

# HT780 N/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼板を用いた超長径間 吊橋補剛トラスの製作技術\*

川崎製鉄技報  
23 (1991) 2, 163-170

## Fabrication of Large Scale Truss Chord Member in Ultra-long Span Suspension Bridge Using 780 N/mm<sup>2</sup> Class High Tensile Steels



木田 哲也  
Tetsuya Kida

川鉄鉄構工業(株)橋梁  
鉄構事業部 製造部 播  
磨工場製造課 主幹(課  
長)



志賀 厚  
Atsushi Shiga

エンジニアリング事業  
部 研究開発センター  
施工研究室 室長(部長  
補)



浜田 雅司  
Masashi Hamada

川鉄鉄構工業(株)橋梁  
鉄構事業部 設計部 主  
幹(樹長)



吉村 修身  
Osami Yoshimura

川鉄鉄構工業(株)橋梁  
鉄構事業部 製造部 播  
磨工場製造課 樹長



堀川 浩甫  
Kosuke Horikawa

大阪大学 溶接工学研  
究所 教授・工博

### 1 緒 言

中央径間 2 km に達するような超長径間吊橋補剛トラスの断面は、主として風荷重により決定される。補剛トラスに使用する鋼種も重量軽減から 780 N/mm<sup>2</sup> 級高張力 (HT780) の採用が考えられる。

本州四国連絡橋 (本四連絡橋) でトラス弦材に HT780 が使用されたのは、与島橋および番の州トラス橋で、これらは断面も大きく部分的な使用であった。

本四連絡橋における道路・鉄道併用橋の設計基本は、鉄道荷重が支配的な箇所は鉄道の設計基準により、鉄道荷重が支配的とならな

### 要旨

橋長 4 km, 中央径間 2 km に達するような超長径間吊橋の試験設計で、補剛トラス主構弦材に多量の HT780 N/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼を使用したときの技術的課題について、基礎実験、格点部実大製作実験、およびパイロットメンバー製作実験を行って検討した。この結果、主構弦材かど継手の溶接に、耐割れ性の優れた焼成型フラックスを使用したサブマージーク溶接により良好な品質が得られることがわかった。また、従来実施例の少ない HT780 高張力鋼を用いた補剛トラス主構弦材の工場製作に関し、本州四国連絡橋瀬戸大橋で確立された「調質高張力鋼を用いたトラス弦材の製作基準」に準拠した方法で実大パイロットメンバーを製作し、製作工場における作業要領および品質管理要領の妥当性を確認することができた。

### Synopsis:

In designing a suspension bridge approximately 4 km long with a 2-km-long center span, called the "ultra-long span suspension bridge", most of steels used for chord members of the stiffening trusses were a 780 N/mm<sup>2</sup> class high tensile steels. For the stiffening truss using this kind of steel, fabrication methods and workmanship with careful quality control were important. For this purpose, a large-scale truss chord specimen, based on the preliminary test, was manufactured and tested. The quality of the corner joint on the chord member, welded by submerged arc welding process using bonded-type flux for prevention of weld cold cracking, was satisfactory. As a result of manufacturing the large-scale truss chord specimen, based on the fabrication standard of chord members of the stiffening truss using quenched and tempered high tensile steel established by Honshu-Shikoku Bridge Authority during the fabrication of the Honshu-Shikoku Bridge "SETO OHASHI", the fabrication method and workmanship were appropriate for the quality.

い箇所は道路橋の設計基準によることとし、これらに依りがたい箇所は併用部として折衷的な設計基準が設けられている。また、本州四国連絡橋公団 (本四公団) による大型疲労試験機を用いたトラス格点構造疲労試験結果から、補剛トラス弦材の部分溶込みおよびすみ肉かど継手の溶接欠陥が原因となる疲労強度の低下が大きいことが判明した。しかし、疲労亀裂の起点となる溶接欠陥の存在は避けがたく、「たとえ疲労亀裂が発生しても耐用年数の内に部材の破断に至らしめなければよい」ことが基本思想とされており、溶接欠陥の大きさを制限するとともに、種々の製作検討の成果が調質高張力鋼を用いたトラス弦材の製作基準として瀬戸大橋の製作に反映されている。

\* 平成 3 年 1 月 17 日原稿受付

試設計での超長径間吊橋は、道路単独橋で、瀬戸大橋に見るような道路・鉄道併用橋と異なり、疲労設計からくる製作基準では緩和される方向にあると思われる。一方、近年の構造物の複雑化や材料の高強度化に加え、交通量および自動車荷重の増加により疲労設計の必要性が求められており、道路・鉄道併用橋の瀬戸大橋で確立された調質高張力鋼を用いたトラス弦材の製作技術は、この超長径間吊橋補剛トラスにも対応させる必要があると考えられている。すなわち、(1) 弦材かど継手ルートギャップ 0.5 mm 以下の遵守、(2) 仮付け、シーリング溶接の再溶融、(3) 開先清浄度の確保、(4) 予熱管理、(5) すみ肉止端形状の滑らかさ、(6) 部材精度の確保などが必要である。特に HT780 ではより厳密な予熱管理や溶材管理も必要とされる。

