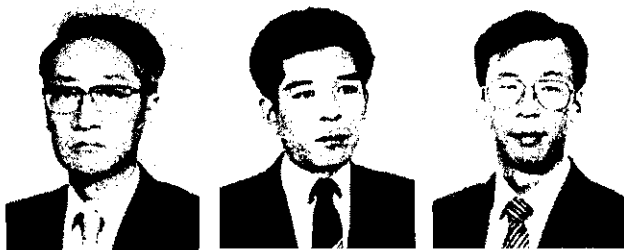


Construction of Stiffening Trusses of Honshu-Shikoku Bridges



辻 敬二 Keiji Tsuji 川鉄運輸(株) 技術部 主査(副部長)  
北森 文英 Humihide Kitamori 川鉄運輸(株) 技術部 水島機工課 係長  
今城 新 Arata Imajyo 川鉄運輸(株) 技術部 水島機工課

1 緒 言

本州四国連絡橋(児島・坂出ルート)は、1988年春の開通をめざして急ピッチで建設工事が進んでいる。当ルートの下津井瀬戸大橋および北備讃瀬戸大橋は、中央径間がそれぞれ940m、990mにおよぶ、世界有数の長大吊橋である。直径約1mのメインケーブル2本で支持される補剛桁は、道路と鉄道の併用橋となっている。

今回橋梁メーカー2社と協力して行った組立工事と輸送工事の範囲は、下津井瀬戸大橋(Fig. 1 a)の補剛桁(以下、下津井桁と略す)の78m分と、北備讃瀬戸大橋(Fig. 1 b)の補剛桁(以下、北備桁と略す)の168m分である。両補剛桁合せて約5600tの鋼材重量である。北備桁の組立後の外観をPhoto 1に示す。

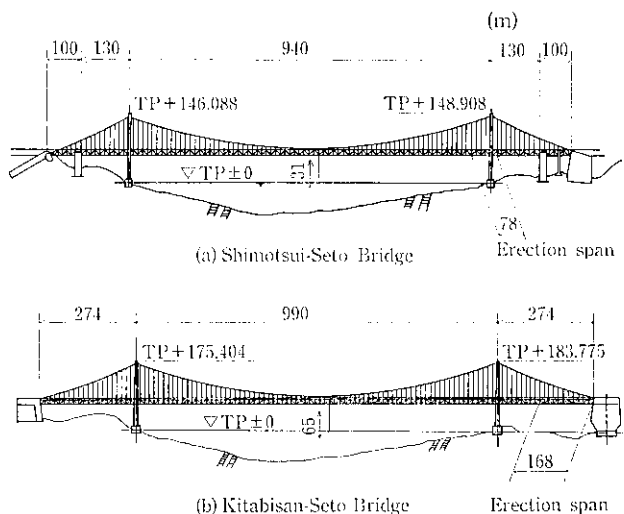


Fig. 1 General view of Honshu-Shikoku Bridge and the location of Shimotsuisan and Kitabisan stiffening trusses

要旨

本州四国連絡橋(児島・坂出ルート)の下津井瀬戸大橋補剛桁の一部78mおよび北備讃瀬戸大橋補剛桁の一部168mの地上組立、塗装および海上輸送を行った。1985年10月から着工し、前者は1986年5月に出荷を完了した。後者は10~12月にかけて出荷される。この補剛桁は幅30m、高さ13mの断面で、総重量は5600tを超え、また、格点重量の最大は320tに達する。岸壁沿いの敷地に2100tに及ぶ極厚スラブを敷いて地盤強度を確保した。組立工事には製鉄所の重量物および闊大品取扱い技術が活用された。組立寸法の精度管理、77000本にも及ぶ高張力ボルトの締付の軸力管理、また、26000m<sup>2</sup>に及ぶ塗装の管理など、工事管理にも万全を期した。組立、塗装の後、下津井桁(約2150t)は2つのブロックに分割して解およびクレーン船で輸送した。北備桁(約3470t)は24パネルに分割し、解により海上輸送を行う。

Synopsis:

