

「60キロハイテンを使用した落接橋」

日本鋼管株式会社 上 野 誠
 鶴見造船所鉄構設計課 成 瀬 泰 雄
 “ “ 森 国 夫
 “ 鉄構計画課 三 神 昭 五

50キロハイテンは数年来各種鋼構造に広く利用される様になった。最近になつて橋梁界においても更に強力で溶接性のよい高張力鋼の使用が話題に上つているが未だ我国では使用の実績がない様である。

我々も高級高張力鋼の橋梁その応用に努力してきた結果本年60キロハイテンを使用した溶接橋を製作し架設が完了したのでその概要を報告する。

1. 60キロ高張力鋼について

1. 概 説

ここに述べる60キロ高張力鋼とは日本鋼管KKで製造しているNKK60キロハイテンのことである。その化学成分は才1表に示す通りで従来のSi-Mn系の高張力鋼にNi・Cr・Mo・Vなどを少量添加し熱処理としては焼準焼戻し型(Normalizing and Temper)で所要の機械的性質と低温靱性をしたせたことを特徴としている。即ちNi・Crにより靱性を高めMo・Vの組み合わせ添加により熱影響部の硬化と応力除去焼鈍による脆化を防いでいる。このハイテンは塩基性平炉によつて作られており大量生産が可能である。

機械的性質は才2表の通りで降伏点及び降伏比が高いのでこれを利用すれば効率のよい設計と鋼材重量の大巾削減が可能である。

才1表化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
社内規格	≦0.16	≦0.55	≦1.35	≦0.04	≦0.04	≦0.60	≦0.40	≦0.30	≦0.15
実 例	0.14	0.42	1.11	0.022	0.026	0.49	0.15	0.22	0.14

才2表機械的性質

板 厚 m/m	引張強さ Kg/mm ²	降伏点 Kg/mm ²	伸 び %	降 伏 比 %	シャビー衝撃値 0℃ Kg m/cm ²
社内規格	≧60	≧46	≧16	—	≧6.0 Kg m/cm ²
9	61.4	51.7	24	84.2	—
12	60.3	49.0	23	81.3	20.5
16	61.2	49.1	24	80.3	
20	62.2	48.7	26	78.3	18.6
26	60.9	47.0	27	77.3	
32	60.3	46.5	27	77.2	18.0

2. 各種の試験結果

この鋼材について行つた材料試験及び溶接性試験の結果を次に述べる。

(1) 引張り試験

結果を才2表に示す。板厚の増加に伴つてわずかに強度が下がり気味の傾向を示しているが降下点、引張り強さ、伸びともに良好な成績と示した。

(2) シヤルビー試験

母材のVノッチシヤルビー衝撃試験の結果を才3表に示す。表にみる如く充分な切欠き靱性をもっている。

才3表 衝撃試験結果

板 厚 m/m	E ₀	Tr 15	Tr s
	Kg m/cm ²	℃	℃
12	20.5	-60	-20
20	18.6	-54	-18
32	18.0	-55	-10

