

#### 4. 輸出橋梁の製作事例研究

##### アダミヤ橋(イラク共和国)の製作

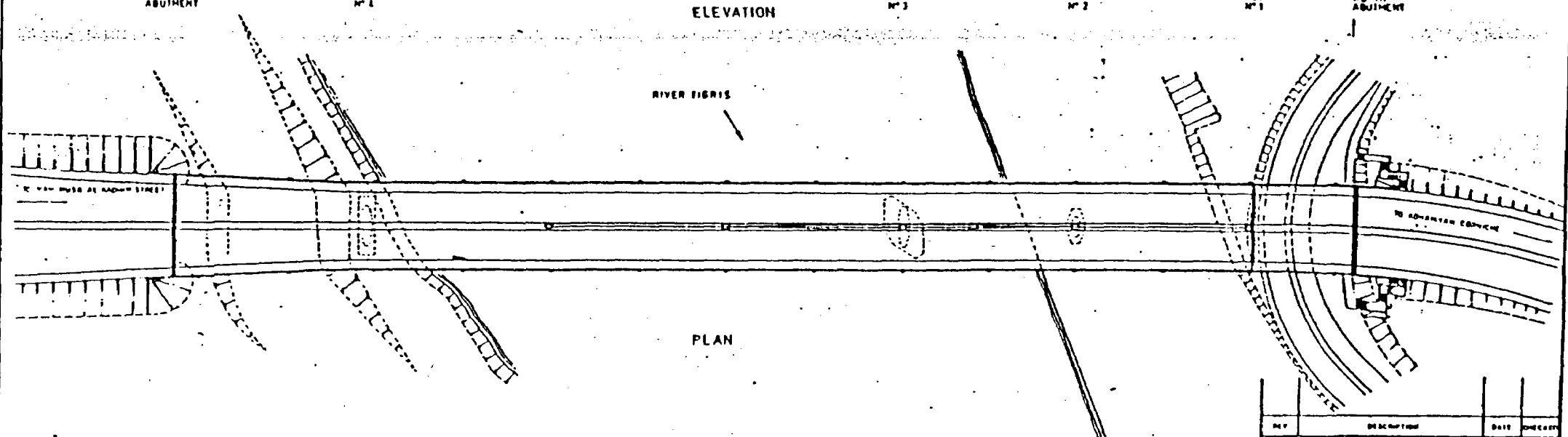
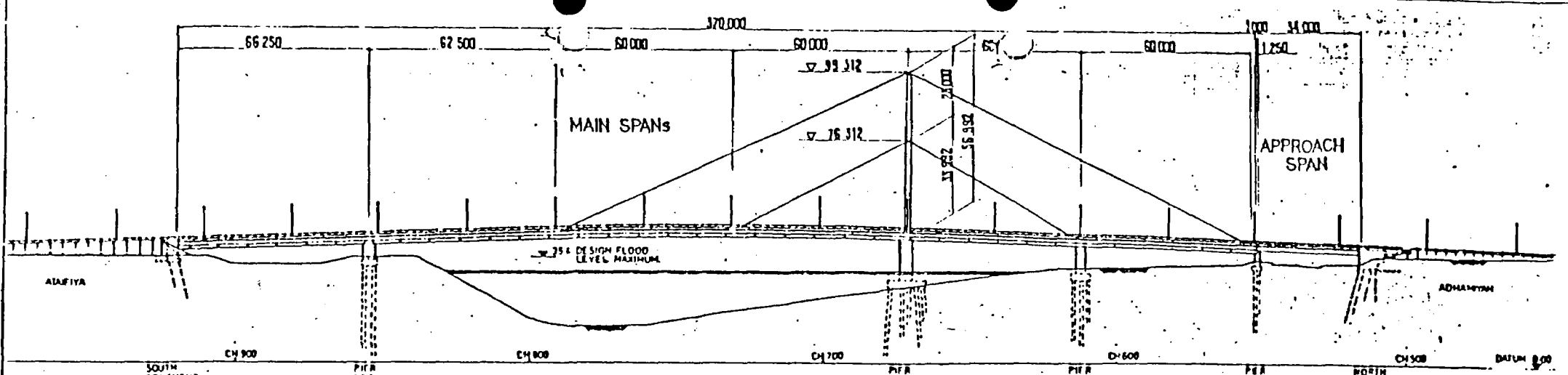
###### 1. まえがき

アダミヤ橋は、メソポタミア文明発祥の地、イラク共和国の首都バグダッドを流れるチグリス川に架かる中東で最初の斜張橋である。本プロジェクトは、イラク道路橋梁公社(SORB: State Organization of Roads, and, Bridges)より1979年9月に一般国際入札によって発注され、上部工を住友重機械工業(株)が、下部工を住友建設(株)が担当したものである。基本設計は、イギリスのHaunsell Consultant Ltdが担当しており、当社は詳細設計から製作・輸送そして架設までの全体工事をTurnkey Baseで担当した。本橋は我が国には見られない構造形式が用いられていること、設計・製作にMerrison Design Rulesを適用したこと、架設は片持ち式完全張出し工法を採用したことなどの多くの特徴を有しているが、本文では工場製作に限り工程順に概要を紹介する。

###### 2. 本橋一般図

次ページに本橋一般図を示す。

91



REV	DESCRIPTION	DATE	CHECKED
THE GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF IRAQ MINISTRY OF HOUSING AND CONSTRUCTION STATE ORGANIZATION OF ROADS AND BRIDGES			
ADHAMIYAH BRIDGE BAGHDAD			
GENERAL ARRANGEMENT OF BRIDGE			
CONSULTING ENGINEERS MAUNSELL CONSULTANTS LTD LONDON <small>IN ASSOCIATION WITH</small> AL-KUBAISHI & PARTNER BAGHDAD			
SCALE	AS SHOWN	DATE	7527/4/1



