

平成 30 年 5 月 16 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06298

研究課題名(和文) 鉄筋を接合材として用いるCFT柱梁接合構法の開発および鉄筋定着部の設計法の確立

研究課題名(英文) Development of the connection method for beam-to-CFT column joint using built-in reinforcing bars and establishment of the design method of the anchorage part of reinforcing bars

研究代表者

松尾 真太郎 (Matsuo, Shintaro)

九州大学・人間環境学研究院・准教授

研究者番号：40583159

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート充填鋼管(CFT)部材同士を溶接を用いずに接合する方法の一つとして、高強度鉄筋を挿入して接合材として利用する構法がある。これまでに、本構法を用いたCFT継手、柱脚、柱梁接合部の構造性能評価に関する研究が進められてきたが、鉄筋の定着部における挙動を詳細に検討したものは少なく、設計手法も確立されていない。そこで本研究では、高強度鉄筋を接合材として用いたCFT柱梁接合部の開発および鉄筋定着部における設計手法の確立を目的として、鉄筋定着部における系統的な実験を実施し、定着部の破壊形式の特定ならびに耐力評価法について検討している。

研究成果の概要(英文)：The structure method using high strength reinforcing bars as connection members is one of the method for connecting concrete filled steel tubular (CFT) members without welding. Although many researches on structural performance evaluation of CFT joint, column base and beam-to-column connection have been conducted, there are few researches, which investigate the behavior at the anchorage part of reinforcing bars in detail, and the design method for the part has not been established. Therefore, in this study, a systematic loading test of CFT joint connected by built-in reinforcing bars with an anchorage plate was conducted, and the failure modes at the anchorage part and the estimation methods of strength corresponding to the modes were investigated.

研究分野：建築鋼構造，合成構造，耐震工学

キーワード：コンクリート充填鋼管 継手 内蔵鉄筋 コーン状破壊 支圧破壊 付着破壊 定着板 柱梁接合部

1. 研究開始当初の背景

欧米ではコンクリート充填鋼管 (CFT) に鉄筋を内蔵させる構法 (鉄筋内蔵 CFT) が普及している一方で、国内では鉄筋内蔵 CFT は少ないものの、耐火性の観点から 2000 年頃以降に耐火および構造実験が行われ、鉄筋内蔵 CFT のメリットとして、耐火性向上に加えて、靱性を損なわずに高強度鉄筋の耐力を累加できることや鋼管に充填コンクリートとのずれ止めがあれば鋼管と内蔵鉄筋が応力伝達によって相互に耐力補完可能であることなどが明らかにされている。

CFT 接合部における内蔵鉄筋のメリットとして、鋼管と内蔵鉄筋間での応力伝達が可能なため、柱継手では鋼管を溶接しなくても接合部耐力が確保できること、露出型柱脚ではベースプレートやアンカーボルトが省略可能であること、また鋼管が無溶接のため、溶材強度を超えるような超高強度鋼管 CFT にも適用可能であることが挙げられる。

以上の背景より、これまでに内蔵鉄筋を主として CFT 部材の接合材に用いる構法を対象として、柱継手の各種荷重下での挙動や露出型柱脚の力学的性状について検討し、本接合構法の有用性や、鉄筋内蔵 CFT 接合部の耐力・変形等の構造性能が明らかにされている。また、近年開発・実用化が進められている超高強度鋼管 CFT の普及を見据えた研究により、鉄筋内蔵 CFT 構法の柱梁接合部への適用性についても検討されている。しかしながら、柱梁接合部への鉄筋内蔵 CFT 構法の適用にあたっては、内蔵鉄筋を CFT 内に確実に定着させるための設計手法を確立することが不可欠であり、その点で本研究が提案する CFT 柱梁接合構法はまだ実用段階とは言えない。

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) CFT に内蔵した鉄筋の定着部における引抜き性状
- (2) CFT に内蔵した鉄筋の定着部における曲げせん断性状
- (3) 鉄筋定着部の設計法の構築
- (4) 鉄筋内蔵 CFT 接合構法による柱梁接合部部分架構の性能検証