(3) 顕微鏡組織

組織はフェライト及びパーライトの微細化組織である。オーステナイト結晶粒はNo5以上の細粒鋼である。

(4) 応力除去焼鈍の影響

625℃炉冷の応力除去焼鈍の影響について試験した結果を才4表に示す。表にみる如く応力焼鈍の影響は極めて軽微であり問題はない。

才4表 応力焼鈍の影響

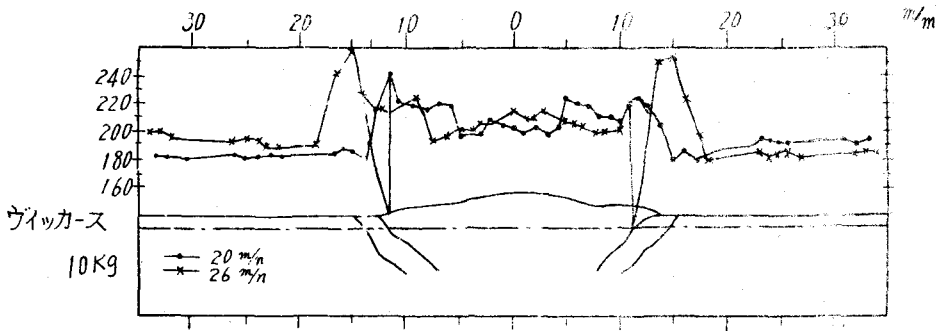
板 厚 m/m	処 理	引 張 試 験				V シヤルビー 衝 撃 試 験		
		引張強度 Kg/cm ²	降 伏 点 Kg/cm ²	伸 び %	降 伏 比 %	E ₀ Kg m/cm ²	Tr15 ℃	Trs ℃
20	SR前	61.6	52.8	26	85.8	25.5	-80	-30
	SR後	61.1	52.6	25	86.2	22.7	-68	-25

(5) 熱影響部最高硬さ試験

JIS Z 3101 (溶接部の最高硬さ試験方法) による熱影響部の硬さ試験の結果を才1図に示す。

板厚は26 m/m 及び20 m/mである。強度の割合に最高硬度は高くない。

第1図 熱影響部硬さ



(6) コマレル試験

JIS Z 3161 (溶接ビードの曲げ試験) によるコマレル試験の結果を才5表に示す。表から見られる様に極めて優秀な成績が得られた、いずれの試験片も120°に曲るまで全くキ裂の発生がみられなかった。溶接棒はLB62の4φを使用した。

才5表 コマレル試験結果

温度℃	- 20		0		+ 20	
板厚 m/m	曲げ角度 °	横収縮率 %	曲げ角度 °	横収縮率 %	曲げ角度 °	横収縮率 %
20	120	3.9	120	4.1	120	4.2
26	120	5.3	120	5.3	120	5.4

(7) CTS割れ試験

20m/m と 26m/mの鋼板を使用したCTSの割れ試験の結果は全く割れを認めなかった。

(8) 歪時効試験

20m/mの板で3%、5%の引張永久歪を与え250℃で30分間人工時効させた場合のVノッチシャルピー試験結果を才6表に示す。歪時効による靱性の低下も心配される程ではない。

才6表歪時効試験

板厚	歪量%	Vノッチシャルピー試験		
		BoKgm/cm ²	Tr15℃	Tr5℃
20	0	25.5	-80	-30
	3	24.8	-65	-11
	5	22.1	-60	-11

以上の通りこれら多くの試験値はNKK60キロハイテンの溶接橋梁の使用の妥当性を裏づけるものでありこの結果に基づいて実際の使用に踏み切つたのである。

3. 施工法決定のための諸試験

1. 溶接棒

溶接棒については、従来他の鋼材を用いて実施した諸試験の結果から神戸製鋼所製のLB62を採用した。

LB62の溶着金属試験結果をオ7～8表に示す。

オ7表 LB62の溶着金属成分

	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo
範 囲	0.05 ～0.10	0.80 ～1.10	0.40 ～0.75	≤ 0.020	≤ 0.020	0.50 ～0.70	0.16 ～0.28
試 験 例	0.06	0.93	0.62	0.012	0.010	0.06	0.22

オ8表 LB62溶着金属の機械的性質

	降 伏 点 Kg/mm ²	引張強サ Kg/mm ²	伸 び GL=50%	VシャルピーE ₀ Kg/cm ²	備 考
範 囲	≥ 50	60～65	≥ 22	≥ 18	溶接のまま
試 験 例	53.8	64.7	29.4	22.8	
	51.2	62.3	30.2	24.6	620℃×1 Hr 炉冷

