

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月10日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360229

研究課題名（和文） 内蔵鉄筋を利用した CFT 接合部の開発

研究課題名（英文） Development of CFT connections utilizing reinforcing bars

研究代表者

河野 昭彦（KAWANO AKIHIKO）

九州大学・人間環境学研究院・教授

研究者番号：60136520

研究成果の概要（和文）：

鉄筋内蔵の充填コンクリート鋼管（CFT）接合部は、鋼管内面に充填コンクリートに対するずれ止めを設け、鋼管と鉄筋間の応力伝達を可能としている。このため、柱継手では鋼管を溶接せずに鉄筋で応力を伝達できるし、柱脚ではベースプレートも省略できるなど、経済性、施工性が改善する。700 ニュートン級鋼の普及の妨げは溶接の難しさにあるので、溶接が省略できる本接合部はこの解決策である。本研究は系統的な実験から以上の実用性を証明した。

研究成果の概要（英文）：

The concrete-filled steel tube (CFT) connections with built-in reinforcing bars enables the stress transmission between a steel tube and the reinforcing bars, when mechanical shear keys for the filling concrete such as ribs, rings or diaphragms are installed in the interior of steel tube. The stress transmission through reinforcing bars in CFT connections induces development of new connection style such as steel tubular column joints without welding or column bases without base plate nor anchor bolts, which make the building construction easy and economical. Furthermore, this connection concept without steel welding would be one of the solutions to extend the use of 700 N/mm<sup>2</sup> grade steel which has a difficulty of the welding. This study proved the above-mentioned utility from a systematic experiment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2012年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：コンクリート充填鋼管、鉄筋内蔵、柱継手、柱脚、耐震設計法

### 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）は鉄筋内蔵が多数を占める。鋼管は比較的薄肉で内蔵鉄筋に耐力を負担させて、経済性と耐火性を確保する設計が行われている（英国 BS5950、ドイツ DIN、欧州 Eurocode 4、米

国 ANSI/AISC、カナダ NBC 等）。

国内では、耐火性の観点から 2000 年頃からゼネコン数社が耐火実験および構造実験を開始し、近年では経済性のため、次第に鉄筋内蔵 CFT の建設例が増大している。

これまでに明らかにされた鉄筋内蔵 CFT

のメリットは、耐火性向上は当然ながら、靱性を損なわずに高強度鉄筋の耐力を累加できること、さらに、鋼管に充填コンクリートとのずれ止めがあれば、鋼管と内蔵鉄筋が相互に応力伝達可能で、耐力を補完し合うことが挙げられる。例えば、柱継手においては鋼管を無溶接としても内蔵鉄筋で接合耐力を補完可能であるし、露出型柱脚ではベースプレートやアンカーボルトを省略した無溶接接合が可能となる。これは、建築物の経済性、施工性を向上させることはもちろん、近年開発された  $700\text{N/mm}^2$  級や  $1000\text{N/mm}^2$  級の鋼管の普及が溶接管理の困難さで妨げられているので、これらの普及促進が期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究は、図 1 に示す円形および正方形の CFT 断面の柱継手 (図 2) および露出柱脚 (図 3) を対象として、鉄筋を内蔵させることにより、図 4 に示す応力伝達経路を利用して、原則として鋼管の溶接を不要にする CFT 接合法を開発するものである。鋼管の溶接が不要であるため、施工が簡略化されるとともに、溶剤の強度を超えるような超高強度鋼管を用いた CFT が接合可能となる。また、この接合法は鋼管内部に収められるため、リングソケットのような外部突起物がなく、従来の溶接接合法と同様に外観は柱鋼管と変わらない利点がある。

そこで、次の点を明らかにした。

### (1) 柱継手の耐力と変形状

柱継手 (図 2) は、鋼管内面にずれ止めリングを溶接し、内蔵鉄筋を配置し、鋼管同士は無溶接で、コンクリートを充填する。非常に高い接合耐力の要求を想定し、内蔵鉄筋は原則として高強度鉄筋を使用する。実験から柱継手の引張、曲げ、せん断の性状と耐力、内蔵鉄筋の必要定着長さを調査し、耐力評価式を提案する。

