

60キロ高張力鋼使用大型ガーダーについて

埴田清勝*
上野誠**
富田圭一***

I 緒言

最近構造物は次々に大形化を必要とするものが増加する傾向にあるが、これに使用する鋼材の強度レベルを上げて軽量化することは常識となってきた。60キロ高張力鋼はすでに圧力容器、水圧鉄管等*に使用されてその有利性は認められているが、構造物に本格的に使用された例は少いようである。昨年のこの会議に焼準焼戻型60キロ高張力鋼を使用した橋梁*について発表した*が、日本鋼管では調質型60キロ高張力鋼の量産も行っている*ので今回はこれを使用した大型クレンガーダーへの使用例について報告する。

II 使用鋼材

この工事には調質型NKハイテン60およびSM50を使用した。

調質型60キロハイテンは低炭素のSi-Mn系に少量の合金元素を添加し、圧延後加圧焼入設備によって均一な焼入れを行い、さらに熱処理炉で焼戻しを行ったいわゆる焼入れ焼戻し型で、降伏比高く低温靱性ならびに溶接性のすぐれた60キロ高張力鋼で、規格値は表1に示すとおりである。

表 1 規 格

1. 化 学 成 分

化 学 成 分 Max %						
C	Si	Mn	P	S	Mo	V
0.18	0.55	1.50	0.040	0.040	0.30	0.10

* 日本鋼管株式会社 鶴見造船所設計部長

** 日本鋼管株式会社 〃 設計課長

*** 日本鋼管株式会社 〃

* 60キロハイテン使用 西村橋、平野橋

2. 引張試験

板 厚 mm	降 伏 点 kg/mm ²	引 張 強 さ kg/mm ²	試 験 片	伸 び %
13 以 下	46 以 上	60 以 上	1 号 試 験 片	13 以 上
13 超			5 号 試 験 片	20 "
			1 号 試 験 片	16 "
			5 号 試 験 片	25 "

3. 曲ゲ試験

板 厚 mm	曲ゲ半径/板厚	曲 ゲ 角 度
32 以下	1.5	180°
32 超	2.0	

少量のMoの添加と、加圧焼入設備による焼入れのための品質は極めて均一であり、また塩基平炉で造られているので多量生産が可能である。

以下にその製造の概要および性能をのべる。

1. 製造の概要

1) 溶解、圧延

日本鋼管鶴見製鉄所の85T塩基性平炉で溶解、下注ぎで鋳塊とし、手入れ後あるいはスラブ圧延後最大巾2,800mm、最大長さ約12,000mmに圧延する。

2) 熱処理

オシレーティング、ローラー、ハウス型加熱炉で加熱し、加圧水冷式焼入れ設備で焼入れ、オシレーティング、ローラ、ハウス型焼戻炉で焼戻しを行う。

2. 性 能

前述のようにして製造した調質型60キロハイテンの諸性能の一端を20mmおよび30mm鋼板について紹介すれば次の通りである。

1) 化学成分

表2表に示すとおりで、少量のMoの添加は前記の外に溶接われの減少にも寄与している。

表2 化学成分 (%)

板厚	分析	C	Si	Mn	P	S	Mo	V	Sol Al	Ceq
20 mm	リード	0.15	0.40	1.20	0.020	0.014	0.21	—	—	0.419
	チェック	0.16	0.42	1.23	0.018	0.015	0.22	—	0.010	
30 mm	リード	0.17	0.48	1.22	0.019	0.019	0.20	—	—	0.443
	チェック	0.18	0.45	1.30	0.016	0.021	0.22	—	0.013	
規格	Max	0.18	0.55	1.50	0.040	0.040	0.30	0.10		

$$C_{eq} = C + \frac{1}{24} Si + \frac{1}{6} Mn + \frac{1}{40} Ni + \frac{1}{5} Cr + \frac{1}{4} Mo + \frac{1}{14} V$$

