

25度狭開先適用した冷間成形角形鋼管 通しダイアフラム溶接接合部の実大3点曲げ破壊実験(実験結果および性能評価)  
鉄骨造建築物の安全性向上に資する新自動溶接技術の開発 その18

正会員 服部 和徳\*1 見波 進\*2 中野 達也\*3 水落 亮輔\*4  
同 山田 丈富\*5 中込 忠男\*6 岡本 晴仁\*7

25度狭開先 溶接接合部 ロボット溶接  
塑性変形能力 冷間成形角形鋼管 3点曲げ試験

1. はじめに

その18では、25度狭開先溶接を適用した通しダイアフラム-角形鋼管溶接接合部の実大3点曲げ破壊実験の実験結果および性能評価について述べる。

2. 実験結果

図1に荷重-変形関係およびスケルトン曲線を、表1に実験結果一覧を示す。CR-1およびCP-2試験体は、8c p時においても破断しなかった為、押し切り加力を実施した。CP-1試験体は8c p時に、CP-3試験体は6c p時に破断をした。

2.2 破壊性状

図2に破壊性状の模式図を示す。破壊性状は、いずれの試験体も角部より延性亀裂が発生し、延性亀裂が進展した後、脆性破断が生じ耐力低下をしている。繰返し加力により角部板厚鉛直方向に亀裂が進展し、その後、母材側斜め約45度方向へ延性亀裂が進展した。脆性破面は角形鋼管母材を伝播している。また、CP-2およびCP-3試験体には初層部に溶接欠陥を挿入したが、溶接欠陥を起点に破断する事はなかった。写真1に、破断状況を示す。

3. 考察(性能評価)

図3にスケルトン曲線による累積塑性変形倍率( $\epsilon_s$ )の算出方法模式図を示す。スケルトン曲線による累積塑性変形倍率( $\epsilon_s$ )は、実験結果の履歴曲線からスケルトン曲線を取り出し、その面積 $W_s$ から算出したものである。

一方、パウシンガー域のエネルギー吸収を含む累積塑性変形倍率( $\epsilon_A$ )は、図4に示す様に、実験結果から得られた履歴曲線の全てのループについて足し合わせた( $= \sum_i$ )ものとしている。本研究では、 $\epsilon_s$ および $\epsilon_A$ を性能評価の指標とする。

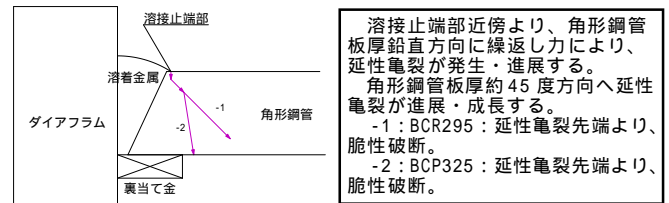


図2 破断性状の模式図

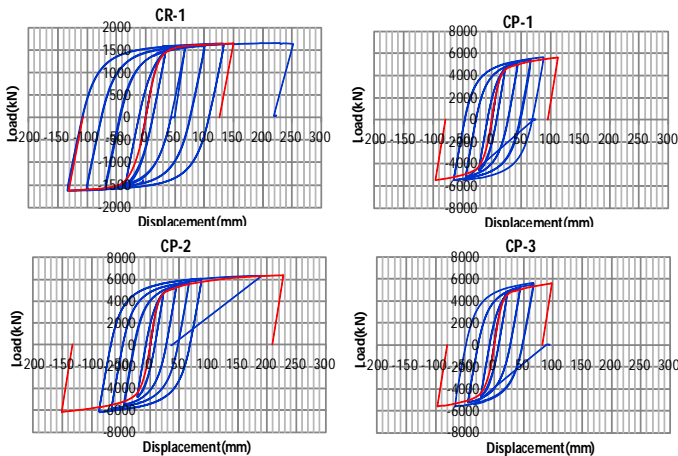


図1 荷重-変形関係およびスケルトン曲線



CR-1 試験体

CP-4 試験体  
写真1 破断状況

表1 実験結果一覧

No.	試験体諸元					実験結果										備考		
	B×t (mm)	鋼種	幅厚比	ランク	cPp (kN)	c p (mm)	ePp(kN)		eP <sub>max</sub> (kN)		E <sub>1</sub> <sup>S</sup>		E <sub>1</sub> <sup>A</sup>		破壊性状			
							+	-	+	-	+	-	+	-				
CR-1	350×22	BCR295	16	FA	1,205	16.58	1,285	-1,189	1,655	-1,631	1.37	1.35	9.9	8.2	86.3	68.2	延性亀裂進展の後、 角部脆性破断	局部座屈
CP-1	550×32	BCP325	17	FA			4,143	-3,815	5,661	-5,494	1.31	1.27	10.4	8.3	38.7	40.8	延性亀裂進展の後、 角部脆性破断	
CP-2	550×32	BCP325	17	FA	4,323	10.85	4,435	-4,087	6,356	-6,148	1.47	1.42	25.9	15.6	83.8	63.4	延性亀裂進展の後、 角部脆性破断	初層部溶接欠陥、グラインダー研磨 局部座屈
CP-3	550×32	BCP325	17	FA			4,156	-3,826	5,620	-5,563	1.30	1.29	8.9	8.6	27.4	28.4	延性亀裂進展の後、 角部脆性破断	初層部溶接欠陥

