

(28) 角形CFT 柱－スラブ付き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 将江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、角形CFT 柱－スラブ付きH 形鋼梁接合部の載荷実験を行い、最大耐力に対する、柱鋼管幅厚比、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。

スカラップの無い試験体は、梁フランジに局部座屈が発生し緩やかに荷重が低下し、スカラップのある試験体は、スカラップ底から亀裂が発生し、荷重が急激に低下した。最大荷重は、柱の幅厚比が小さい試験体、スカラップの無い試験体、コンクリート充填試験体のほうが大きかった。梁ウェブのひずみ分布を見ると、スカラップの無い試験体のほうがスカラップの有る試験体よりもひずみが大きかった。

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

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」³⁾ (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⁴⁾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、梁ウェブの取り付け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⁾、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⁵⁾。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角形鋼管 (以下角形 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 柱に取り付く梁ウェブ接合部の曲げ耐力を計算し、文献 5) に示された中空鋼管柱に取り付く場合の曲げ耐力評価式を基準とした耐力評価式を示した¹⁴⁾。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¹⁵⁾。しかしながら、梁ウェブ接合部の曲げ耐力に着目した、CFT柱-スラブ付き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、角形CFT柱-スラブ付きH形鋼梁接合部の実験を行い、最大耐力に対する、柱鋼管幅厚比、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し、柱鋼管の面外変形に対するスカラップの影響を、梁ウェブのひずみ分布より考察するものである。なお、荷重条件は単純梁形式としており、柱の両側に取りつく両方の梁においてスラブ側が圧縮となり、実際の構造物に生じうる荷重条件ではなく、本研究は柱スキン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、 $\square-300 \times 300 \times t_c$ (t_c : 柱鋼管板厚で 6mm と

9mm) の角形 CFT 柱、中空角形鋼管柱とスラブのついた 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、単調荷荷とする。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、柱スキン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) 鋼管の幅厚比、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 BCR295 を、梁は SN400B を、ダイアフラムは SN490C で板厚 19mm を使用した。スラブには合成デッキプレートを用いており、合成スラブの全せいは 130mm、デッキプレートの全せいは 50mm である。スラブの幅は 920mm とした。シア

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)	柱幅厚比 (ランク)	スカラップ の有無	コンクリート 強度(N/mm ²)	
					柱	スラブ
R50C-PA13-NS-S	有	6	50 (FD)	無	363	275
R33C-PA13-NS-S		9	33 (FC)		363	282
R33C-PA13-S-S				有	37.1	289
R33S-PA13-NS-S	無			無	—	289

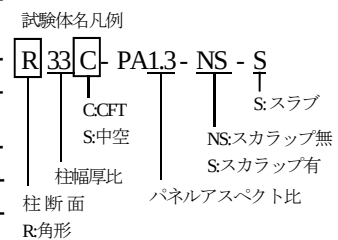


表-2 試験体実測寸法 (単位: mm)

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
R50C-PA13-NS-S	1314	787	5.95	18.97
R33C-PA13-NS-S	1327	798	8.99	18.95
R33C-PA13-S-S	1332	792	8.99	18.95
R33S-PA13-NS-S	1324	783	8.99	19.00

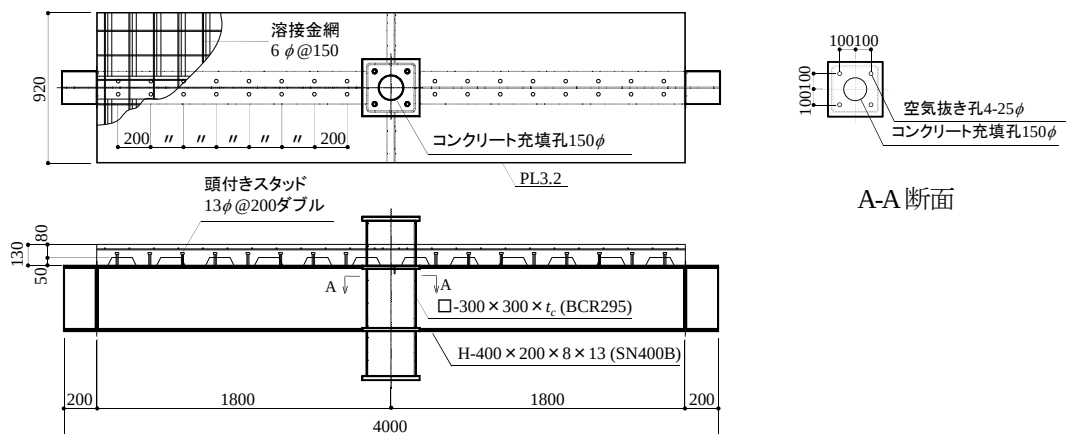


図-1 試験体 (コンクリート充填)

(単位: mm)

