論文・報告

関西空港連絡橋鋼トラス橋の製作・架設

Fabrication and Erection of Steel Truss Bridge for Kansai International Airport

大　村　外志男*　Toshio OMURA
木　舟　三　雄**　Mitsuo KIFUNE
渡　辺　晴　紀***　Haruki WATANABE

A truss bridge plays a key role in the whole access way to Kansai International Airport being constructed on 5km offshore Senshu, the southeast of Osaka Bay. The present report shows main features of this bridge concerning its fabrication and erection.

The bridge had been sectioned in three large blocks during the fabrication. Each one was built in different shops, and then combined on the construction site with the floating crane. According to this, we had to assure severe tolerances for the connection of each block, and applied a few special rules including the effect of temperature.

Keywords : Kansai Internationl Airport, truss bridge, shop assembly, large block erection, quality assurance

1．まえがき

本工事は，関西新空港が建設される空港島と大阪府の泉南地区を結ぶ連絡橋を構成する6連のトラス橋と4連の鋼床版箱桁橋のうちの，No.6トラス橋の製作・架設工事であり，主な特色は以下のとおりである。

① 鋼直結軌道型の鉄道桁を搭載した道路・鉄道併用橋であり，そのために一部，疲労を念頭に置いた設計がなされた。

② 工場にて完成された3つの大ブロックを，現地の空中でモーメント連結法によりジョイントする架設工法が採られた。

③ 各大ブロックは別々の場所において大組立され，その取り合い部分の精度確認は，部材相互の移送・仮組立は行わずに，個々の測定値を使用して机上照査を行った。

④ 鉄道桁に関しても上記の③と同様に，完成後の所要据え付け精度を満足すべく，特に入念に管理を行った。

長大橋の施工を共同企業体の形で受注した後，分割された橋体をそれぞれ別の場所で製作するケースは，年々増加している。この際，各施工区分の取り合いの確認手法としては，隣接部分を製作場所間で移送し．重複して仮組立する方法が一般的であった。しかしながら最近では，このような移送を行わずに，取り合い部分の精度を個別に管理する手法が用いられつつある。とくに橋梁全体をいくつかの大ブロックに分割し，現場でそれらを空中ジョイントするという架設工法を，本橋のような大規模な形で実施したケースは，過去に例をみない。

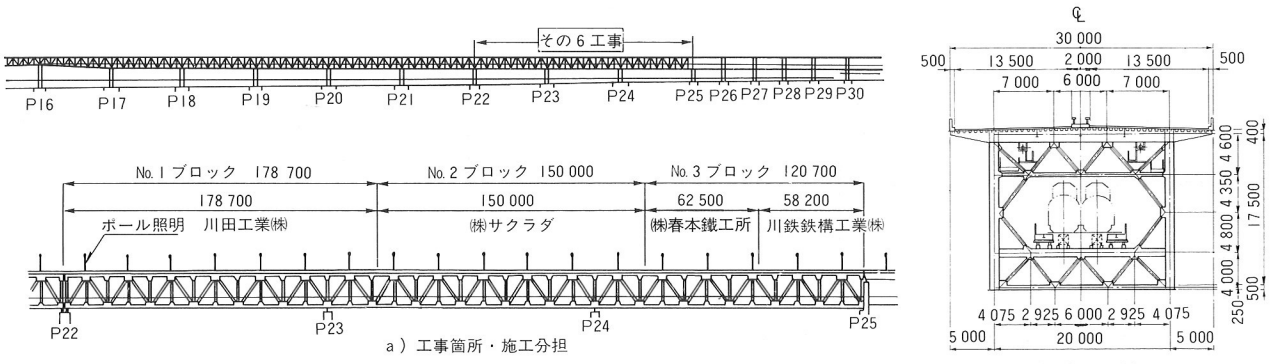
本文ではこのような観点から，その製作・架設の概要を述べる。

2．構造諸元

図-1に全体一般図を示す。また橋梁の主要な構造諸元は以下に示すとおりである。

発 注 先：関西国際空港㈱
工 事 名：空港連絡橋鋼トラス橋製作・架設，その6工事
橋　　格：道路　第1種第3級相当
　　鉄道　在来線2級線相当（M-18）
形　　式：道路，鉄道併用3径間連続ダブルデッキトラス橋（道路床版はトラス上弦材と合成された鋼床版）
車 線 数：道路　6車線
　　鉄道　複数
支　　間：149 m＋150 m＋149 m

*川田工業㈱生産事業部四国工場生産技術一課課長　**川田工業㈱大阪支社工事部工事課工事長　***川田工業㈱生産事業部四国工場購買課係長



a）工事箇所・施工分担

b）標準断面図

図-1　全体一般図

主構間隔：20 m
主 構 高：17.5 m
道路幅員：13.5 m
パネル割：P22～P23　11.5 m＋11×12.5 m
　　P23～P24　12×12.5 m
　　P24～P25　11×12.5 m＋11.5 m
線　　形：縦断勾配　1.0%
　　横断勾配　2.0%
　　平　　面　直線

