

80キロ鋼を用いたトラス弦材施工性試験

多 田 安 夫 *
篠 原 洋 司 **

1. 概 要

1.1 試験の目的

本州四国連絡橋では1,500mの吊橋から、400~500mのゲルバートラスまで種々の大支間橋梁が調査の対象となっている。使用鋼材もHT36/50、HT50/60などの新しい高強度鋼をはじめ場合によってはHT70/80までも考えられている。このため従来橋梁への適用例のない80キロ鋼について座屈強度⁽¹⁾、疲労強度⁽²⁾等を調査し一応設計指針を作成し設計調査の便をはかったが、実橋への適用にあたってはその施工性が重要な問題であることはその特性からみても明らかである。一方工形断面についてはすでに花輪橋⁽³⁾において用いられその施工性がたしかめられているので、連絡橋において用いられる場合に最も可能性の高いトラス弦材への適用を考慮してその施工性をたしかめるものである。

1.2 供試体の設計

図1に示す供試体の断面は当初行った1,500m吊橋試算設計の補剛トラス弦材の実物大に準じたものである。部材部分は製作架設上最も複雑な格点付近の継手部分を対象とした。格点がセットの取付け方法が一般に行われているように弦材側板をそのままあげる方法によらず後で溶接で着ける設計となっているのは、弦材断面が板厚をかえずかつ突合わせ溶接部をなくし一貫して流れ作業で製作できるように考えたものである。しかしこれはあくまでも試案であって実際に適用するにはガセット取付部分の疲労強度の確認が必要であろう。また熱影響が重複するのでその影響も検討すべきであろう。またガセット取付方法として図2のように2案あるが、直接ビードがラップしないA案の方を熱影響、拘束等を考えて採用した。

継手部はF13TW^{7/8}高力ボルト摩擦接合とし、断面控除を少くするため4面展開でボルト孔の配置を算定したものである。これによると継手効率が母材の95%以上となり、わざわざ継手部のみ板厚を変える必要がなく上記のガセットの取付方法とあいまって弦材は4面とも1枚の板厚を通すことができる。

つぎに弦材内部に雨水、汚水の浸入するのを防止するため継手部ハンドホール両側にダイアフラムを、さらにハンドホールには蓋をする構造としている。また添接板も隙間をなくするような板巾を考えている。以上のように供試体はいろいろ想定される設計をほとんど考慮して設計を行った。

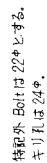
1.3 調査、試験の項目

項目はつぎのとおりである。

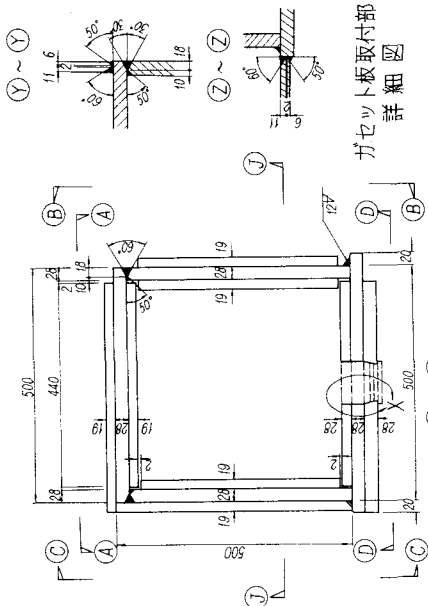
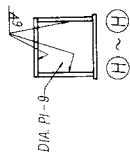
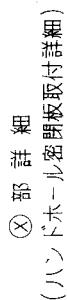
(1) 製作工数調査

