

技術ノート

長大吊橋補剛トラス上弦材の パイロットメンバー製作

Fabrication of Pilot Member for Upper Chord Truss of Super-Long-Span Suspension Bridge

増 井 利 弘*
Toshihiro MASUI

多 田 賢**
Satosi TADA

米 山 徹***
Tooru YONEYAMA

一 井 延 朗****
Nobuaki ICHII

It is informed that method of hangar structure is investigated to use pin-fixing type as well as conventional bearing-fixing type for Akasi Kaikyo Bridge.

If this is actually employed, fabrication method will be changed to adapt revised structure.

Besides, it is planned to use steel material of HT690 and HT780.

In this report, it is introduced about fabrication and testing procedure for full-size pin-fixing type upper chord truss using HT-690 and HT780 to presume actual bridge based on several information and also described about investigation of assembly method and weldability.

Keywords : Akasi Kaikyo Bridge, HT780, pin-fixing type

1. まえがき

現在計画されている長大吊橋の補剛トラスは、吊構造の形式としてハンガー定着方式が、従来の支圧定着からピン定着あるいはユニバーサル定着を用いたもので検討されている。この構造は、上弦材製作において箱断面形状が、上下フランジをサイドプレートで挟み込む形状となっており、BOX組立方式が表-1に示すように、従来の倒立組立方式から横組立方式へ変えざるを得ないのではないかと考えられる。また、主構弦材には高張力鋼のHT780材やHT690材が多用されるため、品質管理が問題となる。

今回の自主施工試験では、実橋を想定したHT780材を用いたユニバーサル定着構造の主構上弦材（部材長28.4m）のパイロットメンバーを製作し、製作上の問題点の検討を行った。

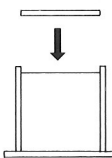
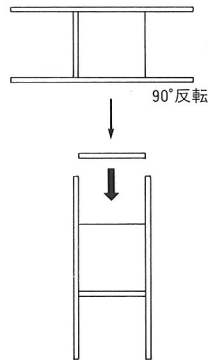
2. 目的

本施工試験では、主に次の事項について検討を加えた。

a) BOX組立における横組立方式の妥当性

- ① ピン孔位置精度の確立
- ② 予熱および溶接による長尺部材形状変化の把握
- ③ BOX組立時の斜め上向き仮付け、シーリング溶接の施工性の確認と手法の確立

表-1 BOX組立方式

支圧定着方式	ピン定着方式
倒立組立 	横組立 

b) ピンプレート部の製作方法

- ① ピン孔加工時期の検討
 - ② ピンプレートとサイドプレートの板継ぎによる、かど継手面への平坦度の影響
 - ③ ガセットかど継手部の逆ひずみ加工程度の検討
- #### c) 部材寸法精度
- ① 格点間の収縮量の把握
- #### d) HT780材の溶接施工
- ① 溶接低温割れの防止とボンド部靱性の確保