本報の内容は、HT780 を用いた補剛トラス製作に関する検討として、基礎実験から格点部実大製作実験および弦材実大製作実験(パイロットメンバー製作実験)までを含み、鋼材・溶接材料の選定、溶接割れ試験、製作要領・品質管理方法の決定など、超長径間

吊橋補剛トラスの工場製作における諸問題の解決を目的としたものである。

## 2 試設計による超長径間吊橋補剛トラスの概要

長大吊橋として世界最大の中央径間 1 410 m を有するハンパー橋を超え、中央径間 2 km に達するような超長径間吊橋の吊構造部断面では、耐風安定性、特に動的耐風性の面からトラス系補剛桁が優れている。試設計の対象は吊構造部のトラス補剛桁とし、一般形状は土木学会および本四公団の資料<sup>2)</sup>を参考にした。使用鋼種は重量軽減の意味から HT780 を用い、最大板厚は 38 mm とした。設計条件を Table 1 に示す。吊構造部は Fig. 1 に示すような、鋼床版、床組および補剛トラスからなる。補剛トラスの部材構成は、Fig. 2 に示すように、主構上・下弦材の側径間中央径間の 1/4 点付近で HT780 が用いられている。このうち、HT780 は Table 2 に示すように約 8 000 t である。

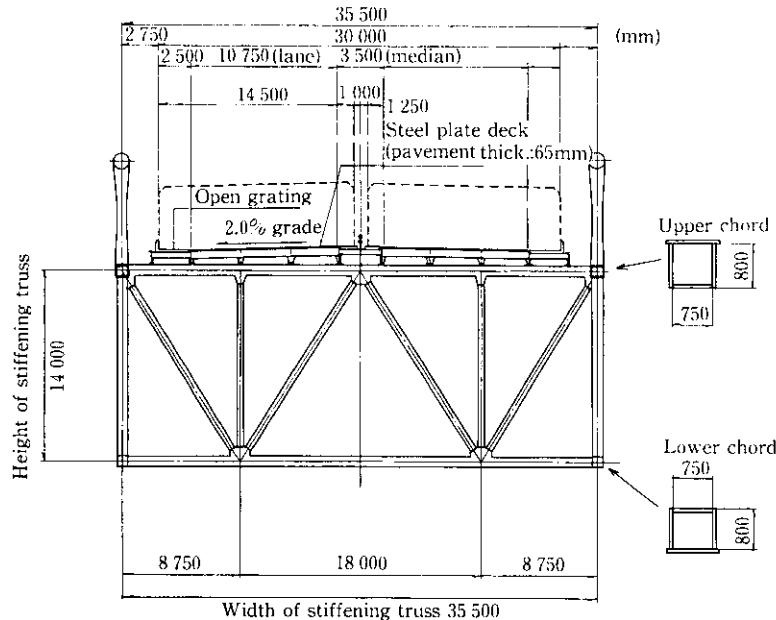


Fig. 1 Cross-section of stiffening girder

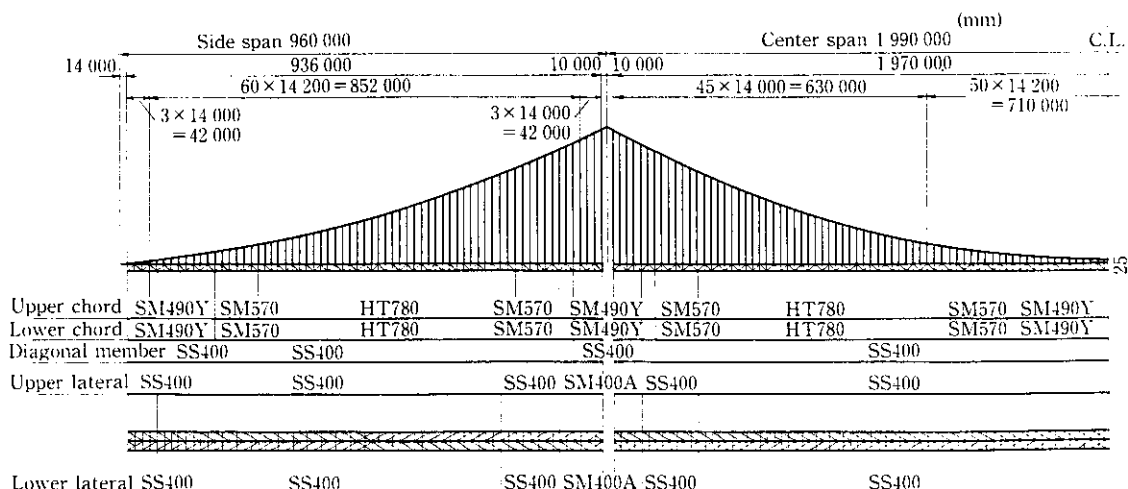


Fig. 2 General view of the ultra-long span suspension bridge and stiffening truss materials used

Table 1 Design conditions of the suspension bridge

Item	Specifications
Classification	Type 1, 2nd class
Design speed	100 km/h
Number of lanes	6
Type of bridge	3-span, 2-hinged stiffening truss suspension bridge
Cable span	960+1 990+960=3 910 m
Diameter of cable	φ1.1 m
Number of cables	2
Height of tower	T. P. +297 m
Height & width of stiffening truss	14 m × 35.5 m