*：建設省土木研究所橋梁研究室長

**：建設省道路局国道二課



実合せ継手開先形状



ガセット板取付部
詳細図

添接部斷詳細圖

80 キロ鋼の施工性とくにコストに及ぼす影響を他の鋼種と比較するために行う。

(2) 加工性試験

切削性、ドリル加工性、線状加熱のおよぼす影響、ガス切断による硬化特性、について条件を種々変えて試験を行った。

(3) 溶接部試験

完成した供試体の溶接部から試験片をとりマクロ試験、硬度試験を行った。

(4) 自動溶接性試験

実際の製作の場合を考慮し自動溶接の溶接性について試験を行った。

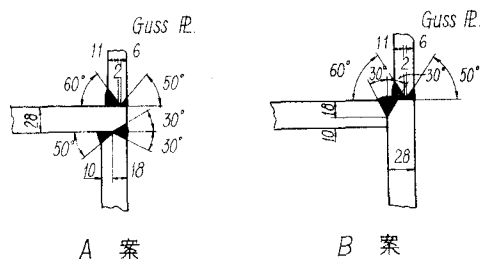


図-2 ガセット取付方法

2. 供試体の製作

2.1 材料

供試体製作に用いた80 キロ鋼はNK-HITEN80 で板厚19mm、25mmの鋼板はともに同一チャージでその化学成分ならびに機械的性質は表-1のとおりである。炭素当量(WE S式による)は0.514で80 キロ鋼としては比較的低い値である。

一方、降伏点、引張強さは規格値に対し高目で上限に近く、また靱性は2mmVノッチシャルピー衝撃値で示されるように良好である。

表-1 NK-HITEN-80 化学成分表および機械的性質

形 状 (mm)	成 分 (%)										引 張 試 験			曲げ試験 (角度180°)	衝 撃 試 験 (2mmV)			
	C	Si	Mn	P	S	Mo	V	Cu	Cr	Ni	炭素当量 Ceq *	降伏点 σ _{0.2} ** (kg/mm ²)	引張強さ σ _b (kg/mm ²)	伸び δ (%)	判定	試験 温度	衝撃値 (kg-m/cm ²)	試験 温度
19x1.219x4877	0.12	0.24	0.80	0.015	0.020	0.51	0.05	0.31	0.50	0.78	0.514	87	93	31	Good	室温	13.5	-15°C
28x1.524x6086	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	84	89	37	"	"	16.3	-5°C
28x1.524x6096	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	88	92	32	"	"	18.8	"
28x1.524x6096	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	85	90	36	"	"	21.3	"

$$* Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad ** \sigma_{0.2} \text{ を降伏点とする}$$

2.2 製作工程

製作は表-2に示す順序にしたがい実施した。

表-2 製作工程表

製作工程	備考
1) 鋼板野書	1) 幅、長さ共伸しに注意
2) 切断及開先加工	2) 切断は SS4f, SM50A に比較して相当速度を落したが、表面粗さは若干あらい。
3) ダイアフラム四周削り加工	3) 特に対角線の精度に注意。
4) 主材板つぎ、溶接、X線検査、余盛り仕上、プレス歪取	4) X線検査は全て1級合格。
5) 組立 (1) 三方組立 ダイアフラム取付 内面溶接	5) 歪は殆んど発生しなかった。 板付寸法チェックを必ず行うこと。
6) 組立 (2) 残りのフランジ を取付け箱形とし溶接、歪取り	
7) 仕上野書、切断、とじ孔あけ	7) 両端自動ガス切断器仕上げ後、グラインダーかけ。
8) ガセットプレート取付、溶接、歪取	
9) 仮組、接合部あてもみ	9) リーマ通しは出来ないで、とじ孔の部分は鋸の刃をとがらして1分くりひろげた。
10) H.T.B しめつけ	10) H.T.Bをいれる順序、余長部測定 ハンドホールの H.T.Bに対する作業性は充分であった。
11) 外観検査、溶接部の浸透液検査	11) レッドチェックの結果は欠陥なし。
12) 溶接残留応力の測定	12) 別項に記載
13) マクロエッチ検査、硬度分布	13) 全 上
14) ハンドホール締付け	14) 接着剤をぬる。