### 3. 工場製作概要

本橋は、斜張橋(支間長合計370m)とアプローチスパン(支間長34m)の2つの橋梁から成っている。

斜張橋は、一本の主箱桁(7.500m×3.335m)をそれより左右に10.500m張出す断面の橋桁を1本の塔より、上下2段のケーブルで吊る一面吊形式である。

また、主箱桁は、パネル構成で溶接もさる事ながら、主に高力ボルトに依る比較的大規模な組立て構造である。更に、特徴ある構造詳細は複雑である。

次に、材料・試験を始め製作に関連する規格、仕様に就いては、外国主に英国のBS(British Standard)が適用された。

従って、その製作に当って、国内での詳細設計段階から、工作法、精度の問題、品質管理等に就いて、十分検討し、英国コンサルタントを日本に招き討議した。

製作の基本となる構造物の基準線(Datum Line)は、主箱桁の下フランジ上面で支間長等は、ここで水平長を測る。更に鉛直スチフナーを始めとする横断面の部材(上・下フランジの横リブ・張出部の横桁等)は全て、この基準線に直角に取付ける。従って、これら横断面の取付線は鉛直ではなく、縦断曲線・キャンバーの為に、放射状となる。

原寸に際しては、この点を特に留意し、展開した。製作上は、各部の構造詳細のところに就いて、精度の向上を、また、国内の一般橋梁と異なるため手作業が多くなりがちであったが、できる限り機械等を使用し、自動に近い工作法に務めた。

検査は、その項目・回数の量が多く、報告書は、膨大となった。検査官は、コンサルタントであるマンセルコンサルタンツより依頼を受けた日本の検査会社インテコ(INTECO)である。特に塗装に就いてのみ、英国よりBIEの英国人検査官が常駐した。また、特に重要と思われる期間は、英国人エンジニアが駐在した。

#### 3.1 主桁

##### 3.1.1 原寸

###### (1) 原寸方針

以下の方針にて原寸を行なった。

- I) 主箱桁部の側面形状は、各ブロックは直線で各ブロック継手にて折れる折れ線形状であるので、製作時形状も折れ角と部材長の調整によりキャンバーを付けることとする。
- II) 側面の全体寸法については、数値計算にて主要寸法を求め、これをもとにNC定規作成機にて長さ定規を作成する。
- III) ブラケット・ダイヤフラム・垂直補剛材等の桁のウェブ面への取付はウェブ縁に直角とする。

iv) スパインボックスの原寸形状は、製作キャンバー状態(完成系+X, Y 方向死荷重変位)にて行なう。

v) アウターガーダ及びラテラルの原寸形状は、完成キャンバー状態にて行なう。

vi) ブロック長さ及び幅定規等、長尺寸法を表す定規は、構造形式を考慮し、予想される溶接収縮を見込んで伸び尺で作成する。

(2) スパインボックスの原寸

スパインボックスの側面主要製作寸法は計算にて算出したが計算時の基準軸としては、箱の下フランジ上面から一定(1,400mm)の高さに設定された仮想中立軸(D.N.A.)を基準とした。

ウェブ・フランジの長さ寸法については、NC機械にて定規作成を行い、床おろしは省略した。

内構材その他の詳細部については、実寸法にて床おろしを行ない、各取合い上のチェックを行い、製作に必要な型・定規類の作成を行なった。

(3) アウターフレームの原寸

アウターガーダの原寸は、スパインボックス同様に、長さ及びブロック端形状を計算し、これをもとにNC定規を作成した。アウターガーダの計算は完成系にて行ない、計算基準軸はスパインボックスのD.N.A.とし、これからの高さの方向の遍りを考慮した。

プライマリキャンチレバー・フットウェイキャンチレバーは、死荷重変位を考慮して実寸法にて床おろしを行なった。

ラテラルについては、完成系の座標を求め、これより格点間距離を算出することにより、全体骨組の床おろしを省略し、直接に部材定規の作成を行なった。

### 3.1.2 罫書

表面処理が黒皮のままでありかなり長期間に渡っての製作の為黒皮が剥がれ、赤錆の発生が有り、作業に際して赤錆にかなり悩まされた。当初赤錆の除去としてはワイヤブラシにより行なっていたが自動式ワイヤブラシを購入することによりかなりの効果を上げた。罫書方法としては従前と変わらずManualによるものであるが材質の色分けを下記にて行い、重要な位置の罫書墨についてはニス塗布して罫書墨消失の防止処理を施した。

43A・・・白

50B・・・青

50C・・・黄

### 3.1.3 切断

特殊な切断機を用いての切断ではなく、従来よりの自動(フレームプレーナ・アイトレーサーを含む)半自動・手動によるものであった。

作業としてはプライマー材に比して赤錆の影響によるものであろうがチップの目づまりが若干多かった様に思われた。

尚、作業に先立って品質面から切断部位の加工硬度をFlame Cutting Testにより確認し、板厚に応じての切断条件(ノズルNo. 酸素・圧力・アセチレン圧力)の決定を行ない作業に反映をさせている。