3．工事内容

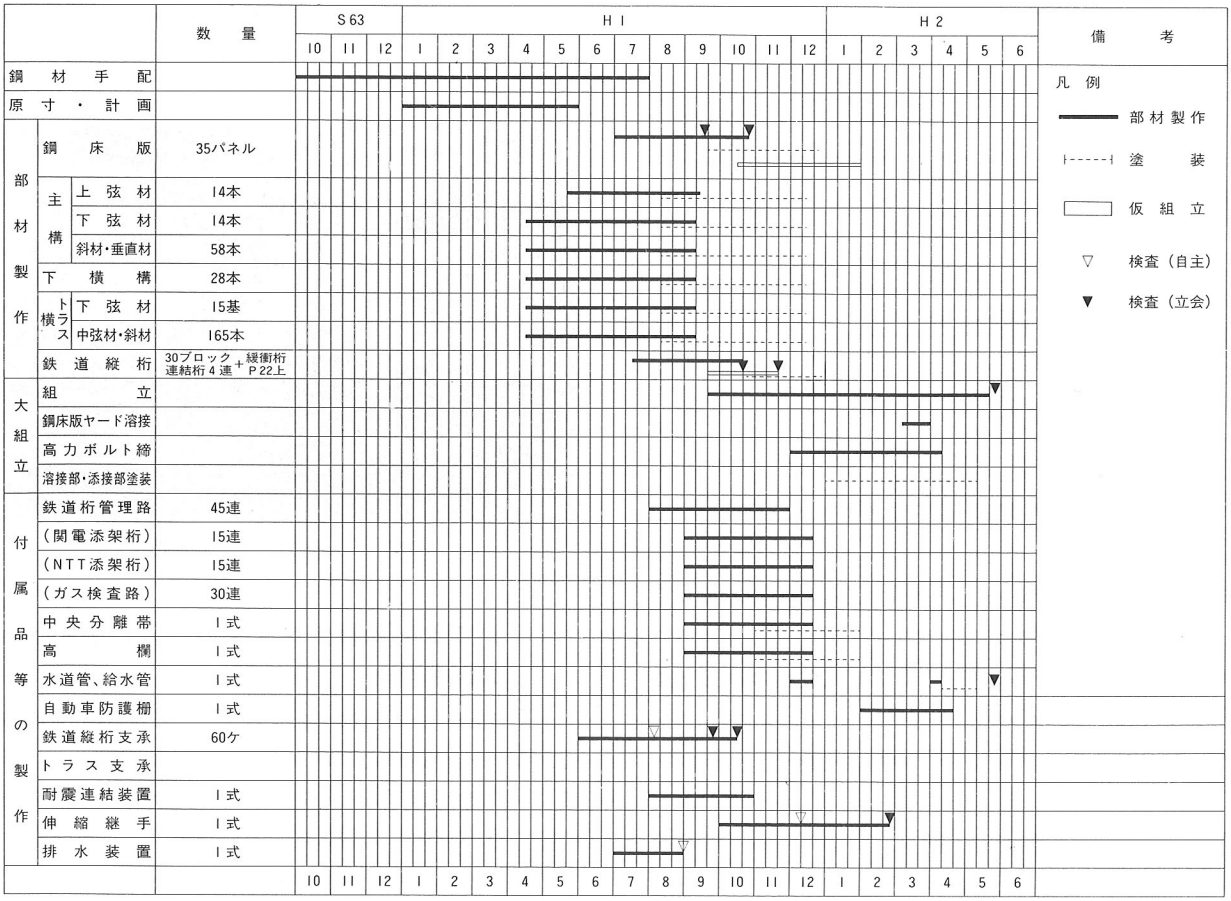
表-1に本工事における施工内容を示す。また表-2，図-2には工事工程表，添架物概要図をそれぞれ示す。

表-1　施工内容

契約区分	区　　分	数　量（契約数量）	施 工 内 容	No.1 ブロック
KIA	3径間連続トラスの製作・地組	9 602.8 t	製作，大組立一式	3 938.3 t
	大ブロック吊環	18.3 t	製作一式	6.4 t
	橋体塗装	194.5 t	塗装一式	78.5 t
関　電	添架桁の製作・地組	250.9 t	製作，大組立一式	114.9 t
NTT	〃	192.0 t	〃	71.8 t
大阪ガス	添架桁，配管架台の製作・地組	330.4 t	〃	127.1 t
合　計		10 588.9 t		4 337.0 t
その5工事へ転送		12.1 t	P22上可動桁	12.1 t
橋体，添架物輸送重量		10 576 t	架設川機資材およびワイヤリング重量を除く	4 324.9 t

表-2　製作工程表（川田工業㈱担当分）

（　）：別途工事



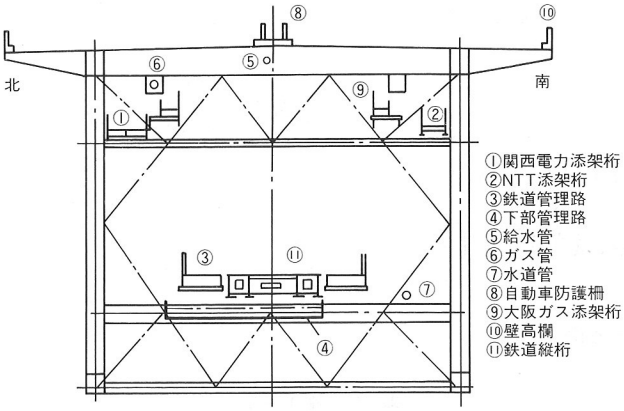
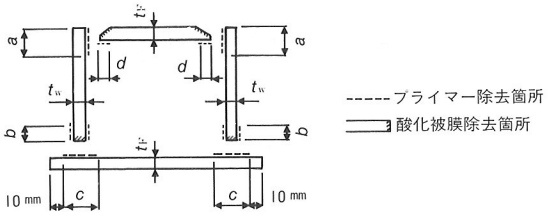


