

80キロ(BT-HT620)鋼材の素材・溶接試験(Part I 素材試験)

Material and Welding Tests of 80kgf/mm² (BT-HT620) Steel (Part I)

中野 秀二* 清水 達也**
 Syuji NAKANO Tatsuya SIMIZU

Summary

A material test for 80kgf/mm² steel was conducted in preparation for using it to manufacture four-sided box columns for building steel structures. This paper reports the knowledge of properties such as hardness, tension and impact behavior acquired the test, preheating conditions for welding, product flame straightening conditions and other conditions of the steel.

キーワード：80キロ鋼，材料試験

1. まえがき

80キロ(BT-HT620新日本製鐵製)鋼材を建築鉄骨の四面ボックス柱に使用するに当たり、その鋼材の特性を確認するために素材試験及び溶接試験を実施した。本鋼材は高強度および低降伏比を確保するための熱処理を採用するとともに、溶接割れ防止予熱温度を低減するために、成分設計において炭素の含有率を低く抑え、ボロンは添加せず、銅析出で強度確保を補った予熱低減型高性能鋼である。ここでは第一報として試験の完了した素材試験結果を報告する。

2. 材料仕様および試験計画

(1) 材料仕様

80キロ(BT-HT620)鋼材の機械的性質および化学成分の仕様を表-1, 2に示す。

表-1 機械的性質

降伏点又は 0.2%耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	降伏比 %	伸び %	シャルピー 吸収エネルギー J
620以上	780~930	85以下	16以上	47以上

引張試験 JIS Z 2201 4号 C方向

衝撃試験 JIS Z 2202 4号 L方向 試験温度 0°C

表-2 化学成分

(成分%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.16	0.35	0.60~1.60	0.030	0.015	0.15~1.50
Ni	Cr	Mo	Nb	V	Ceq
0.70~2.00	0.30~0.80	0.20~0.60	0.05	0.60	0.60

数値は以下を示す

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

(2) 試験計画

試験は実施工に使用する、板厚32mmを用いて以下に示す素材試験を行った。供試鋼材のミルシートの値を表-3に示す。

- ① 引張試験
- ② 衝撃試験
- ③ 硬さ試験
- ④ マクロ試験
- ⑤ ミクロ試験・清浄度試験
- ⑥ 成分分析試験
- ⑦ 最高硬さ試験
- ⑧ y形溶接割れ試験
- ⑨ 加熱矯正

* 松本工場製造部生産技術課長

** 松本工場製造部生産技術課

表-3 供試鋼材のミルシートの値

(成分 %)

YP	TS	伸び	YR	衝撃	C	Si	Mn	P
652	828	26	79	218	0.06	0.26	1.32	0.007
S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Ceq	
0.003	1.19	1.45	0.59	0.43	0.02	0.04	0.55	

YP, TS : N/mm² 伸び, YR : % 衝撃値 : J

引張試験 JIS Z 2201 4号 C方向

衝撃試験 JIS Z 2202 4号 L方向 試験温度 0°C

試験の内①~⑧はそれぞれのJIS規格の試験要領で行った。⑨の加熱矯正試験は表-4の変数に従い、図-1に示す試験体より引張試験・衝撃試験・硬さ試験片等采取して行った。加熱要領は加熱範囲をガス炎により所定の温度に到達するまで螺旋状に加熱した。

表-4 加熱矯正試験

最高加熱温度	冷却方法	試験記号
600°C	600°Cから直ちに水冷	K 1
	500°Cから水冷	K 2
	空冷	K 3
850°C	650°Cから水冷	K 4

