

(27) 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

城戸 將江¹

¹正会員 北九州市立大学講師 国際環境工学部建築デザイン学科 (〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail:kido-m@kitakyu-u.ac.jp

著者らは柱鋼管壁の面外変形を考慮した角形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について、解析により簡便な耐力評価式を示している。本研究の目的は、円形CFT 柱-H 形鋼梁接合部の載荷実験を行い、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、スカラップの有無の影響を示すことである。

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。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。

Key Words : beam-column connection, steel concrete composite column, flexural strength

1. はじめに

米国でのノースリッジ地震や、日本での兵庫県南部地震において、実構造物における梁端溶接接合部の脆性的破断現象が観察された¹⁾。また、通しダイアフラムと梁フランジの完全溶込溶接部近傍に発生した脆性破断・亀裂のほとんどが、角形鋼管柱・H 形鋼梁ラーメン構造の梁端下フランジにおいて発生していた²⁾。

上記のような被害を防ぐ目的で、「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」¹⁾ (以下、破断防止ガイドライン) が刊行された。そこでは、梁端接合部設計法と梁端接合部溶接施工法が示され、角形鋼管柱に取り付く H 形鋼梁の保有塑性回転角 (保有変形性能) の評価式も示されている。

また、コンクリート充填鋼管柱と H 形鋼梁からなる柱梁接合部において、梁フランジの応力を柱に伝達するダイアフラム等の接合部局部の性状は、多くの実験的研究により把握され、接合部の耐力評価法および復元力特性モデルが提案されており、それらはコンクリート充填鋼管構造設計施工指針³⁾第 1 編第 4 章にまとめられている。

一方、鋼構造の梁端接合部の曲げ耐力は、梁フランジと梁ウェブの各々の曲げ耐力の和として評価できる。ただし、柱が中空鋼管の場合には、梁ウェブの取り付く部

分の柱スキンプレートに面外変形が生じ、柱に伝達される梁ウェブの曲げモーメントが小さくなり、その結果、梁端接合部の曲げ耐力が低下する。中空角形鋼管柱、中空円形鋼管柱に接合される梁ウェブ接合部の曲げ耐力に関しては、既に耐力評価法がいくつか提案されており⁴⁾⁸⁾、鋼管の幅厚比、径厚比に応じて梁ウェブ接合部の曲げ耐力を評価できる状況にある。また、鋼管スキンプレートの面外変形により梁ウェブ接合部の曲げの伝達効率が低下すると、梁に十分な変形能力が確保できない⁹⁾。伝達効率と梁の変形能力の関係が、いくつかの研究によって示されている¹⁰⁾¹³⁾。

柱がコンクリート充填鋼管 (以下 CFT 柱) の場合には、梁ウェブが圧縮側となる位置ではコンクリートの存在により、柱スキンプレートの面外変形は抑えられると考えられるが、引張側となる位置では、コンクリートの存在による面外変形の拘束は期待できない¹⁴⁾。このことから、著者らは機構法により角形 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計算した¹⁴⁾¹⁵⁾。また、柱鋼管幅厚比を実験変数とした角形 CFT 柱-H 形鋼梁接合部の曲げ実験を行い、その最大耐力や梁ウェブひずみ分布について検討を行っている¹⁶⁾。しかしながら、梁ウェブ接合部の曲げ耐力に着目した、円形 CFT 柱-H 形鋼梁接合部に関する実験は行われていない。

本研究の目的は、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、スカラップの有無、コンクリート充填の有無の影響を明らかにすることである。なお、荷重条件は単純梁形式としており、実際の構造物に生じる荷重条件ではないが、本研究は柱断面が円形の場合における、柱スキムプレートの面外変形と梁ウェブ接合部の曲げ耐力に着目した基礎的研究である。

2. 実験概要

(1) 実験計画

試験体は、 $\text{O}-318.5 \times t_c$ (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 の梁からなる柱梁接合部である。荷重条件は単純梁形式で、単調荷重とする。1章でも述べたように、本荷重条件は実構造物では生じないが、本研究は、柱スキムプレートの面外変形と梁ウェブ接合部の曲げ耐力に着目した基礎的研究であるため、本荷重条件を採用した。