The assembling and shipment of two stiffening trusses were taken up: one truss for the Shimotsui-Seto Bridge is 78-m long and the other for the Kitabisan-Seto Bridge is 168-m long. These bridges form part of the route of Honshu-Sikoku bridges between Kojima-Sakaide. The preparations to assemble these trusses were started in October 1985. The truss for Shimotsui was shipped in May 1986 and the other for Kitabisan will be shipped from October to December 1986. The section of these stiffening trusses is 30-m wide and 13-m high. The total weight is over 5600 t and the maximum weight at panel points is 320 t. To hold this weight, an erection place was constructed near the wharf which was spread with very thick steel slabs weighing 2100 t. In the construction, the authors fully used high technologies which have been accumulated through the experience of handling very heavy and large facilities in iron works such as blast furnaces. To these trusses, 77000 pieces of high tension bolts were used and an area of 26000 m<sup>2</sup> was painted. Supervision of the construction, for measured accuracy in assembling, torque control for bolt-tightening and painting work, has met full satisfaction of the authorities concerned. After the assembling and painting, the truss for Shimotsui (ab. 2150 t) was separated in two blocks and transported on the sea by a barge and a floating crane. The Kitabisan truss (ab. 3470 t) will be separated into 24 panels and transported on the sea by barges.

1986年1月より開始した立体組立工事は、両補剛桁ともに順調に推移し、下津井桁は5月に組立・出荷が完了した。また、北備桁は、すでに組立を完了し、塗装、保管などの工事を経て、10月に出荷を開始した。

以下に、補剛桁の概要を示すとともに、地上での組立、保管および運搬に関する技術と工法の特徴について述べる。

\* 昭和61年7月4日原稿受付

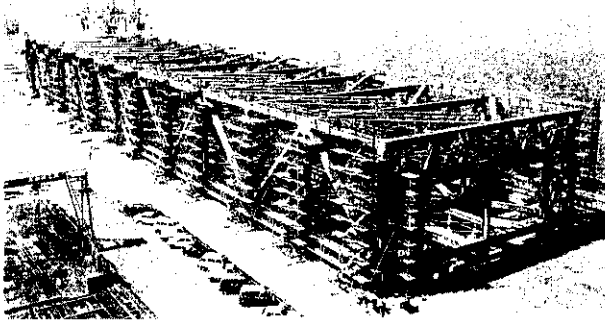


Photo 1 View of the Kitabisan stiffening truss

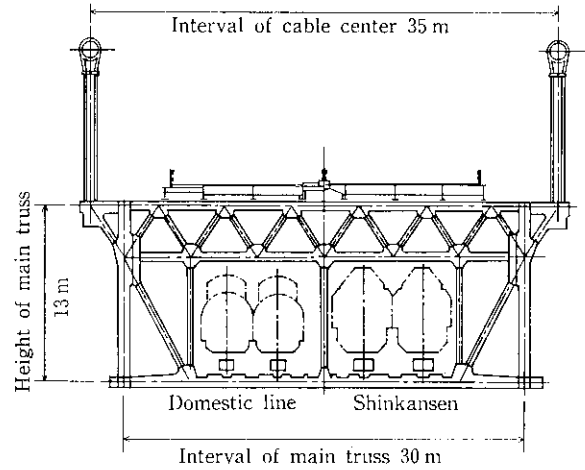


Fig. 3 Typical cross section

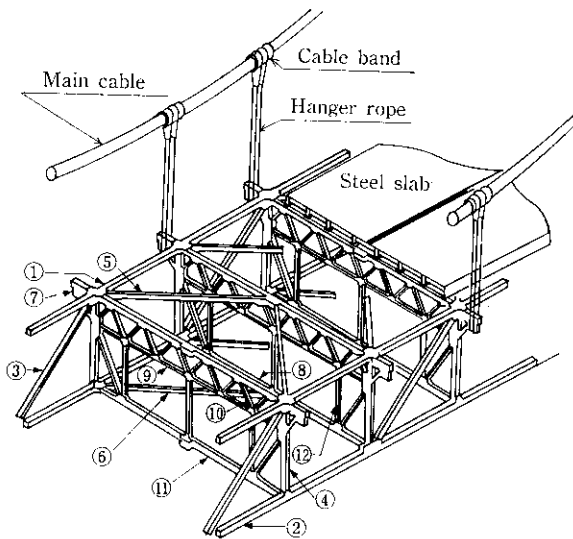
## 2 補剛桁とその組立工事の概要

### 2.1 補剛桁の概要

補剛桁は<sup>1)2)</sup>、上部のメインケーブル（直径約 1 m）に締結されたケーブルバンドとハンガーロープ（1 格点当り 4 本）を介して、吊り下げられる構造となっている（Fig. 2 および 3）。

