

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24年 6月 8日現在

機関番号：27101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760423

研究課題名（和文） 円形CFT柱-H形鋼梁接合部におけるスラブの合成効果を考慮した梁の塑性変形能力

研究課題名（英文） PLASTIC DEFORMATION CAPACITY OF A BEAM IN CIRCULAR CFT COLUMN-H SHAPED BEAM CONNECTION CONSIDERING COMPOSITE EFFECT BY FLOOR SLABS

研究代表者

城戸 将江 (KIDO MASAE)

北九州市立大学・国際環境工学部・講師

研究者番号：10453226

研究成果の概要（和文）：円形 CFT 柱-H 形鋼梁接合部の載荷実験を、柱鋼管径厚比、コンクリート充填の有無、スカラップの有無、スラブの有無を実験変数として行った。その結果、スラブの無い場合、最大耐力に対する各パラメータの影響は顕著ではなかった。スラブのある試験体では、スカラップのない場合の方がスカラップの有る場合より最大荷重は約 50kN 大きく、スカラップの有る試験体の梁ウェブのひずみ分布をみると引張側の降伏領域が狭く、柱のひずみが多いことから面外変形の影響が大きいことがわかった。

研究成果の概要（英文）：Loading test of circular CFT column-H shaped beam connection was carried out. Test parameters are diameter thickness ratio of column skin plate, presence or absence of infilled concrete, scallops and floor slabs. The effect of test parameters on maximum strengths was not remarkable when there were not slabs. On the other hand, for test specimen with floor slabs, the maximum load of specimen with non-scallops is 50kN greater than that of specimen with scallops. The effect of out-of-plane deformation is larger in the specimen with scallops considering that the yield area of beam web subjected to tensile stress is smaller and the strain of the column skin plate is larger.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：鋼構造, 耐震設計, 柱梁接合部, 鋼・コンクリート合成構造

1. 研究開始当初の背景

梁崩壊型の設計を行なう場合は、梁が十分な塑性変形能力を有していることが重要であり、梁端部の早期破断・亀裂は、避けなければならない現象である。1995年の兵庫県南部地震において観察された、鋼構造骨組における柱梁接合部の通しダイアフラムと梁

フランジの完全溶込溶接部近傍の脆性破断・亀裂の被害を受け、これらの破断防止に関する研究が進められてきた。

「鉄骨梁端溶接接合部の脆性的破断防止ガイドライン・同解説」（以後破断防止ガイドライン）には、接合形式が通しダイアフラムの角形鋼管柱・H形鋼梁接合部を対象とし、

梁端溶接接合部の脆性的破断を防止することを目的とし、必要変形性能（地震時の最大塑性回転角）が保有変形性能（破断に至るまでの梁の塑性変形性能）を上回ることを基本とした設計法や保有変形性能（最大塑性回転角）の算定式などが提示されている。

「鋼構造接合部設計指針」（以後、接合部設計指針）には、梁端部が降伏した後、粘り強い変形能力を発揮するために、最大曲げ耐力が全塑性モーメントに接合部係数を乗じた値よりも大きくなければならないとする保有耐力接合の設計式が示されている。すなわち、梁の塑性変形能力を評価するには、梁端接合部の曲げ耐力について適切に評価する必要がある。

梁端接合部の最大曲げ耐力は、梁フランジ接合部の最大曲げ耐力と梁ウェブ接合部の最大曲げ耐力の総和で算定できる。しかしながら、中空鋼管柱に取り付く H 形鋼梁ウェブ接合部では、柱鋼管壁に面外変形が生ずると梁ウェブ部分が最大限に耐力を発揮できなくなるため、曲げ耐力を算定する場合には、面外変形の影響を考慮する必要がある。梁ウェブ接合部の曲げ耐力は大きいもので梁全断面の曲げ耐力の 40%程度あり、梁ウェブ部分の負担を適切に評価することが重要になる。角形および円形鋼管柱-H 形鋼梁における、梁ウェブ接合部の曲げ耐力に関する研究はすでにあり、塑性解析に基づく設計式が接合部設計指針に採用されている。

また、実際の建築物では梁の上端に床スラブがあり、中立軸が材軸から梁の上端側に移動し、スラブがない場合と比較して小さな変形で梁端下フランジより破断が生じると考えられる。ゆえに、床スラブの効果について適切に把握する必要がある。以上、中空鋼管柱-H 形鋼梁の既往の研究について述べたが、柱がコンクリート充填鋼管（以後 CFT）の場合も、同様な検討が必要であると考えられる。特に、CFT 柱では柱鋼管の幅厚比制限が中空鋼管の 1.5 倍に緩和されていることから、鋼管壁の面外変形の影響が大きくなる場合があると考えられる。