Table 2 Quantities of stiffening truss members

	Weight (t)
Truss member	23 100
Lateral member	5 800
Cross section member	13 800

(HT 780 about 8 000 t)

### 3 製作実験

#### 3.1 基礎実験

基礎実験は小型試験片を用いて、主として HT780 の溶接材料の選択、溶接割れ試験およびかど継手部の品質確認を行った。

##### 3.1.1 焼成型フラックスを使用した溶接条件および品質の確認

本四連絡橋では、従来から熔融型フラックスを使用した弦材かど継手の溶接事例が多く報告<sup>3)</sup>されている。HT780 のサブマージアーク溶接では、溶接金属に十分なじん性と強度を得るため相当量の合金成分を含有させるので、割れ感受性は大きく、溶接金属中の水素量が割れ発生や気孔生成の一因にもなっている。炭酸塩を配する高塩基性の焼成型フラックスでは、炭酸ガスによるシールド効果により吸湿水分の影響を少なくし割れ発生防止に効果のあることが報告されている<sup>4)</sup>。ここではこの焼成型フラックスを用いた各種試験を実施してつぎの結果が得られた。

- (1) HT780 板厚 50 mm の鋼材を用い、板継溶接の母材とエンドタブとのルートギャップを 0.5 mm 以下と 2 mm に変化させたスリット割れ試験、窓型拘束割れ試験により、溶接金属の割れに及ぼすフラックス起因の拡散性水素量の影響および予熱の効果を検討した。この結果、常温（予熱なし）で割れの発生は見られなかった。また、30°C、90% の条件下で 4 時間吸湿したフラックスを用いても吸湿の影響はなかった。
- (2) 焼成型フラックスは一般に融点が高く、その結果、熔融型のフラックスより溶け込み量が少ないとされている。このため、主構弦材の部分溶込みかど継手およびすみ肉かど継手を想定した試験体を作成し、溶接電流をパラメータとした溶け込み量の調査を行った。それと同時に、入熱が高くなることが予想されたので熱影響部の衝撃性能についても試験し、ぜい化の程度を調査した。この結果、熔融型のフラックスを用いた従来実績<sup>5)</sup>に比べ安定した溶け込み量（仮付けおよびシーリング溶接の再溶融）を得るためには、タンデムサブマージアーク溶接を用い

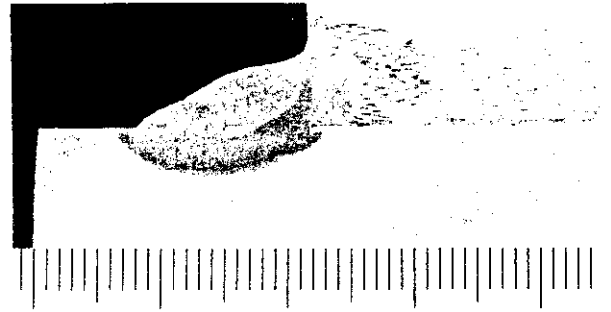


Photo 1 Cross section of the transverse fillet weld by the use of D 5026 electrode

た部分溶込みかど継手では先行溶接電流を 100 A 高い 800 A（入熱量 46 kJ/cm）、シングルサブマージアーク溶接を用いたすみ肉かど継手では溶接電流を 50 A 高い 700 A（入熱量 30 kJ/cm）にする必要がある。衝撃性能については、HBS 規格（本州四国連絡橋公団基準）-40°C のシャルピー吸収エネルギー 47 J 以上を満足した。

##### 3.1.2 鋼材の耐割れ性

板厚 50 mm の HT780 鋼材を用いて仮付けおよびシーリング溶接を想定した斜めスリット拘束割れ試験では、割れ阻止予熱温度が手溶接（入熱量 17 kJ/cm）で 75°C、ガスシールド溶接（入熱量 10 kJ/cm）で 50°C となり、HBS 規格による予熱基準（手溶接 120°C、ガスシールド溶接 100°C）より安全側といえる。

##### 3.1.3 疲労寿命に関する検討

本四公団が実施した大型疲労試験で、弦材かど継手ルート部の欠陥やダイヤフラムすみ肉溶接止端部の形状不良、特に廻し溶接部の形状不良により疲労亀裂が発生しやすい結果<sup>1)</sup>が得られており、施工に対する検討を行った。

- (1) かど継手のルート部にプライマーを塗布し、ブローホールを発生させた小型試験体を用いた疲労試験では、従来実施された熔融型フラックスを用いた疲労試験<sup>6)</sup>での疲労寿命と大きな差はなかった。
- (2) ダイヤフラムの溶接施工  
弦材のダイヤフラムはウェブおよびフランジの材質（HT 780）より低強度（SM400 クラス）の部材が用いられる。この溶接部は耐割れ性の観点から通常 60 キロ鋼用溶接棒が使用される。この溶接ビードは弦材の応力方向に直交するため溶接止端部の形状を滑らかにする必要がある。50 キロおよび 60 キロ鋼用止端改良溶接棒を用いて、外観、耐割れ性からすみ肉溶接の品質を調査した結果、外観形状に優れた 50 キロ鋼用止端改良溶接棒の採用が可能であった。廻し溶接部の形状を Photo 1 に示す。