### (2) 露出柱脚の耐力と変形状

露出柱脚 (図 3) は内蔵鉄筋を基礎コンクリートに定着する。ベースプレートを省略する場合は鋼管内面にずれ止めリングを取り付ける。高い柱脚耐力が必要な場合はベースプレートとアンカーボルトを併用する。実験から柱脚の曲げ耐力、せん断耐力、変形挙動を調査し、理論的考察によって耐力評価式と復元力特性モデルを提案する。

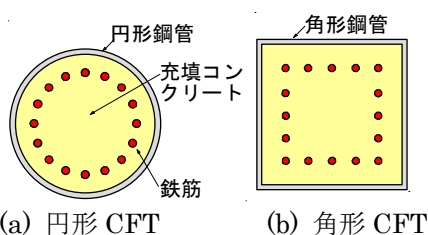


図 1 対象とする鉄筋内蔵 CFT 断面

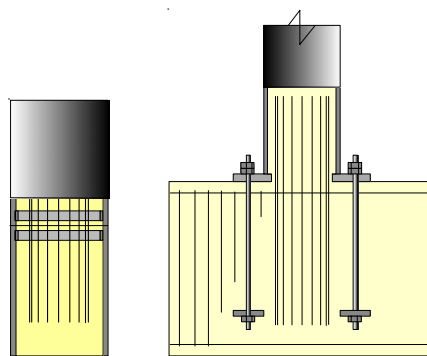


図 2 柱継手 図 3 露出柱脚

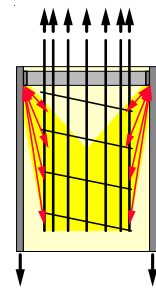


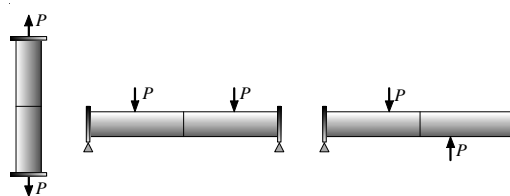
図 4 応力伝達経路

## 3. 研究の方法

以下の鉄筋内蔵 CFT 接合部の実験を行い、理論的考察を行って耐力や変形の評価式を提案する。

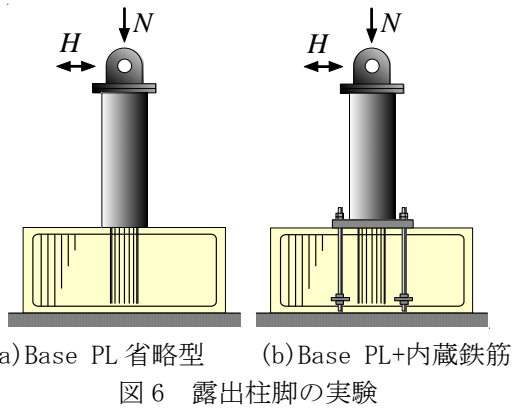
(1) 「柱継手の研究」: 鋼管同士を無溶接とした鉄筋内蔵 CFT 継手 (鉄骨内蔵も一部含む) について、図 5 に示す方法で、引張、曲げ、せん断の耐力と破壊性状を実験的に明らかにする。鋼管の強度、鋼管の断面形状 (円形、角形)、径厚比 (幅厚比)、鉄筋量、鉄筋定着長を実験変数とし、耐力式を提案する。

(2) 「露出柱脚の研究」: 内蔵鉄筋を基礎コンクリートに定着した露出柱脚について、ベースプレートを省略した場合 (図 6(a)) とそうでない場合 (図 6(b)) について、曲げ耐力、繰返し変形挙動を実験的に明らかにする。鋼管の強度、鋼管の断面形状、径厚比 (幅厚比)、鉄筋量を主な実験変数とし、柱脚の耐力式および復元力特性モデルを提案する。