城戸はこれまでに、角形 CFT 柱および円形 CFT 柱に取り付く梁ウェブ接合部の曲げ耐力を塑性解析により算定し、曲げ耐力評価式を提案している（城戸将江，津田恵吾：コンクリート充填角形鋼管柱に取り付く梁ウェブ接合部の曲げ耐力，日本建築学会構造系論文集，第 602 号，pp.219-226，2006 年。鮫島由佳，城戸将江，津田恵吾：コンクリート充填円形鋼管柱に取り付く H 形鋼梁ウェブ接合部の曲げ耐力，その 1，その 2，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1，構造 III，pp.1147-1150，2008 年）。また、平成 20 年度～平成 21 年度に科学研究補助金，若手研究(B)において採択された，「CFT 柱-H 形

鋼梁接合部におけるスラブの合成効果を考慮した梁の塑性変形能力評価法」のテーマにより、柱断面形を角形にしぼり、CFT 柱-H 形鋼梁接合部における実験的研究を進めているところである。

しかしながら、円形 CFT 柱に取り付く梁ウェブ接合部の曲げ耐力に関する実験的研究がまったく行なわれていないため、解析による曲げ耐力評価式と実験値との比較ができない状況にある。解析結果によれば、梁ウェブ接合部の曲げ耐力に影響を及ぼす因子は、柱径厚比，アスペクト比，柱鋼管および梁の降伏応力度，であることが明らかになっている。しかし、解析結果は精解値ではなく、実験値との比較を行い解析値の精度を確認することは必須である。

また、破断防止ガイドラインに示されている、保有変形性能の式に解析により得られた値を適用し、角形 CFT 柱および円形 CFT 柱に取り付く梁の塑性変形能力を算定し、必要変形性能を満たすための条件を例示している（藤田昂丈，城戸将江，津田恵吾：コンクリート充填角形鋼管柱に取り付く H 形鋼梁の塑性変形能力，鋼構造年次論文報告集，第 15 巻，2007 年。末吉洋平，城戸将江：コンクリート充填円形鋼管柱に取り付く H 形鋼梁の塑性変形能力，日本建築学会九州支部研究報告，第 48 号，pp.453-456，2009 年）。しかしながら、これは中空鋼管柱の場合の式を準用している状況であり、新たに円形 CFT 柱の場合の保有変形性能の評価式を新たに提示する必要がある。

床スラブの付いた CFT 柱-H 形鋼梁接合部の実験的研究は数が少なく、梁ウェブ曲げ耐力，梁の塑性変形能力に対する床スラブの影響について定量的に把握できる状況ではなく、スラブ付きの柱梁接合部の実験的研究を行ない、床スラブの影響を検討し、実験資料の蓄積を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、コンクリート充填円形鋼管柱-H 形鋼梁接合部を対象とし、梁ウェブ接合部の曲げ耐力や梁の塑性変形能力に影響を及ぼすと考えられる、柱鋼管径厚比，スカラップの有無，コンクリート充填の有無，スラブの有無を実験変数として実験を行い、これらの影響を示すことである。本研究では、梁の最大耐力，梁ウェブ，柱スキンプレートの面外変形に着目して実験変数の影響について検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 実験計画

試験体は、 $\bigcirc-318.5 \times t_c$ (t_c : 柱鋼管板厚で 6mm と 9mm) の円形 CFT 柱，中空円形鋼管柱と H-400×200×8×13 の梁からなる柱

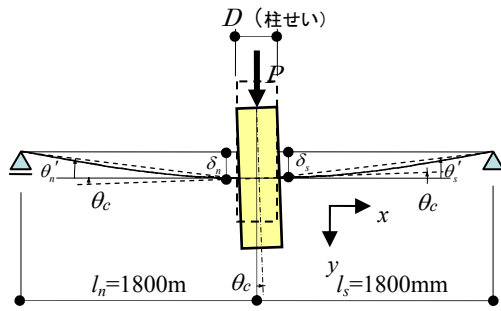


図3 測定方法

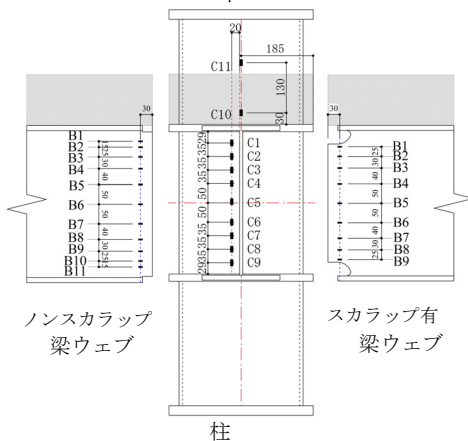


図4 ひずみゲージ貼付位置 (スラブ有試験体)