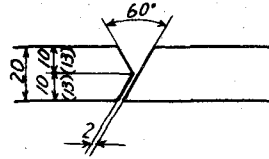
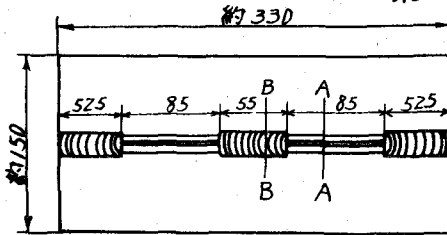
LB62は表から見られるようにNi-Mo系の溶着金属を作る低水素溶接棒である。その作業性は、作業性試験の結果50～55 Kg/mm²級のMn-Si系高張力鋼用溶接棒と比較して僅かに劣るだけで、実際にはさしつかえないことが判明した。また、下向および水平スミ肉溶接のさいの作業性、ビード形状ならびにスラグの剝離性については、LB32のような型の下向、水平スミ肉用低水素溶接棒と比較して相当不満があつたが、この問題はLB62Fの出現により、解決はちかいものと考えている。

橋梁とくにプレートガーダー橋の場合には、ウェブとフランジの溶接は下向スミ肉（ポジショニングを行ふ）、ウェブとスチフナーは水平スミ肉で行なわれることが多いので、60キロ級高張力鋼の橋梁への普及のためにはこの種の溶接棒の改良が要望される。

2. 鉄研式割レ試験

NKK60キロ 高張力鋼について、LB62の4mm棒を使用して行なつた鉄研式割レ試験（オ3図参照）の結果は、板厚20mmおよび26mmで全く割レを認めなかつた。割レは肉眼および磁気検査で調査した。溶接条件は電流170～180A、電圧25～28V、溶接速度約150mm/minで試験温度は0℃であつた。

第2図 鉄研式割レ試験片



A-A 詳細



B-B 詳細

3. 溶接継手試験

20mmおよび26mmの板で実施した溶接継手試験の結果を第9表に示す。手溶接ではLB62の4および5mm棒を使用し、ユニオンメルト溶接ではワイヤはNo. 40の1/4φ、コンポジションはGr80(20×D)を使用した。

第9表 溶接継手の機械的性質

板厚 mm	溶接法	引張試験					側曲ゲ 試験 (180°)	自由曲げ試験 (180°) 伸び %
		標点 距離 mm	降伏点 Kg/mm ²	引張強サ Kg/mm ²	伸 び %	破断位置		
20	手溶接 (LB62)	40	—	66.8	33	母材	良	32
			—	67.3	32	〃	〃	
		200	—	62.4	25	〃	〃	28
			—	61.3	25	〃	〃	
	ユニオン メルト (No. 40 ×Gr80)	40	54.3	67.0	計測せず	〃	〃	29
			—	66.5	〃	〃	〃	
26	手溶接 (LB62)	40	—	65.2	33	〃	〃	33
			—	66.1	33	〃	〃	
		200	—	61.4	24	〃	〃	31
			—	60.8	22	〃	〃	
	ユニオン メルト (No. 40 ×Gr80)	40	52.5	65.9	計測せず	〃	〃	21
			53.2	66.8	〃	〃	〃	
		200	48.7	61.2	20	〃	〃	22
			49.2	60.9	22	〃	〃	

引張試験片はJIS Z 3121 (突合せ溶接継手の引張試験方法) 1号によりその一部は表に示すように標点距離40mmで伸びを測定した。このほかに鋼材試験用の1号試験片と同様の形状の平行部の長い試験片(標点距離200mm)についても試験を行なった。後者では標点付近で伸びたものが多く、計測値よりもよく伸びている。

自由曲げ試験は JIS Z 3123 (冬合セ溶接継手の自由曲げ試験方法) によつた。いずれも 180° 曲つて全く異状はなく、一部のものは両端密着するまで曲げたが同様異状はなかつた。

4. 60キロハイテンの設計基準案

1. 弾性係数

鋼のヤング係数は 2100,000Kg/cm²、剪断弾性係数は 810,000Kg/cm² ポアソン比は 0.3 とする。

2. 許容応力度

SM-60 の許容応力度は次のとおりとする (第 10 表)