2.3 加工

1) け書き

鋼板のけ書きに際しては長さ方向について、溶接やひずみ取りによる収縮量の推定が明確に行い得ないので部材を伸しておき、溶接やひずみ取り完了後再びけ書いて切断した。伸し量はトラス弦材主材の再端で長さ方向に+20mm、巾方向に+1mmとした。ダイアフラムやガセットは各辺それぞれ+1mmとした。

2) 切断

切断はトラス弦材本体はフレームプレーナー、他は自動ガス切断あるいは平自動ガス切断によった。フリーエッジの切断線および開先加工はガス切断のままとした。

3) ひずみ取り

板継ぎ後のひずみ取りは油圧プレスにて行なった。板厚が厚いためひずみの発生は少なく、線状加熱の必要はなかった。

4) 孔明け

孔明けはエアドリルを用いて行なった。使用したきりの材質はSKH-4である。

2.4 溶 接

表 - 3

溶接は主として自動溶接を用いたが、仮付けならびに弦材の内側の角溶接、ダイヤフラムやガセットの取付けには手溶接を用いた。溶接棒および自動溶接の芯線とフラックスの種類ならびに溶接部の開先形状を表-3に示す。80キロ鋼では溶接部の割れ防止と延性確保のためには150℃の予熱が望ましいとされているが、試験的な意味を含めB梁（ガセットのついていない側の弦材）の一方の側

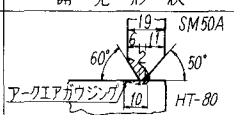
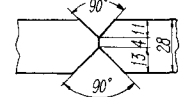
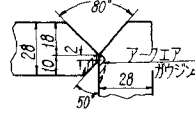
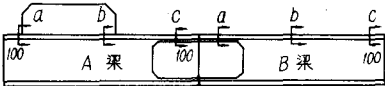
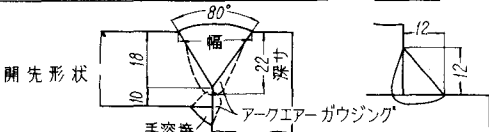
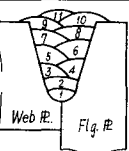
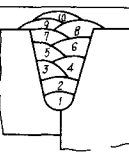
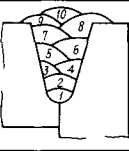
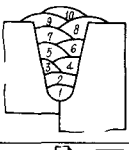
種 類	開 先 形 状	溶接材料	個 所
手 溶 接		手溶接棒 LB 116 3.2φ 4.0φ	ガセット取合
ユニ オン メル ト		芯 線 Y-80M フラックス YF-200	ウェブ及フランジ 板つぎ
		外側 芯線 Y-80M フラックス YF-200 内側 LB 116	箱形の 角溶接

