

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 (試験体および実験概要)

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17

正会員 水落 亮輔*1 服部 和徳*2 見波 進*3 中野 達也*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 溶接口ポット
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

25度狭開先を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保有性能を確認する為に実大繰り返し曲げ試験を実施した。その17では、試験体および実験概要について述べる。

2. 試験体

図1に試験体セットアップ図を示す。写真1に試験体形状を示す。試験体は、支持点間距離が4mであり、通しダイアフラムを中央部に配置したビームコラム試験体である。表1に試験体一覧を示す。実験パラメータは、初層部の溶接欠陥の有無および溶接止端部のグラインダー仕上げの有無である。供試材は、-350×22(BCR295)、-550×22(BCP325)の2種の角形鋼管とした。開先角度は25度であり、ルート間隔は4mmとしている。但し、溶接欠陥を人工的に挿入した試験体についてはルート間隔を8mmとしている。

表2に供試材の機械的性質を、表3に供試材の化学成分(ミルシート値)を示す。表2より、CP-2およびCP-3試験体の溶着金属のvEoが47Jであり低い値である。母材のvEoは、200J以上の値であり、高い値であった。

表4に溶接施工条件の測定結果一覧を示す。溶接には、溶接口ポットを使用した。溶接ワイヤはJIS Z3312 YGW18(1.2)を、シールドガスは100%CO₂ガス(流量25L/min)を使用した。入熱量は12~30kJ/cm程度であり、最高パス間温度は191~212であった。

2.2 初層部欠陥

25度狭開先を適用した溶接部の場合、35度開先を適用した溶接部に比べ開先断面が小さい為、ダイアフラム側の初層部に大きな溶接欠陥が誘発する事が危惧される。CP-2およびCP-3試験体には、初層部の溶接欠陥が部材の変形能力に与える影響について検討する為、初層部ダイアラム側に人工的に溶接欠陥(目標寸法:欠陥高さ=6mm、欠陥長さ=48mm)を挿入している(図1参照)。写真2に溶接欠陥挿入状況を示す。溶接欠陥の確認を目的として、超音波探傷試験およびCスキャン超音波探傷試験を実施した。表5にCスキャンにより計測した溶

表1 試験体一覧

No.	B×t (mm)	鋼種	幅厚比	開先角度 (°)	試験温度	R.G. (mm)	溶接欠陥	グラインダ
CR-1	350×22	BCR295	16	25	0	4	無し	無し
CP-1	550×32	BCP325	17			4	無し	無し
CP-2						8	有り (高さ:6mm,長さ:48mm)	有り
CP-3						8	有り (高さ:6mm,長さ:48mm)	無し

B: 外径、t: 板厚、R.G.: ルート間隔、溶接欠陥長さは、3・t/2=48mmを想定した。

表2 供試材の機械的性質

No.	ミルシート値		平板部		角部	溶着金属	HAZ 鋼管側	HAZ ダイアラム側	ダイアラム
	y (N/mm ²)	u (N/mm ²)	vEo (J)	vEo (J)	vEo (J)	vEo (J)	vEo (J)	vEo (J)	
CR-1	384	467	282	268	102	247	291	290	
CP-1	391	525	-	259 ¹⁾	-	136 ¹⁾	86		
CP-2			287	224	47	183			
CP-3									

y: 降伏点(ミルシート値)、u: 引張強さ(ミルシート値)
vEo: 0 シャルビー吸収エネルギー(実験値)3体の平均値
CP-1試験体HAZ(鋼管側)のみ6体の平均値
*1: 加力試験後に、実大曲げ加力試験体の応力的に問題ないと考えられる中立軸近傍より試験片を採取した。
それ以外は、別途製作した素材試験体より試験片を採取した。

表3 供試材の化学成分(ミルシート値)(%)

No.	C	Si	Mn	P	S	N	Ceq
CR-1	0.09	0.17	0.59	0.001	0.001	0.003	0.20
CP-1	0.15	0.22	1.46	0.009	0.002	0.005	0.41
CP-2							
CP-3							

Ceq: 炭素当量

表4 溶接施工条件の測定結果一覧

No.	積層	本溶接条件								最高パス間温度
		平板部		角部		平板部		角部		
		溶接電流 A	アーク電圧 V	溶接速度 cm/min	入熱 kJ/cm	溶接電流 A	アーク電圧 V	溶接速度 cm/min	入熱 kJ/cm	
CR-1	5層6パス	285-312	32-35	30-45	12-20	270-296	31-32	22-45	12-24	191
CP-1		277-315	32-35	27-48	14-23	278-316	32-34	25-44	15-25	186
CP-2	8層10パス	279-315	32-34	21-35	16-29	219-310	26-34	15-33	16-30	206
CP-3		283-315	32-34	20-33	18-30	218-308	26-34	15-33	17-30	212