(a) 引張試験 (b) 等曲げ試験 (c) せん断試験

図 5 柱継手の実験



#### 4. 研究成果

##### (1) 鉄筋内蔵 CFT 柱継手

内面リブ付き鋼管の CFT 柱同士を高強度鉄筋を内蔵させることで鋼管を無溶接で接続する継手である。内蔵鉄筋の付着強度、継手耐力および変形性能を引張試験、等曲げ試験およびせん断試験によって明らかにした。

##### ① 引張試験による成果

断面形状(角形 CFT、円形 CFT)、幅厚比(径厚比)、鋼管内面リブ段数(1段、2段)、内蔵鉄筋量(束ね筋による大量配筋含む)および鉄筋定着長が変数である。試験体数は円形 CFT 継手が 7 体、角形 CFT 継手が 23 体であり、この中には一部定着板付き高強度鋼棒内蔵や外面リング付き円形鋼管内蔵も含まれている。

(a) CFT 内の鉄筋の付着性能は鋼管の横拘束効果により向上し、付着強度は円形 CFT 継手の方が角形 CFT 継手より高いこと、鋼管の幅厚比(径厚比)に影響されること、および異形鉄筋の節形状に影響されることを明らかにした。また、束ね鉄筋の付着強度は単鉄筋より低下する。そこで、以上の因子を考慮できる円形 CFT と角形 CFT に内蔵される鉄筋の付着強度の算定式を提案した。これは国内外でも初めてであり、設計上基本となる算定式であり、今後広く利用されることが期待できる。図 7 に角形 CFT 継手の付着強度の実験値と算定式による計算値の比較を示す。

(b) 鋼管内面リブの段数は、応力伝達のためには 1 段でも可能であるが、コンクリートの支圧破壊を低減するには 2 段以上が望ましいことを明らかにし、従来、鋼管内面リブによる充填コンクリートのずれ止め効果に対する研究で未検討部分を解決した。

(c) 定着板付きの PC 棒鋼内蔵では、高強度鋼棒が降伏したことから、CFT 内の定着板の定着強度は極めて高いこと、また、内蔵鋼管継手では鋼管内面リブと内蔵鋼管外面リブのずれ止め効果を高めるためには、コンクリートストラットの形成のための相対位置が重要であることを明らかにした。これらはい

ずれも、新たな知見であり、高強度鋼棒および鋼管内蔵 CFT 継手の設計で欠かせないものである。

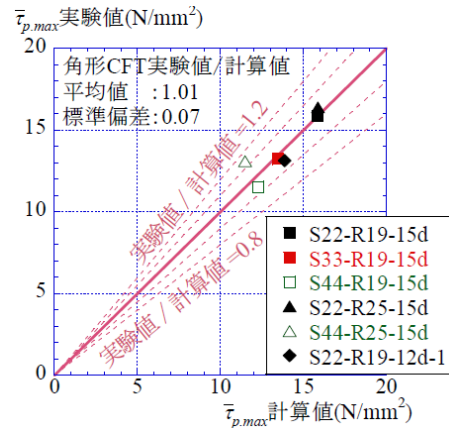


図7 鉄筋付着強度の実験値と計算値

##### ② 等曲げ試験による成果

実験は、単純支持した試験体に 2 点荷重を行い、継手部の領域には等曲げを作用させるものである。実験変数は、断面形状(角形 CFT、円形 CFT)、幅厚比(径厚比)、鉄筋量、鉄筋定着長、鋼管材質(STK400、BCR295、H-SA700)である。試験体数は、角形 CFT 継手は 7 体、円形 CFT 継手は 4 体であるが、科学研究に先立つパイロット試験(角形 CFT 継手 4 体)もある。また、角形 CFT 継手では鋼管内蔵形式も 1 体含まれている。