2) 機械的性質

引張試験 (JIS Z 2201「金属材料引張試験」の1号および4号試験片による) 結果を表3に示す。

降伏比は概ね80%以上で設計上極めて有利である。

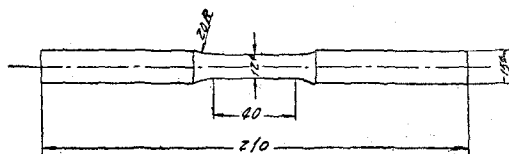
表3 引張試験

板厚 mm	試験片 形状	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	断面収縮 %	降伏比
20	1号	58.1	68.1	16.9		85
		56.3	67.5	16.5		83
	4号	57.2	69.2	26.0	70	83
		57.4	68.4	25.0	69	84
30	1号	50.9	64.7	21.0		79
		52.2	65.1	19.5		80
	4号	54.2	66.8	24.0	68	81
		52.3	65.1	30.5	68	80
規格 (13超)	1号	46 以上	60 以上	16 以上		

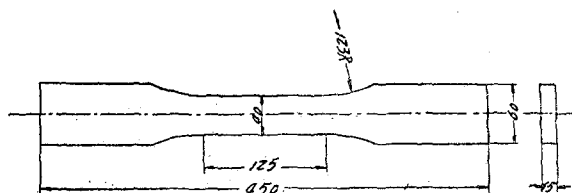
曲げ試験(JIS Z 2204「金属材料曲げ試験」)の結果はいづれも良好であった。

疲労試験は小野式回転曲げ試験機および50 T アムスラー式片振引張疲労試験機を使用して実施した。片振引張疲労試験の下限の荷重は 2.5 Kg/mm^2 とした。試験片の形状をオ1図に、試験結果をオ2図に示す。

回転曲げによる疲れ強さは34
 $\text{Kg/mm}^2 (\sigma_{W0} / \sigma_B = 50\%)$ 、
 片振引張による疲れ強さは46
 $\text{Kg/mm}^2 (\sigma_{W0} / \sigma_B = 68\%)$
 であった。

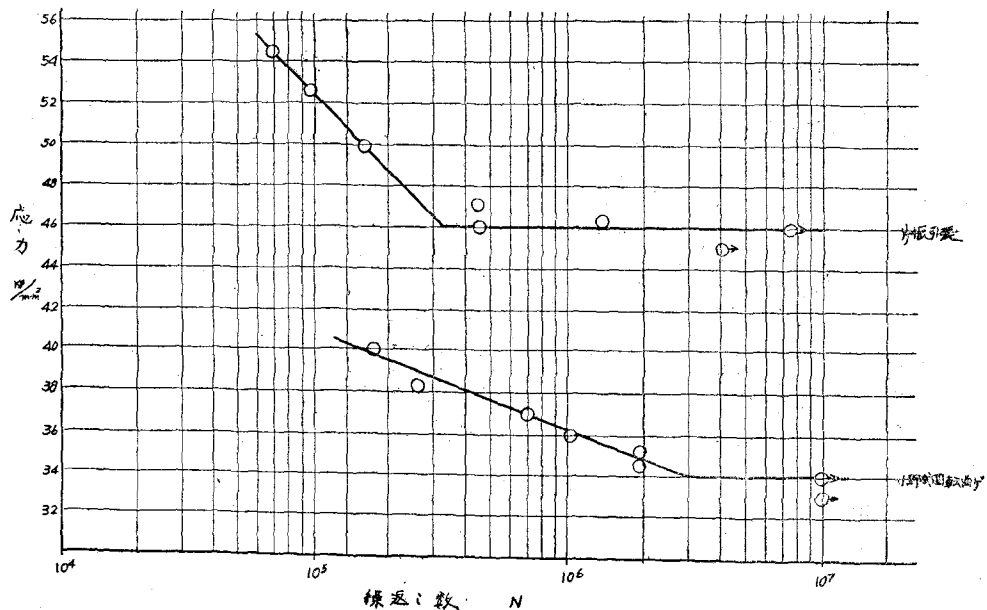


(1) 小野式回転曲げ疲労試験片



(2) 片振引張疲労試験片

第1図 試験片形状



オ2図 疲労試験

3) 切欠 靱 性

母材の標準Vノッチシャルピ衝撃試験結果をFig 3およびTable 4に示す。試験方法はJIS Z 3172「溶接材料の切欠衝撃試験方法」に従い、試験片は1号試験片によった。結果は極めて優秀であり、30mm 銅板について見ても、その吸収エネルギーは -50°C で9Kgmに達しており、WES溶接構造用高降伏点銅板規格^{*}のSH46C（強度と低温靱性を要求される60キロ級高張力銅板）に対する要求値の -50°C で2.0Kgmを遙かに上廻っている。