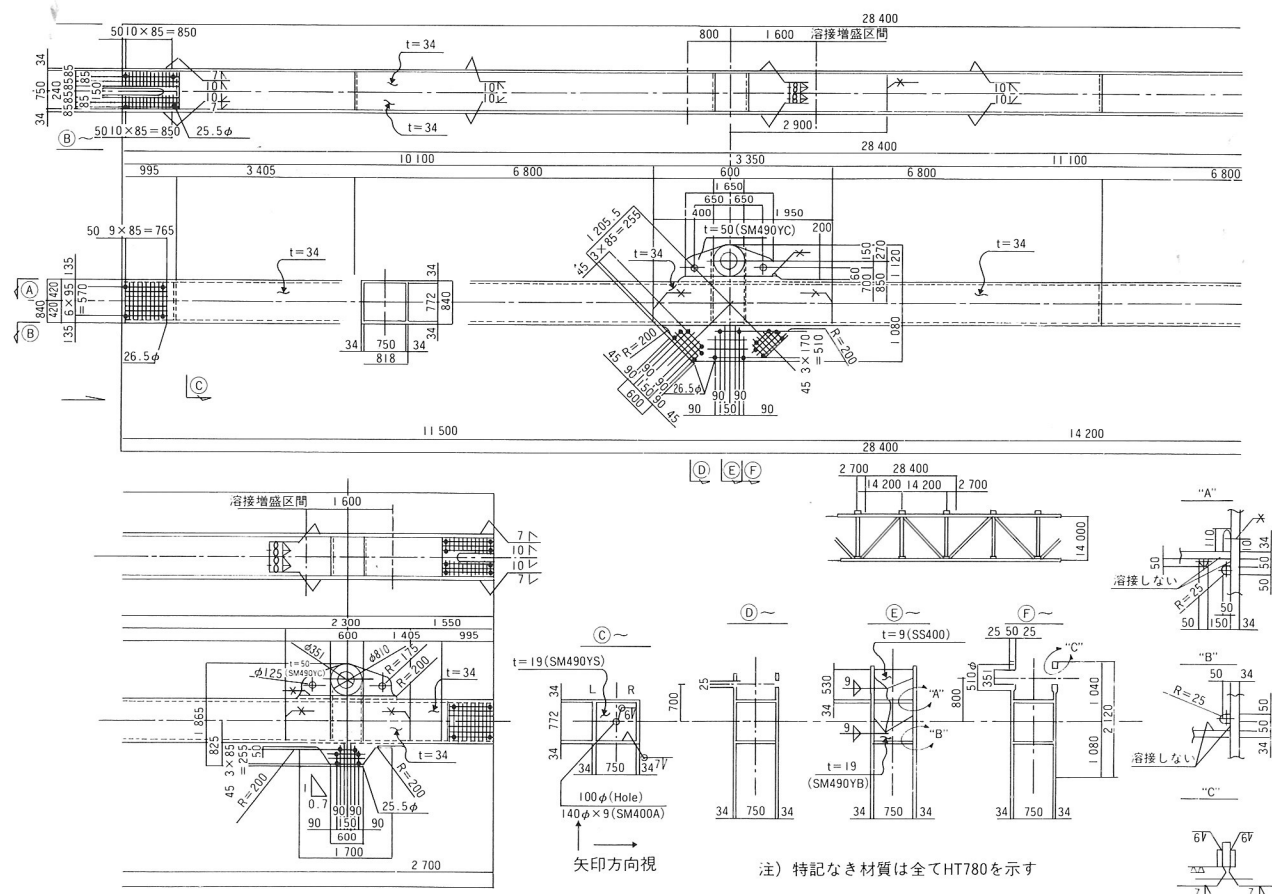


図-1 パイロットメンバーの詳細図 S=1:30

3. 製作

a) 試験体形状

パイロットメンバーの形状を、図-1に示す。

断面寸法は818 mm×840 mm、長さは28 400mm、重量は約28tonで、2個所のハンガー定着部を有する。

b) 使用鋼材

ピンプレート部 (t=50mm) およびダイヤフラムを除いて、すべてHT780材 (t=34mm) である。

表-2に用いられたHT780材の化学成分および機械的性質を示す。

c) 施工

図-2に、製作フローチャートを示す。

表-2 使用鋼材の化学成分および機械的性質 (HT780, t=34mm)

化 学 成 分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ceq
	0.11	0.24	0.93	0.006	0.001	0.17	0.98	0.48	0.37	0.04	0.49
機 械 的 性 質	降伏点 (N/mm ²)		引張強さ (N/mm ²)		伸び (%)		吸収エネルギー (J)				
	791		837		24		244 (vE-40)				

4. 試験結果

(1) 横組立方式の妥当性

図-2の製作フローチャートに示すように、横組立方式はサイドプレートにダイヤフラムを立て、次にその上に

上フランジを建込み、もう一方のサイドプレートをさらにその上に載せる方法で、仮付溶接が片側のかど溶接線ずつなされる状態となる。

このような組付状態での製作上の問題点は、常に片側がフリーな状態のために、予熱ならびに一方向に逐次仮付を行うと、蓄積されたひずみによってL組立時でのサイドプレートと、上フランジならびにL組立時での両サイドプレートにズレが生じ、ピン孔位置の精度確保の面に影響し、かつ大曲がり変形が大きくなるかということである。