### 3.2 格点部実大製作実験

実物大のパイロットメンバーの製作にかかる前段階として、下弦材の格点部実大製作実験を行った。断面寸法および板厚は、後述のパイロットメンバーと同一とし、長さは格点部を含む 4 m とした。試験体の製作は基礎実験で得られた施工条件とし、パイロットメンバーを想定した同一の製作方法とした。

かど継手ルート部の溶接品質確認は、自動超音波探傷試験の後、全量破面試験を実施した。自動超音波探傷試験による推定溶込み量と破面試験による溶込み量の実測値の対比を Fig. 3 に示す。両者の間には、部分溶込みかど継手で差異があったものの破面試験片の観察から仮付け溶接の再溶融が認められた。破面試験からのルート

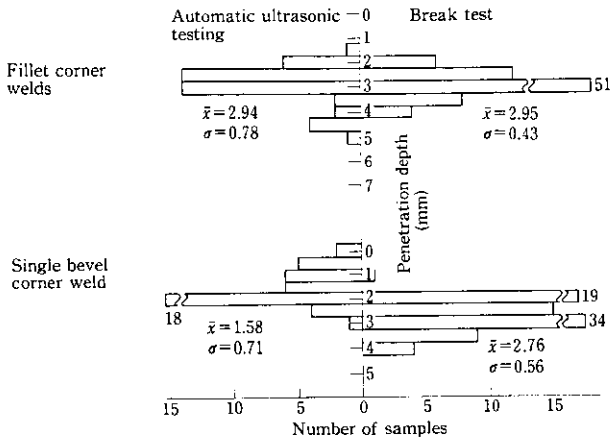


Fig. 3 Penetration depths of corner welds on truss chord specimen with nodal joint

ブローホールの観察結果は、Fig. 4 に示すように領域 I の疲労等級特 A 部材<sup>7)</sup> (ブローホールの限界寸法 短径  $W=1.5$  mm, 長径  $H=4.0$  mm) の範囲内であった。

3.3 パイロットメンバーの製作実験

3.3.1 試験体および製作フロー

試験体は Fig. 5 に示すように、吊橋特有のハンガーソケット部のある上弦材とした。試験体の長さは、面材架設で想定される 2 格点を含む 28 m とし、HT780 の最大板厚 38 mm が使用される中央径間の部材とした。製作方法は Fig. 6 に示すように、フランジ落とし込み工法とした。

Joint	No. of blowhole			No./1-m
	O	I	II	
○ Single bevel corner weld	7	4	0	0.5
● Fillet corner weld	6	8	0	0.5

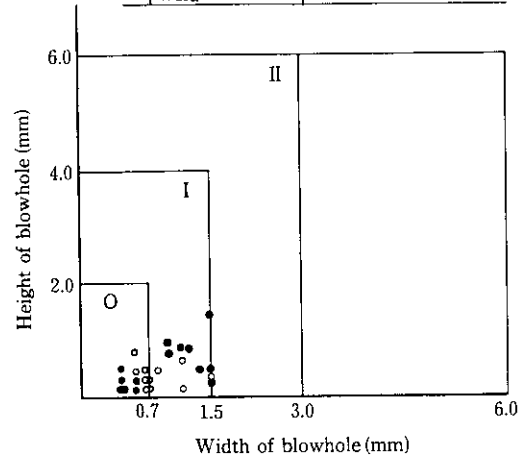


Fig. 4 Existing blowholes at the root of corner welds on truss chord specimen with nodal joint

3.3.2 使用鋼材および溶接材料

HT780 の炭素当量 ( $C_{eq}$ ) は、瀬戸大橋の使用実績である 0.49% を目標値とした。結果はほぼ目標に近い 0.50% となった。使用鋼材の化学成分および機械的性質を Table 3 に示す。鋼材の平坦度は、弦材かど継手のルートギャップに影響を与えるものである。この管理は、かど継手に該当する部分に 500 mm 長さのストレッチをスライドさせて行った。その結果は平坦度 1 mm/500 mm 以下となり