表 - 4

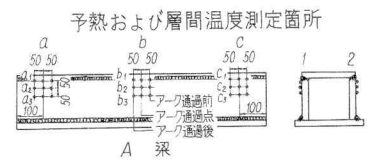
							
							
No.	盛り方	層	電 流 (Amp.)	アーク電圧 (Volt)	速 度 (mm/min)	入熱量 (J/cm)	開先寸法
A		1	500	28	300	28000	幅 深サ a 25 24 b 25 24 c 26 22
		2	550	30	300	33000	
		3	550	28	300	30800	
		4	550	28	330	28000	
		5	550	28	320	28840	
		6	540	27	340	25700	
		7	540	28	360	25200	
		8	550	27	400	22300	
		9	600	29	400	26100	
		10	600	28	420	24000	
A		1	500	30	300	30000	幅 深サ a 27 23 b 24 21 c 22 22
		2	550	28	280~300	31800	
		3	550	30	280	35300	
		4	600	30	300	36000	
		5	600	28	350	28800	
		6	550	27	400	22300	
		7	550	28	400	23100	
		8	550	30	400	24700	
		9	520	30	430	21800	
		10	520	30	430	21800	
B		1	500	28	300	28000	幅 深サ a 25 24 b 26 24 c 27 24
		2	600	30	340	31800	
		3	550	28	300	30800	
		4	550	30	300	33000	
		5	600	30	300	36000	
		6	600	28	260	38800	
		7	530	27	420	20420	
		8	550	27	430	20700	
		9	550	30	300	33000	
		10	550	30	300	33000	
B		1	500	28	300	28000	幅 深サ a 30 27 b 28 26 c 28 26
		2	600	30	300	36000	
		3	600	30	300	36000	
		4	550	30	300	33000	
		5	550	30	300	33000	
		6	550	28	300	30800	
		7	500	28	400	21000	
		8	600	30	400	27000	
		9	600	30	400	27000	
		10	500	32	400	24000	
スリ		1	450	28	340	22210	幅 深サ a 30 27 b 28 26 c 28 26
		2	500	28	500	16800	
		3	500	31	500	18600	

面における自動溶接部の予熱温度を100℃としたが有意差は生じなかった。自動溶接では靱性劣化を抑えるために最大入熱量を35,000Joule/cmに決め、電流600Amp・電圧30V、溶接速度300mm/minを施工標準とした。弦材の角溶接の実施データを表-4に、またプロパンバーナーによる予熱実施温度の測定例を表-5に示す。

2.5 組立および継手部の施工

溶接により組立てられた弦材は設計寸法に書き、部材端部をロータリーブレンダーで平滑に削り仕上げし、継手部を突合わせ、添接板をあて基準孔を合わせ、あてもみにより径24mmの孔をドリルによりあけた。(写真-1)

表 - 5



①点における測定結果

単位: °C

層	アーク通過前 50%			アーク通過中			アーク通過後 50%		
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃
1	1	100*	100	95	115	100	100	160	95 95
	2	100**	100	100	110	105	100	210	95 95
	3	95**	105	95	105	105	95	110	105 95
	4	120**	125	110	140	125	110	210	115 105
	5	135**	130	120	140	135	120	190	130 115
	6	150**	140	130	140	135	130	170	135 125
	7	140**	140	120	140	140	115	160	130 115
	8	140**	140	135	145	140	135	155	130 130
	9	100	110	100	100	120	100	120	130 120
	10	110**	110	110	110	110	105	130	105 105
2	1	90*	90	90	90	95	70	90	95 70
	2	170**	140	80	175	145	80	180	140 80
	3	150**	145	110	150	140	110	250	135 110
	4	140**	140	75	150	140	90	240	135 90
	5	145**	145	90	200	145	95	300	130 90
	6	110**	110	105	110	110	110	125	120 115
	7	120**	110	115	110	100	115	130	95 120
	8	140**	120	115	140	120	120	130	125 110
	9	120**	115	95	145	120	95	160	110 95
	10	135	115	100	140	115	100	150	115 100
10平均	119	122	112	125	122	111	162	117	110
20平均	132	123	98	141	123	99	176	120	98

※: 予熱

※※: 層間温度

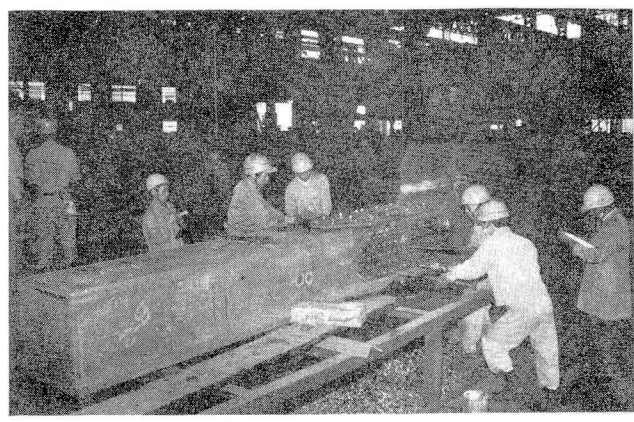
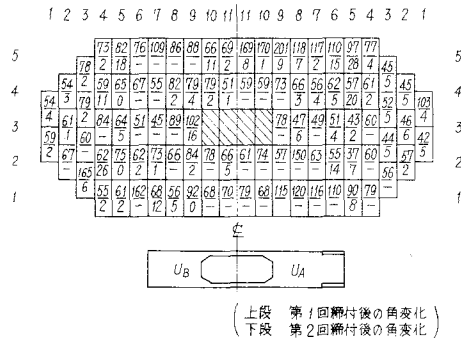