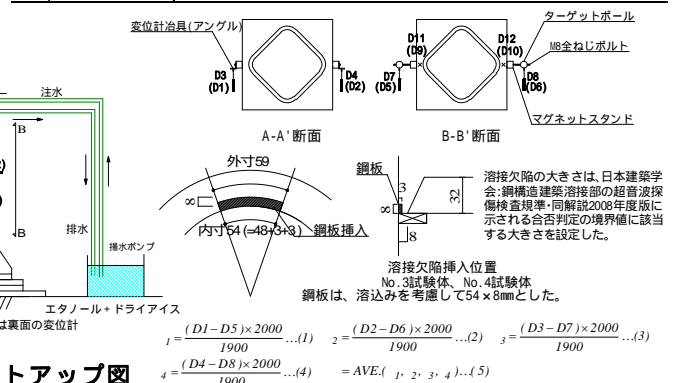


図1 試験体セットアップ図

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

Technical development of automatic arc welding for advancing structural safety of steel building Part17

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

接欠陥寸法の一覧および超音波探傷試験結果を示す。**図2**にCスキンの画像結果の一例を示す。Cスキンの試験片は載荷試験後に実大曲げ試験体より採取をしている。破断箇所からの試験片の採取は困難であったため、中立軸(**図1**のSE部、WN部)よりのみ試験片を採取している。**表5**より、ほぼ想定通りの大きさの欠陥を挿入出来ている事を確認した。

2.3 溶接止端部形状

溶接接合部の変形能力は、溶接ビードの止端部形状が大きく影響すると考えられる。CP-2試験体は、溶接止端部の応力集中を緩和する事を目的として、ハンドグラインダーを使用して溶接止端部を研磨している。**写真3**に、載荷試験前に、角部溶接止端部の形状を歯科用印象材によって採取し、粘土により形状復元をした溶接部の断面写真を示す。**写真3**は、破壊試験において破壊起点となった溶接箇所を示している。**表6**に角部の溶接止端部寸法の一覧を示す。

CP-1およびCP-3試験体は、溶接止端部形状が凸ビードなのに対し、CP-2試験体は凹ビードとなっている。フランク角については、CP-1試験体は147°、CP-3試験体は133°に対し、グラインダー仕上げをしたCP-2試験体は174°に大きくなっている。CR-1試験体については、グラインダー仕上げを施していないが、凹ビードであり、フランク角は166°と比較的大きな値であった。

3. 実験方法

実験は、柱にとって厳しい条件となる45度方向入力を想定した載荷方法をとっている。試験は、1000ton試験機を用いて、両端ピン・ローラー支持とし、3点曲げ加力を実施した。載荷プログラムは、全塑性モーメント c_p に対応する変形量 c_p を基準に、予備加力として $0.5c_p$ を1回、次に c_p の2、4、6、8倍の変形量を各2回与える正負交番繰返し載荷を実施している。また、 $8c_p$ 時にもおいても試験体が破断しない場合は、押し切り加力を実施している。試験中の制御値(実験値)は、式(1)~式(4)により $1 \sim 4$ を算出し、式(5)により $1 \sim 4$ の平均値を用いた。試験は、下向きの1方向加力とし、負側の加力は、正側加力を実施した後、荷重を0に戻し、反転用治具を用いて、試験体の天地を反転する事により載荷を実施した。

試験温度は0とし、管理目標値は 0 ± 5 とした。コラム内に冷媒(エタノール+ドライアイス)を入れて試験体を冷却した。バケツ内で冷媒を作成し、揚水ポンプでコラム内に冷媒を圧送し、試験中は常に冷媒を循環させた。なお、試験体からの放熱を防止する為に、断熱材を試験体に巻き付けている。試験の開始は、試験体の温度が試験温度(0)に到達した事を確認した後、15分保持した後に加力を開始した。

4. まとめ

25度狭開先を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繰返し曲げ試験について、試験体および実験概要を述べた。



