

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1 材料特性

正会員 板谷 俊臣*1 服部 和徳*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 材料特性
引張特性 衝撃特性 溶接部

1. はじめに

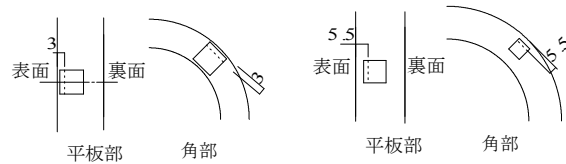
電炉材は主原料が鉄スクラップであり、製鋼時の消費エネルギーやCO₂排出量が少ない鋼材である。これまで電炉平幅平鋼(例えば1)や圧延H形鋼(例えば2)についての研究がなされてきているが、冷間ロール成形角形鋼管についての研究はなされていない。そこで本研究では、電炉鋼材を用いた冷間ロール成形角形鋼管の構造性能について検討した。その1では、材料特性について報告する。

2. 母材性能試験

表1に試験片一覧を示す。試験は化学成分分析、引張試験およびシャルピー衝撃試験を実施した。試験片採取位置は、平板部および角部とした。引張試験片は平板部、角部とも全厚の試験片とし、試験片形状は表1に示す通り、JIS Z 2241:2011(金属材料引張試験方法)に示される形状とした。衝撃試験片は、JIS Z 2242:2005(金属材料のシャルピー衝撃試験方法)に示されるVノッチ試験片とした。ノッチ位置は表面ノッチとした。図1にシャルピー試験片採取位置を示す。

表1 試験片一覧(母材性能試験)

サイズ	化学成分分析	引張試験	衝撃試験
□-150×6	平板部	平板部	-
	角部	5号	
□-250×12	平板部	平板部	平板部
	角部	1A号	
□-400×22	平板部	平板部	平板部
	角部	1A号	



□-250×12 □-400×22

図1 シャルピー試験片採取位置

サイズ	採取位置	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	N	Free N	Ceq JIS	Pcm	f HAZ
□-150	平板部	0.16	0.02	0.40	0.015	0.001	0.34	0.18	0.13	0.02	0.005	0.0043	0.0027	0.26	0.21	0.34
	角部	0.16	0.02	0.40	0.014	0.001	0.34	0.18	0.13	0.02	0.005	0.0048	0.0027	0.26	0.21	0.34
□-250	平板部	0.16	0.02	0.40	0.014	0.001	0.34	0.18	0.13	0.02	0.005	0.0043	0.0027	0.26	0.21	0.33
	角部	0.16	0.02	0.40	0.014	0.001	0.34	0.18	0.13	0.02	0.005	0.0044	0.0021	0.26	0.21	0.33
□-400	平板部	0.16	0.02	0.52	0.018	0.003	0.28	0.16	0.17	0.02	0.014	0.0044	0.0008	0.29	0.21	0.35
	角部	0.16	0.02	0.52	0.017	0.003	0.28	0.16	0.17	0.02	0.014	0.0045	0.001	0.29	0.21	0.34

Ceq JIS=C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

Pcm=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B

fHAZ=C+Mn/8+6(P+S)+12N-4Ti (Tiはトータル窒素を表し、Ti≤0.005%の時は、Ti=0とする。)

表3 引張試験結果一覧(母材)

試験体サイズ	採取位置	σ _y		σ _u		Y.R.	ε _u	EL.
		N/mm ²	角部/平板部(σ _y)	N/mm ²	角部/平板部(σ _u)			
□-150×6	平板部	401	1.18	499	1.04	80	14	34
	角部	472		518		91	3	17
□-250×12	平板部	402	1.19	486	1.08	83	13	28
	角部	477		525		91	3	18
□-400×22	平板部	395	1.10	480	1.02	82	14	28
	角部	433		489		89	5	26

*σ_y: 0.2%オフセット耐力、σ_u: 引張強さ、Y.R.: 降伏比、ε_u: 一様伸び、EL.: 破断伸び

2.1 母材性能試験結果

表2に化学成分分析結果を示す。フリー窒素は30ppm以下であった。これはTi添加と脱ガス処理によるものだと考えられる。

表3に引張試験結果一覧(母材)を示す。図2に応力-ひずみ関係を示す。既往の研究結果と同様、角部は平板部に比べて、0.2%オフセット耐力および引張強さ共に上昇している事を確認した。また、一様伸びは低下している。

表4に衝撃試験結果一覧(母材)を示す。図3に遷移カーブを示す。角部と平板部の0℃シャルピー吸収エネルギーを比較すると、角部の方が若干小さい値を示し、図3より遷移温度も平板部より若干ではあるが高温側へシフトしているが比較的高い値であった。加工硬化している角部の吸収エネルギーが比較的高い結果だったのは、フリー窒素が低減されている為だと考えられる。