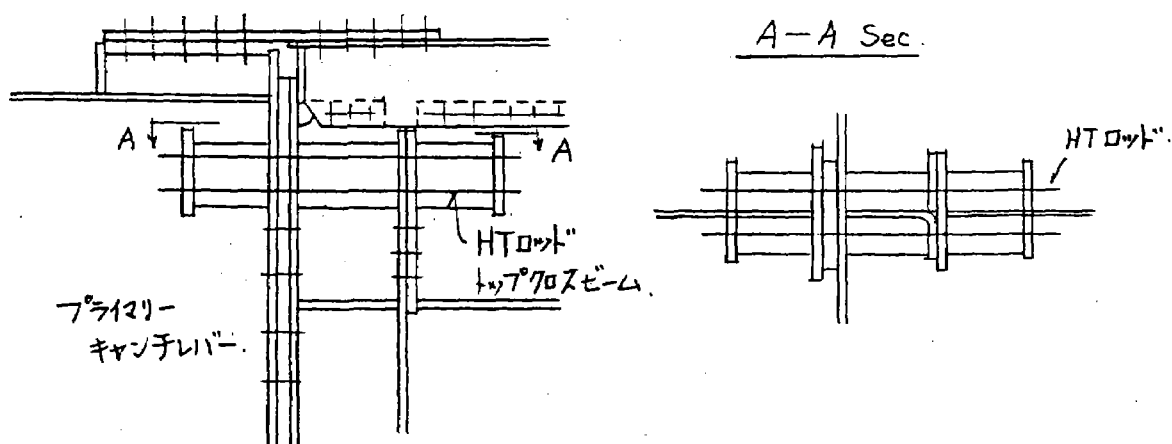
### 3.1.4 組立. 溶接. 孔明

#### (1) スパインボックス

スパインボックスは、輸送及び製作重量を考慮して、箱断面がボルト結合で構成され、尚かつトップパネル及びボトムパネルは特殊ブロックを除いて3パネルに構成されている。

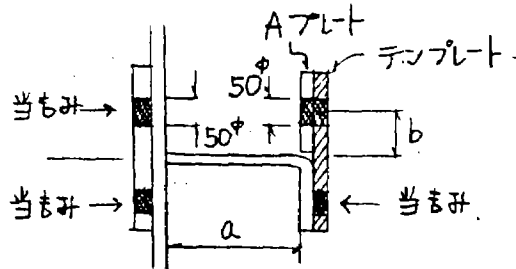
加工方法としては、各単一パネル毎に加工すると3パネルを一体として加工する方法が考えられるが、a)ボルト連結部の品質を高めること。b)パネル自体の剛性を高める事により溶接変形を少なくすること。c)作業スペース(一体に出来る作業スペースが有った等)により、3パネル一体の加工法を採った。

ウェブパネルの製作の中で特に注意を払ったのは、下図の通りプライマリーキャンチレバー・クロスガーダーと取合うH.Tロッド用孔の貫通度であった。



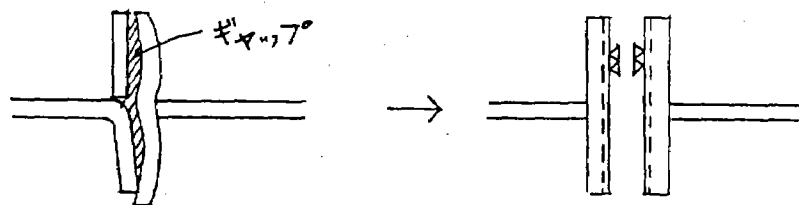
全体の貫通度のチェックは仮組立時に実際のHTロッドを用いて行なったが、ウェブパネル・トップクロスビーム及びプライマリーキャンチレバーの各部材における貫通度の確保は次の様な手順を用いた。

a) ウェブパネル



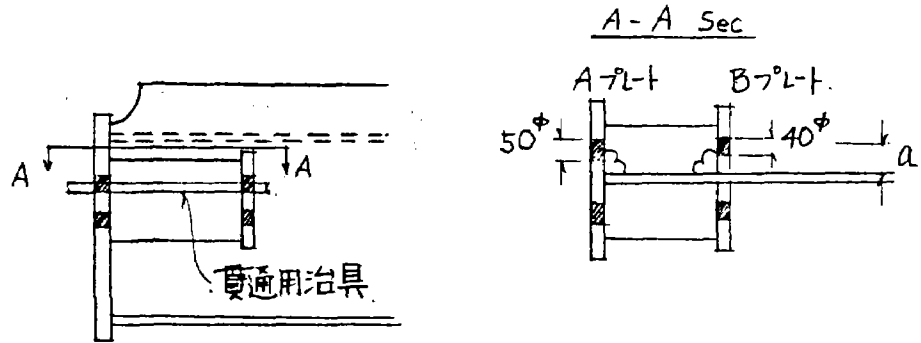
上図の様にAプレートは先孔(50φ)とし、かつBendプレートに取付けておき、Bendプレートの孔を、テンプレートより当もみにて行なった。この際寸法a, bの押えに注意を払った。また、ウェブプレートも同様にパネル完成後再野書により位置出しを行い、テンプレートより当もみ孔明を行なった。

ここで、製作上問題があったのはBendプレートの構造であることと(Bend構造は精度の確保が難しい)溶接構造のみでメタルタッチを要求されたことにある。Bendプレートの精度はトップクロスビームの長さ決めの大きな要因でもあった。



本来ならば、溶接完了後に機械切削にて加工すべきであろうが今回は、曲げ精度・溶接歪により生じたギャップの処理はエポキシ樹脂を充填することによって行なった。

b) トップクロスビーム及びプライマリーキャンチレバー



Bプレートをセットすることが最終段階であるがこのBプレートをセットする際、貫通用治具を用いた。尚セットの際直角度及びa寸法の押えに、十分な注意を払った。

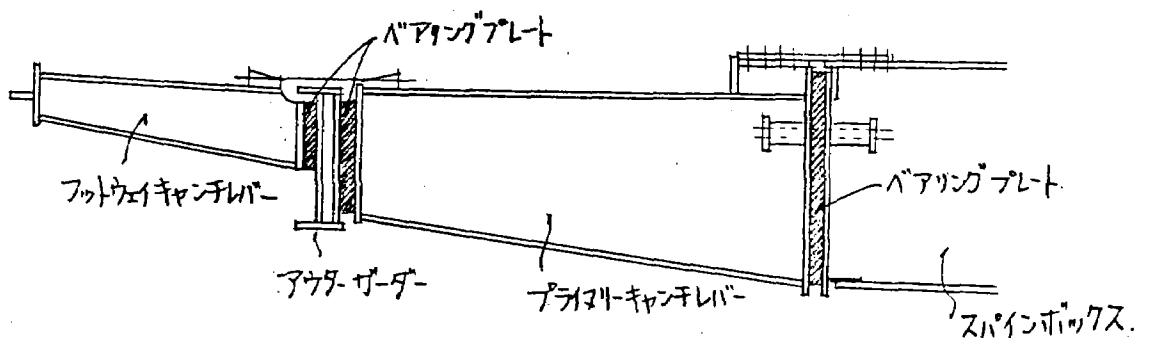
次に特記すべきことはスパインボックスのみではなく、全ての部材にスベック上要求された事項は塗装されるフリーエッジ部を約6mm程度の半円に仕上げることであった。

対処方法としては主して手作業によるグラインダー掛けであったが、自動切削機を開発実用化して効果を上げた。

フリーエッジ部の形状が塗装に及ぼす影響については若干研究はされているがなぜ6mm程度の半円が必要とされるのかは定かではない。

(2) アウターフレーム

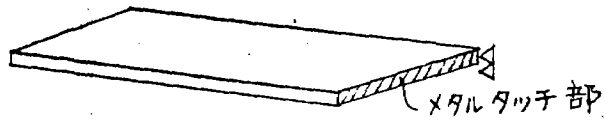
アウターフレームは、ボルト結合されているがベアリングプレートでセン断をもたせる構造になっており、ベアリングプレート間のメタルタッチが要求された。それ故、以下の手順により、メタルタッチの確保を図った。