写真1 試験体形状 写真2 溶接欠陥挿入状況

表5 溶接欠陥寸法および超音波探傷試験結果一覧

試験体 No.	位置	溶接欠陥寸法		超音波探傷試験結果			備考		
		欠陥高さ	欠陥長さ	SC10-10A70(端部エコー法)欠陥高さ	指示長さ	同時端部欠陥高さ			
CP-2	右 SE	4.0	59	5.2	59	4.1	66	5.0	グラインダー研磨
	右 WN	4.5	60	5.9	58	4.7	66	5.3	
	右 WS	-	-	5.4	60	4.4	58	5.5	
	左 SE	5.3	61	5.6	60	4.7	67	6.8	
CP-3	左 WN	5.5	60	5.7	68	5.2	64	5.5	
	右 SE	4.8	60	10.5	50	3.6	54	5.5	
	右 WN	5.0	60	5.5	74	4.8	68	5.5	
	左 SE	4.8	59	4.9	75	4.7	67	7.0	
	左 WN	5.2	59	5.0	64	4.7	71	5.3	
	左 NE	-	-	9.5	66	4.7	74	6.5	

*溶接欠陥寸法はCスキンの結果である。Cスキンは、載荷試験後に実大曲げ試験体の中立軸(SE、WN)より採取した。ハッチングは破断箇所を示す。位置：図1参照 同時端部エコー法(SC5×10A65)

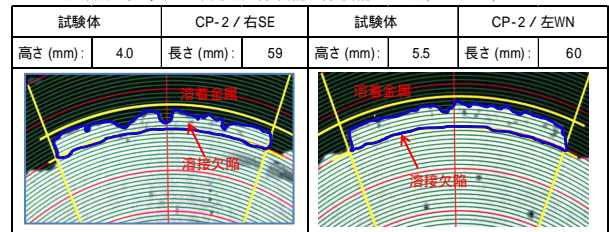
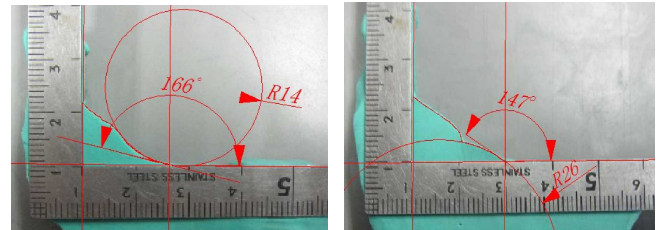
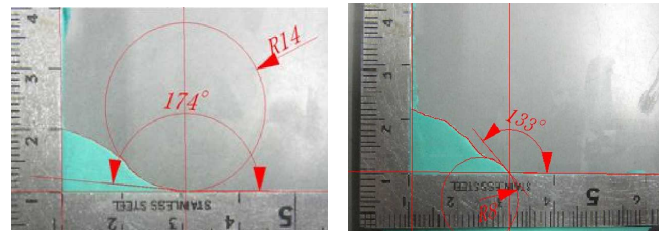


図2 Cスキンの画像結果の一例



CR-1 試験体

CP-1 試験体



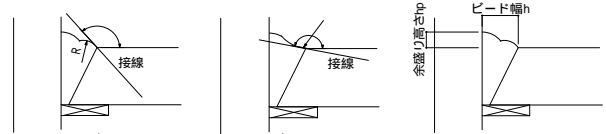
CP-2 試験体

CP-3 試験体

写真3 溶接止端部形状

表6 溶接止端部寸法の一覧

試験体名	曲率半径 p mm	止端余盛半径 R mm	ビード幅 h mm	余盛り高さ hp mm	フランク角 θ deg
CR-1	14	-	16.0	11.0	166
CP-1	-	26	20.0	12.0	147
CP-2	14	-	21.0	10.0	174
CP-3	-	8	20.0	12.0	133



凸ビード 凹ビード
: フランク角, R : 止端余盛半径, p : 曲率半径, hp : 余盛り高さ, h : ビード幅

*1 日鐵住金建材(株)・修士(工学)
*2 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)
*3 東京電機大学理工学部 准教授・博士(工学)
*4 宇都宮大学工学部 助教・博士(工学)
*5 千葉工業大学工学部 教授・博士(工学)
*6 信州大学工学部 教授・博士
*7 社団法人鋼構造協会・工博

*1 Nippon Steel & Sumikin Metal Products Co.,Ltd, Mr.Eng.
*2 Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr.Eng.
*3 Associate Prof., School of Science and Eng.,Tokyo Denki Univ., Dr.Eng.
*4 Assistant Prof., Faculty of Eng., Utsunomiya Univ., Dr.Eng.
*5 Prof., Faculty of Eng.,Chiba Institute of Technology, Dr.Eng.
*6 Prof., Faculty of Eng., Shinsu Univ., Dr.Eng.
*7 Japanese Society of Steel Construction, Dr.Eng.