図-2　添架物概要図



S：すみ肉溶接のサイズ

除去箇所	プライマー除去範囲(mm)	実作業での目安
a	t_F+S+5　以上	60 mm
b	$S+5$　以上	15 mm
c	$t_W+2S+10$以上	65 mm
d	$S+5$　以上	15 mm

図-4　かど溶接のプライマーおよび酸化被膜の除去範囲

4．製作の流れ

図-3に製作全体の流れを示す。

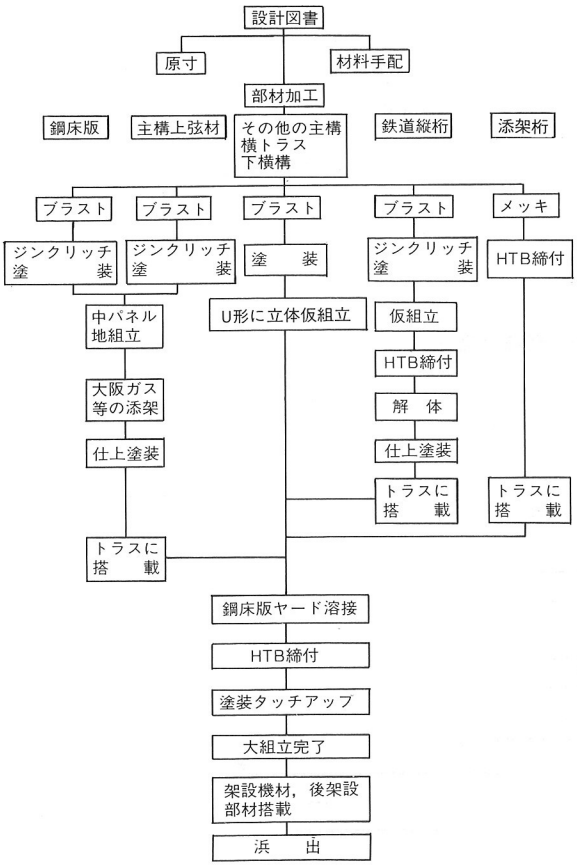


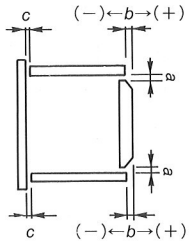
図-3　製作全体フローチャート

重要部位の一つであるトラス下弦材の製作に当っては，以下の事項に留意した。

① かど溶接のプライマーおよび酸化被膜の除去を図-4のとおりに行った。

② 組立時のルートギャップの精度を図-5のとおりとした。

③ 開先部への異物の混入防止，防錆のため，組立後直ちに，かど溶接全線にシーリング溶接を行った。



項目	規定値	計測方法	
a	0.5 mm以上	スキマゲージ	
b	薄い方の板厚の1/10以下かつ，最大±3 mm以下	ストレッチとスキマゲージまたは鋼尺	管理上±1 mm以内
c	0.5 mm以下	スキマゲージ	

図-5　組立時のルートギャップの精度

また参考として，主構下弦材を組立中の作業風景を写真-1に示す。

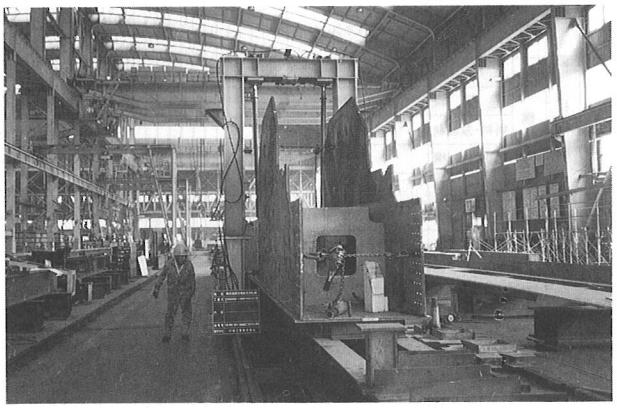


写真-1　組立中の主構下弦材

5．施工区分(架設大ブロック)相互の取り合い部の精度管理

まえがきでも述べたとおり，部材の相互移送・仮組立を行わない3分割の大ブロックを，現地にて問題なくジョイントするため，特別な管理によりその取り合い精度を確保した。管理上の重点項目を列挙すると，