本試験では、仮付手順を図-3に示す手順で行った。

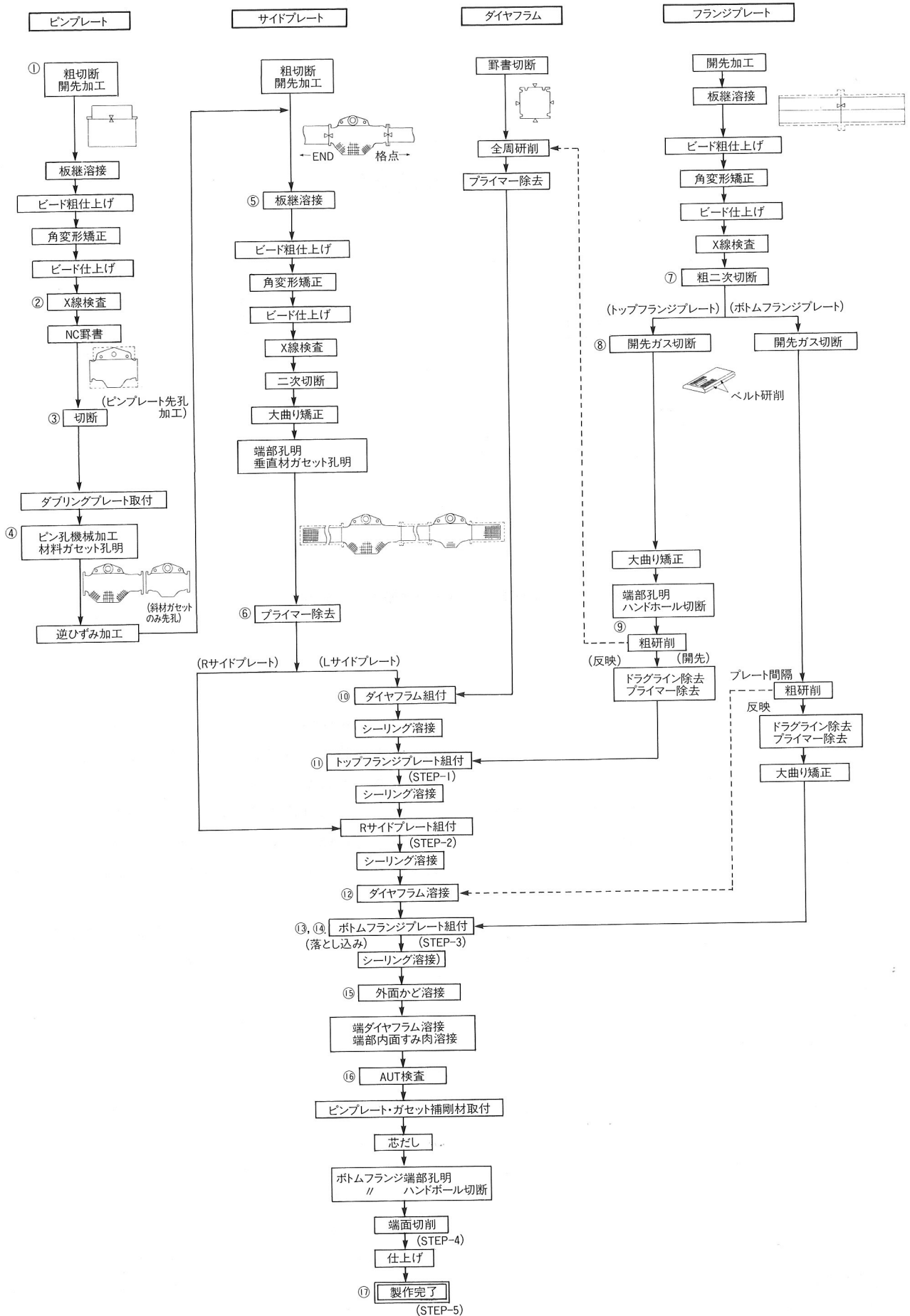
まず①～⑪の順に、格点およびダイヤの位置を基準に仮止めを行った。

次に格点K1を中心にA, Bの順に振り分けて、従来どおりの仮付け、シーリングを行った。

これにより、以下の試験結果を得た。

a) ピン孔位置精度

L組み立て状態での各格点におけるサイドプレート同士の軸線のズレは、格点K1で0.1 mm、格点K2で0.4 mmであった。また、表-3は、弦材製作完了後のピン孔位置精度を測定した結果であるが、両サイドプレートのピン孔中心のズレは、鉛直および橋軸方向でそれぞれ最大1.2 mm、0.4mmであり、目標とした0～3mmの範囲内に収まって