写真 - 1

高力ボルトは先ずスパナで手締めし、ナット、座金および添接板にマーキングを行ない、下フランジ添接部は回転角法で、その他の部分はトルク法でインパクトレンチを用いて架設現場と同一条件になるような位置での締付け作業を行なった。その後、回転角法ではトルクを、またトルク法では回転角を照査した。結果の1例を表-6に示す。

表-6 回転角測定結果(上フランジ添接部)



3. 試験および調査

3.1 製作工数調査

トラス弦材の製作に要した工数の工種別内訳は表-7のようになった。80キロ鋼であるがためとくに工数増加となった工種は溶接と機械加工である。SS41やSM50などに比べて、溶接では予熱や入熱制限によるパス数増加により3~4倍に、機械加工では硬度上昇による能率低下とバイト消耗により1.5~2倍に工数が増加している。他の工種ではほとんど差がないので総合すれば1.5~2倍の工数増にとどまることがわかった。

表-7 製作工数表

取 種	実績 H	H/T	時間当作業量	備 考
現 図 工	20	5.3		
群 書 工	4	1.0		
反 斯 工	17.5	4.6		
鉄 養 工	7	1.8		
歪 取 工	15	3.9		
取 付 工	59	15.3		
手 溶 接 工	79.5	21.0	0.87 M/H	
自動溶接工	78	20.5	2.46 M/H	6坪換算長
H.T.Bじめ	54	14.2		
孔 明 工	118	31.0		
は っ り 工	15	3.9		
運 搬 工	32	8.4		
合 計	499	132.0		

法) 使用鋼材重量 3.8T に対するものである。

3.2 加工性試験

1) 切削性試験

セーパーにより切削加工を行なう場合のバイトの材質、切削条件を検討するために表-8のように、バイトを高速度鋼(SKH-4)、超硬バイト(STI-30、STI-40、UTI-20、UTI-40)と種類を変えて、切削速度、切込量、横送りの組合わせについて能率、表面アラサ、

切屑の色、切れ味、寿命を調べたものである。その結果超硬バイト STI-40 を使用し、切削速度 40 ㎥/min、切込 3 ㎥、横送り 0.27 ㎥/ストローク のときが最良であった。

表－8 切 削 試 験 測 定 値

順	使用バイト種類	切削速度 m/min	切 込 mm	横 送 り mm/ストローク	負荷電流 (A)	切削時間 分	表面アラサ s	切屑の色	切れ味	寿 命	備 考
1	SKH 4	26	2	0.27	11	2.12分	25	銀黄色	○	○	
2	SKH 4	40	2	0.27	12	1.40	12	銀黄色	○	○	
3	STI 40	40	2	0.27	12.5	1.15	18	青 紫	○	○	
4	STI 30	40	2	0.27	13	1.15	12	青 紫		×	刃先がかける
5	UTI 40	40	2	0.27	13			濃 紫		×	刃先がかける
6	UTI 20	40	2	0.27	12	1.30	8	銀青色	○	○	
7	UTI 20	40	3	0.27	14	1.50	6	濃 青	○	○	
8	STI 40	40	3	0.27	13	1.15	8	紫	◎	○	最 良
9	SKH 4	26	3	0.27	10	2.10	12	銀茶色	◎	○	
10	SKH 4	40	3	0.27	12					×	スピードホバにて不可