(a) 等曲げ試験における内蔵鉄筋の付着強度は、引張試験で得られた付着強度算定式で安全側に評価できる。これによって、提案した付着強度の算定式は、軸力と曲げに対して適用可能であることを明らかにした。

(b) 付着強度を基に鉄筋の降伏を上回る定着長とした鉄筋内蔵 CFT 継手の変形は、鉄筋の降伏変形により大変形域でも安定した荷重たわみ角関係を示した。このことから、鉄筋内蔵 CFT 継手が安全な継手構法であることを明らかにした。この一例を図 8 に示す。鋼管内蔵の角形 CFT 継手(内蔵鋼管の埋込み長さは 1.5D、D は内蔵鋼管の外径)も大変形域まで安定であることを明らかにした。

(c) H-SA700 材で作成した円形鋼管および角形鋼管と高強度内蔵鉄筋で構成した CFT 継手を鉄筋量(単配筋と束ね配筋)を変数として実験を行った。鉄筋の定着長は確保されており、普通鋼の場合と同様に安定した挙動が得られることを明らかにした。例として、図 8 に試験体、図 9 に荷重変形関係を示す。

(d) 内蔵鉄筋の必要な定着長が確保されている CFT 継手に対しては、継手の終局耐力は継手部分の RC 断面の全塑性耐力で実験値を評価できることを示した。また降伏耐力は引張側鉄筋が降伏するときの耐力で評価できることを示した。

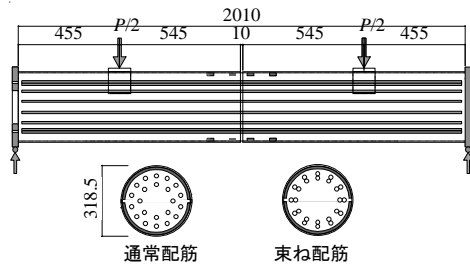


図8 鉄筋内蔵CFT柱継手(鋼管:H-SA700)等曲げ試験体

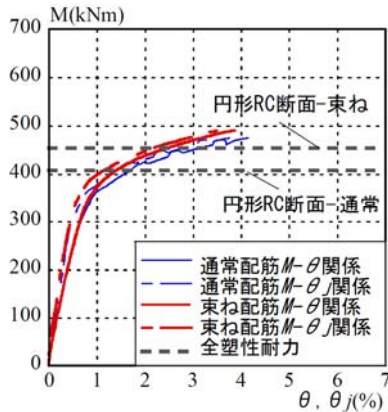


図9 鉄筋内蔵CFT柱継手(鋼管:H-SA700)等曲げ実験の中央モーメント  $M$ -たわみ角  $\theta$ 、接合部回転角  $\theta_j$  関係

### ③せん断試験の成果

実験は、単純支持した試験体に2点荷重を行い、継手部の領域にせん断力を作用させるもので、せん断スパン比は1.0である。実験変数は、内蔵鋼材の種類、断面形状と角形鋼管の幅厚比で、鉄筋内蔵角形CFT柱継手は2体、鉄筋内蔵円形CFT柱継手は1体、鋼管内蔵グラウト充填角形鋼管柱継手1体である。実験により、これらの継手は十分なせん断強度を有し、安定したせん断力-部材角関係が得られることを明らかにした。鉄筋内蔵CFT柱継手のせん断耐力は、鋼管で横拘束されたRC断面のせん断耐力評価式で十分に安全側に評価できることを明らかとした。図10に試験体、図11に荷重変形関係を示す。