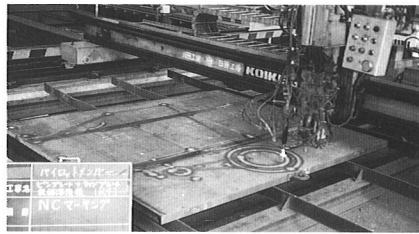


a) フローチャート

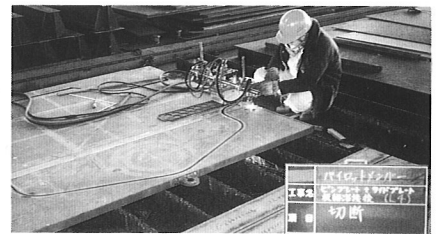
図-2 パイロットメンバー製作工程



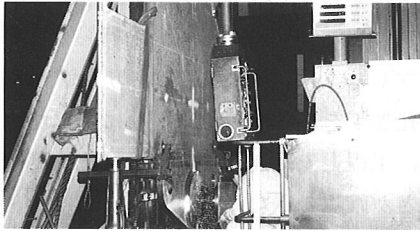
① 板継溶接



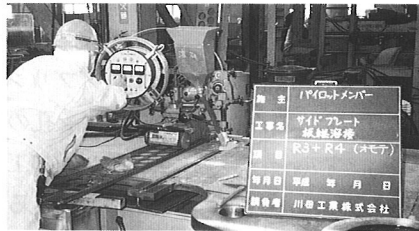
② NC野書



③ 切断



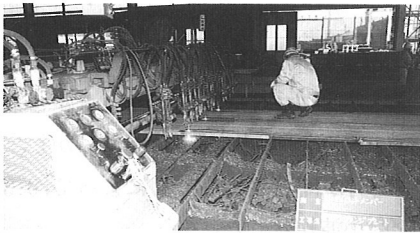
④ ピン孔機械加工



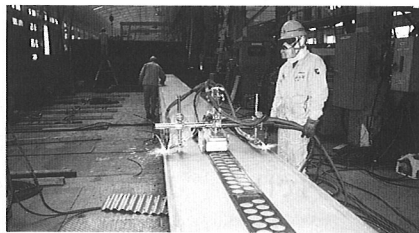
⑤ 板継溶接



⑥ プライマー除去



⑦ 幅二次切断



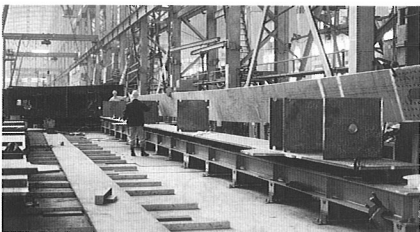
⑧ 開先ガス切断



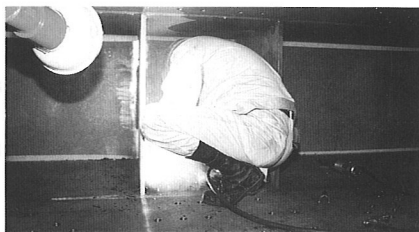
⑨ 研削



⑩ ダイアフラム組付



⑪ トップフランジプレート組付



⑫ ダイアフラム溶接



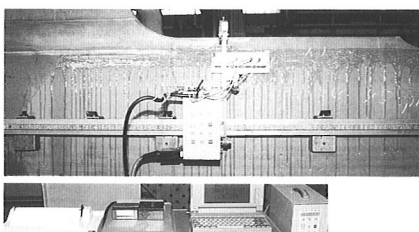
⑬ ボトムフランジプレート落込



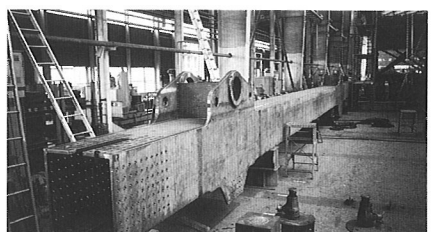
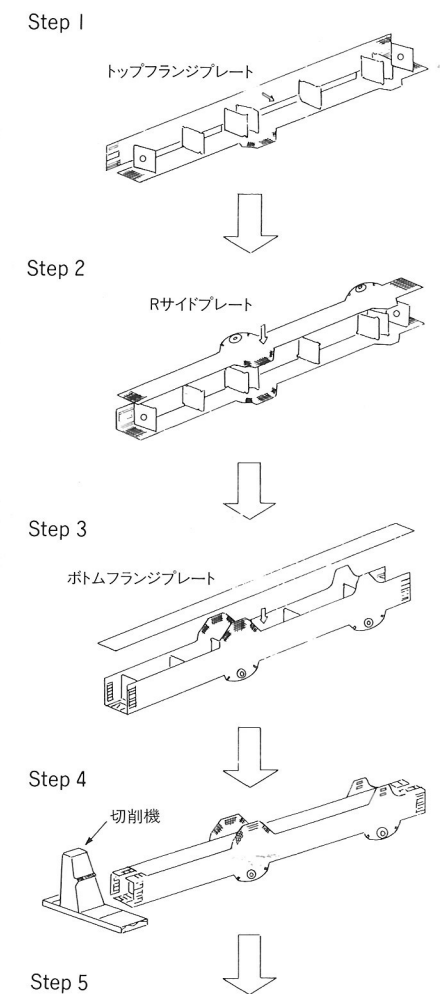
⑭ ボトムフランジプレート組付