① 取り合い部に特別な精度管理目標値を設定する。

② 相互に取り合い部の出来形の情報交換を行うのみならず，先行ブロックの出来形の傾向に後方ブロックが合わせるという方針で進める。

③ 取り合い部の出来形は，テンプレートに描いた出来形図を重ね合わせることにより確認する。

④ 合わせ芯は統一した考えで設定する。

などである。

(1) 取り合い部精度追加規定

大組立の際一般部とは別に，ブロック間の取り合い部には，表-3のような精度管理目標を設定した。

表-3 取り合い部精度追加規定

項　　目	精度管理目標
上弦材，下弦材，斜材の出入り	0～－2.5 mm
上弦材，下弦材，斜材の間隔	±2.0 mm
鋼床版継手部の直線度	0～－2.5 mm
鋼床版つきの縦桁，縦リブの出入り	±2.5 mm
鋼床版つきの縦桁，縦リブの間隔	±2.0 mm
縦桁端部の鉛直度	±2.0 mm以内
縦桁端面角度	±1.0 mm
縦桁の桁高	±1.5 mm
鋼床版上面キャンバー	±2.5 mm
上弦材，下弦材の格点から継手までの寸法	0～－2.5 mm
主構断面対角寸法	±6.0 mm
鉄道縦桁の主構中心線からの寸法	±2.5 mm
鉄道縦桁端部の桁高	±1.0 mm
鉄道縦桁上フランジ上面の高さ@格点	±3.0 mm
鉄道縦桁端部の鉛直度	±1.5 mm
鉄道縦桁端面角度	±1.0 mm
鉄道縦桁桁間隔	±1.5 mm

ただし，上記の目標値を超える場合は，以下に述べるようなブロック相互間の比較において，その可否を判断した。

(2) ブロック相互間の出来形の反映

本工事では，大ブロック取り合い部の出来形の確認にあたり，主として，

① 弦材の上下，左右の間隔

② 鉛直度，

③ レベル差，

④ 弦材小口断面の傾き，

⑤ 弦材端部の出入り，

に着目し，相互の出来形を計算にて検証した。

また，先行するブロック(A社)から，後のブロック(B社）への出来形情報の伝達は，以下の手順で行うものとした。

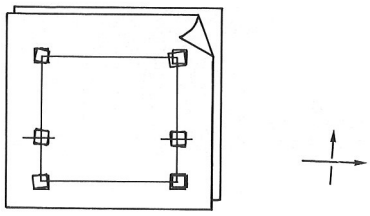
① 取り合い部分の大組立が組み上がった時点

B社は，極力A社の出来形に合わせるものとした。

② 工場での大組立が完了した時点

A，B両者の出来形を計測後まとめた上で，テンプレートフィルムに罫書き，重ね合わせることにより，出荷前の取り合いに問題が無いかどうかを最終確認した（図-6～8）。

以下に，当社施工分のブロック①と隣接するブロック②の取り合い部分（J-7）における，精度確認結果を示す。



テンプレート相互の移動は鉛直方向，水平方向のみとする。

図-6 テンプレートによる重ね合わせ

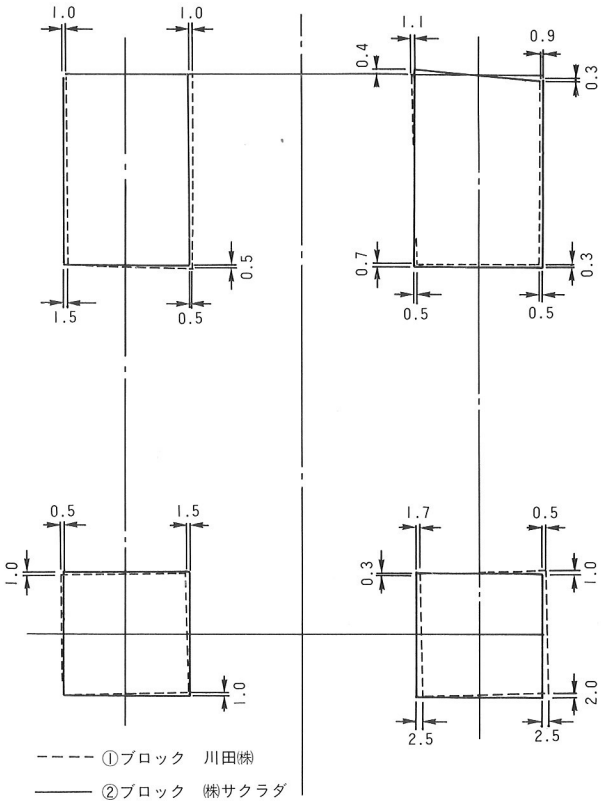
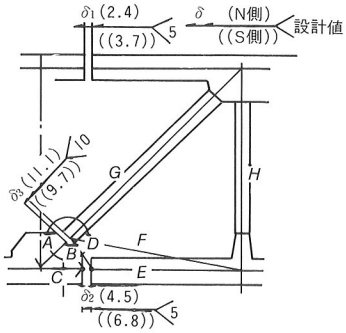


図-7 取り合い部シミュレーション結果（トラス断面）



	設計値	N側誤差	S側誤差
A	2017	－3	±0
B	2858	＋2	±0
C	3497.5	＋1	＋0.5
D	2862	±0	＋2
E	8998.7	＋0.3	＋0.3
F	11453	±0	±0
G	19386	－1	±0
H	17499	－4	－2