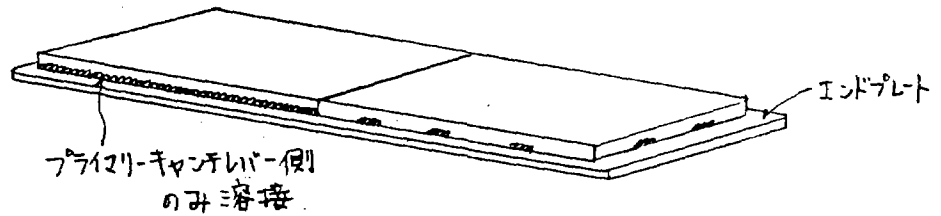
(プライマリーキャンチレバーとスパインボックスの取合の例)



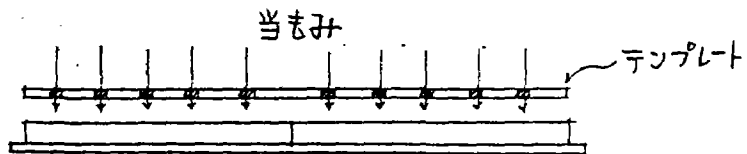
- a) 各々のベアリングプレートのメタルタッチ部の削り加工を行なう。



- b) 各々のベアリングプレートをエンドプレートにセットする。

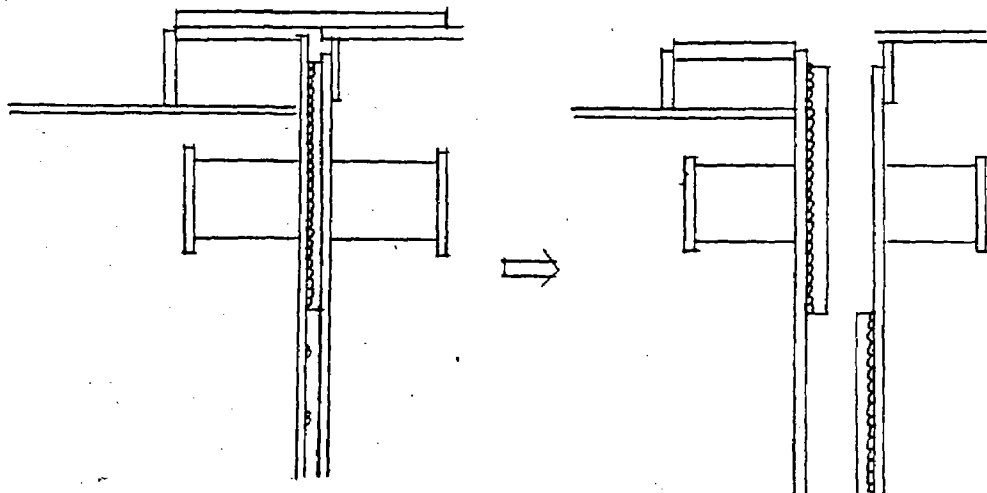


- c) その後、テンプレートを用いて一体となったベアリングプレートの孔明を行なう。



- d) 一体となったベアリングプレートをプライマリ・キャンチレバー本体に取付溶接を行なう。

- e) 仮組立時所定の形状寸法確認後、スパインボックス付ベアリングプレートをエンドプレートより取り外し、ウェブパネルに取付溶接を行なった。



この手順はクロスガダー・フットウェイキャンチレバーにおいても同様のものではあった。

## 3.2 塔

### 3.2.1 原寸

- (Ⅰ) 塔の原寸は全て手作業原寸にて行なった。
- (Ⅱ) 塔は水平方向のキャンバーが無いので、床おろし作業は全体については行なわず、塔下部ブロック・ケーブル取合ブロック等取合が複雑で展開も必要な部分及び断面その他の詳細部分に限定した。
- (Ⅲ) 床おろし部分については、原寸図上にて必要な展開作業、取合いの確認、作業性の確認を行ない、製作に必要な型・定規類の作成を行なった。
- (Ⅳ) 床おろし省略部分については、図面上にて十分なチェックを行なった後、製作に必要な型・定規類を直接に作成した。

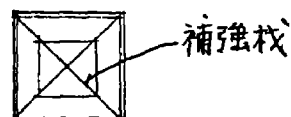
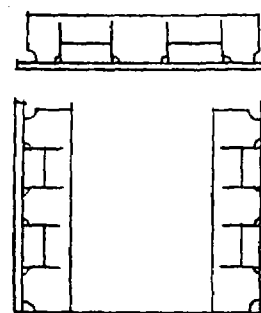
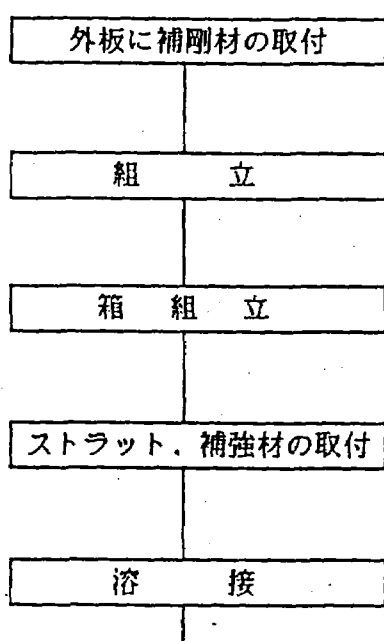
### 3.2.2 野書・切断