3. 溶接部性能試験

表5に試験体一覧を示す。試験体のサイズは、□-400×22とした。溶接試験体は、角形鋼管とダイアフラムを溶接した通しダイアフラム試験体と、角形鋼管を接合した柱-柱試験体を準備した。試験体形状を図4に試験片形状および採取位置を図5に示す。

通しダイアフラム試験体からは継手引張試験体およびDEPO引張試験片を採取し、柱-柱試験体からは、シャルピー衝撃試験片を採取した。試験体一覧(溶接部)を表6に示す。

溶接は、開先角度35度、ルート間隔7mm、裏当て金付きとし、溶接ロボット(下向き)を用いて施工を

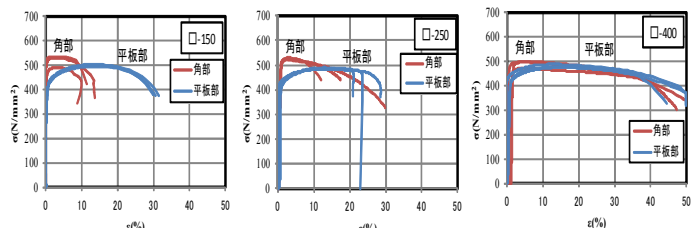


図2 応力-ひずみ関係

表4 衝撃試験結果一覧(母材)

試験体サイズ	採取位置	vE ₀ (J)	vB ₀ (%)	vE _{50%} (J)	vT _E (°C)	vT _S (°C)
□-250×12	平板部	231	10	244	-34	-23
	角部	190	10	247	-11	-11
□-400×22	平板部	222	6	227	-30	-22
	角部	216	16	218	-25	-16

vE₀: 0℃吸収エネルギー、vB₀: 脆性破面率、vE_{50%}: 上部棚吸収エネルギー、vT_E: 吸収エネルギー遷移温度、vT_S: 破面遷移温度

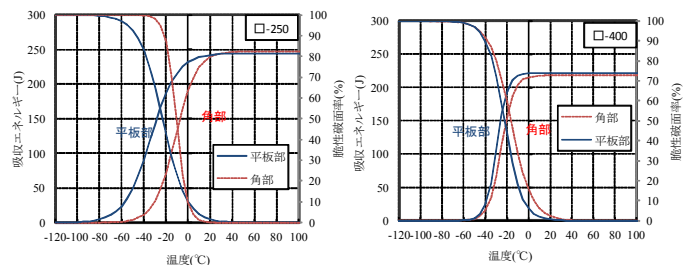


図3 シャルピー試験結果(遷移カーブ)

施した。使用溶接ワイヤはJIS Z 3312:YGW18を使用した。溶接条件は、入熱40kJ/cm以下、パス間温度350℃以下を目標値とし、6層7パスとした。溶接施工条件結果一覧を表6に示す。2パス目、3パス目で目標入熱量40kJ/cmを若干超えている。

3.2 溶接部性能試験結果

表6に引張試験結果一覧を示す。図6に応力-ひずみ関係を示す。十字継手引張試験の破壊性状を写真1に示す。十字継手試験について伸びの計測は歪みゲージを用いて、DEPO引張試験は伸び計を用いて実施した。十字継手引張試験において、破壊は全て母材での破断であった。また、角部と平板部を比較すると、降伏応力ならびに最大応力は角部の方が高い値となった。

表8にシャルピー試験結果一覧を示す。図7に遷移カーブを示す。溶着金属の0℃シャルピー吸収エネルギーは、83Jであり母材およびHAZに比べ低い値である。HAZの0℃シャルピー吸収エネルギーは222Jであり高い値であった。これはTi添加効果によるものだと考えられる。

4. まとめ

電炉鋼材を用いた引張試験および衝撃試験を実施した結果以下の知見が得られた。

- 1) 冷間加工の影響により、平板部に比べ角部の0.2%オフセット耐力は、1.10~1.19倍に、引張強さは1.02倍~1.08倍に上昇した。
- 2) 角部の0℃シャルピー吸収エネルギーは、平板部に比べ若干低下し、遷移温度は高温側へシフトするが、□-250試験体で $vE_0=190J$ 、□-400試験体で $vE_0=216J$ 、□-400試験体(HAZ部)で222Jであり、比較的高い値であった。これは、Ti添加と脱ガス処理によるものだと考えられる。

3) 溶接部十字継手引張を実施した結果、溶接部からの破断はなく、母材破断であった。

【参考文献】

- 1) 藤本盛久、青木博文、中込忠男、寺田真一、脇山広三：電炉広幅平鋼(SM50A)の素材および溶接部の力学的性質、日本建築学会構造系論文報告集、1990年9月pp.89-103
- 2) 嶋徹、中込忠男：圧延H形鋼の溶接性を含む機械的性質—電炉材と高炉材の性能比較—、溶接学会論文集 第23巻 第3号 平成17年8月 pp.442-451