3. 研究の方法

上記(1)~(4)の研究課題について、以下に述べる方法をとった。

- (1) 鉄筋を挿入した CFT 部材に対して単調引張力を加える実験を実施した。試験体の一例を図 1 に示す。定着板の有無、定着長さ、コンクリート強度、鋼管幅、鉄筋本数、定着板形状を実験変数とする計 10 体である。
- (2) 鉄筋を挿入した CFT 部材に対して曲げせん断力を加える実験を実施した。試験体の一例を図 2 に示す。本試験体は、継手部

の降伏に先行して、内蔵鉄筋の引抜き破壊が生じるように設計したものであり、各種破壊性状の確認を行うために、以下の実験変数による組合せで計 7 体の実験を行った。実験変数は、鋼管幅厚比、鋼管幅、鉄筋本数、定着長さ、中段筋の有無などである。

- (3) 継手部が全塑性域に達するまでは鉄筋定着部が引抜き破壊しないことを設計の必要条件として、定着部破壊形式を特定し、各種破壊形式に対する耐力評価式を導出する。
- (4) (3)により予測した鉄筋の必要定着長さを十分に満たす十字形部分架構試験体と、必要値に近い十字形部分架構試験体による繰返し載荷実験を実施し、各継手部の構造性能を調査する。

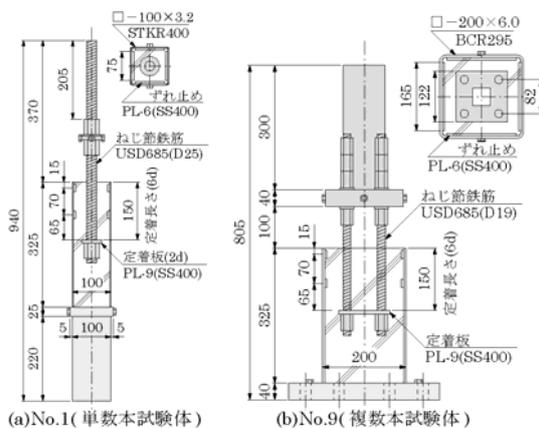


図 1 定着板付き内蔵鉄筋引抜き試験体一例 (学会発表論文①参照)

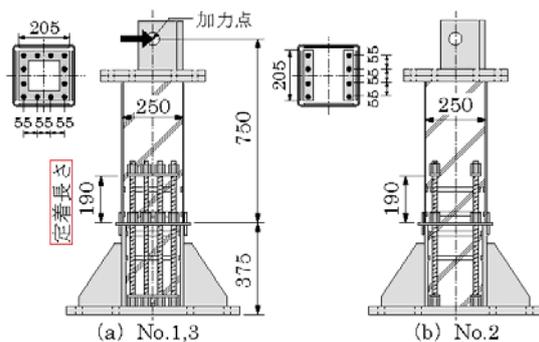


図 2 定着板付き内蔵鉄筋曲げせん断試験体一例 (雑誌論文(1)参照)

4. 研究成果

(1) 内蔵鉄筋定着部の引抜き性状

- ① 鉄筋の付着力や定着板の支圧力を算出し、破壊に至る挙動を明らかにした。破壊性状は、付着破壊、定着板やずれ止めでの支圧破壊、コーン状破壊の組合せからなる。実験で得られた荷重-変形関係からは、定着板支圧破壊により急激な付着切れと剛性低下が生じること、またコーン状破壊により急激な耐力低下が生じることが確認された。

- ② 破壊形式として確認されたコーン状破壊および支圧破壊に対する耐力式を極限解析法により導出し、実験結果と比較した結果、単数鉄筋では精度よく評価できることが確認されたが、複数鉄筋では実験値を過大評価する結果となった(図3)。ずれ止めにおける局所的な支圧破壊等が複合的に干渉した結果、コーン状破壊耐力計算値より大きく下回ったと推測されるが、定量的な評価にはいたっておらず、これについては今後の課題である。

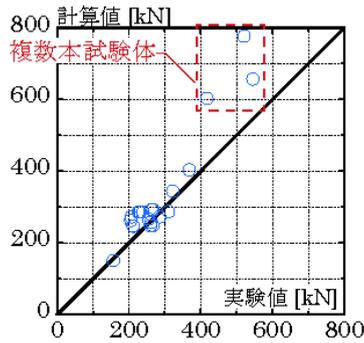


図3 コーン状破壊耐力計算値と実験値  
(学会発表論文①参照)