種	類	許 容 応 力 Kg/cm ²
1.	軸方向引張応力度 (純断面積につき)	2 6 0 0
2.	軸方向圧縮応力度 (総断面積につき) ℓ=部材長 r=部材総断面積の回転半径 ただし圧縮添接材に対しては	$0 < \ell/r \leq 80$ $2400 - 0.199 (\ell/r)^2$ $\ell/r > 80$ $7200000 (r/\ell)^2$ 2 4 0 0
3.	曲げ応力度 桁の引張縁 (純断面積につき) 桁の圧縮縁 (総断面積につき) ℓ=フランジ固定点間距離 b=フランジの巾 ただし鉄筋コンクリート床版などか直接圧縮フランジに固定された桁の場合	2 6 0 0 $2400 - 20 (\ell/b)^2$ 2 4 0 0
4.	軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける部材 水平軸のまわりの挫屈に対して、 垂直軸のまわりの挫屈に対して	$\frac{P}{A_g} + \frac{M}{I_x} Y_c \frac{\sigma_{ca1}}{2400} \leq \sigma_{ca1}$ $\frac{P}{A_g} + \frac{N}{I_x} Y_c \leq \sigma_{ca3}$ ただし $\frac{P}{A_g} \leq \sigma_{ca3}$
5.	剪断応力度 プレートガーダーのウェブ (純断面積につき)	1 9 0 0

3. 溶接部の許容応力度

溶接部の許容応力度は次のとおりとする (第 11 表)

溶 接 の 種 類		応 力 の 種 類	許 容 応 力 度 (Kg/cm ²)
工 場 溶 接	突 合 せ	圧 縮	2,600
		引 張	2,600
		セ ン 断	1,500
	隅 肉	セ ン 断	1,500
現 場 溶 接		それぞれの場合について上記の 90% とする。	

1) 溶接鋼道路橋示方書 60 条 1 項に規定された施工を行えない場合は 2400 Kg/cm^2 とする。

2) すみ肉溶接の設計は、すべてせん断力によるものとする。

4. 圧縮力を受ける板

圧縮力を受ける部材の板の厚さは、次に示す値以上でなければならない (第 12 表)

板	板 厚	備 考
圧縮力を受ける π 型又は I 型部材のウェブ	$l/23$	計算応力が許容応力に比べて著しく小さい場合にはこれらの分母の値を許容応力 倍してもよい。 計算応力
圧縮力を受ける部材のカバープレート 又は箱型断面のウェブおよびカバープレート。	$l/28$	

圧縮力と同時に曲げモーメントを受ける部材の腹板の厚さは次に示す以上でなければならない

(第 13 表)

板	板 厚	備 考
1 $> \sigma_t / \sigma_c > 0.5$ の場合	$l/30$	板が十分な断面積を剛性をもつ縦方向の補剛材によつて補強されているときは l の代りに、 l_1 、 l_2 を用いてよい。
$0.5 \geq \sigma_t / \sigma_c > 0$ の場合	$l/42$	
$0 \geq \sigma_t / \sigma_c > -0.5$ の場合	$l/60$	
$-0.5 \geq \sigma_t / \sigma_c > -1$ の場合	$l/75$	
$\sigma_t / \sigma_c = -1$ の場合	105	

5. 圧縮部材の自由突出脚

圧縮力を受ける部材の自由突出脚は次の値をこえてはならない (第 14 表)

種 類	自由突出脚
プレートガーダーの圧縮フランジにおいての厚さの	9 倍
合成桁の圧縮フランジにおいて厚さの	7.5 $\times$
軸方向圧縮力を受ける主要部材において厚さの	9 $\times$
二次部材においての厚さの	16 $\times$