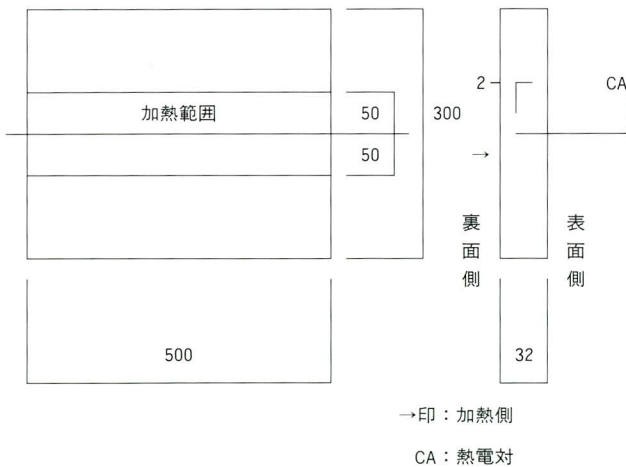


図-1 加熱矯正試験体

3. 試験結果

(1) 引張試験

引張試験の結果を表-5に、丸棒引張試験の応力-ひずみ曲線を図-2に示す。

表-5 引張試験結果

種類	採取方向	採取位置	耐力	引張強さ	伸び	降伏比	絞り
全厚引張	L	全厚	650	830	43	78	--
	C	全厚	671	840	40	80	--
丸棒引張	L	1/4t	661	827	24	80	73
		1/2t	643	829	26	78	73
	C	1/4t	654	835	27	78	72
		1/2t	665	843	26	79	64
Z	--	641	829	24	77	68	

耐力 : 0.2%耐力 N/mm² 引張強さ : N/mm²

全厚引張 : JIS Z 2201 5号 丸棒引張 : JIS Z 2201 4号

Z方向 : JIS G 3199 伸び・降伏比・絞り : %

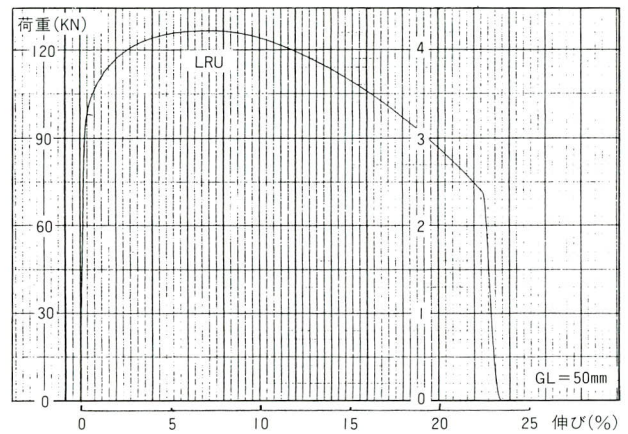


図-2 応力-ひずみ曲線

(2) 衝撃試験

衝撃試験の結果を表-6, 7に示す。

表-6 衝撃試験結果 (L方向)

部位	温度	吸収エネルギー		脆性破面率			
		部位	温度	吸収エネルギー	脆性破面率		
LU	-60	LM	-60	149	38	125	46
	-40		-40	180	14	174	22
	-20	-20	210	0	191	12	
	0	0	212	0	214	6	

採取部位LU：板厚 1/4 t L方向

採取部位LM：板厚 1/2 t L方向

吸収エネルギー : J 脆性破面率 : %

表-7 衝撃試験結果 (C方向)

部位	温度	吸収エネルギー	脆性破面率	部位	温度	吸収エネルギー	脆性破面率
CU	-60	143	41	CM	-60	60	61
	-40	164	17		-40	122	37
	-20	184	10		-20	140	25
	0	201	0		0	154	22

採取部位CU：板厚 1/4t C方向

採取部位CM：板厚 1/2t C方向

吸収エネルギー：J 脆性破面率：%

(3) 硬さ試験

板厚方向の硬さ試験結果を図-3に示す。

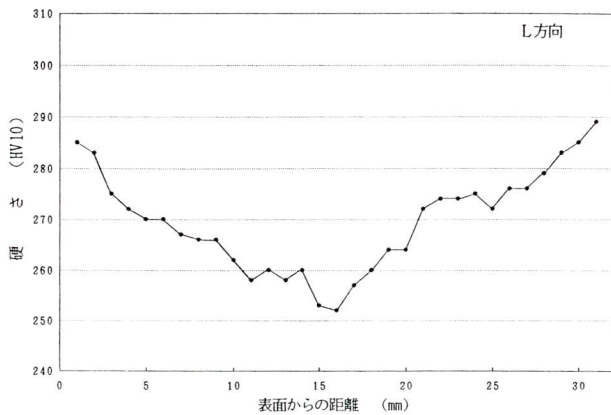


図-3 板厚方向の硬さ分布図 (L方向)