注) 切削速度は次の様にして求めた。
回転数 x 2 x ストローク長さ (330) = 切削速度 m/min

2) ドリル加工性試験

表－9 ドリル加工性試験測定値

表－9 に示すように孔明け適性条件を求めるためにきり材材質をSKH-9、SKH-4と変え、きり角度、回転数、送り速度の諸条件と孔明け時間との関係を調べると同時にSS41、SM50についても同様の試験を行ない、それぞれの最適条件における孔周縁の加工硬化の影響を調べ図－3の結果を得た。80キロ鋼は硬いためきりの材質はSKH-4が適当であるが硬化性はSM50のそれと大差はない。

鋼板 材質	キリ 材質	キリ 径	キリ 角度	切 削 油	回 転 数 RPM	送 り 速 度 mm/min	負 荷 電 流 A	1ヶ 孔 明 切 時 間 SEC	備 考
80% 鋼	SKH-9	24*	150°	油	330	0.2	12	22.0	
	"	"	"	"	295	"	11	25.0	
	"	"	"	"	239	"	10.5	30.0	
	SKH-4	"	"	"	408	"	11.5	17.0	●良好 硬度試験片 A
	"	"	"	"	378	"	11.5	18.6	● " " B
	"	"	"	"	330	"	11	21.8	● " " C
	"	"	118°	"	408	"	12	22.0	
	"	"	"	"	378	"	12	22.6	
	"	"	"	"	330	"	12	25.4	
	"	"	180°	水	467	0.3	15.5	13.0	
SM50A	SKH-4	24*	150°	油	408	0.3	13	12.2	
	"	"	"	"	378	"	12	12.6	
	"	"	"	"	330	"	11.5	14.5	
	SKH-9	"	"	"	408	"	13	12.0	●良好 硬度試験片 D
	"	"	"	"	378	"	12	13.0	● " " E
	"	"	"	"	330	"	11.5	14.5	● " " F
	SKH-4	"	118°	"	408	"	12	14.0	
	"	"	"	"	378	"	12	14.7	
	"	"	"	"	330	"	11.5	16.5	
	SKH-9	"	"	"	408	"	13	14.0	
SS41	SKH-9	24*	150°	油	378	0.3	12.5	12.8	●良好 硬度試験片 G
	"	"	"	"	330	"	12	14.2	● " " H
	SKH-4	"	"	"	408	"	13	11.0	
	"	"	"	"	378	"	12	12.0	
	"	"	"	"	330	"	12	14.0	
	SKH-9	"	"	"	408	0.41	14	8.2	
	"	"	"	"	378	"	14	8.0	
	SKH-4	"	"	"	522	"	16	6.7	
	"	"	"	"	467	"	15	7.0	
	"	"	"	"	408	"	14	8.0	

3) 線状加熱のおよぼす影響

線状加熱の際の板の温度測定が思わしくないため詳細は省略するが、少々の熱履歴では材質劣化をきたさないようだが、一方、高強度、高降伏比のため加熱きょう正は効果的でなく、できるだけひずみを生じさせない設計および施工法が先ず考慮されるべきであろう。

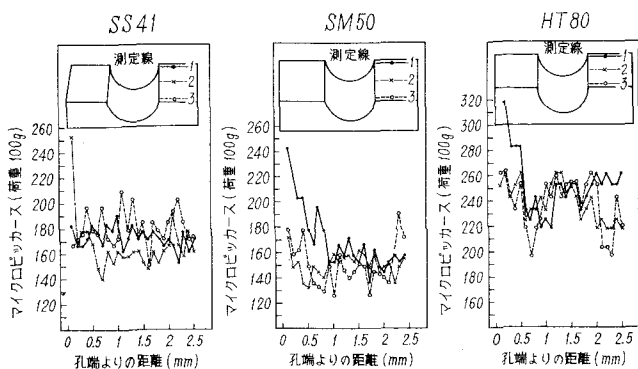


図-3 ドリル加工による孔周縁の硬度分布

4) ガス切断による硬化性試験

ドリル加工性試験片(図-4)の四辺を切断する際、切断速度を 300 mm/min 、 250 mm/min 、 200 mm/min と辺毎に変えてそれぞれについて周縁の硬度変化と切断面の表面アラサを測定した。結果はSS41と同じ速度(300 mm/min)でも