補剛材と特に変わず

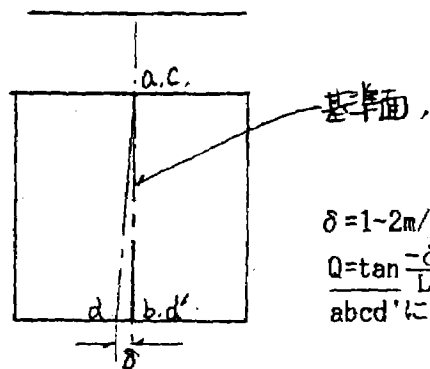
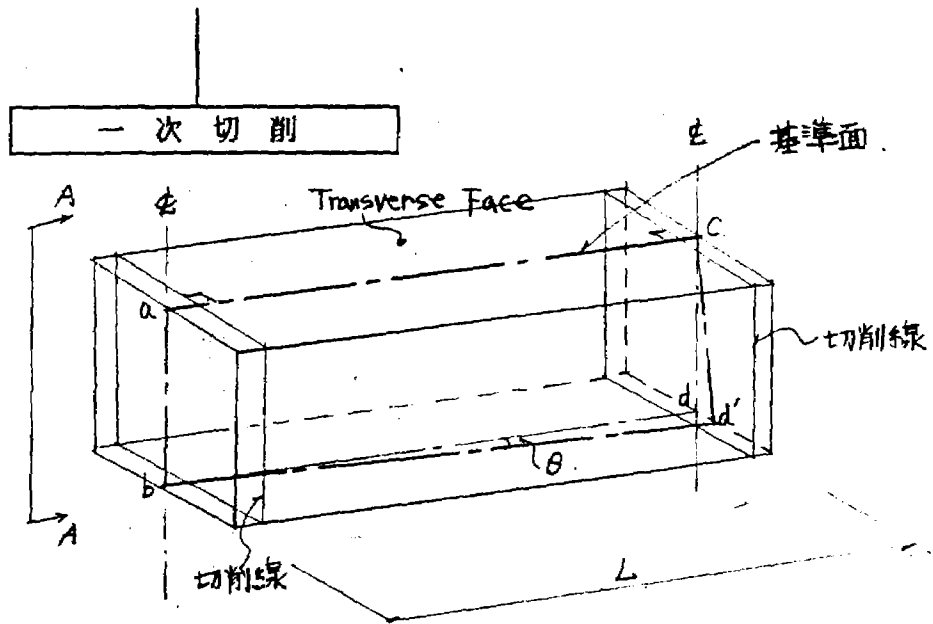
野書・切断とは関係はないが塔内補剛材はH形鋼であり、塗装時に狭あいの為、ブラスト施工が困難と判断し先行塗装(ブラスト, 有機ジンク)を施した。これについては、スパインボックスウェーブ付きBendプレートも同様であった。

### 3.2.3 組立・溶接・切削

組立は下図の手順にて行なった。



外面角溶接……SAWにて施工  
 内面隅肉溶接……脚長10m/mと大脚長  
 で有り,GMAWにて施工。  
 小脚長はSMAWにて施工。



$\delta = 1-2\text{m/m}$ 程度であった。

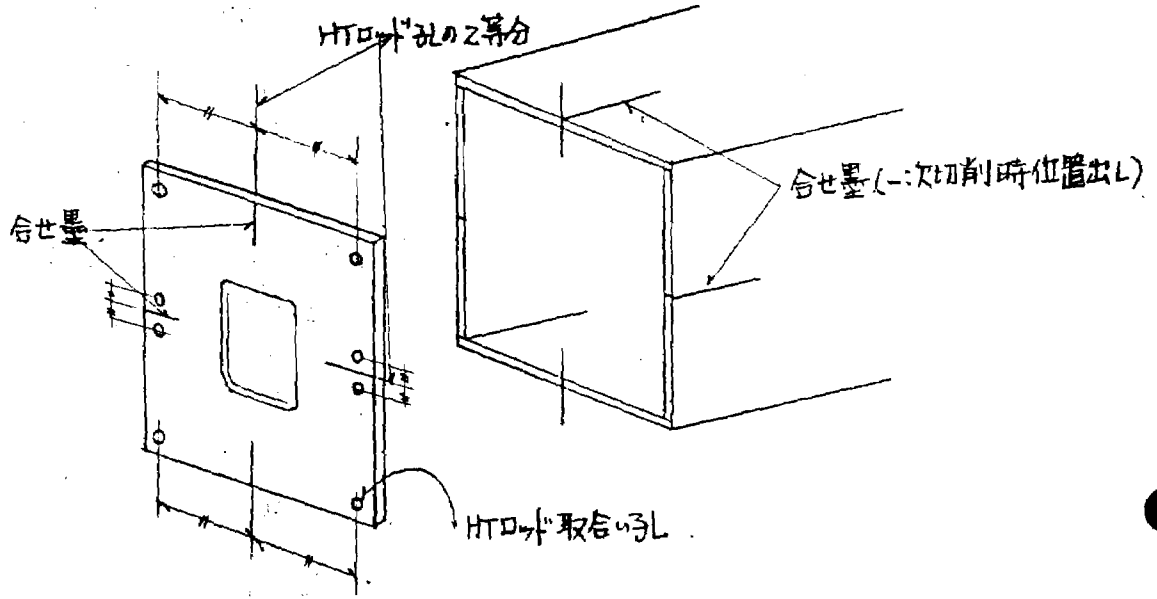
$Q = \tan^{-1} \frac{\delta}{L} \leq 20^\circ$  の範囲内を確認し基準面  
abcd'にて切削線を設定した。