実験変数は、1) 鋼管の径厚比、2) スカラップの有無、3) コンクリート充填の有無、である。表-1 に試験体一覧を示す。試験体名は、表-1 中に示すように、各パラメータがわかるように決めている。表-2 に試験体の実

測寸法を示す。

(2) 試験体形状

試験体の形状を図-1 に示す。柱鋼管は STK400 を、梁は SN400B を、ダイアフラムは SN490C で板厚 19mm を使用した。コンクリート充填試験体の柱の上部およびダイアフラムには $\phi 180$ のコンクリート充填孔および $\phi 25$ の空気抜き孔を設けた。スカラップは改良型スカラップである。

(3) 材料特性

鋼材の材料特性を調べるため、引張試験を行った。引張試験は、H 形鋼、ダイアフラム板よりそれぞれ切り出した JIS1 号 B 引張試験片と鋼管から切り出した JIS12 号 C 試験片によって、各部位につき 3 片ずつ行った (梁フランジおよび柱鋼管の板厚 9mm は 2 片)。各部位における引張試験結果を表-3 に、代表的な応力-ひずみ関係を図-2(a) に示す。なお、柱に関しては 0.2% オフセット法により、降伏応力度を求めている。

実験に使用した充填コンクリートの調査表を表-4 に示す。シリンダーの圧縮試験はそれぞれの試験体につき、3 体の供試体で行った。各試験体のコンクリート圧縮強度を表-1 に示す。また、代表的な応力-ひずみ関係を図-2(b) に示す。

表-1 試験体一覧

試験体名	柱コンクリート充填の有無	柱鋼管板厚 t_c (mm)	柱径厚比 (ランク)	スカラップの有無	充填コンクリート強度 (N/mm ²)
C53C-NS	有	6	53 (FC)	無	312
C53S-NS	無			-	
C53C-S	有	9	35(FA)	有	305
C35C-NS				無	303

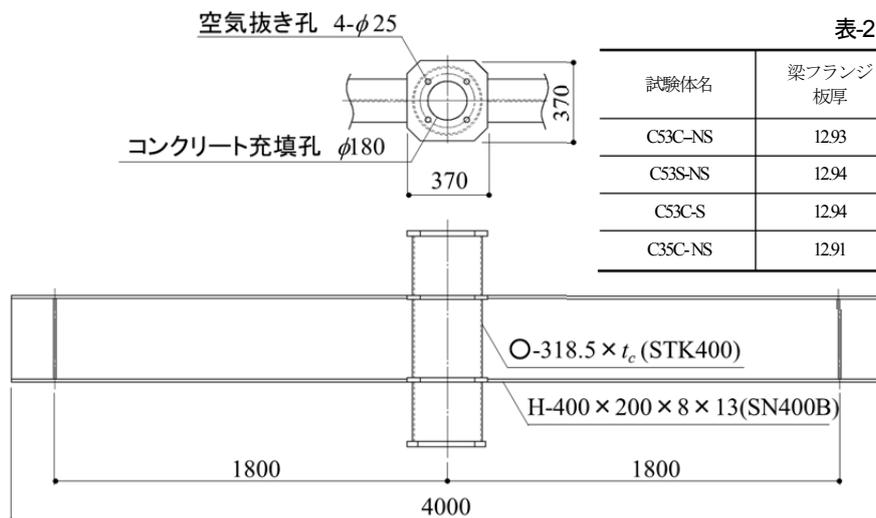
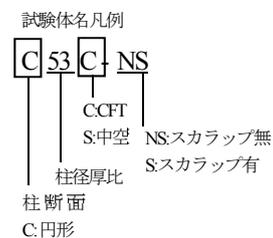


図-1 試験体 (コンクリート充填)