6. プレートガーダーの圧縮フランジカバープレート

プレートガーダーの圧縮フランジカバープレートの幅は次の値をこえてはならない。

$$b/t = 18$$

7. プレートガーダーの腹板の厚さ

腹板の厚さは、次式で計算した値以上でなければならない。

$$t = l/105$$

ただし、水平補剛材を用いる場合は別に考慮するものとする。

8. プレートガーダーの垂直補剛材の間隔

垂直補剛材の間隔は次式で求めたものより小さくしなければならない。

剪断応力に比較して曲げ応力が遙かに小さい場合

$$d = \frac{2800}{T} t$$

剪断力と同時に大きな曲げ応力を伴う場合

$$\left(\frac{\sigma}{2550} \right) + \left\{ \left(\frac{2900 T t}{d} \right)^2 \right\}^2 \leq 1$$

9. プレートガーダーの水平補剛材の間隔

水平補剛材の間隔は次に示す値以下とするのがよい（第15表）。

	間 隔
l_1 は腹板厚の	40 倍
l_2 は腹板厚の	120 %

5. 60キロ高張力鋼を用いた溶接橋の実例

1. 工事の概要

この橋梁は華有開発株式会社にて建設中の華有開発自動車道路に架設される西村橋及び平野橋である。

いづれも路面形状の複雑な橋梁である他取付道路の完成前に架橋を完了するため工事用の相当の悪より運搬する必要があつた。

2. 設計について

主なる設計条件を以下に示す。

第16表 設 計 条 件

	西 村 橋	平 野 橋
橋 長	32.0 m	25.0 m
支 間	31.2 m	24.2 m
有効巾員	8.5 m	8.5 m
曲率半径	70.0 m	40.0 m
横断勾配	4 %	6 %
縦断勾配	6.8 %	8 %
橋 格	1等橋	同 左
形 式	活荷重合成	同 左

60キロハイテンを採用した理由は次の通りである。

- (1) 路面が曲線のため外桁には非常に大きな曲げモーメントが生ずる
- (2) 横断勾配のため内桁は桁高が可成り低くなる
- (3) 風光明媚の地点にあるためスマートな外観としたい
- (4) 山間の非常に急勾配の道路を運搬するのでブロック重量の軽減が強く要求される

以上の如き要求は60キロハイテンによつて完全に解決されたが50キロハイテンでは不充分でありSS41などの軟鋼は到底的に解決することは可能であつた。

60キロハイテンの許容応力は前記の値を採用したがこの場合の活荷重によるたわみの計算を以下に示す

第17表 主桁のたわみ

主桁名称	支間 l	桁高 h	たわみ δl	h/l	$\delta l/l$
西村橋(外)	31.2m	1.9m	2.48 cm	1/16.5	1/1260
同 上(中)	◇	1.65m	2.84 cm	1/18.9	1/1100
同 上(内)	◇	1.4m	3.22 cm	1/21.3	1/970
平野橋(外)	24.2m	1.9m	1.44 cm	1/12.8	1/1680
同 上(中)	◇	1.65m	1.59 cm	1/14.7	1/1520

60キロハイテンの使用箇所については今回は下フランジとウェブプレートのみとしたがその理由としては

- (1) 合成桁では上フランジは一般に小断面である。
- (2) 上フランジの l/b が大きくなつて架設中の死荷重応力による横座屈を考えると許容応力が低下して60キロハイテンの特色が発揮出来ない