表-3 引張試験結果

部位	σ (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	σ/σ_u (%)	ε_u (%)	EL (%)
梁フランジ	325	438	74.2	263	26.8
梁ウェブ	359	455	78.9	2.77	26.2
柱鋼管 ($t=6\text{mm}$)	363	448	81.1	—	25.3
柱鋼管 ($t=9\text{mm}$)	328	405	81.0	—	28.0
ダイア フラム	383	528	72.6	191	27.0

σ_y, σ_u : 降伏応力度および引張強さ, σ_y/σ_u : 降伏比
 ε_{90} EL : ひずみ硬化開始時ひずみ度および破断伸び

表-4 コンクリート調合表

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
スラブ (18N/mm ²)	63.0	291	183	869	955	2.62	18

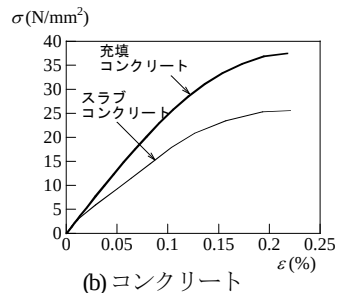
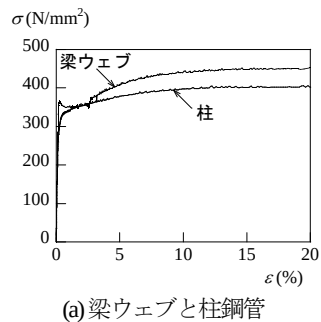


図-2 応力-ひずみ関係 (例)

コネクタとして頭付きスタッド 13φ 長さ 80mm を 200 ピッチ（ダブル）で配置している．また，溶接金網 6φ@150 をかぶり厚さ 30mm の位置に配筋している．スラブの周囲には，合成デッキを受けるためのアングル L-50×50×6 を取付け，そのアングルに幅 130mm 厚さ 3.2mm の鋼板を型枠代わりとして溶接している．なお，この梁は不完全合成梁である．

(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、鋼管よりそれぞれ切り出した JIS1 号 B 引張試験片によって、各部位につき 3 片ずつ行った。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、スラブコンクリートの調合表を表-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.

(4) 実験方法

載荷装置を図-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_x, δ_y 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 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.

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

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

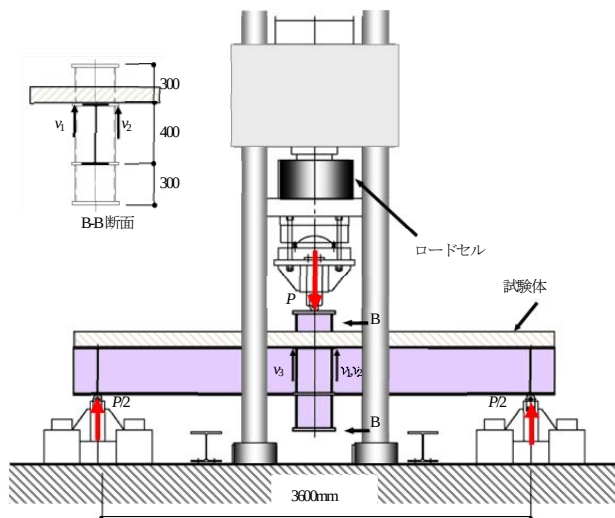


図-3 載荷装置

また、梁フランジ、梁ウェブ、柱スキンプレートにひずみゲージを貼り付け、ひずみを測定した。図-5にひずみゲージ貼り付け位置を示す。ひずみゲージは、梁フランジ、梁ウェブは梁の材軸方向に、柱スキンプレートは柱の材軸方向に貼り付けた。

3. 実験結果

写真-1(a)に、基準となる試験体 R33C-PA13-NS-S の実験後の写真を示す。スカラップのある試験体 R33C-PA13-S-S では、梁下フランジに亀裂が発生した。亀裂の様子を横から見たもの、下から見たものをそれぞれ写真-1(b)および(c)に示す。スカラップの無い試験体はすべて亀裂は生じず、試験体の上の梁フランジには局部座屈が発生していた。

(1) 荷重一部材角関係

最大荷重および最大荷重時の部材角を表-5に、荷重 P

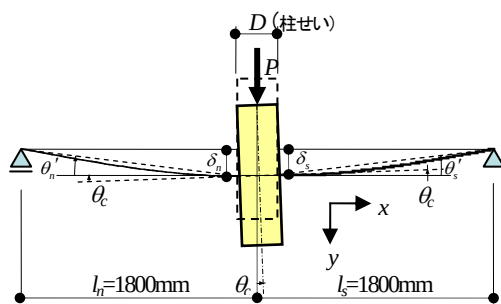
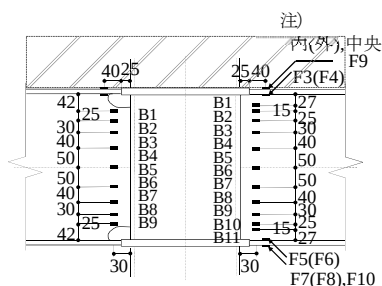
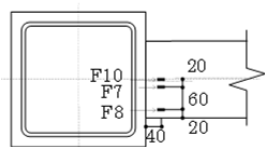