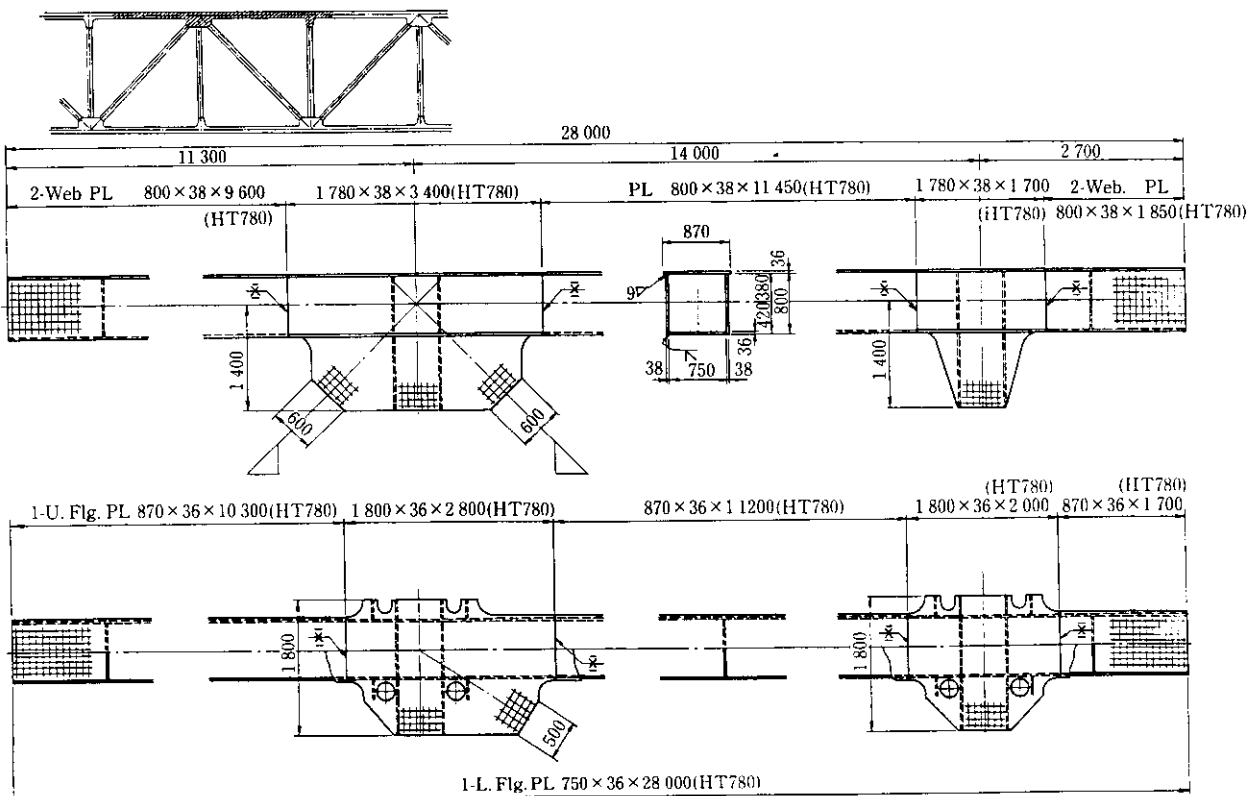


Fig. 5 Large scale truss chord specimen

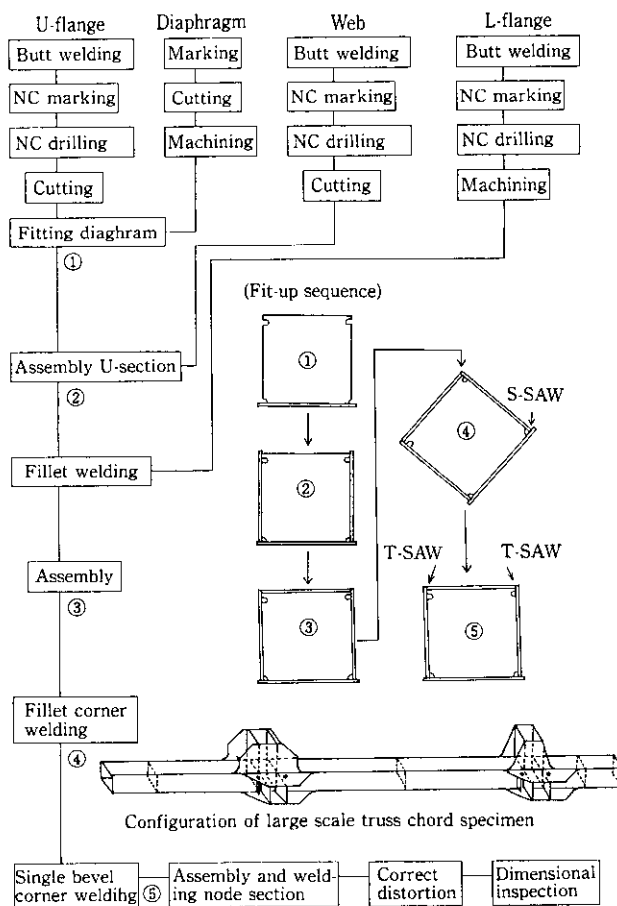


Fig. 6 Fabrication sequence

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of steel plates

Steel	Plate thick. (mm)	Chemical composition (wt. %)												YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\sqrt{E_{40}}$ (J)	Notes	
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	N	B						C <sub>eq</sub>
HT 780	38	0.12	0.20	0.90	0.009	0.004	0.24	0.73	0.45	0.450	0.042	0.0031	0.0009	0.50	765	883	21	208	Web plate
		0.12	0.20	0.90	0.009	0.004	0.24	0.73	0.45	0.450	0.042	0.0031	0.0009	0.50	804	853	21	229	
	36	0.12	0.20	0.90	0.009	0.004	0.24	0.73	0.45	0.450	0.042	0.0031	0.0009	0.50	814	863	21	238	Flange plate
		0.12	0.20	0.90	0.009	0.004	0.24	0.73	0.45	0.450	0.042	0.0031	0.0009	0.50	814	853	21	228	
0.12	0.20	0.90	0.009	0.004	0.24	0.73	0.45	0.450	0.042	0.0031	0.0009	0.50	726	863	21	140			
SM400A	12	0.14	0.15	0.68	0.012	0.011	—	—	—	—	—	—	—	0.26	284	431	34	—	Diaphragm plate