補剛材の断面寸法は、幅 30 m、高さ 13 m で、上弦材、中弦材、下弦材、垂直材および小組斜材で構成されている。側面には、13.2 m ピッチで垂直材が入り、また、格点を斜材で連結している。

桁の部材は全て、高張力鋼板のビルドアップ構造による箱形断面であり、ガセットプレート、スプライスプレートによる高張力ボ



- ① Upper chord member in main bracing truss
- ② Lower chord member in the same
- ③ Diagonal member in the same
- ④ Vertical member in the same
- ⑤ Upper lateral member
- ⑥ Lower lateral member
- ⑦ Hanger bracket
- ⑧ Upper chord member in main lateral truss
- ⑨ Intermediate chord member in the same
- ⑩ Upper diagonal member in the same
- ⑪ Lower chord member in the same
- ⑫ Vertical member in the same

Fig. 2 Construction of stiffening truss

Table 1 Member's list

Truss name Name of members	Simotsui-Seto Bridge		Kitabisan-Seto Bridge	
	Piece	Weight (t)	Piece	Weight (t)
<b>Main bracing truss</b>				
Upper chord member	12	200	12	306
Lower chord member	16	200	12	207
Diagonal member	12	132	24	168
Vertical member	12	120	24	95
<b>Upper lateral member</b>	11	77	24	138
<b>Lower lateral member</b>	11	77	24	142
<b>Hanger bracket</b>	8	56	24	89
<b>Main lateral truss</b>				
Upper chord member	6	240	12	201
Intermediate chord member	18		36	68
Upper diagonal member	72		144	76
Lower chord member	18	162	36	274
Vertical member	18	36	36	76
Splice member	—	80	—	88
Steel slab	—	—	12	632
Accessories	—	50	—	842
Temporary equipment	—	720	—	—
<b>Total</b>	<b>(78 m)</b>	<b>2 150</b>	<b>(168 m)</b>	<b>3 471</b>

ト接合で組立てられる。主要部材の構成を Table 1 に示す。

### 2.2 組立工事の概要

本工事は、橋梁メーカーで製作された単品部材を千葉より海上輸送し、川崎製鉄水島製鉄所岸壁で水切りを行った後、定盤上において立体組立し、塗装、付属品の取付けを順次行うものである。

下津井桁は、組立完了後 2 つの大ブロックに分割され、海上クレーンにて出荷される。一方、北備桁については、組立完了後 24 枚の平面パネルに分割され、塗装後、立体保管（8 枚）または平面保管（16 枚）され、工程に応じて、既設の 330 t 岸壁クレーンで出荷される。