けているが、ここでは梁ウェブと柱鋼管の貼り付け位置のみ示している。ひずみゲージは梁フランジに左右8枚ずつ、柱鋼管に左右11枚ずつ、型枠に6枚、スカラップの無いノンスカラップ試験体は梁ウェブに左右11枚ずつ、スカラップの有る試験体は梁ウェブに左右9枚ずつ、それぞれ合計66枚、62枚のひずみゲージを貼り付け、試験体のひずみを測定している。なお、スラブの付いていない試験体は、柱鋼管に貼り付けたC10、C11のひずみゲージを貼り付けていない。

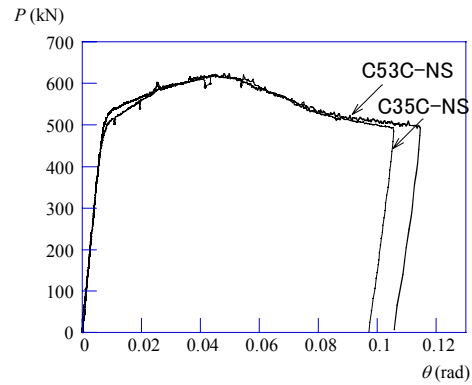
(4) 実験結果および考察

①スラブがない場合

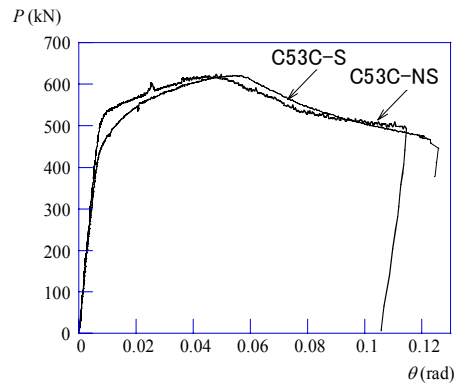
荷重 P - 部材角 θ 関係を図5に示す。部材角は図2に示した l_n 、 l_s と、左(右)側梁の中心の変位 (δ_n 、 δ_s)、柱の傾き θ_c から求めた試験体左右梁の部材角であり、左右の梁で変形がより大きくなったほうの値を示している。図5(a)~(c)はそれぞれ、C53C-NS試験体を基準とした、柱鋼管径厚比、スカラップの有無、コンクリート充填の有無による比較を示している。表2に最大荷重および最大荷重時の部材角を示す。

すべての試験体において、梁フランジに局部座屈が発生しており、最大耐力に達したのち緩やかに荷重が減少した。亀裂等は生じなかった。

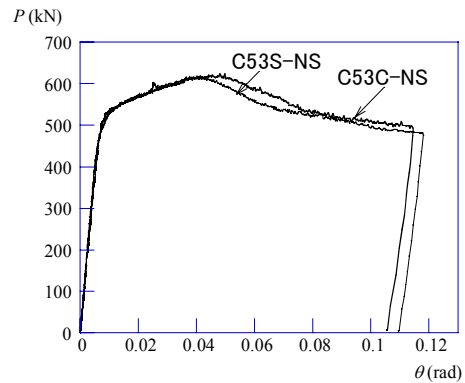
最大耐力について、各パラメータの影響について考察する。図5および表2によれば、



(a) 径厚比による比較



(b) スカラップの有無による比較



(c) コンクリート充填の有無による比較

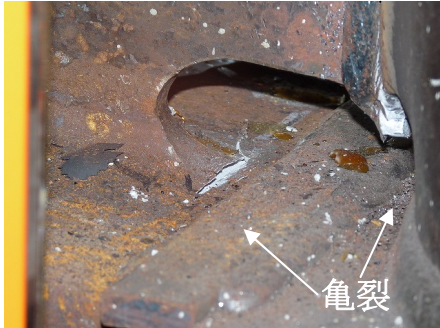
図5 荷重 P 部材角 θ 関係 (スラブ無)

表2 最大荷重と最大荷重時の部材角

試験体名	最大荷重 (kN)	最大荷重時部材角 (rad)
C53C-NS	624	0.0498
C53S-NS	617	0.0414
C53C-S	621	0.0543
C35C-NS	622	0.0449
C53C-S-S	816	0.0302
C53C-NS-S	865	0.0304