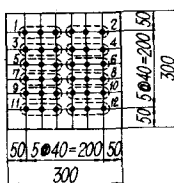


図-4 ドリル加工性試験片

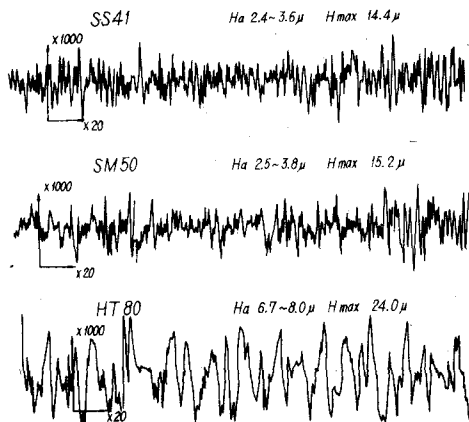


図-6 ガス切断面(板厚中心部)の表面アラサ

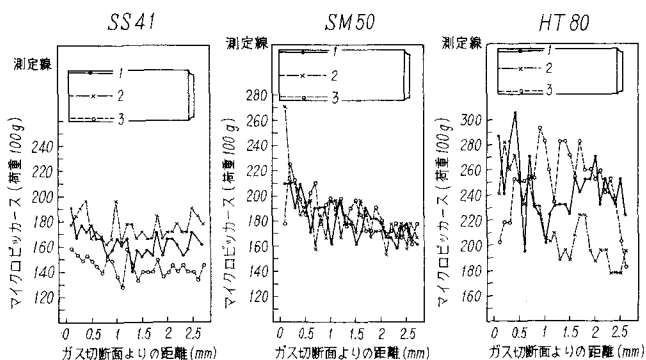


図-5 ガス切断による周縁硬度変化(切断速度 300 mm/min)

3.3 溶接部試験

製作完了したトラス弦材の数ヶ所から溶接部を切り取り、大型部材として施工された溶接部におけるマクロ試験、硬度分布測定を行なった。その結果を写真-2、写真-3および図-7、図-8に示す。いずれも実験室における試験同様良好な成績であった。