Table 4 Welding consumables

Welding process	Brand name	Wire size (mm)	Shielding gas or flux	JIS classification	Application
SMAW	L60F	5~6	—	D5826	Fill. welding
	L50F	5~6	—	D5026	Fill. welding
	KSL16	4~5	—	D8016	All position
GMAW	KM60	1.2	Ar80% + CO <sub>2</sub> 20%	JIS-YGW23	Tack weld and seal weld
	KM80*1	1.2	Ar90% + CO <sub>2</sub> 10%	—	Tack weld and seal weld
SAW	KW103B*2	4.8 4.0	B-1*3	—	Corner weld

\*1 Corresponding to AWS A5.28 ER 110S-G

\*2 Corresponding to JIS Z3183 S804-H3

\*3 High basicity bonded type flux

ートギャップに影響を与えるものではなかった。

実験に用いた溶接材料は基礎実験の結果によるもので、Table 4 に示す。

3.3.3 部材加工要領および品質結果

- (1) 板継溶接の放射線透過試験の結果はすべて1級であった。板継溶接部角折れ歪みの矯正およびビード仕上げ後の平坦度は、0.3 mm/500 mm 以下であり、かど継ルートギャップへの影響はなかった。
- (2) フランジおよびウェブの野書は板継溶接後、NC 野書装置を用いて行った。
- (3) 孔あけはコーティング付超硬ドリルを用いた NC ガターラジアル孔あけ機 (SCOM) により行った。被削性は SM490 より劣るものの SM570 より良好であった。
- (4) ウェブおよび上フランジのガス切断は、2本トーチによる平行切断で行い、真直度および幅精度の確保に努めた。切断結果

は真直度 2 mm 以内、幅寸法最大誤差 0.5 mm 以内の良好な精度を確保することができた。

(5) 機械加工の範囲は、下フランジの幅および開先加工、ダイヤフラムの 4 周幅加工、ガセットはめ込みプレートの 3 周幅加工とした。下フランジの加工にはフェーシングマシンを用いたが、切削可能範囲が 7 m と部材長 28 m より短いため、下フランジを移動させて加工した。加工方法は NC マーキングでひいた基準線により片側の加工を行い、反対側はその加工面を基準として行った。加工精度は幅精度で -0.1~+0.1 mm の範囲で良好であったが、真直度は加工歪みにより中央部で最大 3.5 mm であった。フランジ落とし込み作業を容易にするため、線状加熱により最大 1.5 mm まで歪み修正を行った。

(6) プライマーおよびドラグライン除去のための研削は自走式ベルトグラインダーを使用した。砥石の粒度は粗仕上 #24、仕上 #40 とした。研削部の平坦度は 0.2 mm/500 mm 以内であり、かど継手ルートギャップに影響を与えるものではなかった。

3.3.4 組立要領および品質結果

組立は U 組立、内面のダイヤフラム溶接、下フランジの落とし込みの手順で行った。組立には専用の組立治具を用い、かど継手部の圧着作業にはジャッキを用いた。28 m の長大フランジの落とし込み作業では、ウェブとの接触による傷が発生しないよう 2 台のクレーンを使用した。仮付後のルートギャップは Fig. 7 のようにすみ肉かど継手で最大ギャップ 0.5 mm が 1 箇所あったのみで、残りの測点 363 箇所はすべて 0.3 mm 以下、このうち 0.1 mm 以下は 344 箇所であった。

3.3.5 溶接要領

溶接姿勢は反転によりすべて下向き姿勢とした。ダイヤフラムの溶接は基礎試験の結果から作業性に優れた 50 キロ鋼用止端改良棒を用いた。すみ肉かど継手の溶接条件を Table 5 に、部分溶込みか

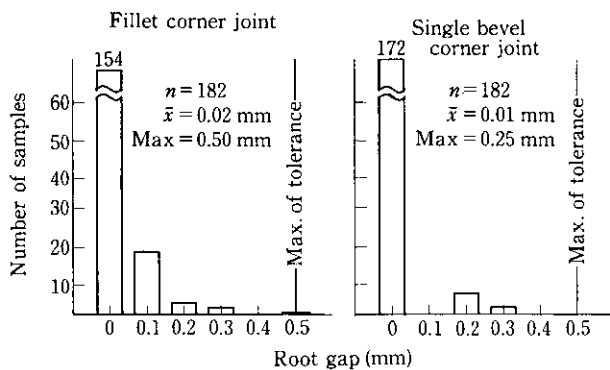


Fig. 7 Root gap distribution at the root of corner joint

Table 5 Welding conditions of fillet corner weld on chord member

Brand name	Pass No.	Wire size (mm)	Welding condition			Heat input (J/cm)	Pass sequence
			(A)	(V)	(cm/min)		
KM80	1	1.2	230	26	—	—	
KW 103B*1	2	4.0	700	34	45	30 000	

\*1 Flux:B-1

Table 6 Welding conditions of single bevel corner weld on chord member

Brand name	Pass No.	Wire size (mm)	Welding condition			Heat input (J/cm)	Pass sequence
			(A)	(V)	(cm/min)		
KM80	1	1.2	230	26	—	—	
KW 103B*1	2	L 4.0	800	30	60	46 100	
		T 4.8	650	34			
	3	4.8	650	34	45	29 500	