Table 4 標準Vノッチシャルピ衝撃試験

板 厚 mm	VTr 15	VTrs	VTrE
20	-111	-66	-69
30	-120	-63	-54

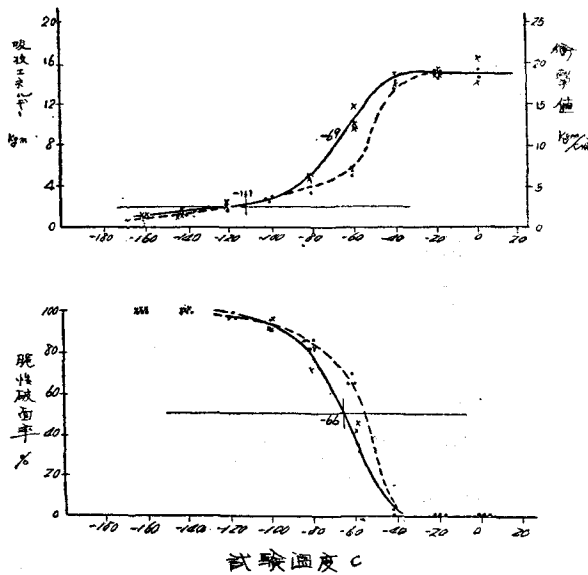


Fig 3 Vノッチシャルピ衝撃試験結果

--- 30mm
— 20mm

Fig 3

* 溶接技術 第9巻 第2号

4) 溶接継手試験

a. 溶接継手部の引張および曲げ試験

試験結果をㄮ5表に示す。引張試験はJIS Z 3121「突合せ溶接継手の引張試験方法」の1号試験片による外、平行部の長い試験片($GL=200\text{ mm}$)についても実施した。

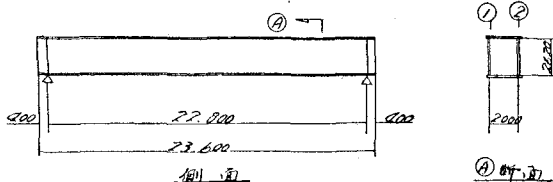
ㄮ5表 溶 接 継 手 試 験

板 厚 mm	引 張 試 験					曲 ゲ 試 験		
	試 験 片 形 状	降 伏 点 Kg/mm^2	引張強サ Kg/mm^2	伸 ビ %	破 断 位 置	自 由 曲 ゲ		側曲ゲ
						180°曲ゲ	伸 ビ	
20	1号	—	68.7	—	母 材	良	—	良
		—	67.0	—	"	"	50	"
	GL=200	53.1	65.0	18	"	"	—	"
		53.7	64.1	16	"	"	50	"
		—	—	—	—	—	—	—
30	1号	61.4	71.0	—	"	"	—	"
		61.7	70.9	—	"	"	65	"
	GL=200	55.1	67.3	19	"	"	—	"
		—	—	—	—	—	70	"
		54.8	67.0	24	"	"	—	"

曲げ試験はJIS Z 3122「突合せ溶接継手の型曲げ試験方法」によるものとJIS Z 3123「突合せ溶接継手の自由曲げ試験方法」による自由曲げを実施した。溶接棒はLB62を使用し、いずれも良好な結果を得た。

b. 溶接継手のかたさ分布

ピッカース硬度計(荷重10Kg)で測定したが、厚さ30mm鋼板においてさえ270を超えなかった。



第 5 図

Ⅲ 構 造 設 計

1. 設計概要

本工事は当社水江製鉄所転炉工場のクレンガーダーで、120トンのレールクレンを支持するので、設計荷重としては200トン以上のクレンに匹敵する重構造である。今回の工事は増築で、既設の分はSM50を使用している。しかし今回はスパンが長く、これを前と同様に設計するとIビーム1本の重量がデリックの制限荷重20トンを超過し、架設費が高く作業も困難となる。またフランジの最大板厚も45mmとなり工作上も困難となる。そこで今回は60キロと50キロハイテンを併用し、ガーダーの形式もIビーム2本をやめてボックス型とした。