表-2 試験体実測値

試験体名	梁フランジ板厚	梁ウェブ板厚	柱鋼管板厚	ダイアフラム板厚
C53C-NS	1293	793	599	1921
C53S-NS	1294	793		1933
C53C-S	1294	787		1921
C35C-NS	1291	797	907	1923

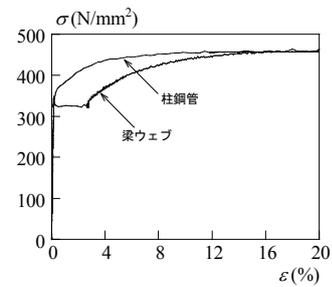
表-3 引張試験結果

部位	σ_s (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)	σ_s/σ_t (%)	ε_s (%)	EL (%)
梁フランジ	295	445	664	227	29.57
梁ウェブ	327	463	707	286	29.2
柱鋼管 ($t=6\text{mm}$)	371	457	81.0	—	44.0
柱鋼管 ($t=9\text{mm}$)	346	463	74.8	—	48.8
ダイア フラム	334	519	64.5	138	25.2

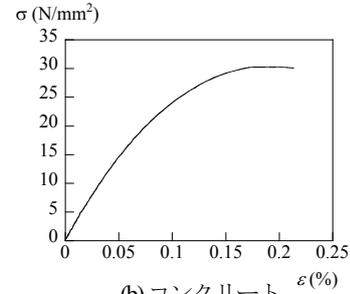
σ_s, σ_t : 降伏応力度および引張強さ, σ_s/σ_t : 降伏比
 ε_s , EL: ひずみ硬化開始時ひずみ度および破断伸び

表-4 コンクリート調査表

部位 (呼び強度)	水セメント比 (%)	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	混和材 (kg/m ³)	スランプ (cm)
柱 (30N/mm ²)	45.0	414	186	742	971	3.73	18



(a) 梁ウェブと柱鋼管



(b) コンクリート

図-2 応力-ひずみ関係 (例)

(4) 実験方法

荷重装置を図-3 に、測定方法を図-4 に示す。鉛直変位は、片方の梁端で2点 (v_1, v_2)、もう一方の梁端で1点 (v_3) を計測した (図-3 参照)。左右の梁端の鉛直方向の変位 δ_s, δ_n をそれぞれ式(1), 式(2)により計算した。

$$\delta_s = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (1), \quad \delta_n = v_3 + \frac{v_2 - v_1}{2} \quad (2)$$

柱はダイアフラムも含めて剛体のまま載荷点を中心に θ_c 回転すると考え、式(3)にて計算した。

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{\delta_s - \delta_n}{D} \right) \quad (3)$$

左右の梁の部材角 θ_n, θ_s は式(4)および式(5)にて計算した。ここで、 l_n, l_s は支点から柱面までの距離である。添え字の n, s はそれぞれ梁の左, 右に対応している。

$$\theta_n = \theta_n' + \theta_c = \tan^{-1} \frac{\delta_n}{l_n - D/2} + \theta_c \quad (4)$$

$$\theta_s = \theta_s' - \theta_c = \tan^{-1} \frac{\delta_s}{l_s - D/2} - \theta_c \quad (5)$$

3. 実験結果

荷重 P -部材角 θ 関係を図-5 に示す。部材角は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-5 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-5 によれば、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)および表-5 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