上図の様に橋軸方向の通りを考慮して、Transverse Faceを基準面として  
両端の中央値を結ぶ基準面に直角となる線を切削線とした。

尚、切削代は溶接收缩量を考慮して片面7.5m/m 計15m/mとした。

粗度は25Sである。

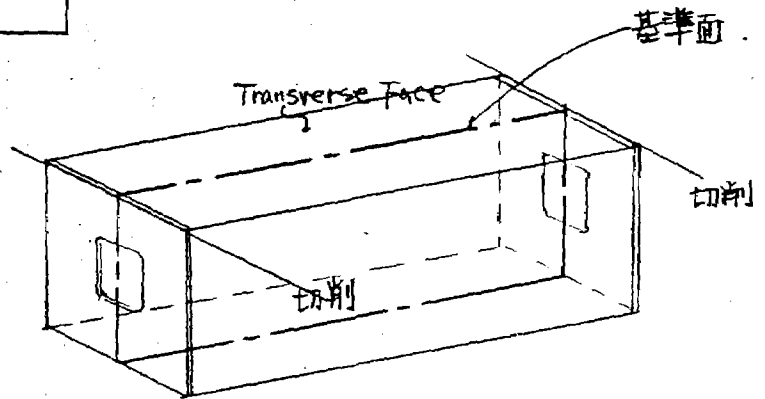
エンドプレートの取付



上図の様に、エンドプレートの設置時合せ墨と塔の一次切削時合せ墨のセットを行なった。

エンドプレートの溶接

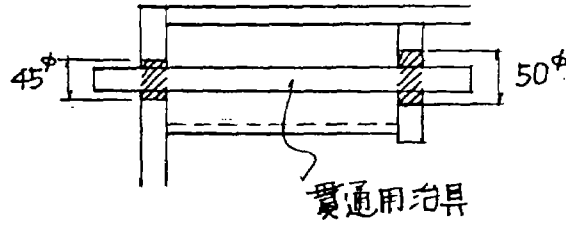
二次切削



上図の様に一次切削時基準面を基準としてエンドプレートの切削を行なった。切削除は5m/mであり粗度は12.5Sである。

ボルトボックスの取付溶接

スパインボックスと同様に貫通用治具を用いてエンドプレートを基準にボルトボックスの取付、溶接を行なった。



### 3.3 ベアリング

#### 3.3.1 リンクベアリング

本構造物は、毎径間ケーブル定着部に生じる負反力に対処するために採用された鋼管とコンクリートとの合成構造物である。鋼管の中にMacAlloy Barと呼ばれるPC鋼棒を配置。更に、コンクリートを充填して両端をキャッピングし、プレストレスを導入したユニークな負反力吸収構造となっている。尚、橋脚からのMacAlloy Barとの締付け作業スペースの関係、並びに回転能力を検討した結果、初期の構造からはPin結合部が多少修正されている。

##### (1) 使用材料

		P1側	P2側
鋼管	寸法		
	直径	355.6mm	500mm
	長さ	2000mm	1750mm
	厚さ	20mm	25mm
	材質	BS50C (BS4360)	
	使用本数	2本	1本

製作は、各厚さの板材を曲げ加工し溶接により接合

付属物 Shear Key Drive Fit Pin等 BS50C材

MacAlloy Bar : 6 No 40φ      15 No 40φ

コンクリート : E-10 28日 圧縮強度 620kg/cm<sup>2</sup>

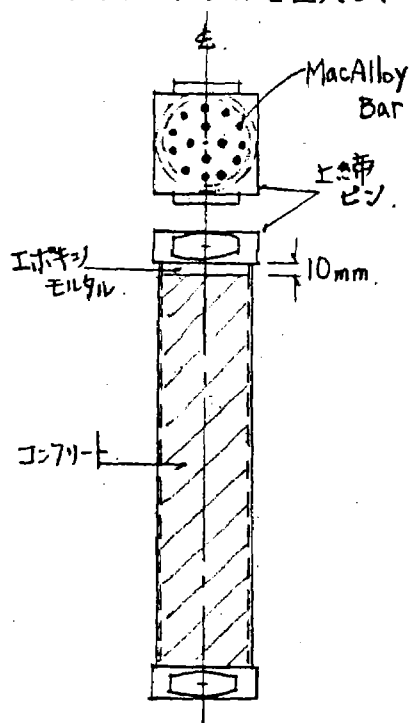
Denso Tape : MacAlloy Barとの縁切りに使用

Epoxy Mortar : コンクリートとPinとの接触面の密着性保持  
(隙間10mm)

## (2) 製作

### (a) コンクリート打設

下部にピンを据付けた所定の鋼管を鉛直に立て、Template(型板)を用いてDenso Tapeを巻いたMacAlloy Barを各位置へ配置し固定後コンクリートを上端から10mm余して打設、フリージングの終了確認後ルカソールという表面処理剤を散布して1日放置する。翌日水洗によりレイタンスを除去すると共に硬化コンクリート表面を露出させる。次に、エポキシモルタルを注入し、しばらくして上端のキャッピングを行な



う、ナットを軽くセットして23日強度を確認するが仕様書には立方供試体強度 $620\text{kg/cm}^2$  (Warks Test)、 $710\text{kg/cm}^2$  (Preliminary Test)が規定されており、立方供試体用型枠が我が国では入手困難なことから交渉となった。この結果BS1881 Part 3より、円柱供試体強度の25%増しが立方供試体強度と等価として規定されていることから、結局、Preliminary Testで円柱供試体強度 $568\text{kg/cm}^2$ が実現出来れば良いことになった。

### (b) プレストレスの導入

締付けは、伸び管理で実施することになり、対称位置の各MacAlloy Barを設計軸力の半分ずつ締付けて全体に一樣なプレストレスが得られるように留意した。

本件に関しては、パワーレンチ(手動で減速比により所定のトルクを実現するもの)を使用し、一端のナットを回転させることによって締付けたことから、Bar自体に擦れが発生、他端ナットの共回り現象等もあって、途中締付け作業が混乱した。

### 3.3.2. ベアリング

他の支承については、以下のようにになっている。

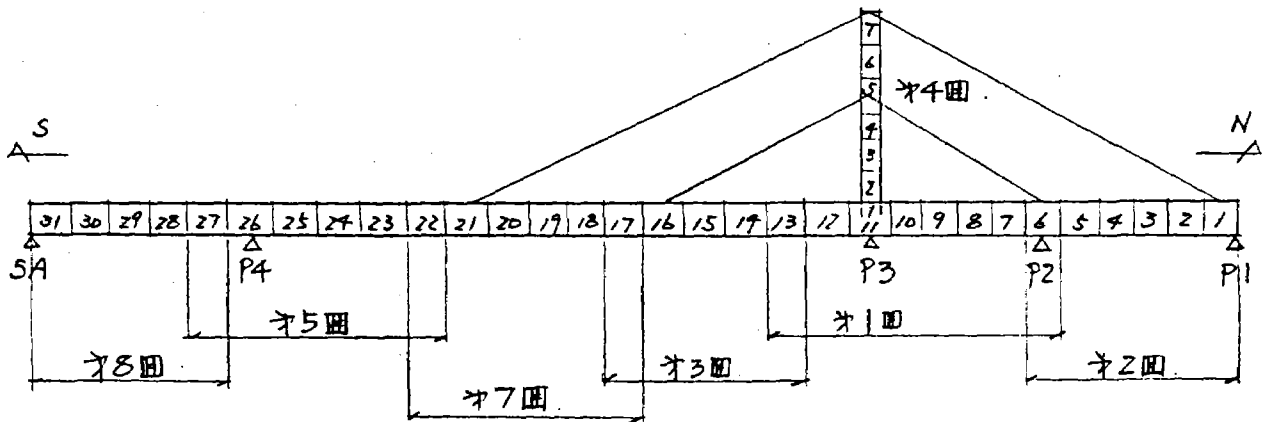
P1	Sliding Bearing	製作
P3	Tower Bearing	製作
	Deck Bearings	
P4. SA	} Pot Bearings	イギリスより購入
Approach		