最大耐力に対する各パラメータの影響は顕著でないことが観察される。柱鋼管径厚比の違いについては、図5(a)によればほとんど

最大荷重が同じであり、影響は見られないことがわかる。スカラップの有無については、図 5(b)によればスカラップのある試験体のほうがやや最大荷重が大きく、最大荷重時の部材角も大きい。コンクリート充填の有無に



(a) スカラップ底からの亀裂



(b) 局部座屈

図 6 局部座屈と亀裂の写真

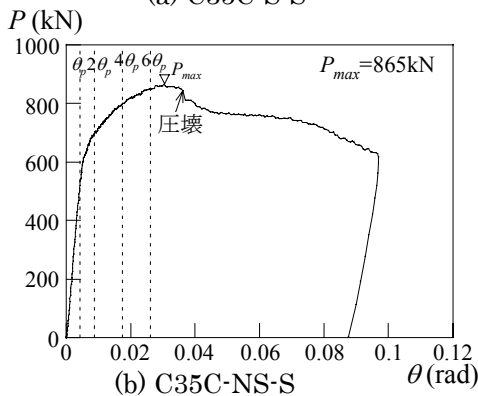
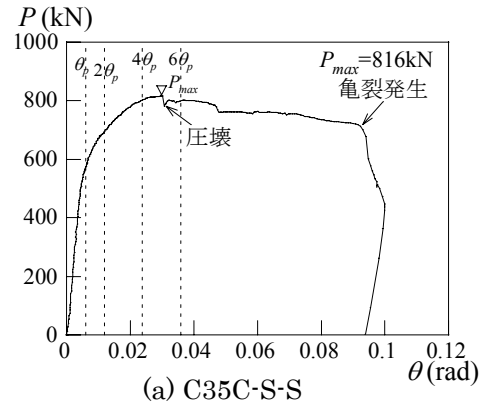


図 7 荷重—部材角関係 (スラブ有)

ついては、図 5(c)によればコンクリートを充填した CFT 試験体のほうが、充填してない中空試験体よりもやや荷重が大きかった。また、最大荷重時の部材角も、CFT 試験体のほうが大きかった。

②スラブがある場合の実験結果概要

スカラップのある試験体 C35C-S-S は、変形の大きい方の下梁フランジのスカラップ底から亀裂が入り、梁ウェブと柱接合部の溶接接合部にも亀裂が入っていた(図 6(a)参照)。スカラップのない試験体 C35C-NS-S は、変形の大きい方の梁の上フランジおよびウェブは局部座屈していた。また、試験体 C35C-S-S の試験体の柱の面外変形が目視により確認できた。

図 7 に荷重 P —部材角関係 θ を示している。図 (a) は試験体 C35C-S-S、図 (b) は試験体 C35C-NS-S である (以後、スカラップのある試験体を S 試験体、スカラップの無い試験体を NS 試験体と呼ぶ)。試験体 S の最大荷重 P_{max} は 816kN であった。試験体 NS の最大荷重 P_{max} は 865kN であり、スカラップのない試験体のほうが、最大荷重が約 50kN 大きかった。図 7 によると、いずれの試験体も P_{max} 後に荷重が急に低下している。これは、スラブコンクリートが圧壊したためである。また、スカラップの有る試験体はその後緩やかに荷重が低下し、 $\theta = 0.09$ rad 程度に達すると下フランジのスカラップ底から亀裂が発生し急激に荷重が低下した。

表 2 に最大荷重および最大荷重時の部材

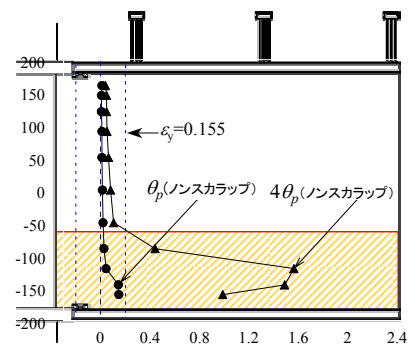
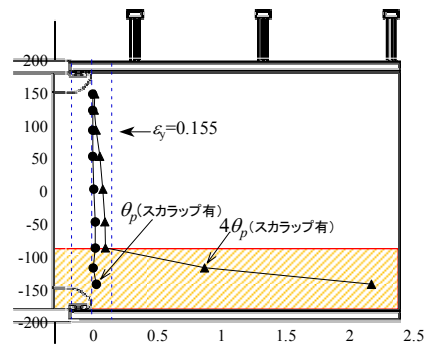
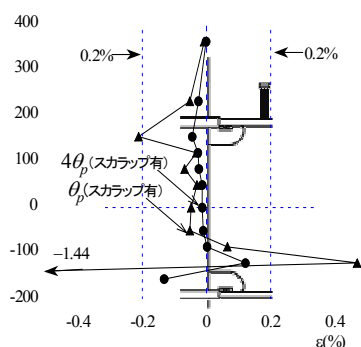
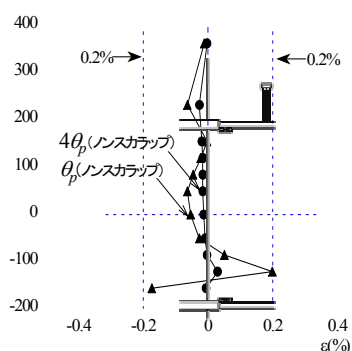