\*1 Flux:B-1

ど継手の溶接条件を Table 6 に示す。

3.3.6 継手部の機械試験結果

ウェブ板継部より採取した継手部機械試験結果は Table 7 に示すように、HBS 規格を満足している。

3.3.7 かど継手溶接部の品質

かど継手溶接部のブローホールの検査は、超音波探傷による検査を実施した。Fig. 8 に示すように部分溶込みかど継手では、領域 I の疲労等級 A 部材の範囲内であった。すみ肉かど継手はほとんど領域 I の範囲内であるが、一部領域 II の疲労等級 A 部材<sup>7)</sup> (ブローホールの限界寸法 短径 W=3.0 mm, 長径 H=6.0 mm) のものも含まれていた。表示した欠陥は、W=0.7 mm, H=2.0 mm 以下

Table 7 Mechanical properties of butt welded specimens of HT780 web plates (38mm)

Groove shape and pass sequence	Tension test TS(MPa)*1	Side bend test*2	V-notch Charpy impact test*3 vE-40 (J)	
			83	86
	840	No crack	83	Ave 83
	840	No crack	81	
			86	

\*1 JIS Z3121-1 \*2 JIS Z3122-1 \*3 JIS Z2202-4(Location:t/4)

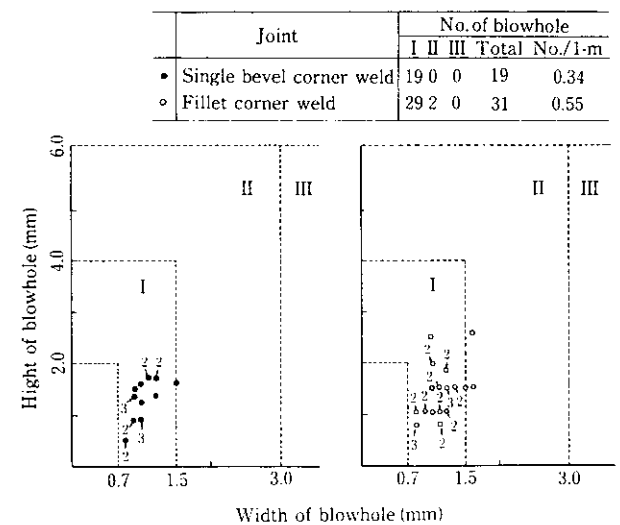


Fig. 8 Existing blowholes at the root of corner welds on large scale truss chord specimen (Numbers in the figure show the number of blowholes at the same position.)

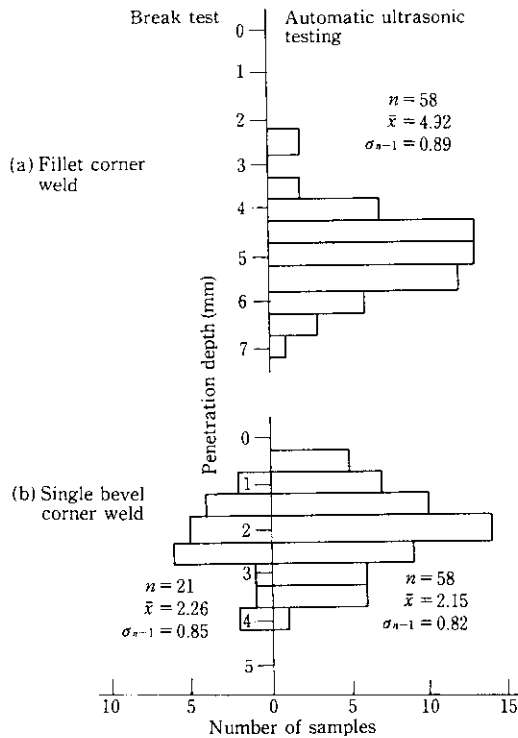


Fig. 9 Penetration depth of corner welds

のものは除いた。部分溶込みかど継手部では 1.5×1.7 mm のブローホールが最大であり、すみ肉かど溶接では 1.6×2.5 mm のブローホールが最大であった。ブローホールの発生はすみ肉かど継手の方が若干劣る結果となっている。これはシーリング溶接後の経過時間(約 10 日間)が問題と思われる。作業改善による作業の迅速化が課題である。

超音波探傷による推定溶込み深さのばらつきを破面試験との対比で Fig. 9 に示す。基礎試験の結果から見てやや不足気味と思われる。

超音波探傷で欠陥を表示した部分、および部分溶込みかど継手で溶込みが 2 mm 以下と表示した部分の一部について破面試験を実施した。超音波探傷で表示したブローホールは、破面試験結果とよく一致していた。部分溶込みかど継手の溶込み深さについては、破面試験結果の方が大きくなっている。ルートギャップが 0 で圧着が十分であると溶込み深さは少なめに表示される傾向にあるためと思われる。破面試験片の観察から仮付け溶接の再溶融が認められた。代表的な破面の写真を Photo 2 に示す。