図-4 測定方法



スカラップ有 スカラップ無
(a) 梁フランジおよび梁ウェブ



(b) 梁フランジ（下フランジ下面）

注) 梁フランジの「内」とは、梁ウェブ側を示し（図(b)において F7 の位置）、「外」とはフランジの端部を示す（F8 の位置）。中央は、フランジ幅の中央を示す（F10 の位置）。

図-5 ひずみゲージ貼り付け位置

一部材角関係 θ を図-6 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。表-5 中の基準試験体に対する比とは、基準試験体 R33C-PA13-NS-S の最大荷重および最大荷重時部材角の値に対する比を、それぞれ最大荷重、部材角の欄に示している。図-6(a)~(c)はそれぞれ、R33C-PA13-NS-S 試験体を基準とした、柱鋼管幅厚比、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。

柱鋼管幅厚比が 50 の試験体は、治具の不具合により途中で試験を中止したが（図(a)細線参照）、他の試験体は、スラブコンクリートが梁端部において圧壊し、荷重がいったん減少した後、スカラップの無い試験体は、梁フランジに局部座屈が発生し緩やかに荷重が低下し（図(c)参照）、スカラップのある試験体は、スカラップ底から亀裂が発生し、荷重が急激に低下した（図(b)細線参照）。

最大荷重について、各パラメータの影響について考察する。柱鋼管幅厚比の違いについては、図-6(a)によれば柱鋼管幅厚比 50 の試験体のほうが幅厚比 33 の試験体よりも最大荷重は小さい（96.1%、表-5 参照）。スカラップの有無については、図-6(b)によればスカラップのある試験体のほうが最大荷重が小さい（94.0%、表-5 参照）。



(a) 実験後の写真(R33C-PA13-NS-S)



(b) スカラップに生じた亀裂
(R33C-PA13-S-S)



(c) フランジ下面からみた亀裂
(R33C-PA13-S-S)

写真-1 実験後の試験体写真

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)	基準試験体に対する比(%)	
			最大荷重	部材角
R50C-PA13-NS-S	859	0.0451	96.1	1.01
R33C-PA13-NS-S	894	0.0447	-	-
R33C-PA13-S-S	840	0.0652	94.0	1.46
R33S-PA13-NS-S	851	0.0375	95.2	0.84

コンクリート充填の有無については、図-6(c)によればコンクリートを充填しない中空試験体のほうが、充填した試験体よりも荷重が小さかった(95.2%、表-5参照)。

また、最大荷重時の部材角については、スカラップのある試験体が一番大きく、スカラップの無い試験体については、基準となる幅厚比 33 の試験体がもっとも大きく、中空の試験体が一番小さかった。

(2) ひずみ分布

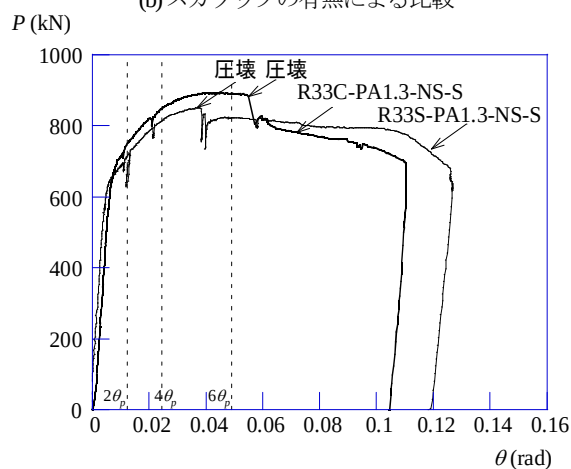
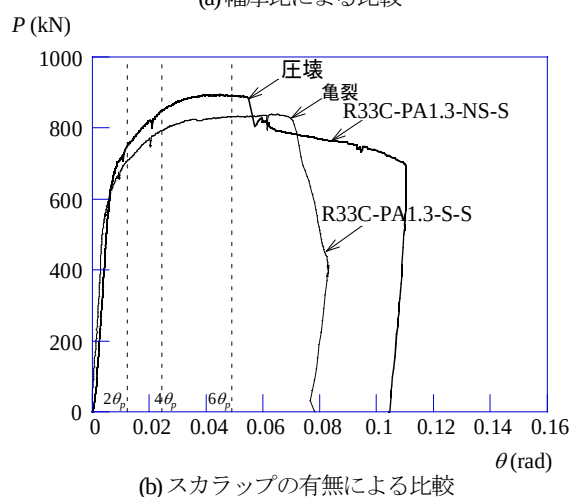
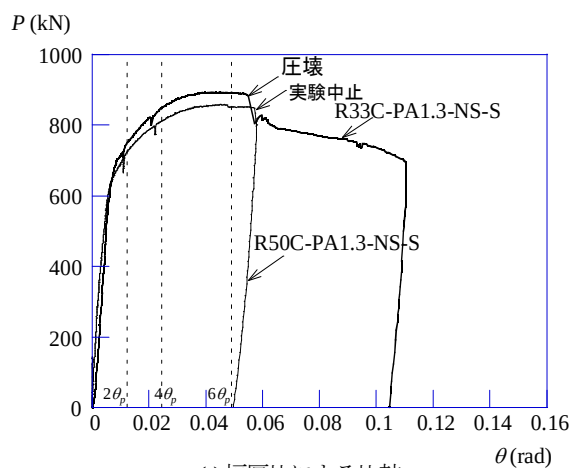