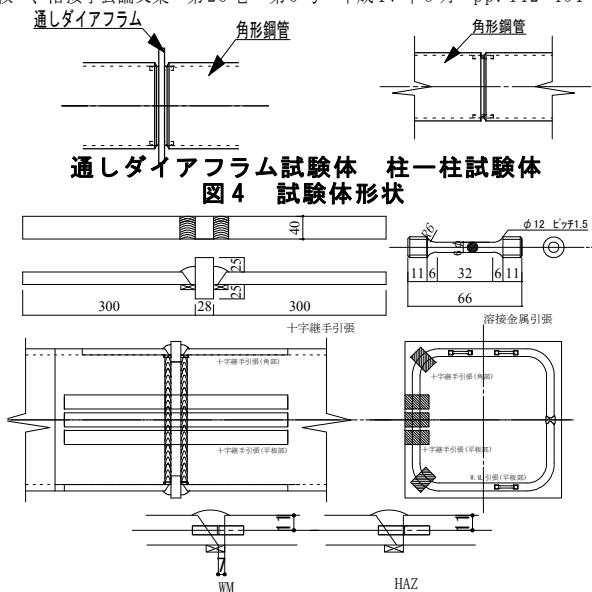


図5 試験体形状および採取位置

*1 東京製鐵(株)・博士(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 信州大学工学部 教授・工博

表5 試験体一覧(溶接部)

試験項目		□-400*22	
		平板部	角部
通しダイア試験	引張試験	3	3
	DEPO	2	
柱-柱継手試験	衝撃試験	6	6
	HAZ	6	6

表6 溶接条件一覧

部位	電流 (A)	電圧 (V)	入熱 (kJ/cm)	パス間温度 (°C)	精磨図
平板部	277 ~ 350	29 ~ 37	18 ~ 41	14 ~ 322	
角部	263 ~ 311	28 ~ 35	19 ~ 42	14 ~ 297	

表7(a) 引張試験結果一覧(十字継手)

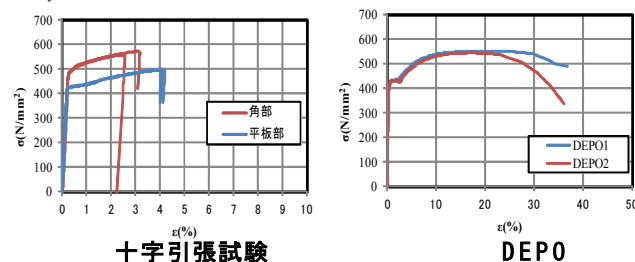
試験体サイズ	採取位置	σ_{max} (N/mm ²)	破断位置
□-400*22	平板部	496	母材(角形鋼管)
		495	母材(角形鋼管)
		497	母材(角形鋼管)
	角部	557	母材(角形鋼管)
		553	母材(角形鋼管)
		572	母材(角形鋼管)

* σ_{max} : 最大応力

表7(b) 引張試験結果一覧(DEPO)

試験体サイズ	採取位置	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Y.R. (%)	ϵ_u (%)	EL. (%)
□-400*22	DEPO	434	544	80	17	30
		432	550	79	19	33

* σ_y : 降伏点、 σ_u : 引張強さ、Y.R.: 降伏比、 ϵ_u : 一様伸び、EL.: 破断伸び



十字引張試験

DEPO

図6 応力-ひずみ関係

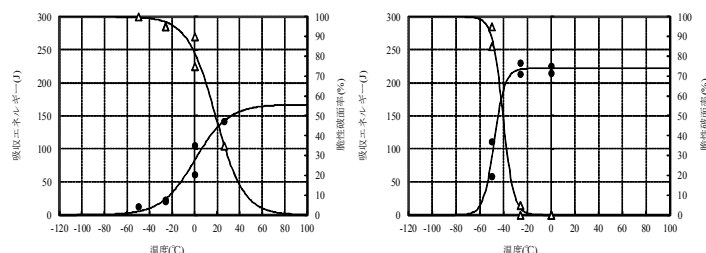


写真1 破壊性状(十字引張試験)

表8 シャルピー衝撃試験結果(溶接部)

試験体サイズ	採取位置	vE_0 (J)	vB_0 (%)	vT_E (°C)	vT_S (°C)
□-400*22	WM(角部)	83	82	0	19
	HAZ(角部)	222	0	-48	-40

vE_0 : 0℃吸収エネルギー、 vB_0 : 脆性破面率、 vT_E : エネルギー遷移温度、 vT_S : 破面遷移温度



溶着金属

HAZ

図7 遷移カーブ

*1 Tokyo Steel Co.,Ltd, Dr.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 Prof., Faculty of Eng., Shinshu Univ., Dr.Eng.