(4) マクロ試験

マクロ写真を写真-1, 2に示す。

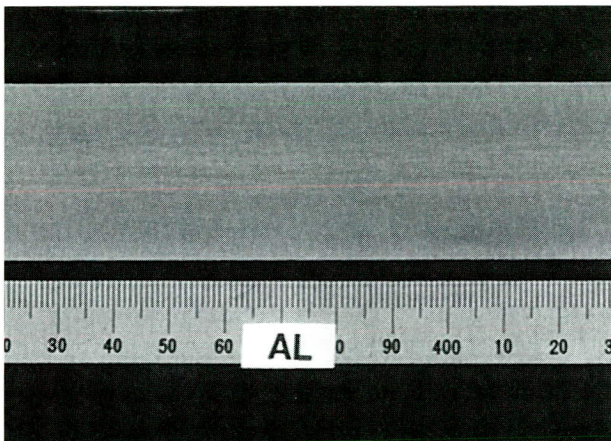


写真-1 マクロ写真 (L方向)

(5) 清浄度試験

清浄度試験結果を表-8に示す。

表-8 清浄度試験結果

板厚	部 位	介在物の種類 (%)			
		A系	B系	C系	合計
32	表面下 2 mm	0	0	0.01	0.01
	1/4t	0	0	0.02	0.02
	1/2t	0.02	0	0.02	0.04

(6) ミクロ試験

ミクロ試験写真を写真-3, 4に示す。

(7) 化学成分分析試験

化学成分分析試験の結果を表-9に示す。

表-9 化学成分分析試験結果 (成分 %)

成分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
1/4t	0.05	0.25	1.33	0.008	0.003	1.27	1.46
1/2t	0.05	0.24	1.31	0.012	0.003	1.26	1.43
成分	Cr	Mo	V	Nb	Ceq	Pcm	
1/4t	0.59	0.43	0.041	0.017	0.55	0.27	
1/2t	0.59	0.43	0.041	0.016	0.54	0.27	

(8) 最高硬さ試験

最高硬さ試験結果を表-10に示す。

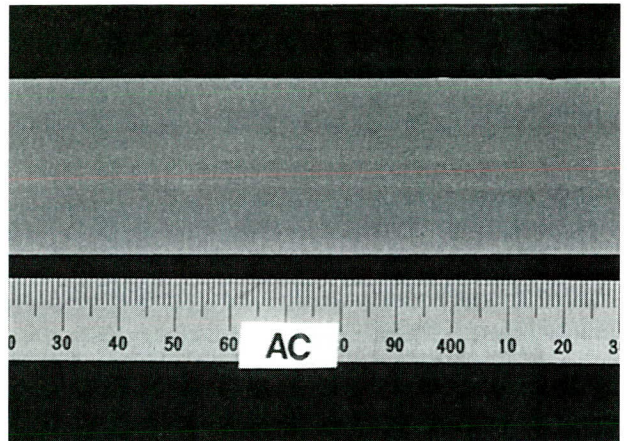


写真-2 マクロ写真 (C方向)


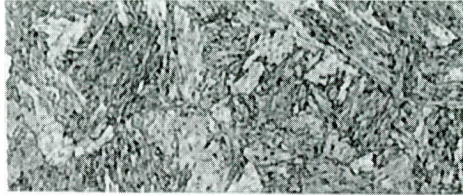

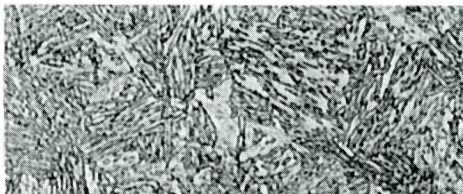

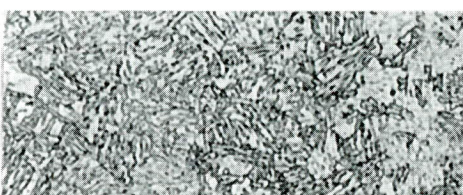
板厚 (mm)	方向	位置	ミクロ組織	
			倍率；100倍	倍率；400倍
32	L	表面下 2 mm		
		1/4t		
		1/2t		

写真-3 ミクロ写真 (L方向)