図 8 ひずみ分布 (梁ウェブ)



(a) C35C-S-S



(b) C35C-NS-S

図9 ひずみ分布 (柱)

角を示している。最大荷重時の部材角については、スカラップの有る場合、ない場合で違いはなく、いずれも 0.030rad 程度であった。スラブがない場合と比較すると、その値は小さい。

③ スラブのある試験体のひずみ分布

図8は θ_p 、 $4\theta_p$ 時の梁ウェブのひずみ分布を示す θ_p は鉄骨梁のみで計算した、弾性限界部材角である。縦軸は図4に示す梁のひずみゲージ貼付位置を示しており、上側が試験体S、下側が試験体NSを示している。梁ウェブでは試験体Sの場合は試験体NSの場合に比べ、下フランジ近傍で引張歪が小さく、梁ウェブの引張側の降伏領域も狭かった(図中網かけ部)。このことから試験体NSのほうがウェブの負担率が大きいと考えられる。試験体NSは下フランジ近傍でひずみが大きくなった後小さくなったが、試験体Sでは一番下のひずみが最も大きかった。

図9に柱の各部材角時のひずみ分布を示す。この図の縦軸は、図4に示す柱のひずみゲージ貼付位置を示しており、下側が試験体S、上側が試験体NSを示している。柱のひずみ分布では、試験体Sの場合の下フランジ近傍でのひずみは早い段階から引張歪が大きくなり、 $4\theta_p$ 時にすでに 0.2% を大きく超えている。これは柱鋼管の面外変形が大きくなっているからだと考えられる。また、試験体NSは柱鋼管のひずみは大きくても 0.2% 程度であり、ほとんど面外変形をしていないと考え

られる。

したがって試験体Sでは面外変形の影響により梁ウェブの負担率が小さく、試験体NSでは面外変形が小さいことから負担率が大きくなったと考えられる。

4. 研究成果

円形CFT柱-H形鋼梁接合部の実験を行い、最大耐力に対する、柱鋼管径厚比、コンクリート充填の有無、スカラップの有無、スラブの有無の影響を明らかにすることを目的に、単純梁形式の荷重実験を行った。

スラブがない場合、最大耐力に対する、各パラメータの影響は顕著ではなかったが、スカラップのある試験体のほうがやや最大耐力が大きく、コンクリートを充填したCFT試験体のほうが最大耐力が大きかった。

スラブの有る場合、最大荷重について比較するとスカラップのない試験体NSの方がスカラップの有る試験体Sより約 50kN 大きかった。また、ひずみ分布について、梁ウェブでは試験体Sの場合は試験体NSの場合に比べ、下フランジ近傍で引張歪が小さく、梁ウェブの引張側の降伏領域も狭かった。柱のひずみ分布では、試験体Sの場合の下フランジ近傍でのひずみは早い段階から引張歪が大きくなり、 $4\theta_p$ 時にすでに 0.2% を大きく超えており面外変形している。また、試験体NSは柱鋼管のひずみは大きくても 0.2% 程度であり、ほとんど面外変形をしていないと考えられる。

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2件)

- ① 城戸將江：円形CFT柱-H形鋼梁接合部における梁ウェブの曲げ耐力に関する基礎的実験：第9回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，2011，pp.219-223 (査読無)
- ② 李沙，城戸將江：コンクリート充填円形鋼管柱に取り付くスラブ付きH形鋼梁ウェブ接合部の曲げ耐力に関する実験的研究 -スカラップの有無について-，日本建築学会九州支部研究報告，2012，pp.773-776 (査読無)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

城戸 將江 (KIDO MASAE)

北九州市立大学・国際環境工学部・講師

研究者番号：10453226