2. 設 計

一般寸法は㉔4図に示すとおりで

ボックス型となっている。

㉔5図に示す荷重が移動して働くものとし、衝撃係数は鉛直方向20%、水平方向10%とする。

許容応力度はSS41のときの2倍の引張応力度をとった。

今回製作したのは㉔6図に示すとおりであるが、比較のためにSM50のみで設計した寸法を同じ図のカッコに示す。また参考の

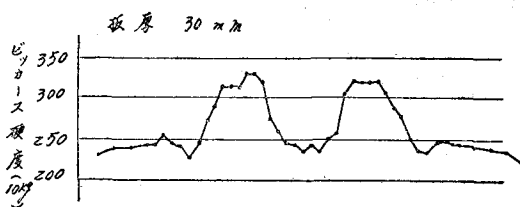
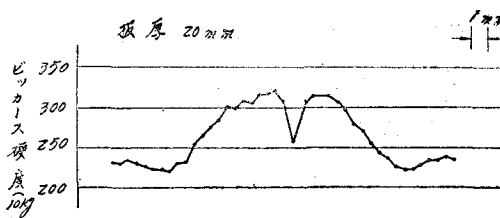
ためにIビームで設計し

た場合についても60キ

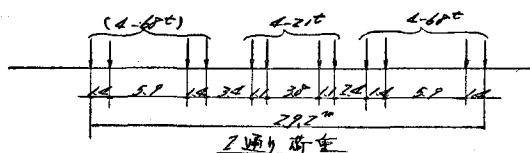
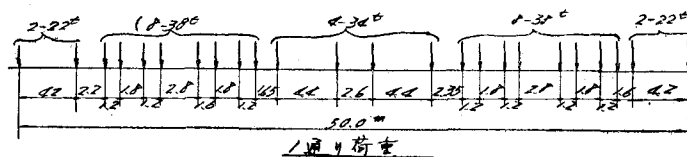
ロハイテン使用のときと、

50キロハイテンを使用

する場合について㉔7図



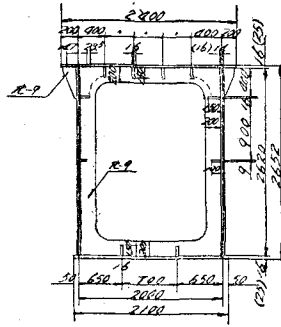
㉔4図 溶接熱影響部の最高タカサ



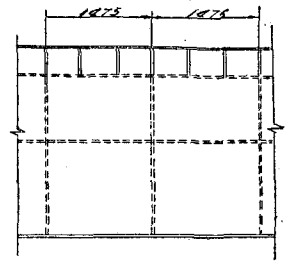
第 6 図

3. 各種材質および各種形式 による設計の重量比較

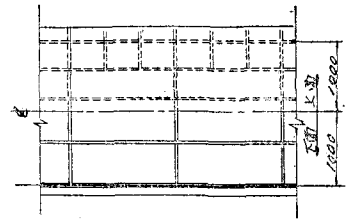
前述のような各種設計のガーダーについて、一台分の重量を比較すると表6のとおりとなる。今回ののは前回の形式と材質に比べて36%も重量が軽減されたことになり、経済的にも有利となっている。60キロハイテンを使用してもIビーム型式よりボックス型式の方が重量軽減率が大きいのは、前に述べたように架設時の重量を20トンに制限されたためにボックスガーダーの方が継手が少なくなったからである。