(2) 内蔵鉄筋定着部の曲げせん断性状

- ③ 継手モーメント-回転角の関係、鉄筋の歪分布、鋼管の歪分布、実験後のコンクリートの破壊状況を確認し、各変数が耐力に及ぼす影響を明らかにした。特に、定着長さの違いは、曲げせん断力下での引抜き破壊性状の過程に大きく影響することが確認できた。破壊の進展状況としては、付着破壊の後に定着板支圧破壊で終局に至る場合と、さらにその後にコーン状破壊により終局に至る場合に大別されることが確認できた。

- ④ (1)の手法をベースにして、曲げに対するコーン状破壊耐力式を構築した。図4~6にコーン状破壊機構の概念図を示す。これらのモデルに基づいて極限解析法により導出している。本モデルは、簡略さと安全側の評価を念頭においているため、若干過小評価となるケースも見られたが、概ね計算値と実験値はよい対応を示すことを確認した。

- ⑤ 鉄筋の付着破壊耐力については、既往の研究により、複数本の鉄筋を内蔵しているCFT継手を対象として、コンクリートと鉄筋が一体となって引き抜ける付着強度評価法が提案されている。この手法を応用して、本接合部の曲げ引張側鉄筋群に適用することで、付着破壊耐力評価を試みた。結果として、幅厚比の大きな試験体では1~2割程度の過大評価を与えたものの、その他の試験体では、よい精度を示した。ただし、今回提案した評価式は、鋼管幅やかぶり厚さを実験変数に持たない実験に基

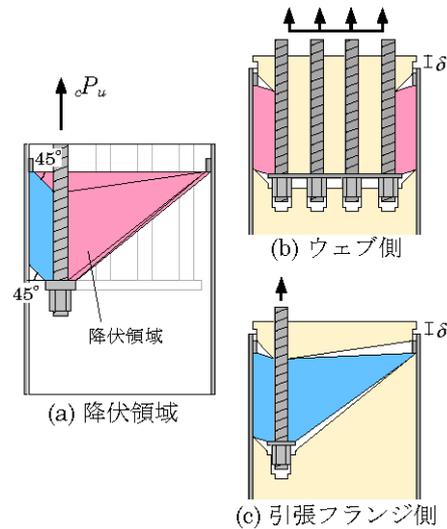


図4 コーン状破壊機構

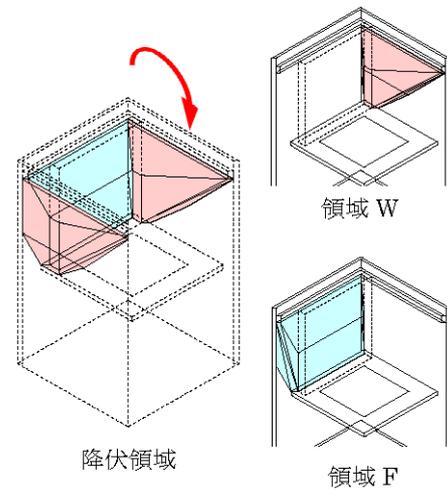


図5 降伏領域透視図

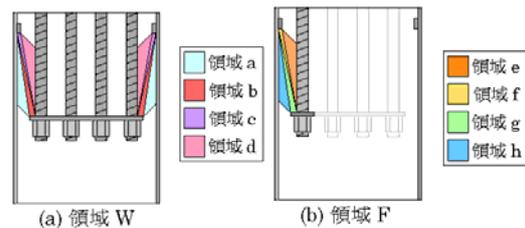


図6 降伏領域

づいているため、提案式の妥当性についてはなお検討の余地が残っている。

- ⑥ 定着部支圧破壊耐力については、既往の研究により、鉄筋内蔵CFTにおける定着板の支圧耐力算定式が提案されており、本研究でも原則としてその知見を利用する。ただし、対象とする接合部が曲げせん断を受ける部位のため、曲げ引張を受ける最外縁の鉄筋のみを考慮した支圧領域を本研究では定義し(図7)、定着部支圧破壊耐力式を導出した。実験値と比較した結果、1割程度の差で評価できるものが多かったものの、一部の試験体では大きく過大評価する結果となった。一因として、有効支圧

