名 第14回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土居晃基, 藤永隆
2. 発表標題 梁貫通形式角形CFT柱梁接合部の構造性能に及ぼす軸力と幅厚比の影響に関する研究
3. 学会等名 第14回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土居晃基, 藤永隆
2. 発表標題 梁貫通形式角形CFT柱梁接合部に関する実験的研究(その3) コンクリート強度の影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長岡優花, 藤永隆, 田中照久
2. 発表標題 鋼管拘束下の孔あき鋼板ジベルの引抜き耐力に及ぼす鋼コンクリート間の付着の影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤永隆, 本田烈, 土居晃基
2. 発表標題 梁貫通形式円形CFT柱梁接合部に関する実験的研究(その1) 実験概要と荷重変形関係
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本田烈, 土居晃基, 藤永隆
2. 発表標題 梁貫通形式円形CFT柱梁接合部に関する実験的研究(その2) ひずみ分布と応力伝達
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土谷健太, 藤永隆, 田中照久
2. 発表標題 長孔による孔あき鋼板の引抜き耐力
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本田烈, 安藤希, 藤永隆
2. 発表標題 梁貫通形式円形CFT柱梁接合部における貫通梁と直交する方向の接合部性能に関する実験的研究(その1) 実験概要と荷重変形関係
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安藤希, 本田烈, 藤永隆
2. 発表標題 梁貫通形式円形CFT柱梁接合部における貫通梁と直交する方向の接合部性能に関する実験的研究(その2) 応力伝達機構
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 土谷健太, 藤永隆, 田中照久
2. 発表標題 鋼・コンクリート機械的ずれ止めを用いたCFT柱継手の引張実験
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤永隆, 田中照久, 土谷健太
2. 発表標題 長孔による孔あき鋼板の引抜き耐力(その2) 鋼板幅70mmの場合
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神戸大学都市安全研究センター藤永研究室ホームページ <a href="http://www2.kobe-u.ac.jp/~ftaka/">http://www2.kobe-u.ac.jp/~ftaka/</a>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------