

電炉鋼材を用いた冷間ロール成形角形鋼管の構造性能
その2 曲げ試験

正会員 服部 和徳*1 板谷 俊臣*2 見波 進*3 中込 忠男*4

電炉鋼材 冷間ロール成形角形鋼管 曲げ試験
変形性能 脆性破壊

1. はじめに

電炉鋼材による冷間ロール成形角形鋼管の部材の曲げ性能を確認する為に実大3点曲げ破壊実験を実施した。その2では部材の曲げ実験について報告する。

2. 試験体

表1に試験体一覧を示す。試験体は、電炉鋼材による冷間ロール成形角形鋼管を用い、板厚40mmの通シダイアフラム(SN490C)を溶接したビームコラム試験体とした。開先形状は35°のレ型開先とし、溶接は溶接ワイヤJIS Z3312 YGW-18(1.2φ)を使用してCO₂ガスシールドアーク溶接とした。試験体□-150は半自動溶接とし、試験体□-250、□-400は溶接ロボットを用いて施工した。なお、本実験では、溶接止端部をグラインダー等による仕上げは実施していない。溶接条件の管理値は、目標入熱を40kJ/cm以下、パス間温度350℃以下でおこなった。実験パラメータは、降伏比Y.R.を高と低の2種類、幅厚比D/t、大、中、小の3種類とした。

図1に試験体図を示す。表2に素材試験結果を示す。

2. 実験方法

荷重は4000kNジャッキを用い、両端をピン、ローラー支持とし、中央のダイアフラムに加力をした。なお、荷重方向は柱にとって条件の厳しい45°方向とした。なお、軸力は導入していない。試験温度は0℃とし、冷却したエタノールを鋼管内に循環させることで温度管理した。荷重パターンは全断面塑性時の変形量cδpを基準に、予備加力として0.5cδpを1回行い、荷重振幅を2cδp、4cδp、8cδpへと漸増させ各振幅2サイクルで正負交番の繰返し荷重を実施した。また8cδpに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た。加力の制御は、図2中の式(1)~式(5)によった。

3. 実験結果及び考察

3.1 実験結果

表4に各試験体の耐力、変形能力に関する実験結果を示す。また、図3に累積塑性変形倍率算出方法を、図4に各試験体のP-δ関係およびスケルトン曲線を示す。ここで、変形能力についてはスケルトン曲線のWsをcPp・cδpで除したEηs、スケルトン曲線のWs+Ws(0.9)をcPp・cδpで除したEηs(0.9)、変位μiを全てのループで合計したηAで評価した。□-400はL、Hともに破断し、□-150、□-250の試験体は局部座屈の発生により耐力が低下した為、実験を終了した。□-150試験体については、溶接止端部に延性亀裂は見られなかった。□-250試験体については、溶接止端部表面(角部：角形鋼管側)に目視により延性亀裂が発

表1 試験体一覧

試験体名	D mm	t mm	D/t	Y.R. %	cPp kN	cδp mm	使用鋼材	試験温度 ℃
□-150-H	150	6	25	92	70	40.29	電炉鋼材	0
□-150-L	150	6	25	80	70	39.88		
□-250-H	250	12	21	89	366	23.55		
□-250-L	250	12	21	83	380	24.45		
□-400-H	400	22	18	90	1634	14.48		
□-400-L	400	22	18	82	1693	15.00		

D:径,t:板厚,D/t:径厚比,Y.R.:降伏比,cPp:全塑性モーメント時の荷重,cδp:cPp時の荷重

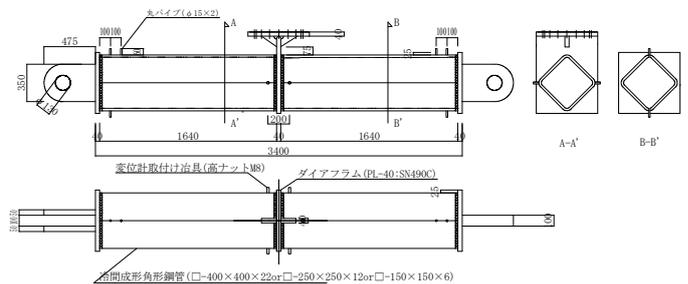


図1 試験体図

表2 素材試験結果一覧

試験片名	採取位置	試験片形状	σy N/mm ²	σu N/mm ²	Y.R. %	εu %	EL. %	vEo J	vBo %	Trs ℃
□-150-H	平板部	S号	398	432	92	11	32	139(278)	0	-89
	角部	14B号	523	545	94	1	16	34(137)	0	-110
□-150-L	平板部	S号	401	499	80	14	34	98(196)	0	-56
	角部	14B号	472	518	91	3	17	30(121)	0	-84
□-250-H	平板部	1A号	383	429	89	19	25	300	0	-68
	角部	14B号	481	516	93	1	18	300	0	-68
□-250-L	平板部	1A号	402	486	83	13	28	231	10	-23
	角部	14B号	477	525	91	3	18	190	10	-11
□-400-H	平板部	1A号	373	414	90	13	31	301	0	-47
	角部	14B号	454	490	93	1	19	302	0	-49
□-400-L	平板部	1A号	395	480	82	14	28	222	6	-22
	角部	14B号	433	489	89	5	26	216	16	-16