Tower Bearingについては、Base Plateが契約図面では、2枚板として設計されていたが、張出し架設をした場合の桁の横変位に対する処置、さらに製作工数等も考慮して1.52m×4.6mの1枚板に変更。中央に回転吸収用の円形の切込みを配して架設時の桁の偏心に対処した。

### 3.4 仮組立

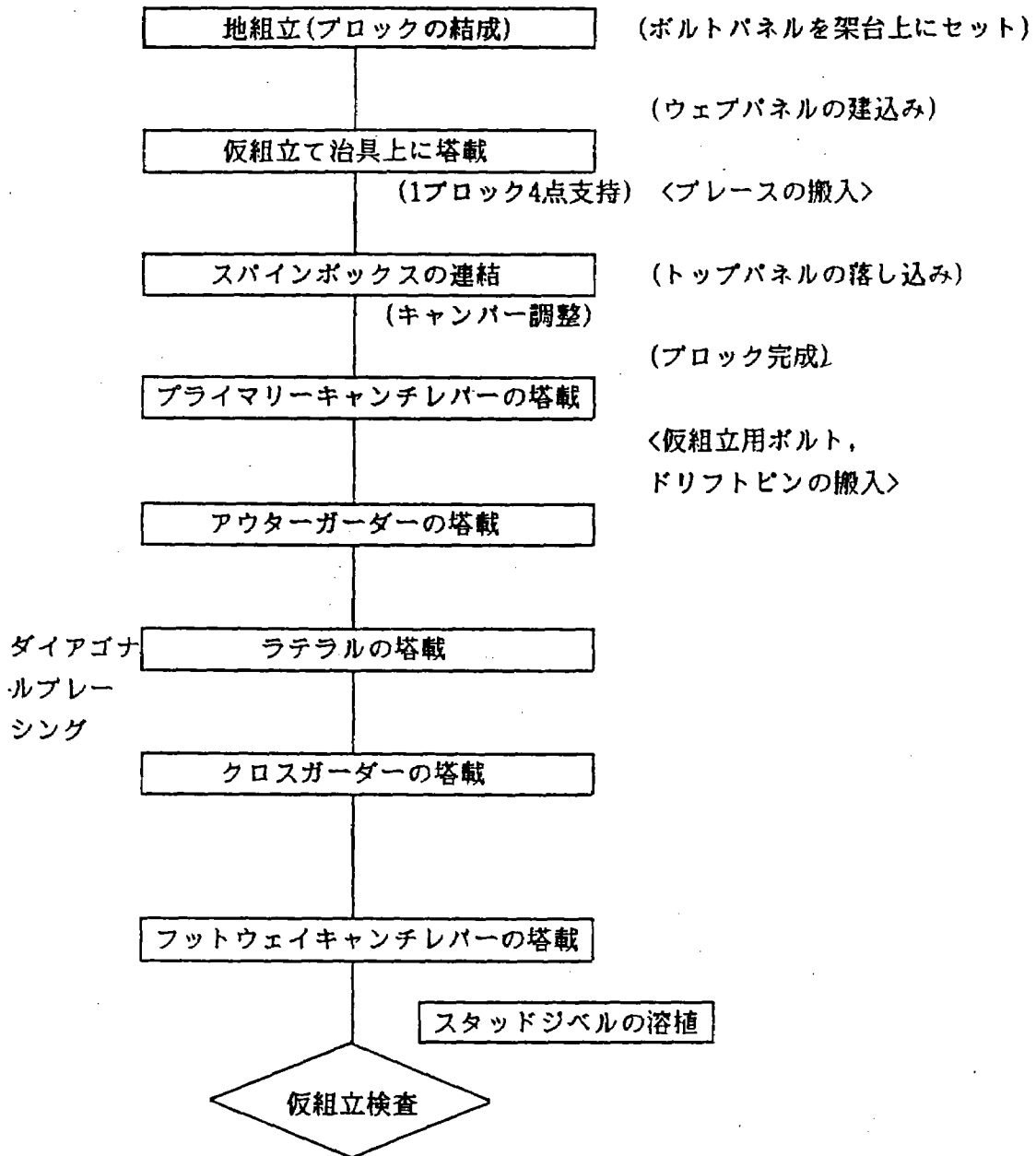
#### 3.4.1 主桁仮組立

仮組立は、工場スペースの関係で下図の通り、分割仮組立を行い、寸法取合いの確認を目的として、桁端部のブロックを除いた端ブロックを重複仮組立を行なった。





第6回仮組立は、アプローチ部のボックスガーター部に対して実施された。  
 以下に仮組立のFlowを記す。



塔載用クレーン能力は50Tジブクレーンが2基である為Maximum 100T迄のブロックに地組立が限定された。それ故 No. 11,のブロックは100Tをこすため、仮組立時にブロックを結成していった。

スパインボックス全長は370mと長大で有り、架設時のクリアランスを考慮した寸法許容を満足する為に調整用ブロックを設けた。

本来であれば全ブロックを仮組立しその全長を確認後寸法調整すべきであるが、現地輸送の関係とそれまで実施した仮組立(第1-3日)により誤差傾向が把握できたことにより、第4回目の仮組立前にNo. 22ブロック・N方向側を+20m/m伸ばした調整ブロックとした。