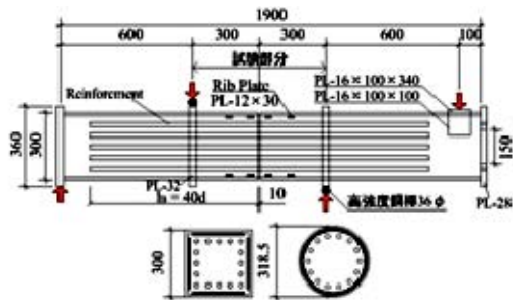


図10 鉄筋内蔵CFT柱継手(鋼管:BCR295)せん断試験体

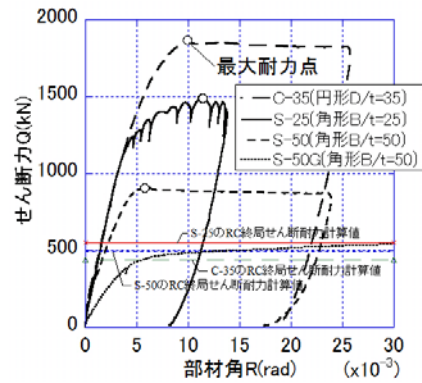


図11 鉄筋内蔵CFT柱継手(鋼管:BCR295)せん断実験のせん断力  $Q$ -部材角  $R$  関係

### (2) 鉄筋内蔵CFT露出柱脚

これは、CFT鋼管柱とコンクリート基礎梁に高強度内蔵鉄筋を配筋した鉄筋内蔵CFT露出柱脚について、柱頭に一定軸力と繰返し水平力を作用し、耐力と変形性能を調べた。

#### ①ベースプレート付き露出柱脚の成果

実験変数は、幅厚比、軸力比(0, 0.25)、内蔵鉄筋の柱鋼管内定着長、ベースプレートの孔形状(有孔ダイアフラム型、各々鉄筋孔型)、鋼管材質(STK400, BCR295)である。試験体数は、角形CFT柱脚8体(先行研究の5体含む)である。

(a) 柱脚の終局曲げ耐力は柱断面外径にベースプレート板厚分の2倍を加えたものをコンクリート断面とし、その部分のベースプレート下部のコンクリートの応力ブロックに支圧効果を考慮した全塑性耐力で、実験値を評価できる。降伏耐力は引張側最外縁のアンカーボルトあるいは内蔵鉄筋が降伏する時点の耐力で評価できる。

(b) 露出柱脚の曲げ耐力がCFT柱の一般化累加強度以上とすることは容易である。

(c) 履歴ループはややスリップ形であるが、繰返し荷重に伴う耐力の低下はない。大きな幅厚比(50)の角形CFT柱の場合は、大変形域で鋼管部分に局部座屈が発生することもある。実験結果から復元力特性モデルを提案した。図12に試験体の例、図13に柱脚モーメント-柱部材角関係の例を示す。

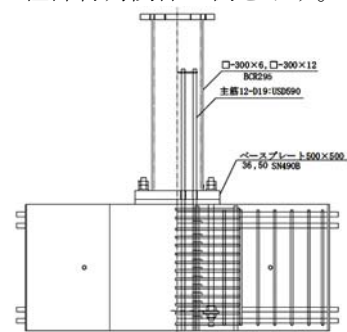


図12 ベースプレート付き鉄筋内蔵CFT柱脚



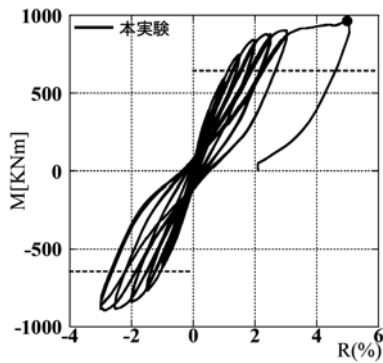


図 13 柱脚モーメント  $M$ -柱部材角  $R$  関係  
(鋼管 : BCR295、幅厚比 50、軸力比 0.25、  
破線は全塑性耐力)