B: 外径、t: 板厚、cPp: 全塑性荷重(計算値)、c p時の変形量(計算値)、ePp: 全塑性荷重(実験値)General-Yield法により算出、eP<sub>max</sub>: 最大荷重(実験値)

耐力上昇率(=eP<sub>max</sub>/cPp)、 $\epsilon_s$ : スケルトン曲線による累積塑性変形倍率、E<sub>1</sub><sup>A</sup>: パウシンガー域のエネルギー吸収を含む累積塑性変形倍率

Full Scale three-point bending Test of Cold-Formed Box- Section Columns to Through diaphragm Welding Connection using 25 degree Acute Bevel Angle (Test Result and Performance Evaluation)

Technical development of automatic arc welding for advancing structural safety of steel building Part18

HATTORI Kazunori, MINAMI Susumu, NAKANO Tatsuya, MIZUOCHI Ryosuke, YAMADA Tomohisa, NAKAGOMI Tadao, OKAMOTO Haruhito

表2に文献1に示されている層ラメンの必要累積塑性変形倍率 $c_s$ の設定値、柱部材の必要塑性変形倍率 $c_A$ の算出値を示す。 $c_s$ は柱部材の骨格曲線に対する必要塑性変形倍率、 $c_A$ は柱部材のパウシガー域のエネルギー吸収を含む必要塑性変形倍率である。本実験で使用したコラム材の幅厚比は、 $D/t=16$ および17である為、 $c_s=8.4$ 、 $c_A=14.0$ と設定する。

図5および図6に実験結果の比較を示す。同図より、25度狭開先溶接により接合された冷間成形角形鋼管においても、表2に示す要求性能を満たしている事が確認できる。溶接止端部をグラインダーで研磨した試験体CP-2は、研磨していない試験体に比べ、累積塑性変形倍率( $E_s$ )は、2倍以上の性能を示している。また、グラインダー研磨を施していないが、フランク角の大きいCR-1試験体(フランク角166°)においては、累積塑性変形倍率( $E_A$ )は高い値を示す結果であった。従って溶接止端部の形状は、出来るだけ滑らかな形状にする事が望ましいと考えられる。

初層部に溶接欠陥を挿入した試験体については、溶着金属の0シャルピー吸収エネルギーが47Jと低い値であったが、初層部溶接欠陥を起点に破断する事は無く、十分な塑性変形能力を有している。従って、初層部の溶接欠陥については、「(社)日本建築学会：鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規程・同解説」<sup>2)</sup>に示される合否判定基準を遵守する事で、十分な保有性能を確保する事が出来ると考えられる。

### 3.2 要求性能と保有性能の比較

図7に35度標準開先を適用した場合の既往の実験データ<sup>3)</sup>との比較を示す。図中の赤実線は、降伏点を325N/mm<sup>2</sup>として算定した等価幅厚比に対応する要求性能を示している。赤、青、緑で着色したプロットが25度狭開先の実験結果であり、その他は35度標準開先の実験結果である。黒、灰で着色したプロットは角部の溶接止端部をグラインダーにより滑らかに仕上げている。35度標準開先の実験は常温であるのに対し、今回の25度狭開先の試験温度は0である。25度狭開先の実験結果は柱部材の要求性能を満たしていることが明らかである。BCP325材については、グラインダー仕上げの有無によらず35度標準開先の実験結果と同等かそれ以上の性能を有していることがわかる。BCR295材にいたっては、グラインダー仕上げを施していないにも関わらず、35度標準開先を適用し角部をグラインダー仕上げした結果以上の非常に優れた変形性能を示した。但し、本実験のBCR295材はグラインダー仕上げを施していないが、フランク角が大きい値であった。

### 4. まとめ

25度狭開先を適用したコラム 通しダイアフラム溶接接合部の実大繰り返し曲げ試験結果を以下に纏める。

1) いずれの試験体も、スケルトン曲線による累積塑性変形倍率 $c_s=8.4$ 、パウシガー域のエネルギー吸収を含む累積塑性変形倍率 $c_A=14.0$ を上回り、大きな変形性能を示す事を確認した。

2) 35度標準開先による既往の実験結果と比較した結

果、BCP325材については、グラインダー仕上げの有無によらず同等もしくはそれ以上の性能を有していることを確認した。BCR295材にいたっては、グラインダー仕上げを施していないにも関わらず(但し、フランク角は166°と大きい値であった。)、35度標準開先を適用し角部をグラインダー仕上げした結果以上の非常に優れた変形性能を示した。