更に大支間の合成桁であれば条件が変つてくるが、結局上フランジはSM50 材を用い圧縮応力に対するウェブプレートの補剛もこれに準じて設計した。

西村橋の鋼材内訳表を第17表に又60キロハイテンの代りにSM50を用いた時の比較を第18表に示す。

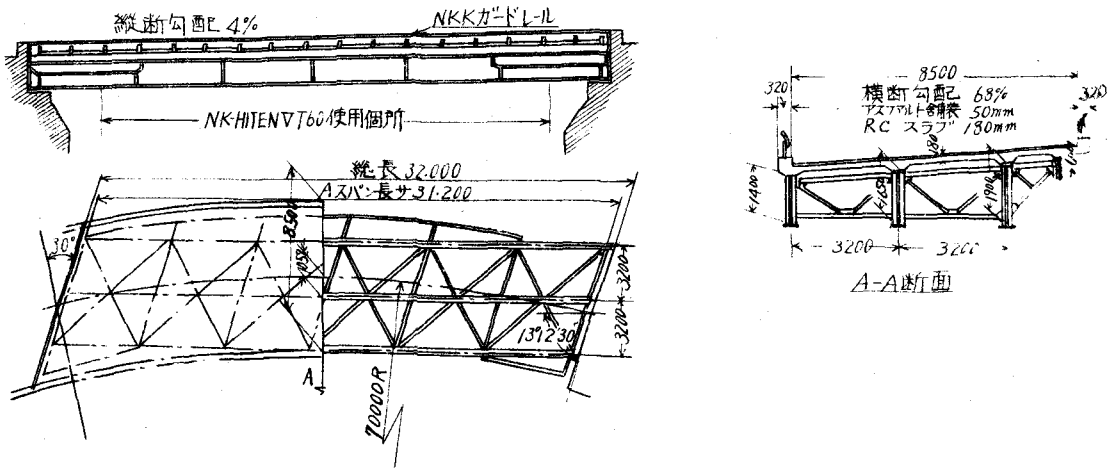
60キロハイテン部分の現場テン接はリベット結合としSV41を用いたがこの方が90~100Kg/cm²級のハイテンボルトよりも複剪強度が大きいからである。しかしリベットを用いるとウェブプレートの様な飯厚のうすい部材では、支圧強度が小さくなるのでテン接部のみウェブプレートを12mm(他は9mm)とした。

第18表 西村橋鋼材内訳表

Kind \ materials	60キロハイテン	SM-50	SS-41	FG-15	SV-4134	total
main girder	15,313	6,957	3,563		185	26t 018
sway bracing stringer lower lateral			8,095		22	8,117

shoe			53	606		659
expansion drain			1,143			1,143
hand rail (NKK guard rail)			1,710			1,701
total	15,313	6,957	14,555	606	207	37 ^t 638

第3図 西村橋一般図



第19表 鋼材使用量比較 (単位 ton)

	本設計総鋼重	60キロハイテンの代りにSM50 似用の場合
平野橋	25.8 (6.3)	27.3
西村橋	37.6 (15.3)	41.1

備考 () 内の数字は60キロハイテンの使用量を示す。

3. 施工の実際

60キロハイテンを含めて切断は自動ガス切断によつて行つた。

桁のウェブとフランジのスミ肉溶接はポジショニングして行い溶接棒はLB62の4及び5mm棒を使用した。仮付け溶接は特に注意し資格あるものに作業させるとともにアークストライクを避ける様に指導した。

ウェブプレートはうすくてステフターが多いので歪の防止にも嚴重な注意を払い過大な脚長にならぬ様指導した。その他スミ肉のアンダーカットや突き合せ継手を仕上げる時に削りすぎぬ様に注意した。

4. 架設工事

現工については通常の合成桁と特に異なる所は少いが気のついた点は次の通りである。

- (1) 桁が軽量であるのでトラック運搬が容易である。
- (2) 組立中多少桁がベラベラする様である。もちろん横構対傾構を取りつければしつかりする。
- (3) リベットは更に高級な材質のものを使用して数を減じたい。

5. 結 語

1. 構造用特に橋梁用鋼材として以上に述べた60キロハイテンは充分の性能をもつものと考えられる。
2. 溶接棒については溶着金属の性質は非常に良好であるが更に作業性の改良が要望される。
3. 設計に当つては引張部材に用いた場合著しく有効である。たわみに関しては合成桁やトラスなどの様な剛性の大きい構造に応用すれば実用上の支障はない。継手については更に高強度のリベット、ボルトの出現が要望される。
4. 製作施工については相当の注意を払えば特に困難を感じる所はない。

本文の発表に際して東京大学福田武雄先生、奥村敏恵先生に御指導頂き、鶴見造船所技術管理課成田園郎氏鉄構課青木博氏の協力を得たこと感謝致します。