図-8 取り合い部シミュレーション結果（トラス側面）

なお写真-2は，トラスの大組立中の模様を写したものである。

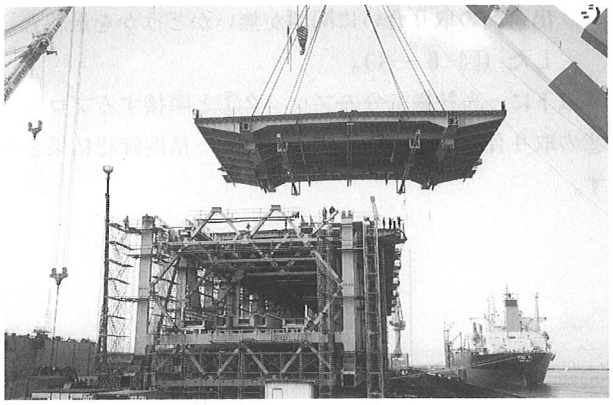


写真-2　大組立中のトラス

(3) 鉄道桁のトラス搭載後の出来形確認

鉄道桁は，トラス搭載前に地上での仮組立検査によりその出来形を確認しているが，トラス搭載後，再度その据え付け精度を確認した。その主な項目は以下のとおりである。

a）支間長

トラス鉄道桁の受梁上の沓座間隔を事前に確認することにより，桁の搭載に支障の無いことを確認した。

b）そり

① 仮組立時の許容公差：水平に対して，

$-(3+0.05L)\sim+(3+0.15L)=-3.6\sim+4.8$ mm

ここに，Lは支間長。

② トラス搭載後の許容公差：トラス設計キャンバーに対して±3.0 mm

c）締結位置の高低差

トラス搭載後，各横桁位置で隣り合う桁上フランジ上面の高低差が，3 mm以内となるように，沓下面の調整プレートの厚さを変えた。

6．架設

(1) 大ブロック架設の概要

本橋の架設工法は，架設現場が海上部に位置することから，また一般航行船舶への影響をできるだけ少なくする必要から，製作工場で大組立されたブロックを，起重機船を利用して吊り上げ架設する，大ブロック一括架設工法を採用した。

架設の特色としては，大ブロック間の連結方法は主構本体の影響，架設機材等を検討した結果，現場での気象条件も比較的良好であるので，経済的なモーメント連結法を採用した。また架設時期が7，8月の真夏に当るため，仕口合わせおよび添接作業は，上・下弦材の温度差の影響が比較的小さい夜間での施工とした。さらに架設系においては，大ブロック間の温度変化，脚の変形，キャンバー変位による仕口角の問題を考慮して，第2ブロックの固定沓を一時的に可動としている。

a）工事工程

表-4に現地における工程を示す。

表-4　工事工程

年度	平成元年	平成2年												平成3年			
年月	1～12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
工種　延べ月数	1～12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
施工計画																	
工場準備工																	
現地準備工																	
大ブロック架設工																	
後架設工																	
現場溶接工																	
現場塗装工																	
後片付け																	
報告書作成提出																	

記　事　大ブロック架設（実施）
No.1ブロック　平成2年7月16日
No.2ブロック　平成2年7月27日
No.3ブロック　平成2年8月5日

予定工程
実施工程

航禁解除 H2.12.31
工期 H3.4.28

b）大ブロック架設フローチャート

図-9に架設の流れを示す。

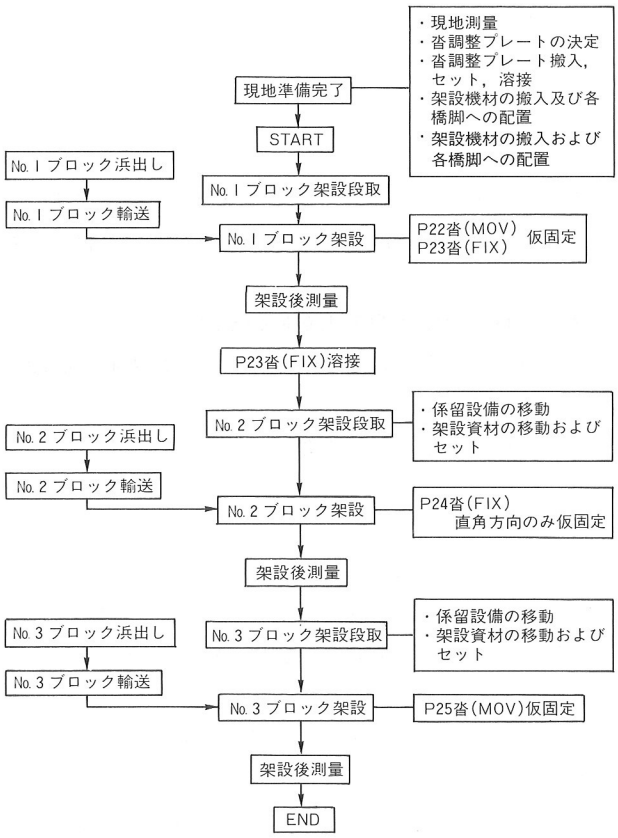


図-9　大ブロック架設フローチャート

c）架設一般図

図-10に架設一般図を示す。

なお各ブロックの重量は以下のとおりである。

① No.1ブロック：吊り重量　4 648 t

② No.2ブロック：吊り重量　3 979 t

③ No.3ブロック：吊り重量　3 236 t

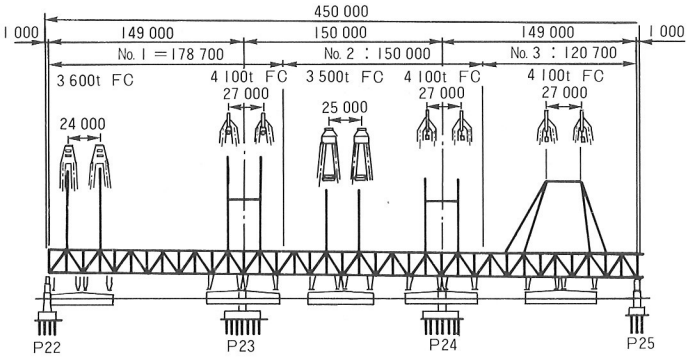


図-10　架設一般図

(2) 大ブロック架設時の出来形管理

大ブロック添接部の精度は，前述のように，工場大組立時の各ブロック相互の取り合いを，シミュレーションにより確認していたため，満足のゆくものであった。しかしながら，これらの輸送，架設時において添接部の形状，寸法が変わる恐れも有り，また桁の通りについても出来形管理上重要であるため，以下に述べる管理対策を施した。