3.3.8 部材寸法精度

寸法測定結果を Table 8 に示す。長大橋架設に重要な部材寸法精

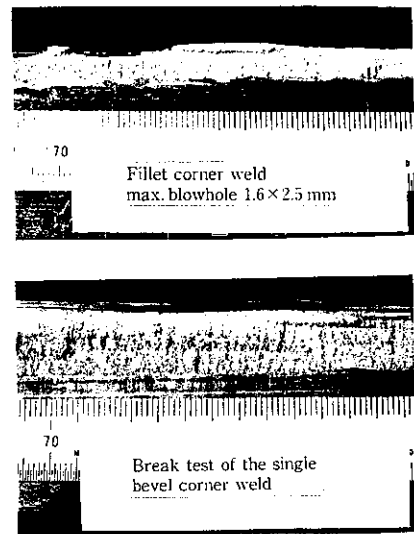
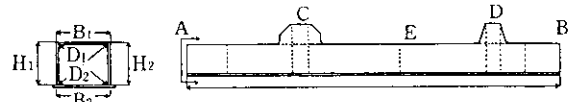


Photo 2 Typical examples of fractured surface

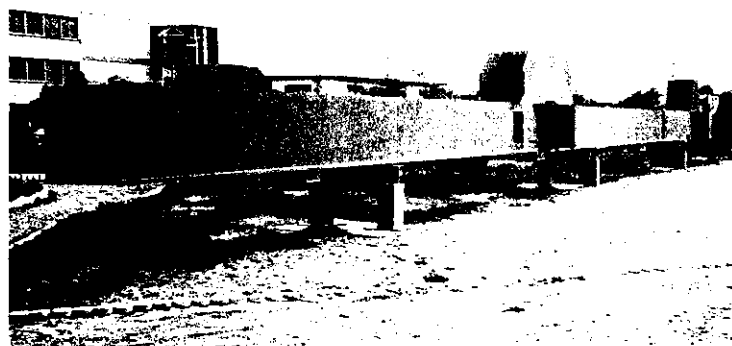
Table 8 Results of dimensional inspection of large scale truss chord specimen (mm)

	Dimensional tolerance (HBS)	Difference from actual dimension (Position)				
		A	C	E	D	B
Height	$H_1$	0	—	—	—	0
	$H_2$	0	—	—	—	0
Width	$B_1$	0	—	—	—	0
	$B_2$	+1	—	—	—	+1
Diagonal length	$D_1$	0	—	—	—	+1
	$D_2$	0	—	—	—	0
Streightness	$\pm L/1\ 000$	0	+1	+3.5	+2.5	0
Camber	$\pm L/1\ 000$	0	-3	-4	-2	0
Twist	$\pm 2$	+1	+2	+0.5	-1	0
Length	$\pm 2$	-1				



度は、すべて HBS 規格を満足しており良好な結果であった。パイロットメンバーの完成写真を Photo 3 に示す。

Photo 3 View of the large scale truss chord specimen



## 4 結 言

長大化が進む橋梁技術において、橋長 4 km、中央径間 2 km に達するような超長径間吊橋の補剛トラスでは大量の HT780 鋼の使用が予想される。この HT780 高張力鋼を用いた超長径間吊橋補剛トラスの工場製作における技術的課題について、基礎実験からパイロットメンバー製作実験まで実施して製作検討を行った。この結果は主として次のとおりである。

(1) 弦材かど継手のサブマージーク溶接に従来の熔融型フラックスに比べ耐割れ性の向上した焼成型フラックスを使用し、HT780 かど継手の溶接品質、疲労性能、耐割れ性および施工性において問題のないことを確認した。

(2) ダイヤフラムのすみ肉溶接において、ビード止端形状の優れた 50 キロ鋼用止端改良棒の採用が可能であることを確認した。

(3) 本四公団の「調質高張力鋼を用いたトラス弦材の製作基準」に準じた製作技術を適用し、従来実施例の少ない HT780 高張力鋼を用いたトラス弦材パイロットメンバーの製作を行った。この結果、本技術は工場製作技術として妥当であると考えられた。

(4) また、パイロットメンバーの製作を通じて、工場製作における品質レベルも妥当であると考えられた。

今後、工場設備および作業改善などについて継続的な検討を続けるとともに、さらに設計・架設の技術検討に対応した研究を重ねてこの種の製作技術の向上を図っていく所存である。

## 参 考 文 献

- 堀川浩甫：「瀬戸大橋における疲労設計と溶接施工管理の考え方」, 溶接学会誌, 58 (1989) 2, 53-6
- 本州四国連絡橋公団：大鳴門橋工事誌
- 海洋架設調査会・本州四国連絡橋製作検討委員会：「本州四国連絡橋の補剛トラス製作に関する検討報告書 大鳴門橋補剛桁」, (1982)
- 寺嶋久栄：「高張力鋼サブマージーク溶接材料開発の基礎的研究」, 東北大学, (1977), 博士論文
- 木田哲也, 大田明夫, 黒田 至：「大規模トラス橋トラス部材の製作実験」, 川鉄鉄構工業技報, No. 2 (1989)
- 夏目光尋, 片平和勇, 植草一彦, 深沢 誠：「ブローホールを含む HT80 縦継手の疲労強度」, 横河橋梁技報, No. 11 (1981)
- 海洋架設調査会・本州四国連絡橋製作検討委員会：「本州四国連絡橋の補剛トラス製作に関する検討報告書, 調質高張力鋼かど継手の AUT システムのまとめ」, (1986)