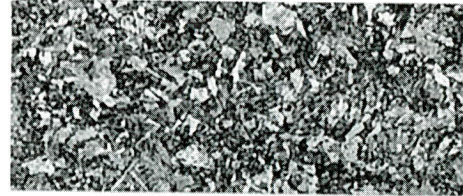


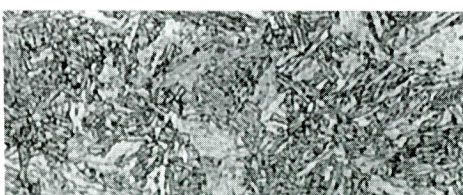

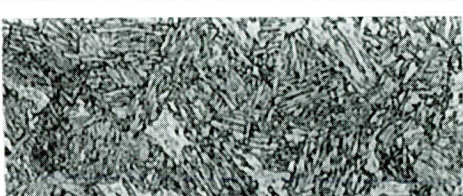
板厚 (mm)	方向	位置	ミクロ組織	
			倍率；100倍	倍率；400倍
32	C	表面下 2 mm		
		1/4t		
		1/2t		

写真-4 ミクロ写真 (C方向)

表-10 最高硬さ試験結果

(ピッカース10Kgf硬度)

試験温度 (°C)	炭酸ガス半自動	手溶接
0	329	346
10	326	353
25	329	351
50	329	350
75	327	348
100	326	338

溶接材料：炭酸ガス半自動 YM-80C 1.2φ

手溶接 L-80 3.2φ

(9) y形溶接割れ試験

y形溶接割れ試験の結果を表-11に示す。

表-11 y形溶接割れ試験結果

試験温度 (°C)	炭酸ガス半自動		手溶接	
	表面割れ	断面割れ	表面割れ	断面割れ
0	78	100	85	100
10	55	96	78	100
25	13	89	64	91
50	0	0	0	31
75	0	0	0	0
100	0	0	0	0

表面・断面割れ率：%

溶接材料：炭酸ガス半自動 YM-80C 1.2φ

手溶接 L-80 3.2φ

(10) 加熱矯正試験

1) 引張試験

引張試験は全厚および、丸棒引張試験体による板厚方向部位別の試験を行った。試験結果を表-12、表-13に示す。採取部位名は加熱側を裏面、その反対側を表面とした。加熱時の温度変化は、加熱面下2mmまであけた2φ穴に熱電対を取り付け、温度時経変化を測定した。測定例K1、K4を図-4、5に示す。

2) 硬さ試験

硬さ試験結果を図-6に示す。

3) 衝撃試験

加熱矯正後の衝撃試験の結果を表-14に示す。

温度(度)

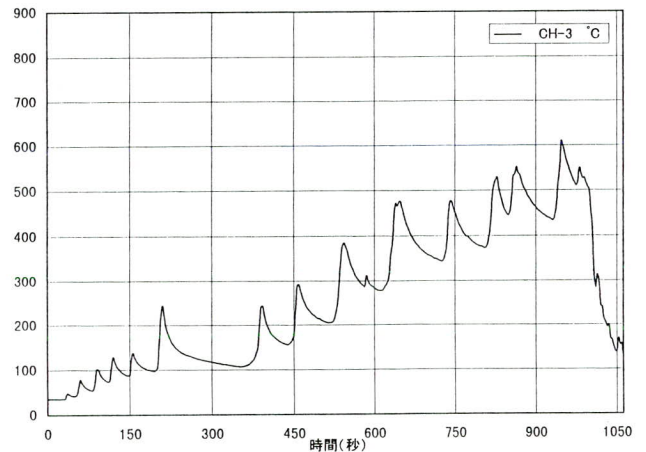


図-4 K1加熱時の時経変化

温度(度)

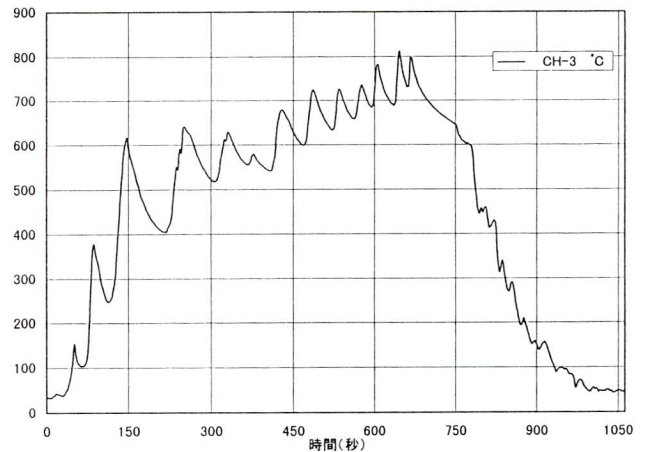


図-5 K4加熱時の時経変化

硬さ (HV 0.05gf)