① 上・下弦材の形状を間隔保持材にて保持し，また斜材，下弦材についても，セッティングピンを用いて添接部の寸法，形状を保った。

② 大ブロック架設時の部材合わせ（取り合い部）は，各工場の精度管理の基準線で確認するものとした。

③ 添接部の肌すきが許容値以上生じたときに備え，フィラープレート（t＝3 mm）を準備した。

④ 大ブロックの据え付け位置の決定に際し，あらかじめ工場ヤードにおいて，鋼床版上面・鉄道桁・横トラス下面のそれぞれに対し，橋軸方向・各支点・大ブロック添接部の断面方向に桁の中心線を入れ，平面・立体的に中心線の関連をつけた。またブロック内での断面方向の中心線誤差を3 mm以内とした。

架設時の支承据え付け（橋軸直角方向）は，基本測量時の橋軸線と横トラス中心線をトランシットで確認して位置決めを行った。

大ブロック架設時の添接部の精度はほぼ大組立時の計測値と同じになり，フィラープレートの挿入の必要もなく添接作業を行えた。また基本測量の橋軸線と横トラス中心線の誤差を2 mm以内に抑えた。

(3) 工場出来形との関連

大ブロック架設完了時におけるキャンバー・桁の通りについて以下に述べる。

a）キャンバー

No.1，2，3ブロックとも支間中央で設計値に対し＋25 mmとなっている。これは仮組立時の誤差（0～＋15 mm）の影響というよりは，設計計算時の平面解析による算出方法が影響したものと判断される。

b）デッキ上面の通り

最大ずれ量は12 mm発生している。ずれ方向は仮組立時と必ずしも一致しないが，ずれ量は仮組立時に近似している。

(4) 大ブロック架設時の温度差の影響

大ブロック架設時において，日射の影響による上・下弦材の温度差により生じる桁の変形に対し以下の架設上の問題点が考えられる。

① 第2，3ブロック架設時においては，桁に取り付けられた支承下面と橋脚との間隔が小さい。

② ブロックの継ぎ手部の精度管理上，桁の変形を十分に把握する必要がある。

これらの問題点に対して以下の対策を講じた。

a）架設方法の検討

温度差の影響を少なくする，または仕口角を調整する方法として次のものが考えられる。

① 断熱材の使用：広範囲の断熱材を必要とするので経済的でない。

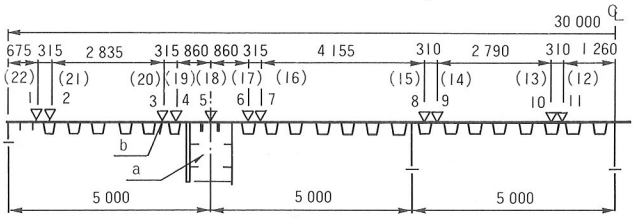
② 中間支点のジャッキアップ：桁の重心位置が高いためジャッキアップ（ダウン）作業が不安定である。

③ 夜間作業：温度差の影響の少ない時間帯で添接作業を行えば安全かつ経済的である。

b）架設時間帯の検討

各部材の表面温度を計測し，大ブロックの架設開始時間を決定する。日射による部材の表面温度変化について計測した結果を以下に示す。

① 南北主構の温度差：橋梁が東西に架設されているため南北主構の温度差が想定されたが，計測結果か



時刻＼箇所	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	気温	Δt max
9：00	33	40	41	44	41	42	39	40	39	45	41	39	41	41	44	43	44	40	44	39	•47	40	27	20
10：00	41	48	51	51	44	48	45	45	47	52	48	47	52	50	52	51	53	48	52	46	•55	48	28	27
11：00	46	52	54	54	51	53	49	54	47	58	53	50	55	54	57	56	58	54	57	49	•59	51	29	30
12：00	51	60	59	•63	54	58	53	59	54	59	54	51	57	57	61	61	60	56	60	49	62	54	30	33
13：00	54	63	61	•66	59	59	58	60	57	60	56	53	60	59	63	61	60	58	60	49	63	50	30	36
14：00	55	62	59	•64	58	58	55	60	56	58	55	51	55	57	61	60	59	58	59	50	•60	46	31	33
15：00	52	•60	57	•60	55	56	52	55	52	55	51	51	55	53	56	55	56	57	57	49	51	42	32	28
16：00	52	55	56	56	55	53	48	53	51	53	50	50	53	53	55	55	56	•57	53	48	45	41	30	27