断面



側面

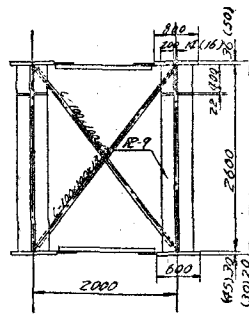


平面

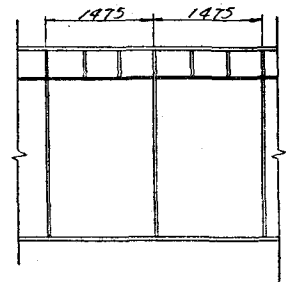
ボックスガーダー

60HTの場合を示す。
SM50の場合は()で示し
他は60HTの場合と同じ。

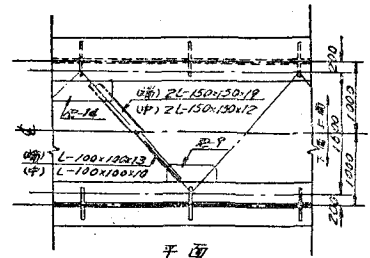
表 7 図



断面



側面



平面

I形ガーダー2台

60HTの場合を示す
SM50の場合は()で示し
他は60HTの場合と同じ。

表 8 図

表6 重量比較表

		I 形ガーダー SM50	ボックスガーダー SM50	I 形ガーダー 60HT	ボックスガーダー 60HT
総重量	60HT			30.295	21.702
	SM50	40.729	35.291	5.138	9.566
	SS41	19.685	16.513	14.137	7.474
	計	60.414	51.804	49.570	38.742
60HTによる重量軽減分				10.845	13.062
ボックスガーダー形式による重量軽減分			8.611		10.828

IV 工場製作

1. 一般

本鋼種の工作については以前から諸種の試験や調査を続けてきたが、工事着手前に次の施工方針を定めた。

1) 標示

60キロハイテンと他の材質と混同しないため小形部材に至るまで次のように白ペンキで見え易い位置に記入する。

SM41クラス……………記入せず

SM50クラス……………㊾

60キロハイテン……………㊿

2) ガス切断

器具、方法とも軟鋼材の場合と同様に行う。ただしできるだけ自動切断器を使用し、切断部に凹凸を生じた場合は手直し後グラインダー仕上を行う。

3) 孔明け

すべてドリルで行い、高速度鋼2種のきりを使用する。

4) はつり

工具は軟鋼材と同様のものを使用し、ガス切断部を除去するときは硬化層が削りにくいのでグラインダーを用いるか、原質部から削り取る。

5) 線状加熱

ガス焰を用いた線状加熱はできるだけさけるが、止むを得ぬ場合に限り加熱速度4mm/秒(表面温度約600℃)以下で施工する。この場合は表面温度計測チャークを作業者に持たせて温度

管理を行う。

6) 仮 付

仮付は取付工などにはまかせず溶接工が行い、ショートビードに注意する。

7) 溶 接

ユニオンメルト溶接では、焼成型溶剤 P F H 6 0、芯線 N o. 4 3 を使用し、手溶接では L B 6 2 を使用する。従事する溶接工は溶接棒の作業性と施工上の注意点について特別教育を施す。

溶接による治具取付はきずを残しやすいので留意すると共に最小限にとどめる。

8) その他の工作についても全般的に軟鋼の場合と大差ないが、特に慎重に取扱うように作業者に注意し、疑問を生じた場合は担当技師に連絡するよう徹底する。

2. 孔明およびはり作業

60 キロハイテンに適するドリルの材質については検討の余地があるが、S K H 2 を使用すると摩耗が著しく 5 0 ～ 6 0 本孔明後に研磨を要する。このときの能率は 3 0 % 位低下する。普通 H T を使用して板厚の増加は降伏比によって減じるので、次式により能率が計算できる。

$$\frac{60 \text{ H T 孔明時間}}{\text{M S 孔 明 時 間}} = \frac{112}{87} \times \frac{23}{46} = 0.65$$

3. 仮付および手溶接

仮付および手溶接には L B 6 2 を使用した。仮付には 4 mm 棒を、本溶接には 4 および 5 mm 棒を使用し、一部手溶接には 3.2 mm を使用した。溶接棒の乾燥は容量 8 0 K g の電熱炉で 3 0 0 ～ 3 5 0 ° C 2 時間以上行い、作業場での吸湿を考慮して受出し量を制限し、午前および午後一回は必ず乾燥したものを渡し、この間に使用しきれないものは再乾燥した。