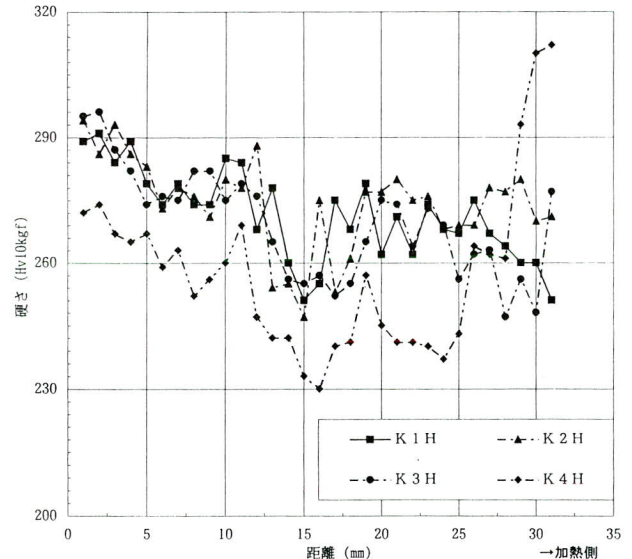


図-6 硬さ試験結果

表-12 加熱矯正全厚引張試験結果

試験種類	耐力 0.2% N/mm ²	引張強さ N/mm ²	降伏比 %	伸び %
K 1	653	831	79	42
	654	831	79	42
K 2	655	827	79	41
	648	825	79	41
K 3	619	812	76	43
	633	812	78	42
K 4	627	792	79	46
	617	782	79	46

試験片：JIS Z 2201 5号

K 1：最高加熱温度600℃、水冷開始600℃

K 2：最高加熱温度600℃、水冷開始500℃

K 3：最高加熱温度600℃、空冷

K 4：最高加熱温度850℃、水冷開始650℃

表-13 加熱矯正丸棒引張試験結果

試験種類	部位	耐力0.2% N/mm ²	引張強さ N/mm ²	降伏比 %	絞り %
K 1	U	666	845	79	72
	C	662	830	80	72
	L	676	823	82	74
K 2	U	668	847	79	74
	C	662	838	79	72
	L	678	829	82	74
K 3	U	664	842	79	73
	C	649	822	79	73
	L	651	797	82	74
K 4	U	643	757	85	76
	C	598	729	82	76
	L	598	753	79	76

試験片：JIS Z 2201 4号

部位 U：表面下1/4t

C：板厚中心1/2t

L：裏面下1/4t

K 1, K 2, K 3, K 4 は表-12に同じ

4. 考察

以上の試験結果を試験項目に従って整理する。

(1) 引張試験

試験片の採取方向あるいは板厚方向採取部位のいずれ

表-14 加熱矯正衝撃試験結果

試験種類	部位	吸収エネルギー J	脆性破面率 %
K 1	U	211	2
	C	212	0
	L	217	0
K 2	U	210	0
	C	204	0
	L	226	0
K 3	U	202	0
	C	209	3
	L	228	0
K 4	U	244	0
	C	258	0
	L	238	0

試験片：JIS Z 2202 4号 試験温度：0℃

部位 U：表面下1/4t

C：板厚中心1/2t

L：裏面下1/4t

K 1, K 2, K 3, K 4 は表-12に同じ

も材料仕様を十分満足し、またミルシートの値とよく一致している。応力-ひずみ曲線は図-2に例示するように、490N/mm²級鋼に見られるような降伏棚がなくラウンドハウス形を有している。例示は丸棒引張試験の結果であるが、全厚引張試験の応力-ひずみ曲線も同様である。

(2) 衝撃試験

シャルピー吸収エネルギーの値は、採取方向L方向、C方向、各々の方向においては板厚1/2t部位、1/4t部位の順であるが、いずれも試験温度-60℃においても材料仕様を満足し良好である。