②ベースプレート省略型露出柱脚の成果

実験変数は、断面形状(角形 CFT、円形 CFT)、軸力比 (0、0.25、0.5)、鋼管材質 (BCR295、H-SA700) で、角形 CFT 柱脚 5 体、円形 CFT 柱脚 8 体 (先行研究 6 体含む) である。  
(a) 柱脚の終局曲げ耐力は RC 断面の全塑性モーメントで実験結果を評価できる。  
(b) 履歴ループはスリップ形であるが、大変形域まで耐力の低下はなく安定している。軸力比が高いとループは膨む。図 14 に試験体、図 15 に荷重変形関係の例を示す。

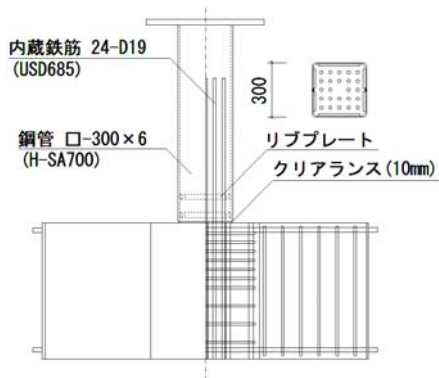


図 14 ベースプレート省略型鉄筋内蔵 CFT 柱脚試験体の例

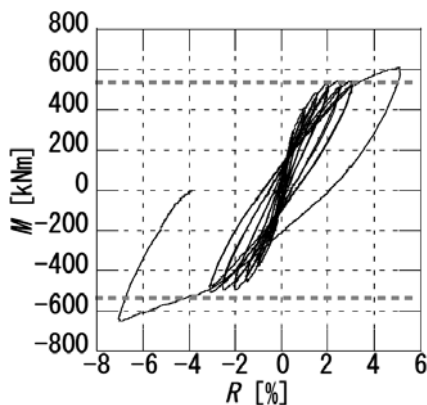


図 15 ベースプレート省略型鉄筋内蔵 CFT 柱

脚の柱脚モーメント  $M$ -柱部材角  $R$  関係 (鋼管 : H-SA700、幅厚比 50、軸力比 0.25、破線は全塑性耐力)

(3) まとめ

鉄筋内蔵 CFT 柱継手および鉄筋内蔵 CFT 露出柱脚について、まず、CFT 内蔵鉄筋の付着強度を明らかにし、継手の引張、曲げ、せん断の耐力評価法、露出柱脚の耐力評価法、復元力特性モデルを導出した。

これらは、従来の溶接に依存した接合法を根本的に見直した新構法であり、本研究によって新構法の実用性が十分あることが示され、耐力評価法も導かれたので、施工性や経済性の向上並びに超高強度鋼管の利用を求めて、一般に普及することが期待できる。

また、今後は、内蔵鉄筋あるいは内蔵鋼管による CFT 接合部について、柱継手や柱脚だけに留まらず、柱梁接合部や異種材料接合部 (RC-CFT 接合部等) にも共通して適用できる耐力評価式の一般化等の展開が求められる。

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 7 件)

- ① S. Matsuo, Q. Qiao, T. Ninakawa, A. Kawano, Experimental Study on Mechanical Behavior of Exposed-type Square CFT Column Base with Built-in Reinforcing Bars, International Conference on Behavior of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA2012), 2012, 645-651, 査読有, DOI 及び URL なし
- ② Akihiko Kawano, Qiyun Qiao, Shintaro Matsuo, Toshihiko Ninakawa, A Study on Connections of Concrete Filled Steel Tubes by Using Built-in Steel Bars, Advanced Materials Research, Vols.374-377, 2011, 1704-1723, 査読有, DOI 及び URL なし
- ③ Qiyun QIAO, Shintaro MATSUO, Toshihiko NINAKAWA, Akihiko KAWANO, An Experimental Study on Mechanical Behavior of Base Plate-Omitted-Type Square CFT Column

Bases with Built-In Reinforcements, Proceedings of the 9th Symposium on Research and Application of Hybrid and Composite Structures, 2011, 240-247, 査読有, DOI 及び URL なし