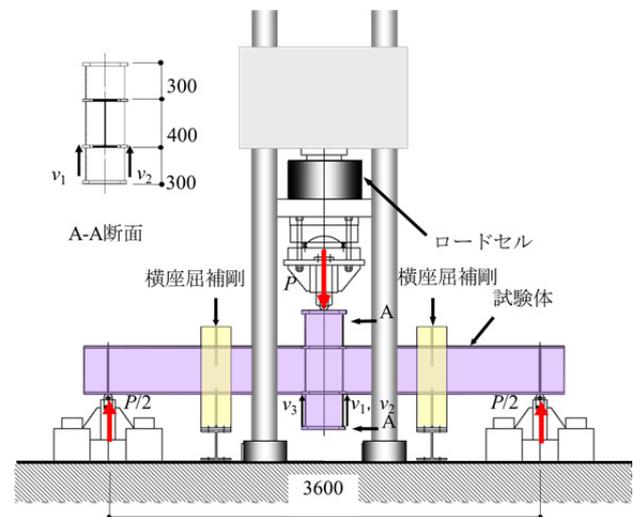


図-3 荷重装置

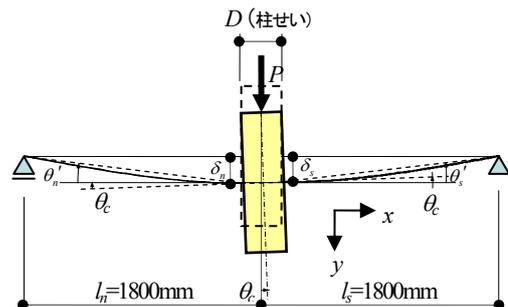
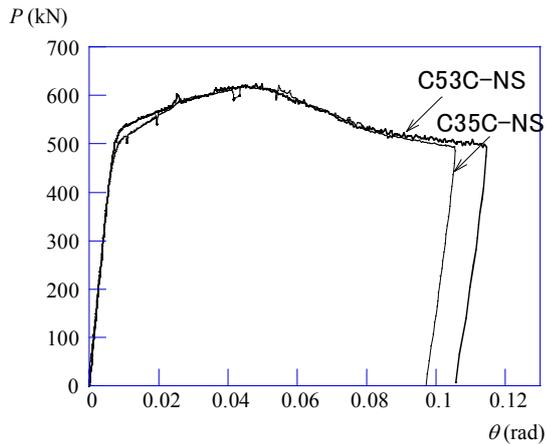


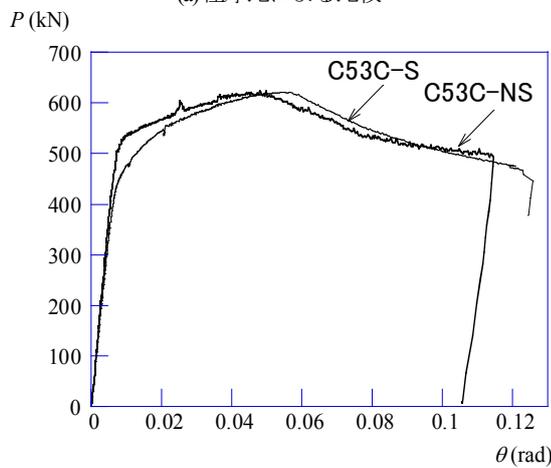
図-4 測定方法

がわかる。スカラップの有無については、図 5(b)および表-5 によればスカラップのある試験体のほうがやや

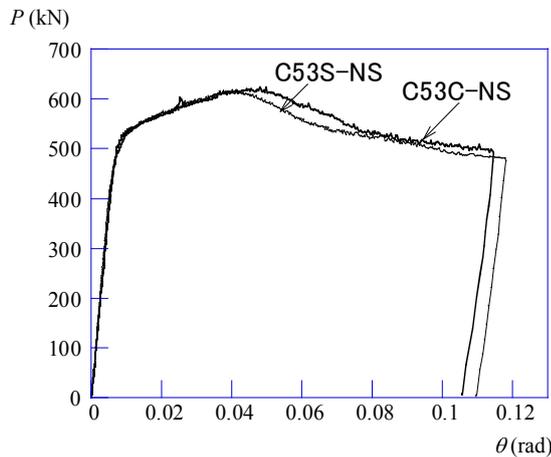
最大荷重が大きく、最大荷重時の部材角も大きい。コンクリート充填の有無については、図-5(c)および表-5 によればコンクリートを充填した CFT 試験体のほうが、充填してない中空試験体よりもやや荷重が大きかった。また、最大荷重時の部材角も、CFT 試験体のほうが大きかった。



(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

表-5 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

4. まとめ

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、スカラップの有無の影響を明らかにすることを目的に、単純梁形式の載荷実験を行った。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。