⑮ 面外かど溶接



⑯ AUT検査



⑰ 製作完了

b) 工程写真

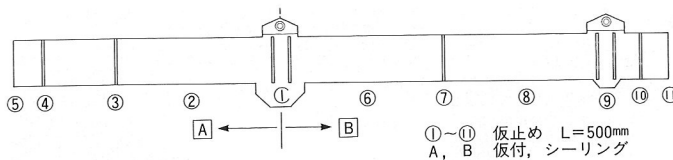


図-3 仮付順序

表-3 ピン孔位置精度

計測位置	格点	ズレ量	
		d1	d2
	K1	1.2mm	0.4mm
	K2	0.8mm	0.2mm

いる。

b) 部材の変形挙動

弦材製作完了後、ねじれを測定すると、管理値内ではあるが相対差で1.3mmのねじれが生じていた。

これは、BOXのLおよびU組付け時に、片側のみ100℃の予熱がなされたためにプレートの両端で温度差が生じ、伸びの違いが出たためであると考えられる。したがって、これをもっと少なくするためには、両端予熱や予熱温度を下げる事が考えられる。

次に、図-4は各溶接完了後の弦材橋軸方向の縦曲がり、および横曲がり状態を示したものである。組立完了後の最大値は、縦曲がりでは7.1mm、横曲がりでは6.9mmであり、かど溶接完了後では4mm以内で十分管理値内に収まった。

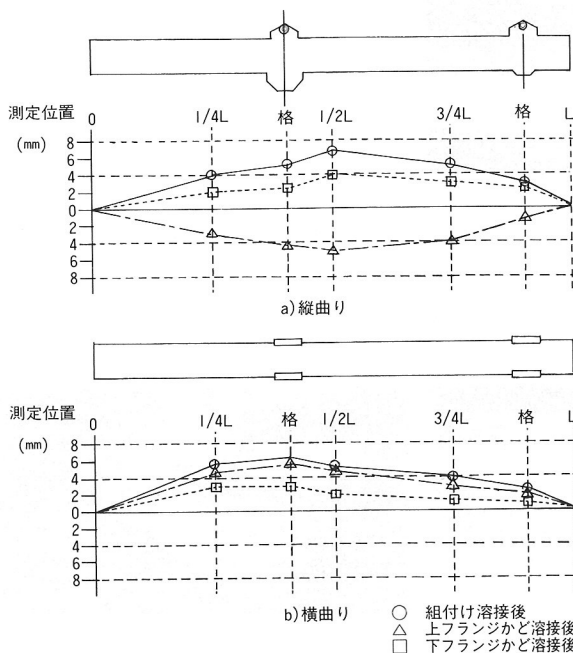


図-4 弦材の大曲り

c) 斜め上向仮付溶接

斜め上向き姿勢による仮付溶接は、作業性および品質とも特に問題はなかった。また、シーリング溶接も同様の姿勢で行ったが、良好な結果を得た。

(2) ピンプレート部の製作

a) ピン孔先孔加工

ピンプレート部は、図-5に示すように板継溶接、ひずみ取り後、NCマーキングをし、その後切断を行った。そして、ダブリングプレート溶接後にNCボーリングマシンでピン孔の先孔加工を行った。(1)a)項に述べたようにピン孔加工は、工程上先孔加工で十分ピン孔位置精度が確保できることが確認できた。

また、ピン孔径および真円度は、十分管理値内を満足するものであった。

b) 溶接によるかど継手面の平坦度への影響

板継溶接およびダブリングプレート溶接によるかど継手面の平坦度の影響は、見うけられなかった。しかし、逆に切断により残留応力が開放されたことによって、0.3mm/500mm程度の新たな小波が生じた。

c) 逆ひずみ加工

ガセット部のかど継手溶接による倒れ込みを考慮して、14mm~16mm/1000mm程度の逆ひずみ加工を行ったが、適正な値であった。

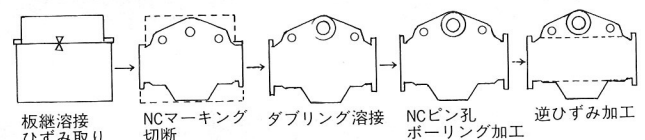


図-5 ピンプレート製作フローチャート

(3) 格点間の収縮量の把握

部材寸法精度を確保するために、各工程での収縮量を把握する必要があり、図-6は、サイドプレートの2格点間隔の寸法精度を把握するために、各工程での収縮量を示したグラフである。