仮付作業は溶接工が行い、アークストライクやビード長さ、すみ肉溶接に生じやすいアンダカット等に注意するよう、特に次の点を指示した。

- 1) アークストライクに注意し、必ず開先内でスタートする。
- 2) ビード長さは仮付、手直しにかゝらず 5 0 mm 以上とする。
- 3) ブローホール防止のため後退スタート法を用いる。
- 4) 下向水平すみ肉溶接の一層溶接は脚長 6 mm までとし、4 mm 棒を使用する。6 mm を超える脚長では多層盛とするが、この場合も最終ビードには必ず 4 mm 棒を使用する。

4. 自 動 溶 接

すみ肉および突合せ溶接とも自動溶接可能のものはすべて P F H 6 0 × N o 4 3 の組み合わせで施工した。

予備試験で求めたPFH60の性能は従来の熔融型溶剤に比べて作業性に若干の難点が認められたが、機械的性質は良好であった。従来のG80と比較すると表7の如くなる。溶接速度は速くするとビード外観を損うため遅い。衝撃値は極めて高い。

表7 自動溶接試験結果

(1) 溶接条件

板厚mm	層	芯線	溶剤	電流(A)	電圧(V)	速度($\frac{\text{mm}}{\text{min}}$)
30	Back	#40 $\frac{1}{4}"\phi$	#80 20×D	960	32	260
	Finish	"	"	1,170	35	250
30	Back	#36 $\frac{1}{4}"\phi$	"	990	32	260
	Finish	"	"	1,170	35	250
30	Back	#43 $\frac{3}{16}"\phi$	PFH 60	920	33	210
	Finish	"	"	1,090	34	210

(2) 接手引張及び曲げ試験結果

試験片	引張試験			側曲げ	自由曲げ試験	
	降伏点 (Kg/mm^2)	引張強さ (Kg/mm^2)	破断位置		伸び(%)	曲げ后
40-80	58.2	69.4	母材部	良好	21.3	良好
	59.0	69.4	"	"	27.3	"
36-80	61.8	69.4	溶接部	"	48.8	"
	64.3	70.4	"	"	30.6	"
43-PFH60	57.1	65.9	溶接部	"	38.5	"
	60.8	68.5	"	"	36.0	"

(3) 2mm Vノッチシャルピー試験結果 (0°C)
 Kg. M/cm^2

試験片	1	2	3	平均
40 - 80	4.4	4.6	4.9	4.5
36 - 80	3.0	2.5	3.5	3.0
43 - PFH60	5.5	6.7	6.1	6.1

溶接上の注意事項は次の如くである。

1) 予熱を特に行はないが、開先内の水分を除去するために必要な加熱を行う。溶接前に開先をグラインダやワイヤブラシで入念に磨く。

2) 溶剤の吸湿に特に留意し、回収には必ず回収機を使用する。

3) 溶剤の粒度が溶接外観に敏感に影響するので、これに注意し、こまかくなったものは32メッシュのフルイで選別して使用しない。

4) 溶接線の水平度を維持し、 3° 以上の傾斜があった場合は作業は行はない。僅かな勾配でも下り溶接は行はない。

以上の注意により施工した結果は極めて良好であった。各継手のスタート側およびクレータ側をX線検査したが1級であった。

5. 歪 取 り

溶接完了後の歪発生状況は同種のSM材を使用したガーダーに比べて少く、目立つものが見られなかった。

I型ガーダーのウェブとフランジのすみ肉溶接による角変形を見込んでフランジに逆歪をとったがフランジ厚36mmのものについては殆んどその必要がなかった。フランジ厚19mmについては逆歪量は2mm位でよい。

このほかスチフナーを溶接したときにあらはれるウェブプレートの大きな歪やガーダー全体の縦曲りについても、軟鋼を使用した他の同様なものよりも歪は小さく、特に大掛りな歪取り作業の必要がなかった。

V 結 語

本工事に使用した鋼材は降伏点が高く、切欠靱性、溶接が共にすぐれていて、WES溶接構造用高降伏点鋼板規格のSH46C(強度と低温靱性を要求される60キロ級高張力鋼)を十分に満足する性能を有している。

これらの諸成績からこの60キロ高張力鋼は溶接構造用に好適で、大型重構造物に活用すれば有効である。