○印　：閉断面部　　Δt max　：最大表面温度と気温との差

・部　：各計測時の最大表面温度

図-11　鋼床版の表面温度

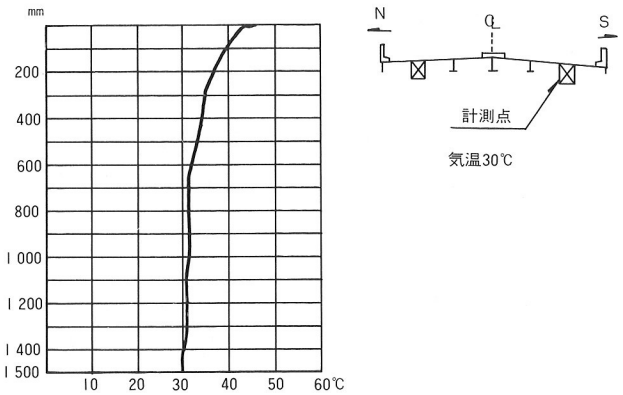


図-12　上弦材・腹板の温度分布

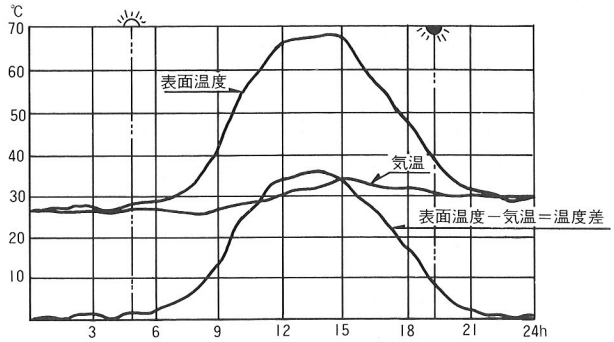


図-13　外気温と表面温度（鋼床版）との関係

らその差は認められなかった。

②　鋼床版および上弦材の表面温度

イ）鋼床版上面：閉断面部（主構）・閉断面リブ（Uリブ）上は一般部より表面温度が高いと考えられたが，図-11に示すとおりほとんど温度差は無かった。

ロ）上弦材腹板：図-12に示すように，腹板高の1/2区間において三角形分布となる表面温度の差があった。

③　外気温と表面温度（鋼床版）の関係：図-13から，最大温度差35℃の発生するのは12～15時の間であることが分かる。また温度差が無くなるのは日没後の19時前後であり，温度差が発生するのは日の出の6時頃からである。

c）温度差による桁の変形計算

①　解析方法

解析モデルは，弦材（上弦材には鋼床版も含む）・斜材・垂直材からなる平面構造物とし，かつ剛接トラスとした。

②　解析上の問題点と対策

当初の計算仮定において以下の点が問題とされた。

イ）日射によって生ずる部材間の温度差の影響範囲。

ロ）解析モデルは平面解析としているが，下横構・壁高欄等の剛度の影響をどのように評価するか。

これらの対策としては以下のとおりである。

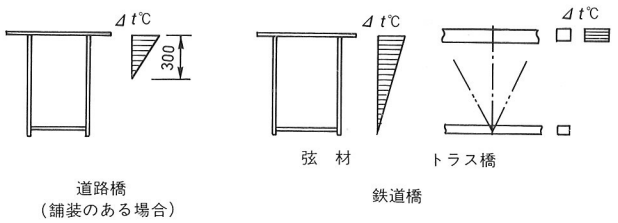


図-14　温度差の影響範囲

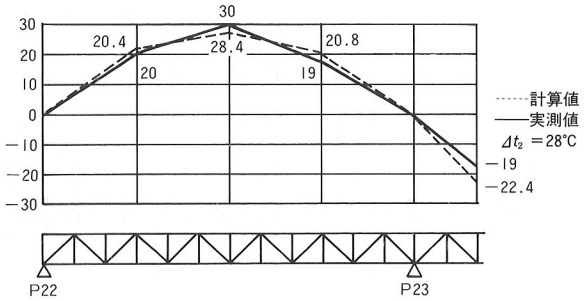


図-15　第1ブロック架設後の温度差による変位量

イ）温度差の影響範囲は道路橋・鉄道橋において図-14のように記述されている。

舗装されている鋼床版桁の温度差の影響範囲を計測したデータは諸文献に発表されているが，舗装のない場合のそれは少ない。したがって本橋の計算仮定条件として，腹板から300 mmの区間で三角形分布とする道路橋の考え方を取り入れた。

ロ）桁の剛性は，下横構を考慮した場合約7％向上し，また下横構と壁高欄の両方を考慮した場合約13％向上する。しかし桁の全体剛性が大きく，死荷重たわみ（製作そり－側径間中央で148 mm）も小さいため，下横構・壁高欄の剛性は無視できるものと判断した。

d）温度差によるキャンバーの挙動

第1ブロック架設後，温度差と桁のキャンバーの変位量を計測し，計算仮定の検証を行った。

鋼床版上面と外気温の測定温度差Δt_3＝28℃のときの変位量は，当初の計算仮定の温度差Δt_2＝28℃にほぼ近い値であった。計測値を図-15に示す。

この差の要因としては，平面解析によるもの・温度差の分布のばらつき等が考えられる。

第2，3ブロックの架設に際しては，第1ブロックの計測データをもとに計算仮定値を定め管理・計測を行い，温度差とクリアランスとの関係を求めた。第2，3ブロックの管理値および計測結果を図-16に示す。

(5)　支承の固定

支承は完成系では可動-固定-固定-可動であるが，架設系では可動-固定-可動-可動にして温度変化に対応している。本節では，仮可動沓から固定沓へと変換される，この支承の固定方法について述べる。