領域とずれ止めとの間に形成される圧縮ストラットによる抵抗を發揮させるために必要な鋼管拘束力が不足していたことが考えられる。

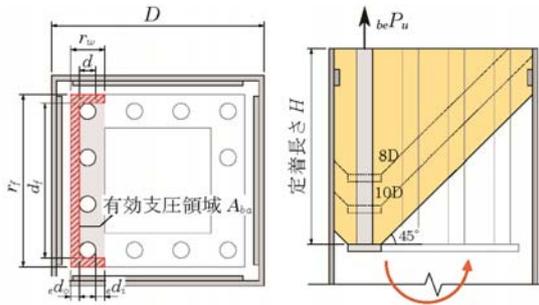


図7 有効支圧領域

(3) 鉄筋定着部の設計法

⑦ (1)(2)で述べた通り、コーン状破壊耐力については、ある程度の評価が可能となった。また、付着破壊耐力および支圧破壊耐力についても、各現象単体での耐力評価はある程度可能となったが、本来、付着と支圧は裏表の関係、すなわち、付着が切れた分だけ支圧が余分に応力負担するという関係にある。そのため、荷重-変形関係上で支圧破壊が開始した点をとらえることはそれほど困難でなくても、その際の付着力がどの程度残存しているかを予測することは現時点では難しい。この問題が解決できてはじめて、鉄筋定着部の設計が可能になるが、現時点ではまだ確立できておらず、この点については今後の課題としたい。なお、次の(4)で報告する十字形部分架構試験体の設計においては、曲げせん断実験の結果を参考にして、支圧破壊時の付着力残存量を推定して、定着長さの必要値を求めることとしている。

(4) 十字形部分架構による鉄筋内蔵 CFT 接合部の構造性能検証

⑧ (1)~(3)の成果をもとに、曲げせん断力下において定着板付き内蔵鉄筋が引抜き破壊を起こさないために必要となる定着長さを予測し、それを踏まえた十字形部分架構試験体の正負交番繰返し漸増荷重を性能検証実験として実施した。試験体は2種類あり、十分な定着長さを有する試験体(定着長さ=20×鉄筋呼び径)と引抜き破壊を起こさない程度の定着長さを確保した試験体である(定着長さ=12×鉄筋呼び径)。図8に試験体形状の一例を示している。

⑨ 図9に必要定着長さに近い試験体の継手モーメントと継手回転角の関係および、両試験体の骨格曲線の比較図を示す。これより定着長さが適切に設計されていれば、明瞭な引抜き破壊が生じることなく、弾塑性域にわたって安定した履歴挙動を呈することが確認できた。また、20Dの試験体

と比べても12Dの試験体は同等の構造性能を保有していることも確認できた。

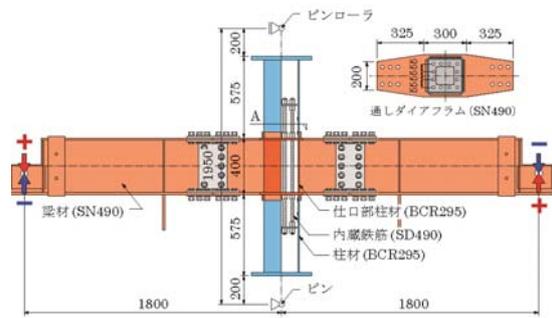
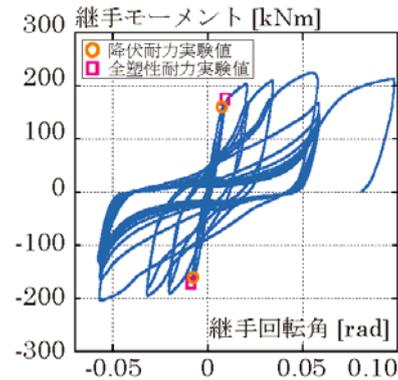
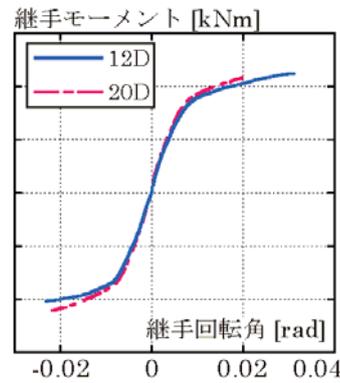


図8 十字形部分架構試験体一例



(a) 継手モーメント-継手回転角関係



(b) 骨格曲線の比較  
図9 十字形部分架構実験結果一例 (学会発表論文⑤⑥参照)