本工事の実施手順および工程を Fig. 4、Table 2 に示す。

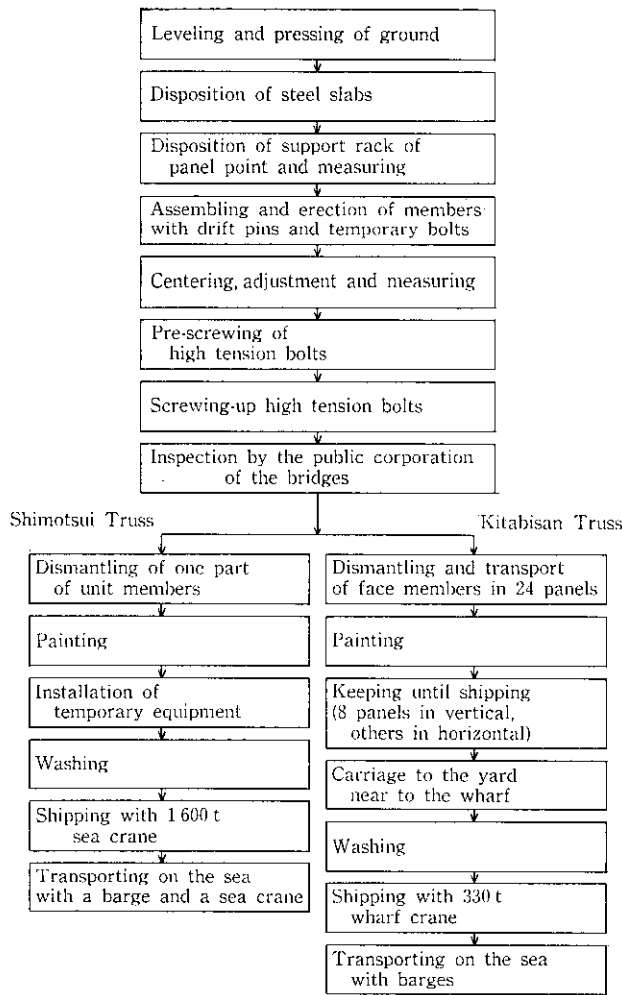


Fig. 4 Construction flow of stiffening trusses

Table 2 Construction time schedule

	1985			1986											
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Design and produce of temporary equipment	.....														
Leveling		---													
Temporary erection				-----											
Dismantling of face member								-----							
Painting						---									
Vertical keeping															
Wrapping and shipping															

— Kitabisan Truss  
 ..... Shimotsui Truss

### 3 組立

#### 3.1 支持地盤作り

今回の立体組立場所となった水島製鉄所構内の空地は、高梁川河

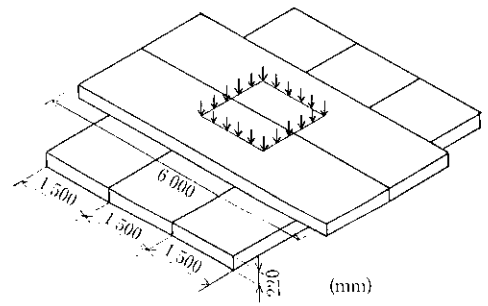


Fig. 5 Combination with thick slab

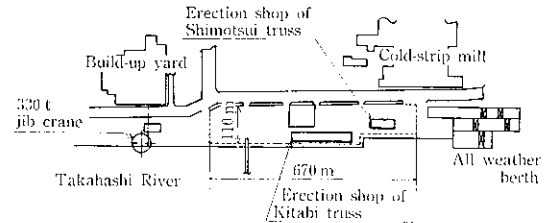


Fig. 6 Layout of erection shop for the Seto Bridge stiffening trusses

口に面しており、護岸設備は有しているものの、重量物の組立ヤードとしての地盤強度は確保されていなかった。とくに下津井桁は、総重量 2150t、格点重量最大 320t にもなり、地盤の強度と護岸の破損が心配された。これらの問題点に対し、水島製鉄所土建部の協力を得て解決にあたった。まず護岸については、土圧を受ける護岸の杭、鋼管矢板およびたな式基礎部の強度から、上載荷重が 15 t/m<sup>2</sup> 以内であれば問題ないという結論を得た。また、地盤の支持力については、過去に周辺地域で採取したボーリング結果などを参考にし、土質の内部摩擦角を推定し一軸圧縮強さを算出した。

その結果、不等沈下を皆無にするためには杭打ちなどの基礎工事が必要となるが、極厚鉄板などで上載荷重の分散を図れば、不等沈下も少なく、地盤の破壊はないことが判明した。ここで、製鉄所内で作られる極厚スラブを Fig. 5 の形に組合せることにより荷重が分散し、格点当り 15 t/m<sup>2</sup> 以下の値に抑えることが可能となった。

また、事前工事として、鉸漕ガラスによる表土の入れ替えおよびマカダムローラによる締め固めを行い、スラブ接地面の強度確保と平坦度を出すことにした。ここに水島製鉄所より借用した合計 2100t のスラブを配列した。

組立場の全体配置図を Fig. 6 に示す。

#### 3.2 組立用重機ならびに車両

本組立工事には全て移動式クレーンを使用し、とくに吊荷の状態で行けるクローラクレーンにその威力を発揮させた。使用した揚重機および構内輸送用機器は次の通りである。

- (1) 揚重機
  - 300 t クローラクレーン 1 台
  - 150 t クローラクレーン 1 台
  - 90 t クローラクレーン 1 台
  - 90 t トラッククレーン 1 台
  - 20~45 t 油圧式クレーン 4 台
  - 高所作業車 1~2 台
- (2) 輸送用機器
  - 200 t キャリア 2 台