この結果、2次切断およびかど溶接による縦収縮量は、それぞれ0.07mm/m、0.056mm/mと把握できた。

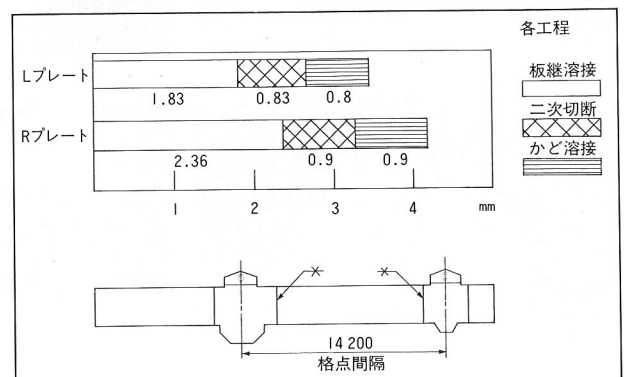


図-6 格点間の各工程段階での収縮量の影響

しかし、板継溶接において左右各々のプレートに0.5mm程度の収縮量の差が生じた。これは、板継溶接の溶接量の差の影響がでたものと考えられる。また、板継ぎ溶接では格折れにも注意して施工しなければならない。

(4) 溶接

a) HT780材の予熱および入熱量

HT780材の溶接施工で特に留意しなければならないのは、溶接低温割れの防止とボンド靱性の確保である。この対策として、予熱および入熱量の管理が重要である。表-4 に本施工におけるHT780材の予熱および入熱条件を示す。

表-4 HT-780材の予熱及び入熱量

施工種別	溶接方法	適用継手	最小予熱温度	層間温度	入熱量
仮付溶接	MAG, CO ₂ 半自動溶接	板継溶接 かど溶接	100℃	200℃	5万J 以下
本溶接	サブマージ アーク溶接	板継溶接 かど溶接	100℃		

b) HT780材の板継溶接

表-5 に本施工におけるHT780材の板継ぎ溶接試験結果を示す。

表-5 HT-780板継溶接継手機械試験結果

溶接材料		衝 撃 値	吸収エネルギー(J) 	管理目標値 $\sqrt{E_{-15}} \leq 47J$
ワイヤ: Y-80M 4.8φ フラックス: NB-250H 12×100				
引張強度				
806N/mm ²				
硬さ	測定位置: 表面2mm			
	測定位置: 中央			

c) HT780材のかど継手溶接

表-6 に本施工におけるHT780材のかど溶接試験結果を示す。継手性能は、軟質継手と、設計上690N/mm²を確保することを目標とした。

5. まとめ

a) 横組立方式でも、部材精度および品質は十分確保できることが確認できた。

b) ピン孔加工は、先孔加工で管理値を満たせる。

c) かど継手の仮付け溶接時における100℃予熱は、施工および部材精度に影響があり、さらに予熱低減等の検

表-6 HT-780かど溶接継手機械試験結果

溶接材料*1	60キロ級	70キロ級	衝撃 値	
	ワイヤ Y-DM (4, 4.8φ) フラックス YF-15 (20×200)	ワイヤ Y-70M (4, 4.8φ) フラックス YF-15 (20×200)		
引張強度	703 N/mm ²	783 N/mm ²		

硬 さ	60キロ級	70キロ級

*1		LLF 70キロ級溶材使用 その他 60キロ級溶材使用
----	--	--------------------------------

討を加える。

d) HT780材の溶接において、品質および機械的性質が良好であることが確認できた。

以上、今回自主施行試験において当初問題とされていた横組立法式は、制作上の問題はないが、従来の倒立組立に対して、倍以上の手間がかかり、今後要求精度と照らし合わせながら組立手順の効率化の検討を行う方針である。

最後に、本パイロットメンバーの製作にあたり、ご指導を賜った大阪大学堀川浩甫教授に深く感謝の意を表わします。