*引張試験:3体の平均値 σy:0.2%オフセット耐力,σu:引張強さ,Y.R.:降伏比,εu:一様伸び,EL.:破断伸び
vEo:0℃シヤルピー吸収エネルギー*0)内は、フルサイズ換算値(JIS G3106耐腐書B),vBo:脆性破面率,Trs:破面遷移温度

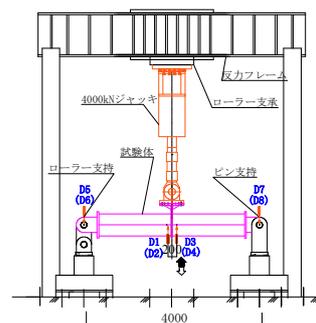


図2 試験体セットアップ図

$$\delta_1 = \frac{(D1 - D5) \times 2000}{1900} \dots (1)$$

$$\delta_2 = \frac{(D2 - D6) \times 2000}{1900} \dots (2)$$

$$\delta_3 = \frac{(D3 - D7) \times 2000}{1900} \dots (3)$$

$$\delta_4 = \frac{(D4 - D8) \times 2000}{1900} \dots (4)$$

$$\delta = AVE.(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4) \dots (5)$$

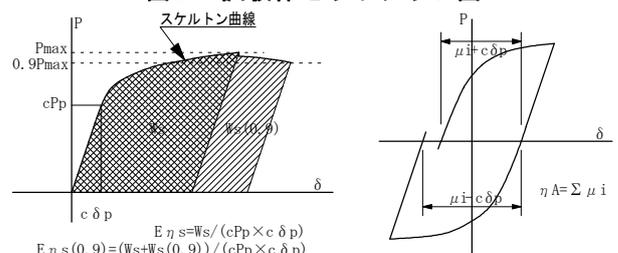


図3 累積塑性変形倍率の算出方法

表3 試験結果一覧

試験体名	終局		ePmax kN	eδmax mm	Ws kJ/mm	α	ε ₁₅	ε _{15(0.9)}	η _A
□-150-H	4cδp(+2)	+	91	168.08	8099	1.30	2.25	2.87	6.06
		-	-79	-160.54	8977	1.13	1.58	3.18	8.99
□-150-L	4cδp(+2)	+	91	160.46	9105	1.30	2.91	3.26	5.94
		-	-81	-160.41	9436	1.16	2.33	3.38	8.48
□-250-H	8cδp(+1)	+	426	140.08	39682	1.16	2.80	4.60	27.97
		-	-447	-141.02	45868	1.22	2.92	5.32	32.26
□-250-L	6cδp(-2)	+	501	146.70	31807	1.32	3.07	3.42	27.35
		-	-473	-147.11	49875	1.24	3.81	5.37	31.16
□-400-H	押切り	+	2131	119.98	127990	1.30	3.20	5.41	64.34
		-	-2057	-117.02	92724	1.26	3.92	3.92	57.38
□-400-L	8cδp(-1)	+	2271	119.76	153480	1.34	6.04	6.04	37.50
		-	-2170	-109.53	136704	1.28	5.38	5.38	43.26

ePmax: 最大荷重、eδmax: 最大変位、Ws: 吸収エネルギー
 α: 耐力上昇率(Pmax/ePp)、ε₁₅: 最大荷重までの累積塑性変形倍率、
 ε_{15(0.9)}: 最大荷重の90%低下したまでの累積塑性変形倍率、η_A: 変形量による累積塑性変形倍率

生している事を確認した。

□-400-Hの試験体は荷重が8cδp付近に達しても耐力が低下しなかった為、押切りを実施した。

3.2 降伏比の影響

図5に、ε₁₅η_s-D/t 関係を示す。図6に一例として、□-400試験体の荷重-変形関係の比較を示す。

図5より、降伏比が低い試験体は、降伏比の高い試験体に比べ、累積塑性変形倍率ε₁₅η_sは高くなる傾向があった。表3より、最大耐力の90%まで評価した累積塑性変形倍率ε_{15(0.9)}ならび変位μiを全てのループで合計したη_Aについては、降伏比の影響は少ないと考えられる。また、図6より、□-400-L試験体の方が□-400-Hに比べ、降伏以降の荷重上昇が大きく、材料特性の違いが顕著に見られる。

3.3 既往の研究成果との比較

図7に累積塑性変形倍率η_Aについて既往の研究¹⁾²⁾との比較を示す。既往の研究は、載荷方向(45度加力)および載荷履歴は、本実験と同様である。異なる点は、供試鋼材(高炉材)、溶接条件(540Mpa級ソリッドワイヤ)や溶接止端部の仕上げ形状(グラインダー仕上げ)、試験温度(明確な記述はないが常温と推定される)、スパン(3528mm~3540mm)である。