④ Qiao, Q.Y., Ninakawa, T. and Kawano, A.: An Experimental Study on the Mechanical Behaviors of Exposed-type Square CFT Column Bases with High Strength Built-in Reinforcements, Journal of Habitat Engineering (JHE), Vol.3, No.1, 2011, 47-56, 査読有, DOI 及び URL なし

⑤ Qiao, Q.Y., Henmi, A., Ninakawa, T. and Kawano, A., Pure Bending Test on Square Concrete Filled Steel Tube with Built-in High Strength Reinforcements (CFTR) Column Joint, Proceedings of the 4th International Conference on Steel & Composite Structures, 2010, 281-286, 査読有, DOI 及び URL なし

[学会発表] (計 24 件)

① 上岡幸太郎、野津手崇瑛、河口弘光、松尾真太朗、蛭川利彦、河野昭彦、窪寺弘顕、H-SA700 材を用いた高強度鉄筋内蔵コンクリート充填鋼管柱脚の力学的性状に関する実験的研究、日本建築学会九州支部研究報告、2013 年 3 月 3 日、大分大学 DOI 及び URL なし

② 河口弘光、野津手崇瑛、上岡幸太郎、松尾真太朗、蛭川利彦、河野昭彦、津田恵吾、窪寺弘顕、H-SA700 材を用いた高強度鉄筋内蔵コンクリート充填鋼管柱継手の曲げ性状に関する実験的研究、日本建築学会九州支部研究報告、2013 年 3 月 3 日、大分大学 DOI 及び URL なし

③ 鶴田茉利、逸見綾耶、蛭川利彦、河野昭彦、コンクリート充填鋼管部材内に配置された鉄筋の付着強度評価方法に関する研究、その 1、その 2、日本建築学会大会学術講演、2012 年 9 月 13 日、名古屋大学 DOI 及び URL なし

④ 野津手崇瑛、喬崎雲、松尾真太朗、尾園正樹、陳思遠、蛭川利彦、河野昭彦、窪寺弘、ベースプレートを省略した鉄筋内蔵コンクリート充填角形鋼管柱脚の力学的性状に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演、2011 年 8 月 23 日、早稲田大学 DOI

及び URL なし

⑤ 蛭川利彦、逸見綾耶、喬崎雲、松尾真太朗、窪寺弘顕、津田恵吾、河野昭彦、内蔵鋼材を用いたコンクリート充填鋼管部材継手の力学性状に関する実験的研究、その 1、その 2、日本建築学会大会学術講演、2011 年 8 月 23 日、早稲田大学 DOI 及び URL なし

⑥ 蛭川利彦、逸見綾耶、喬崎雲、窪寺弘顕、河野昭彦、高強度内蔵鉄筋継手を有するコンクリート充填鋼管部材の等曲げ実験、その 1、その 2、日本建築学会大会学術講演、2010 年 9 月 9 日、富山大学 DOI 及び URL なし

⑦ 窪寺弘顕、喬崎雲、蛭川利彦、河野昭彦、陳思遠、鉄筋内蔵コンクリート充填角形鋼管柱脚の力学的性状に関する実験的研究、その 1～その 3、日本建築学会大会学術講演、2010 年 9 月 9 日、富山大学 DOI 及び URL なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河野 昭彦 (KAWANO AKIHIKO)

九州大学大学院・人間環境学研究院・教授  
研究者番号：60136520

### (2) 研究分担者

蛭川 利彦 (NINAKAWA TOSHIHIKO)

九州大学大学院・人間環境学研究院・教授  
研究者番号：90237769

松尾 真太朗 (MATSUO SHINTARO)

九州大学大学院・人間環境学研究院・助教  
研究者番号：40583159

津田 恵吾 (TSUDA KEIGO)

北九州市立大学・大学院国際環境工学研究科・教授  
研究者番号：50112305

### (3) 連携研究者

九谷 和秀 (KUTANI KAZUhide)

九州産業大学・工学部建築学科・教授  
研究者番号：10104861