- 3) コラム角部の初層部近傍に学会UT規程が想定している許容限界の溶接欠陥が存在しても、欠陥を起点に脆性破壊は生じなかった。これは、初層部近傍の応力が比較的低い事に起因していると考えられる。
- 4) グラインダー仕上げにより溶接止端部近傍の応力集中を緩和する(フランク角を大きくする)事で、延性亀裂発生時期を遅らせる事により高い変形性能を得られる事が分かった。

### 【参考文献】

- 1)建設省建築研究所(社)鋼材倶楽部:角形鋼管設計研究会研究報告書-鉄骨造柱材としての要求性能と保有性能の面からみた冷間成形コラムの評価-,1993年11月
- 2)(社)日本建築学会:鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規程・同解説,2008年6月
- 3)監修/(独)建築研究所,編集・企画/(財)日本建築センター:2008年度版冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル,2008年12月
- 4)園田正雄:建築構造用冷間ロール成形角形鋼管(BCR295)の力学性状に関する実験的研究,1997年日本建築学会関東支部研究報告集,pp.101-104,平成9年3月
- 5)桑村仁,松本由香,武谷政國:熱間成形および冷間成形角形鋼管の脆性破壊,日本建築学会構造系論文集,第494号,pp.129-136,平成9年4月

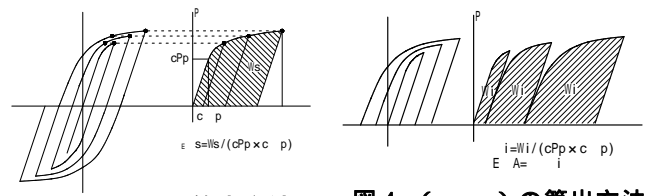


図3 ( $E_s$ )の算出方法 図4 ( $E_A$ )の算出方法  
表2 柱部材の必要塑性変形倍率

構造 ランク	層ラメン 設定値	柱部材				参考	
		脆性破壊	局部座屈など	Ds (柱降伏型)	B/tの 制限値		
	$c_s$	$c_p$	$c_A$	$c_p$	$c_A$		
	7.00	8.4	14	6	10	0.3	23
	3.25	3.9	6.5	1.5	2.5	0.4	28
	2.00	2.4	4	0	0	0.5	41
	1.00	1.2	2	0	0	0.6	-

$\eta$ : 層ラメンの累積塑性変形倍率,  $c_p$ : 柱部材のスケルトン曲線に対する必要塑性変形倍率  
 $c_A$ : 柱部材のパウシガー域のエネルギー吸収を含む必要塑性変形倍率

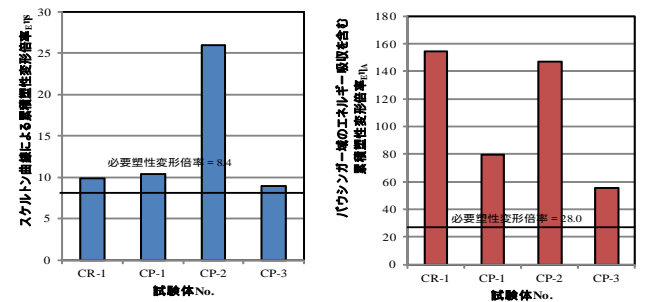


図5 実験結果比較 ( $E_s$ ) 図6 実験結果比較 ( $E_A$ )

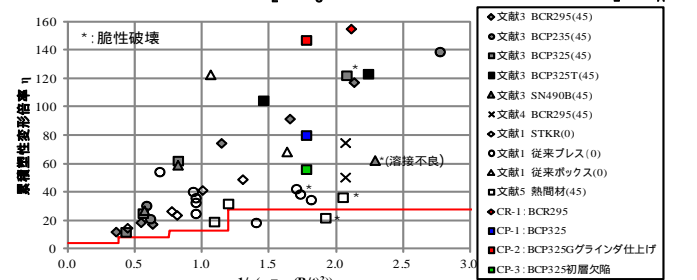


図7 既往の実験データとの比較(文献3より抜粋、一部修正)

\*1一般財団法人ベターリビングつくば建築試験センター・博士(工学)  
\*2東京電機大学理工学部准教授・博士(工学)  
\*3宇都宮大学工学部助教・博士(工学)  
\*4日鐵住金建材(株)・修士(工学)  
\*5千葉工業大学工学部教授・博士(工学)  
\*6京大工学部教授・博士  
\*7社団法人鋼構造協会・工博  
\*1Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr.Eng.  
\*2Associate Prof., School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ., Dr.Eng.  
\*3Assistant Prof., Faculty of Eng., Utsunomiya Univ., Dr.Eng.  
\*4Nippon Steel & Sumikin Metal Products Co., Ltd, Mr.Eng.  
\*5Prof., Faculty of Eng., Chiba Institute of Technology, Dr.Eng.  
\*6Prof., Faculty of Eng., Shinsu Univ., Dr.Eng.  
\*7Japanese Society of Steel Construction, Dr.Eng.