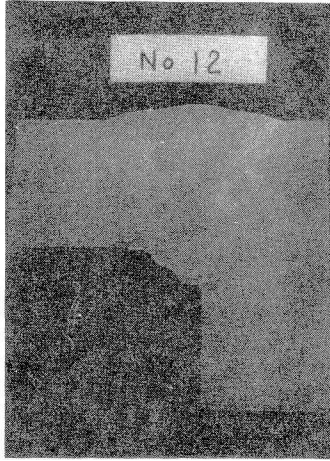


写真-2

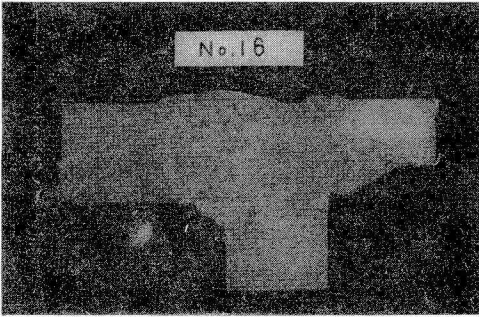


写真-3

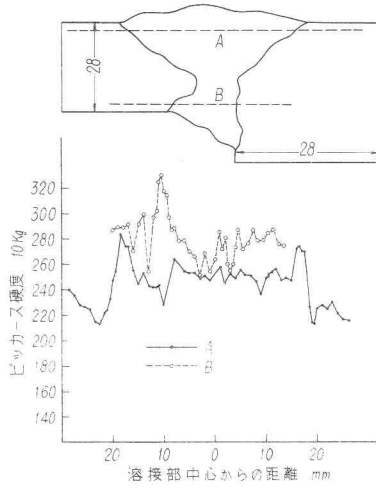


図-7 溶接部硬度分布

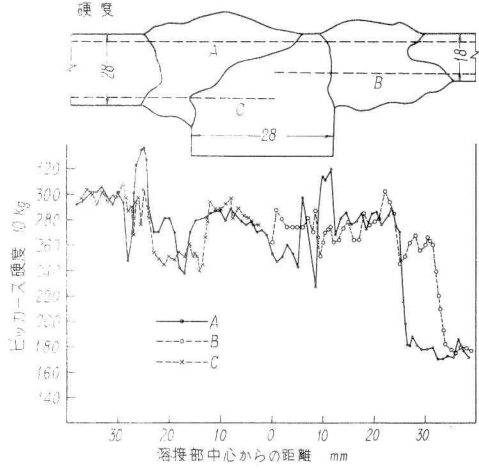


図-8 溶接部硬度分布

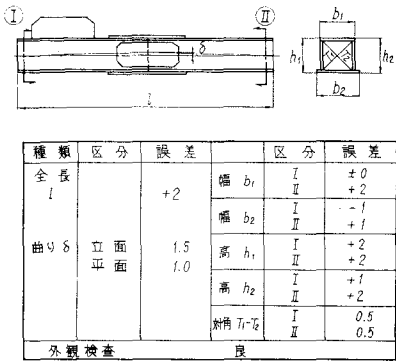
3.4 自動溶接性試験

トラス弦材を施工する前に、施工条件を決めるため予備試験として箱断面スミ肉と突合わせ溶接の自動溶接性試験を行なった。この結果、80キロ鋼では厚板開先角度を従来より広く(80~90°)し、入熱量制限による溶け込み不足を補うためにルート面も小さく(4mm程度 $t=28\sim32mm$)し、1~2層目でのビード割れにとくに注意して行なう必要があることがわかった。

3.6 外観検査

完成した供試体における外観寸法検査の結果を表-10に示す。ひずみや変形も少なく良好な精度で製作が可能であることを示すものであろう。

表-10 寸法外観検査結果



4. まとめ

以上述べたように、80キロ鋼を用いて溶接による大型部材の製作は、施工条件を適切に選らび、慎重な施工管理を行なえば十分可能である。80キロ鋼使用による工数増は量にもよるが1.5~2倍と考えてよく、設計・施工においてその特性を生かすべく配慮されるならば経済性も十分考慮し得ることがわかった。80キロ鋼の橋梁への適用性の確認と施工性の信頼度は単に1~2の実施例で結論づけることは困難であるが、一応大型部材による施行性試験としての当初の意図は実証し得たものと考えてよからう。

80キロ鋼は添加元素の種類、量ともに多く、かつ熱処理により強度、靱性をもたせた高級鋼であるため、施工条件の差異が製作された構造物の安全性を大きく左右する。今後、材質的にもう少し施工に余裕をもたせるべく改良されると同時に、それに適した工具(治具やバイトなど)、施工法(溶接法)、施工管理法の開発が望まれる。

参考文献

1) 多田、中村、篠原「80キロ鋼の座屈試験」
土木技術資料 Vo1.5 - No. 6 昭和38年6月号

2) 多田、篠原「80キロ鋼の疲労強度」
土木技術資料 Vo1.7 - No. 1 昭和40年1月号

3) 比留間、「花輪橋工事報告」
雑誌“道路” 昭和40年3月号、4月号