今後は、ひずみ分布に対する各パラメータの影響について検討を進める予定である。また、本研究は柱鋼管スキンプレート面の面外変形および梁ウェブ接合部の曲げ耐力に着目した基礎的研究であり、実際の建物に生じる荷重条件ではないため、今後、荷重条件を変えて研究を進めたいと考えている。

謝辞：本研究は、平成 22-23 年度文部科学省科学研究費補助金（若手研究（B）, 課題番号 22760423, 代表者：城戸将江）の援助を受けた。また、株式会社共栄工業より非常にすばらしい試験体を製作していただいた。研究を進めるにあたり北九州市立大学教授津田恵吾先生に貴重なご助言をいただいた。実験については、平成 22 年度研究室の大学院生、学部生の協力を得た。関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 日本建築センター：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, 2003.12.
- 2) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：通しダイアフラム形式で角形鋼管柱に接合される H 形鋼梁の塑性変形能力に関する実大実験 報告書, 1997.7.
- 3) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 2008.10
- 4) 森田耕次, 江波戸和正, 舟橋明之, 小南忠義, 里見孝之：箱形断面柱のかど溶接を部分溶込み溶接とした柱はり接合部の力学的挙動に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 397 号, pp.48-59, 1989.3
- 5) 吹田啓一郎, 田中剛：角形鋼管柱に接合される梁ウェブ接合部の曲げ耐力, 鋼構造論文集, 第 7 巻第 26 号, pp.51-58, 2000.6
- 6) 立山英二, 井上一朗, 杉本正三, 松村弘道：通しダイアフ

- ラム形式で角形鋼管柱に接合される H 形断面はりの耐力と変形性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 389 号, pp.109-121, 1988.7
- 7) 田淵基嗣, 坂本真一, 金谷弘, 藤原勝義, 上場輝康: 角形鋼管柱に接合される H 形鋼はり端部の曲げ耐力の評価, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 389 号, pp.122-131, 1988.7
- 8) 田中剛, 田淵基嗣, 村上裕通: 円形鋼管柱梁仕口における梁ウェブ接合部の曲げ耐力評価, 鋼構造年次論文報告集, 第 9 巻, pp.457-464, 2001.11
- 9) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2006.3
- 10) 田中淳夫, 増田浩志, 高木大, 久田哲彰: 鋼構造梁端混用接合部の力学性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 484 号, pp.121-130, 1996.6
- 11) 増田浩志, 田中淳夫, 銭鋼: 鋼構造梁端混用接合部の力学性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 509 号, pp.151-158, 1998.7
- 12) 松本由香, 秋山宏, 山田哲: 鋼構造柱梁接合部における梁の変形能力とウェブの継手効率, 日本建築学会構造系論文集, 第 523 号, pp.117-124, 1999.9
- 13) 岡田健, 呉相勲, 山田哲: 合成梁の塑性変形能力に柱梁接合部における継手効率が及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 573 号, pp.185-192, 2003.11
- 14) 城戸將江, 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, 2006.4
- 15) 鮫島由佳, 城戸將江, 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 2008 年度大会 (中国) 学術講演梗概集, 構造 III, pp.1147-1150, 2008.9
- 16) 城戸將江, : コンクリート充填角形鋼管柱に取り付く H 形鋼梁ウェブ接合部の曲げ耐力に関する実験的研究: 幅厚比の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1249-1250, 2010.7

BASIC EXPERIMENTAL STUDY ON FLEXURAL STRENGTH OF THE BEAM WEB IN CIRCULAR CFT COLUMN-H SHAPED BEAM CONNECTION

Masae KIDO

The purpose of this study is to make clear the effect of diameter-thickness ratio of columns, infilled concrete and the scallops on the maximum strength of the beam in the circular CFT column-H shaped beam connection. A basic experimental study was carried out.

Local buckling occurred at the beam flange in all specimens. After the load reached the maximum value the load decreased gradually. The effect of test parameters on the maximum strength is not remarkable. When the column is CFT and the beams have scallops the maximum strengths are greater.