図-6 荷重 P - 梁部材角 θ 関係

図-7 に梁ウェブのひずみ分布を示す。図(a)、図(b)はそれぞれスカラップのない試験体、スカラップのある試験体を示しており、弾性範囲である $P = 50\text{kN}$ のときと塑性化後のひずみ分布である。 θ_p は 0.00612rad (ここでは、スラブを考慮せず H 形鋼梁断面のみで計算した値) であり、この値を基準として $2\theta_p$ 、 $4\theta_p$ 、 $6\theta_p$ のときの分布を示している。図中点線は、平面保持を仮定し弾性である場合の中立軸である。いずれも、梁下側のみひずみが大きくなっており、梁上側についてはあまりひずみが生じていないことが観察される。

また、スカラップの無い試験体とスカラップのある試験体を比較すると、スカラップの無い試験体のほうがひずみが大いことがわかる。部材角が $6\theta_p$ のとき、最も大きなひずみの値は、スカラップの無い試験体は 2.36% でスカラップの有る試験体は 1.69% であった。これは、スカラップのある試験体のほうが柱スキンプレーットの面外変形が大きくなり、梁ウェブのひずみが小さくなったものと考えられる。

4. まとめ

角形 CFT 柱-スラブ付き H 形鋼梁接合部の実験を行い、最大耐力に対する、柱鋼管幅厚比、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

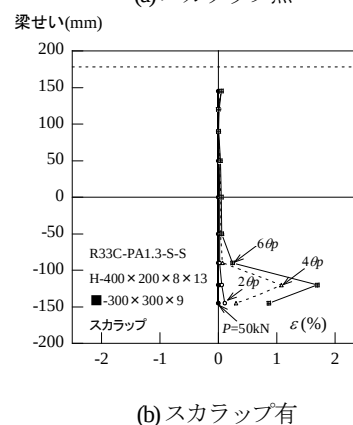
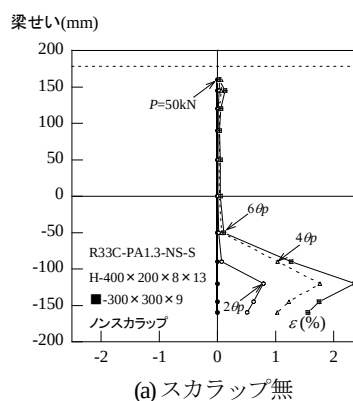


図-7 梁ウェブのひずみ分布

を目的に、単純梁形式の載荷実験を行った。

- (1) 最大荷重については、柱の幅厚比が大きい試験体、スカラップの有る試験体、コンクリートを充填していない中空試験体のほうが耐力が小さく、基準試験体の最大耐力に対する比は94%~96.1%であった。
- (2) 梁ウェブのひずみ分布から、スカラップの無い試験体のほうがスカラップの有る試験体よりも梁ウェブのひずみが大きかった。

本研究は柱鋼管スキンプレート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 20-21 年度文部科学省科学研究費補助金（若手研究（B））、課題番号 20760379、代表者：城戸將江）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 年度研究室の学部生、大学院生の協力を得た。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報告集、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報告集、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報告集、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報告集、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報告集、第 602 号、pp.219-226、2006.4
- 15) 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 SQUARE CFT COLUMN-H SHAPED BEAM CONNECTION

Masae KIDO

The purpose of this study is to make clear the effect of width-thickness ratio of columns on the maximum strength of the beam in the square CFT column-H shaped beam with slabs connection. The load of specimens without scallops decreased gradually and the load of the specimen with scallops decreased suddenly after crack occurred at the tip of scallop in the bottom flange. When the width thickness ratio is small, the column is CFT and the beams have no scallops, the maximum strengths are greater.