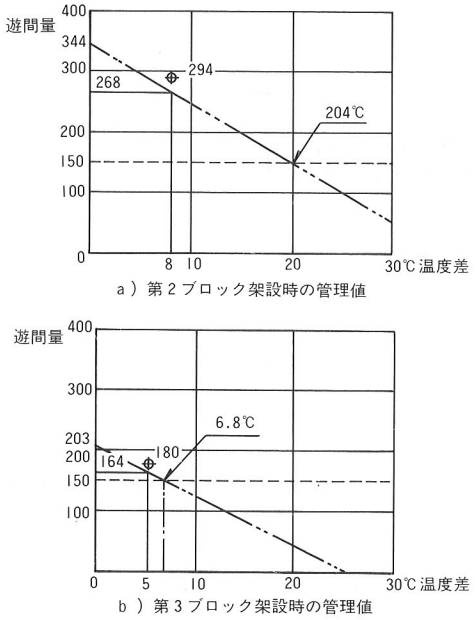


図-16　第2，3ブロックの管理値および計測値（温度差による桁と橋脚とのクリアランス）

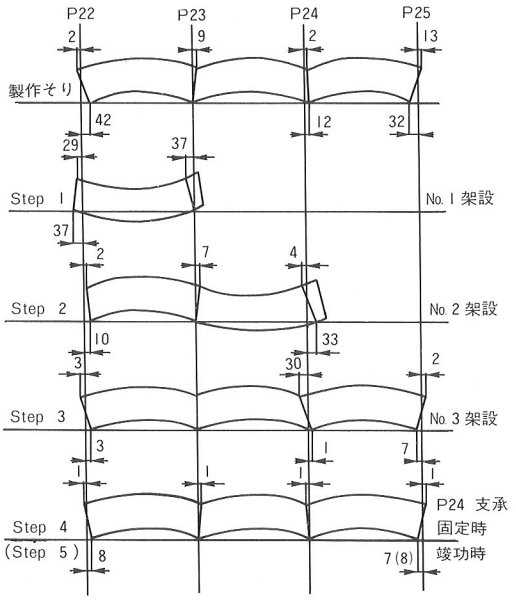


図-17　各架設ステップにおける支点上の動き（計算値）

a）仮可動沓

P24にはPTFEおよびモリブデンを塗布して仮可動沓の機能を持たせている。なお滑動面の摩擦係数が増大して，仮可動沓としての機能が無くなる恐れがあったので，脚の倒れを測定したが，倒れは生じなかった。

b）各架設ステップの支点上の動き（計算値）

図-17に各架設ステップにおける計算値を示す。

c）架設完了時の支点上の動き（実測値）

図-18に各架設ステップにおける実測値を示す。

図-18より，Step 3において下沓と底板のずれ量を26℃にて測定しているが，計算値に対して実測値は0～2 mmの誤差となっている。ここでP24の固定を20℃で

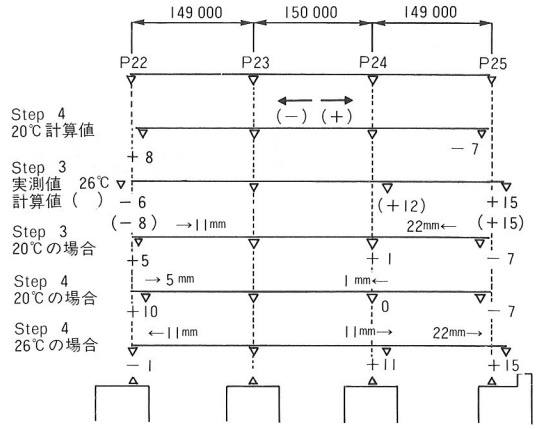


図-18　各架設ステップにおける支点上の動き（実測値）

表-5　標準温度外でP24を固定したときのずれ量

桁温(℃)	P22	P25
9	− 8.0	−10.0
∫	∫	∫
16	− 1.5	− 3.5
17	− 1.0	− 2.5
18	0.0	− 1.5
19	+ 1.0	− 1.0
20	+ 2.0	0.0
21	+ 2.5	+ 1.0
22	+ 3.5	+ 2.0
23	+ 4.5	+ 3.0
24	+ 5.5	+ 3.5
∫	∫	∫
29	+10.0	+ 8.0

行えばStep 4での誤差（0～2 mm）となる。しかし固定時の温度が必ずしも標準温度20℃で施工できないため，さらに検討が必要である。表-4は，標準温度外でP24を固定したときのずれ量を算出したものである。

上表より，9～29℃の範囲でP24の固定を行えば，誤差を10 mm以内に収められることが分かる。

d）P24の固定（溶接）結果

P24の固定（溶接）は，平成2年9月26日の未明より行われた。このとき外気温・桁温ともに19℃であり，天候は曇りの好条件で施工が行われた。支承のずれ量は，いずれも許容範囲の10 mmを満足するものであった。

7．あとがき

以上，本工事の製作・架設の概要を報告したが，工場製作から架設を通して特に大きな問題もなく，工事を終えることができた。今後はこの経験を活かして，さらに管理手法を磨いていきたい。

最後に，本工事の施工にあたって関西空港株式会社の関係者の皆様に多大なるご指導を賜りました。ここに改めて感謝の意を表します。