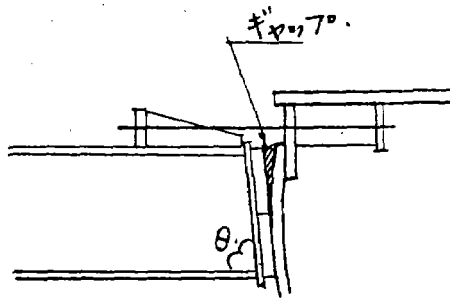
又、現地架設工法は、スパインボックス全ブロック結成後、鋼重たわみが落ちた段階でアウターフレームを取り付けるという手順であった。

それ故工場仮組立は、スパインボックスを多点支持にて仮組立した後、アウターフレームは支持せずアウターガーダーの継手部の取合は行なわなかった。しかしながら計算上のアウターガーダーの継手部の隙と仮組立の隙の確認を行なった。

上記と関連して、ラテラルの連結の問題があった。それは、アウターフレームの全体形状がラテラルのセットによって決まる為にアウターガーダー側のガセットプレートとラテラルの取付・溶接・時期を仮組立時に行なうか又は現地架設時に行なうかということである。現地施工が困難(作業そのものと塗装が痛む)であることと計算上さほど影響がないということをもって工場仮組立時に取付溶接を行なった。

スパインボックスは前述した様にパネル自体、コーナー部全てがボルト結合有り、孔明にはかなりの気を配った。それと同様にボックス間の現場継手部に現地架設時において工場仮組立時形状が再現出来得ることを考慮したクロストランスボルト孔(パイロットホール)がスペック上要求されたが全ての継手孔について形状確認後1段落しからの正規孔へのリーミング及びスプライスプレートからの当もみ等の工法を採った為現地架設でも良好な形状が得られたようだ。

次にスパインボックスとクロスガーダーの取合部(ベアリングプレートとウェブパネル)に生じたギャップについてであるが、これは下図の様にウェブパネルの歪みとベアリングプレートのクロスガーダーへの取付度の誤差によって生じた。機能上ギャップを埋める必要が有り前述(特記)と同様に現地架設後エポキシ樹脂を充填することで対処した。



### 3.5 工場塗装

#### 3.5.1 塗装仕様

本橋の塗装仕様はBS規格でも長期防食を目的にしており最初のメンテナンスの期間を10~20年と非常に長く、亜鉛溶射と塗装を組合せた仕様である。国内でも橋梁に亜鉛溶射を適用しているものはあるが長大橋では、関門橋しか例が見られない。さらに本橋は、箱内外面の最終層を現場塗装としているのが大きな特徴である。

しかし、この長期防食塗装を施工するに当たり、次の問題点があり塗装仕様を変更することになった。

- 1) 素地調整のグレードは、亜鉛溶射であるために 1st Quality (SIS. Sa-3) となっているが、箱桁内面及びタワー内面はリブがあり十分な素地調整ができない。
- 2) タワー内面には亜鉛メッキの梯子等が取り付け、現場塗装が出来ない。  
上記問題より変更された塗装仕様の概略は下記の通り。
  - 1) 箱桁内面は、亜鉛溶射を厚膜有機ジンクリッチペイントに変更する。但し塗膜厚は150 $\mu$ とする。(これは、BS規格で亜鉛溶射100 $\mu$ に対し、等価なジンクリッチペイントの膜厚は150 $\mu$ と規定されている)
  - 2) リブに使用されている型钢はショットプライマー方式とし、あらかじめプライマーを塗布する。(他は黒皮材で製品プラスト)
  - 3) タワー内面のみ現場塗装である。最終層を工場で塗装する。

#### 3.5.2 設備・機器

##### ① 設備

塗装仕様及びBS規格の中に工場塗装を実施する上でプラスト及び塗装条件の問題があり、下記の設備を使用した。

問 題 点	設 備
1) プラスト面の最大表面あらさ100 $\mu$ 以下	プラスト工場 プラストナース 9M×20M×6M カット JIS G-70
2) 亜鉛溶射する所(粉じんの為)	亜鉛溶射室 (6.5M×16M)
3) 屋内塗装	屋内塗装工場 18.2M×58.4M 13.7×80.3
4) 温湿度、露点温度管理	除湿装置 (6台) ジェットヒーター (6台)
5) プラスト後、4H以内の塗装 プラスト~塗装迄 屋外搬出禁止	プラスト~溶射室~塗装迄 台車運搬設備

## ② 検査機器

検査機器として以下を使用した。

- (1) 表面粗さ測定機 (小坂研究所 SE4A)
- (2) Testex-O-Firm & マイクロメータ (最大表面あらさ測定用)
- (3) Kean taterと拡大鏡 (目視による表面あらさ測定用)
- (4) スウェーデン規格標準写真集
- (5) Wet膜厚計
- (6) Kett膜厚計 L-2B
- (7) 岩田カップ
- (8) リヨン粘度計
- (9) 表面温度計

### 3.5.3 施工

工場塗装開始にあたり、本プロジェクトのコンサルタントであるMCL(マンセルコンサルタント)より、塗装専門の検査官(英国BIE LTD.)が派遣され、約3ヶ月間、川間工場に常駐し、施工管理について厳重に管理された。

工場塗装要領及び施工管理要領について、要領書を作成し、素地調整から工場塗装完了迄部材別の管理シートを使用し、管理することを義務付けられ、その管理シートは客先に提出することになった。

施工上大きな問題となったのは以下である。

- (1) プラスト後4H以内に第1層を完了しなければならない事。
- (2) プラストの除錆グレードは亜鉛溶射面は1st Qualityである事。
- (3) 亜鉛溶射後の短ばくウォッシュプライマーから次のエポキシ塗料迄のインターバルが24H以内である事。
- (4) 部材のハンドリングの際にクレーンの油が被塗面に落ちる事。
- (5) 露点温度より鋼板の表面温度が4℃以上高いこと。
- (6) 溶接のスパッターが付着していないこと。

これらの問題に対して次のように対処した。すなわち(1)項は各作業時間、移動時間を短縮する様に人数を増やし(2)項は、プラスト・チェック・プラストという方式を取り(3)・(5)項は雨天でも塗装出来る除湿等の設備を入れ必ず24H以内に塗装出来る様にした。また、(4)項については、ハンドリングの際はビニールシートで塗面を養生保護することで解消された。又、(6)項についてはプラストチェック時にチェックし落とすものとした。

以上