(3) 硬さ試験

L方向の硬さ分布を図-3に示している。板厚中央部でH_v(10)250程度で、外面近傍より約30低い値になっており、これはC方向も同様である。この傾向は60キロ(H_T-440)鋼あるいはTMCP鋼にも見られるものである。

(4) マクロ・ミクロ・清浄度試験

マクロ試験写真L方向、C方向とも偏析はなく、ミクロ

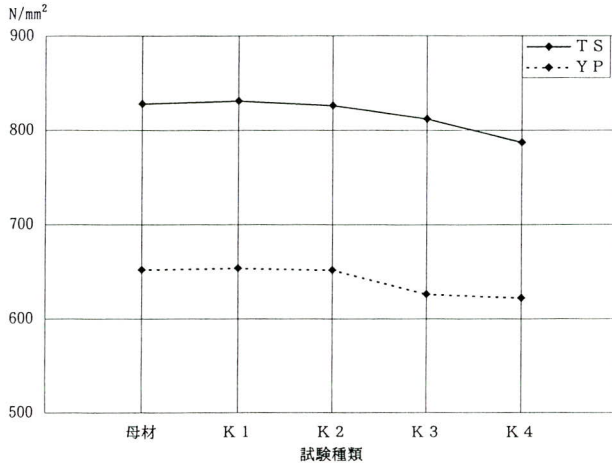


図-7 加熱矯正全厚引張試験結果図

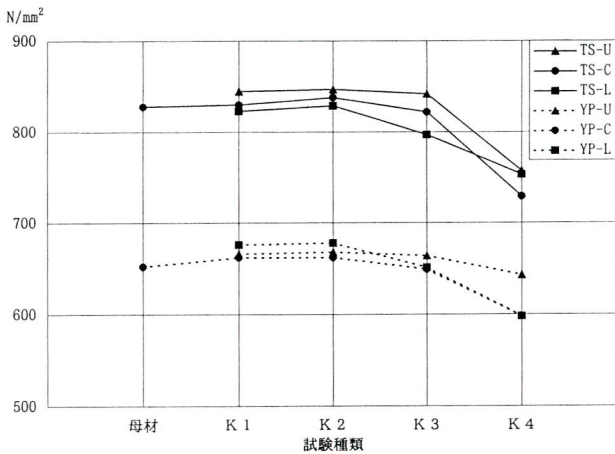


図-8 加熱矯正丸棒引張試験結果図

試験においても、均一な組織が確認され良好であり、清浄度試験とも一致している。

(5) 化学成分分析試験

分析試験結果は材料仕様を満足し、ミルシートの値とも良く合致している。分析部位板厚1/4t部位、1/2t部位に差異はない。

(6) 最高硬さ試験

炭酸ガス半自動溶接においては、試験温度0℃においてもHv(10)350を下廻っている。反面、手溶接においては、試験温度75℃以下ではいずれもHv(10)350前後の値を示している。

(7) y形溶接割れ試験

炭酸ガス半自動溶接では25℃以下、手溶接では50℃以下では割れが発生しており、発生率は手溶接で大きい値を示している。

(8) 加熱矯正試験

1) 全厚引張試験

全厚引張試験の結果は、図-7に表わされており、概ね以下の傾向が把握された。

- ・加熱最高温度600℃においては、冷却開始温度600℃と500℃に差異はない。しかし空冷したものは降伏点(0.2%耐力)、引張強さとも低下する。特に、降伏点(0.2%耐力)の低下が著しい。
- ・加熱最高温度850℃、冷却開始温度650℃においては、降伏点(0.2%耐力)、引張強さとも低下し、材料仕様の下限值に近い場合も発生する。

2) 板厚方向の部位別丸棒引張試験

板厚方向の部位別丸棒引張試験の結果は、図-8に表わされており、概ね以下の傾向が把握された。

- ・加熱最高温度600℃においては、冷却開始温度600℃と500℃に差異はない。しかし空冷したものの裏面側(加熱側)の引張強さの低下が著しい。
- ・加熱最高温度850℃、冷却開始温度650℃においては、降伏点(0.2%耐力)、引張強さとも低下し、材料仕様を下廻る。
- ・加熱最高温度850℃を除いて、採取部位の裏面側・板厚中心・表面側の引張強さの傾向は、反加熱側である表面側で母材値を上廻る。