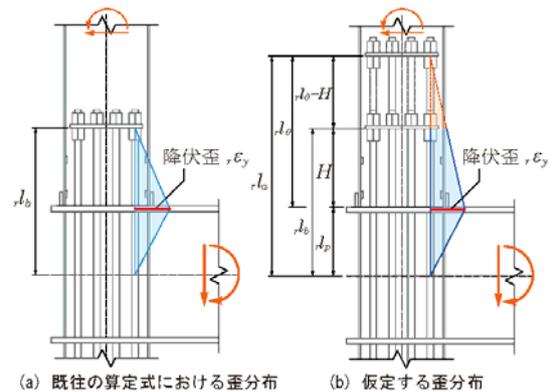


図10 弾性剛性評価に用いる内蔵鉄筋の歪分布の仮定 (学会発表論文⑤⑥参照)

- ⑩ 定着長さの違いによる継手の弾性剛性の違いについて、本研究ではあわせて検討した。定着長さを考慮した弾性剛性の簡易な評価方法を提案し、その比較を試みた結果、従来よりも精度の高い結果を得ることができた。図 10 には、参考までに、剛性評価に用いる内蔵鉄筋の歪分布の仮定を示し、図 11 には、骨格曲線と弾性剛性計算値の比較を示している。

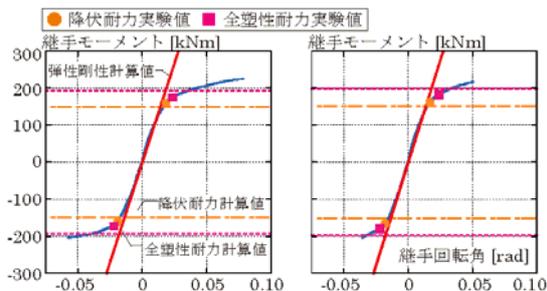


図 11 耐力および剛性計算値と骨格曲線の比較（学会発表論文⑤⑥参照）

## 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 1 件）

- (1) 才木祐磨, 松尾真太朗: 定着板付き内蔵鉄筋を接合材とした角形 CFT 柱継手部の曲げせん断性状, 第 12 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, 査読有, 第 12 巻, pp.47-1-47-8, 2017 年 11 月

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① 才木祐磨, 渡邊舟, 松尾真太朗: 内蔵鉄筋を接合材として用いる CFT 接合構法の定着部性能に関する実験的研究 その 1 支圧破壊耐力の評価法および実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）C-1 構造Ⅲ, 2018 年 9 月
- ② 渡邊舟, 才木祐磨, 松尾真太朗: 内蔵鉄筋を接合材として用いる CFT 接合構法の定着部性能に関する実験的研究 その 2 実験結果および定着長さを考慮した弾性剛性の評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）C-1 構造Ⅲ, 2018 年 9 月
- ③ 戸川太吾, 柏木健太郎, 才木祐磨, 松尾真太朗: コンクリート充填鋼管に内蔵した定着板付き高強度鉄筋の引抜き性状 その 4 追加実験の概要および定着板支圧耐力の評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) C-1 構造Ⅲ, pp.1363-1364, 2016 年 8 月
- ④ 瀧上陽介, 才木祐磨, 柏木健太郎, 松尾真太朗, 戸川太吾: 定着板付き内蔵鉄筋を接合材とするコンクリート充填角形鋼管継手の曲げせん断挙動 その 1 研究背景と実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗

概集(九州) C-1 構造Ⅲ, pp.1365-1366, 2016 年 8 月

- ⑤ 柏木健太郎, 才木祐磨, 瀧上陽介, 松尾真太朗, 戸川太吾: 定着板付き内蔵鉄筋を接合材とするコンクリート充填角形鋼管継手の曲げせん断挙動 その 2 実験結果と破壊性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) C-1 構造Ⅲ, pp.1367-1368, 2016 年 8 月
- ⑥ 才木祐磨, 柏木健太郎, 瀧上陽介, 松尾真太朗, 戸川太吾: 定着板付き内蔵鉄筋を接合材とするコンクリート充填角形鋼管継手の曲げせん断挙動 その 3 コーン状破壊耐力の評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) C-1 構造Ⅲ, pp.1369-1370, 2016 年 8 月

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松尾 真太朗 (MATSUO SHINTARO)

九州大学・人間環境学研究院・准教授

研究者番号：40583159