D/tが小さくなるにつれて、累積塑性変形倍率は大きくなる傾向は既往の研究と同様であった。また、試験条件が若干相違する為、単純比較する事は出来ないが、本実験と既往の研究成果とはほぼ同等の性能を示している事が分かる。

4. まとめ

電炉鋼材による冷間ロール成形角形鋼管について曲げ試験を実施した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 電炉鋼材による冷間ロール角形鋼管の累積塑性変形倍率η_Aは、既往の実験結果(高炉鋼材)とほぼ同程度の性能を示している事を確認した。
- 2) 降伏比が高い鋼材に比べ低い鋼材の方が、最大耐力までの累積塑性変形倍率ε₁₅η_sは大きくなる傾向があった。最大耐力の90%低下まで評価した累積塑性変形倍率ε_{15(0.9)}については、降伏比の影響は少ない。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 遠藤良治、岡本晴仁、今井章彦、笹治峻、稲岡真也: 斜め入力を受けた場合の建築構造用冷間成形角形鋼管の力学性状に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)1998年9月、pp. 687~690

【謝辞】 実験実施およびデータ整理にあたり、田中宏典氏および藤井康介氏(当時信州大学学生)にご協力頂いた。ここに記して感謝申し上げます。

*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 東京製鐵(株)・博士(工学)
 *3 東京電機大学理工学部 准教授・博士(工学)
 *4 信州大学工学部 教授・工博

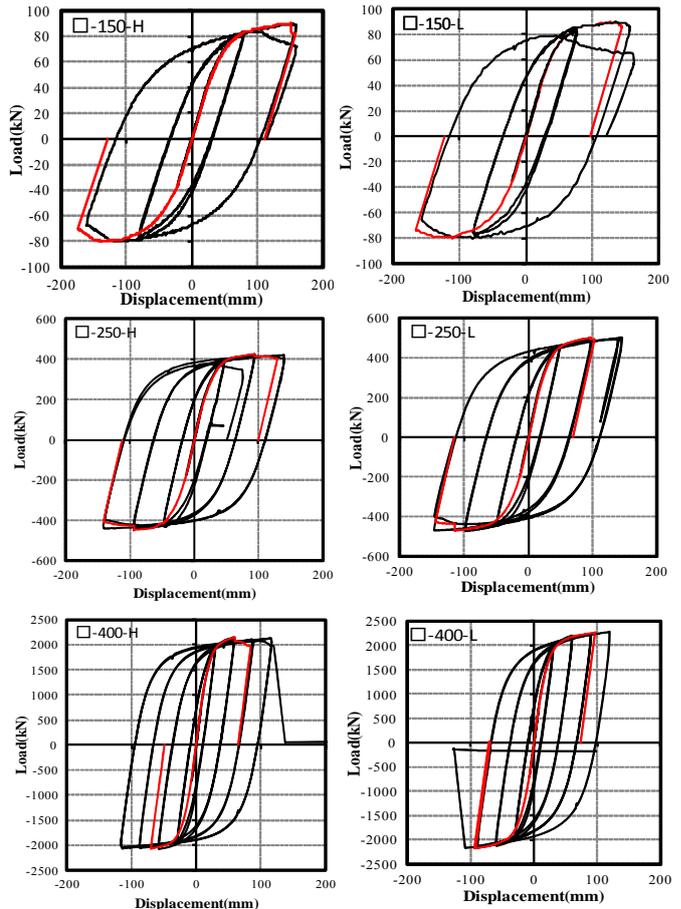


図4 荷重-変形関係およびスケルトン曲線

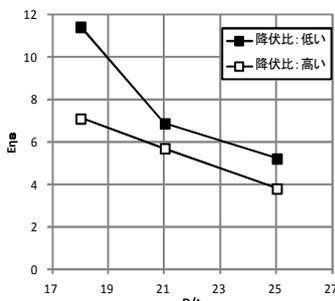


図5 ε₁₅η_s-D/t 関係

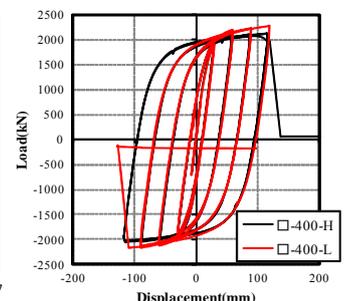


図6 荷重-変形関係

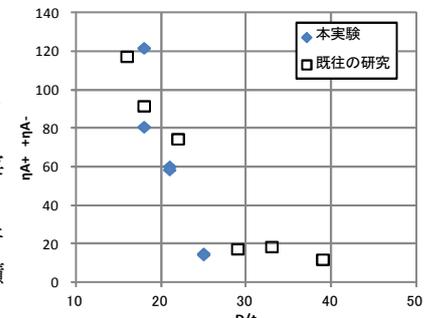


図7 既往の研究との比較

*1 Tsukuba Building Test Laboratory of Center for Better Living, Dr.Eng.
 *2 Tokyo Steel Co.,Ltd, Dr.Eng.
 *3 Associate Prof., School of Science and Eng., Tokyo Denki Univ., Dr.Eng.
 *4 Prof., Faculty of Eng., Shinshu Univ., Dr.Eng.