3) 衝撃試験

衝撃試験の結果は、加熱最高温度600℃においては、冷却開始温度600℃と500℃に差異はなく、母材のミルシートの値218J(表-3)および今回の試験値201J(表-7)とほぼ同程度である。板厚部位では裏面側で高い傾向にある。加熱最高温度850℃、冷却開始温度650℃においては、全ての板厚部位で母材の値を上廻っている。

4) 硬さ試験

加熱最高温度600℃においては、いずれの冷却方法においても、加熱側でHv(10)30程度の硬度低下が発生している。これは、丸棒引張試験の結果と合致している。

加熱最高温度850℃、冷却開始温度650℃では、板厚全体に渡って、Hv(10)20程度の硬度低下が発生し、特に板厚中心部で約10mmの範囲でHv(10)230になっている。この部位の丸棒引張試験の結果は、最も低い値となっている。

5. まとめ

本鋼材は、機械的性能・化学成分は材料仕様を十分満足し、ミルシートの値とも良く一致している。特に、板厚（Z）方向の引張も良好な性能を有しており、マクロ・ミクロ試験および清浄度試験も良好な結果である。

本鋼材を溶接施工する場合の予熱温度については、y形溶接割れ試験の結果より予熱温度は75℃で十分である。また、最高硬さ試験の結果と合わせて考えると、手溶接で溶接する場合はより注意が必要であると思われる。

製作による変形を加熱矯正する場合は、最終調質温度である600℃を上限とし、冷却方法は空冷とせず、水冷とした方が強度確保がなされる。最高加熱温度をSN490級鋼材の上限値である850℃とした場合も、引張強さは低下するものの、全厚引張試験では材料仕様の下限值内に収まっている。いずれの場合も、衝撃性能の低下は発生していない。今回の板厚32mmの加熱矯正試験ではこのような結果が得られたが、それぞれの実工事においては、供試板厚・最高加熱温度・加熱方法・冷却方法をそれ

ぞれの実施工に合わせた試験を行うのが良いと思われる。

以上で報告を終了する、実施工はこれらの試験結果を踏まえ、更に実大ボックス施工試験を実施し、必要なデータを採取してから行う予定である。溶接試験の結果については次回、報告致します。

試験を実施するに当たり、御協力頂いた株式会社フジタ、新日本製鐵株式会社の関係各位に心より感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 成宮隆雄, 青木清, 百瀬敏彦: 最近の高張力鋼強度化方法とHT80について, 宮地技報 NO. 9, 1993
- 2) 岡田忠義: 耐震設計と新しい金属構造材高性能鋼, 建築技術, 1996. 2
- 3) 新日本製鐵株式会社: 建築構造用高性能80K鋼 (BT-HT620鋼板), 1997年 1月

1997. 10. 31 受付

グラビア写真説明

花瀧山2号橋

国道108号は石巻市を起点として秋田県本荘市に通ずる道路であり、鳴子町荒雄湖東側では幅員6mで起伏が激しく、カーブも多い。冬期間は2mもの積雪に見舞われ安全な交通確保ができないうえ、観光シーズンには栗駒リゾート地域の中心となる鳴子温泉郷の交通渋滞が激しいため、新たに荒雄湖の西岸にバイパスを建設しています。

花瀧山工区は鳴子町古戸前を起点として荒雄湖西岸沿いを通り同町寒湖で国道108号に接続する計画で、路線上には橋梁11ヶ所、トンネル6ヶ所があり、その内の花瀧山2号橋を当社が施工しました。

なお、上部工架設の発注が冬期のため積雪に見舞われ、現地代理人は苦勞されたようです。

(田村)

鎖川水管橋

鎖川は東筑摩郡朝日村の山中を源とし、梓川に合流しています。最近では河川敷を利用して、町民の娯楽施設としてパターゴルフ場、ゲートボール場等が設けられていますが、この鎖川水管橋の上下流にもパターゴルフ場等が設けられ、休日には家族連れでバーベキューをする姿が見受けられます。アルプスグリーン道路に架かる中沢橋に寄り添うように架けられた99.6mのスマートでうす緑色の水管橋は、四季の田園風景に溶け込み、行き交う人の目をなごませています。

(鳴沢)