150 t トレーラ	1 台
25~100 t トレーラ	3 台
11 t トラック	2 台

3.3 組立用資材および治工具類

とくに今回の工事用として設計・製作した資材や治工具類は合計450 t にも達した。その内、主要なものを次に示す。

格点用受架台	64 組	62.4 t
塗装用受架台	24 組	63 t
塗装用上家	2 棟	93 t
小組トラス面組み架台	2 式	20 t
立体保管架台	1 式	65 t
輸送架台	1 式	75 t
吊天秤	4 組	20 t
調整ライナ	1 式	34.9 t
仮ボルト	1 式	12.6 t
ドリフトピン	1 式	5.8 t
合計		451.7 t

3.4 部材のハンドリング

全ての部材が、無機ジンク塗装（北備桁）または最終塗装（下津井桁）の状態では搬入されたため、その取扱いは細心の注意を払った。

吊ビースのついていないものは全てナイロンスリングによる玉掛けを行い、油、泥の付着や疵の発生を最小限にとどめた。また、部材の仮置中に雨水のはね返りを受けないように、地上より 500 mm 以上の嵩上げを行うとともに、エサホーム、ビニールなどの緩衝材で仮受けして塗膜の保護に努めた。

小組トラスの反転においては、Fig. 7 に示すようにクローラクレーン2台による共吊り状態で行った。

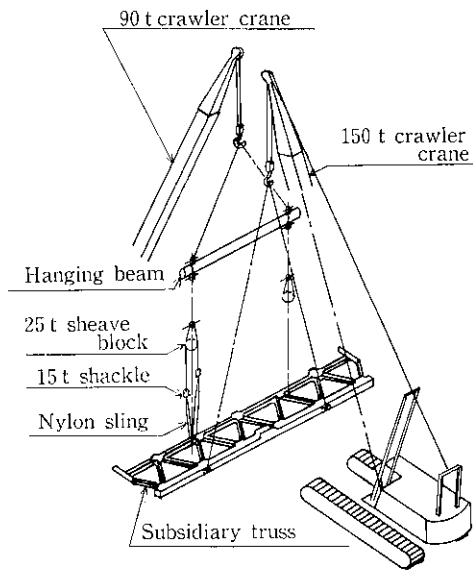


Fig. 7 Reversing method of subsidiary truss

3.5 部材の組立および接合

部材の取合部となるガセットプレートとスプライスプレートの取

合の例を Fig. 8 に示す。各部材のガセットプレートは全て工場段階で孔ぐりされて（300~600 本/箇所）入荷したため、組立時に、孔の取合精度と寸法精度の両方を同時に実現することが要求された。結果的には、ドリフトピン、オイルジャッキなどの治工具で孔合せを行うことにより仮ボルトを取り、精度を確保することが出来た。

Fig. 9 に小組トラスの 300 t クレーンによる取込要領を示す。ジャッキおよびチルホールにより垂直材上部を開き加減にして、トラスを落とし込み孔合せを行った。

Photo 2 に主構上弦材および斜材の組立状況を示す。斜材は先行して下弦材格点部のガセットプレートに仮取付けを行い、ドリフトピンと仮ボルトで固定し、片持状態とした。上弦材の組立に際しては、仕口の取合部が 5 箇所にあぶため、揚重機 2 台の共吊りにより、合せの調整を容易にした。

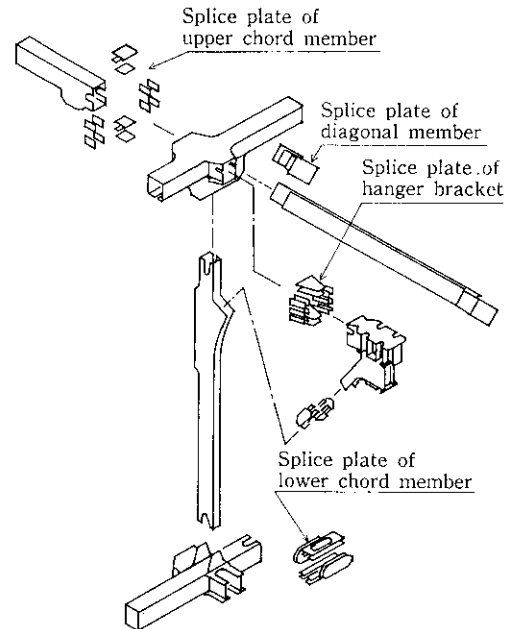


Fig. 8 Setting of splice plate

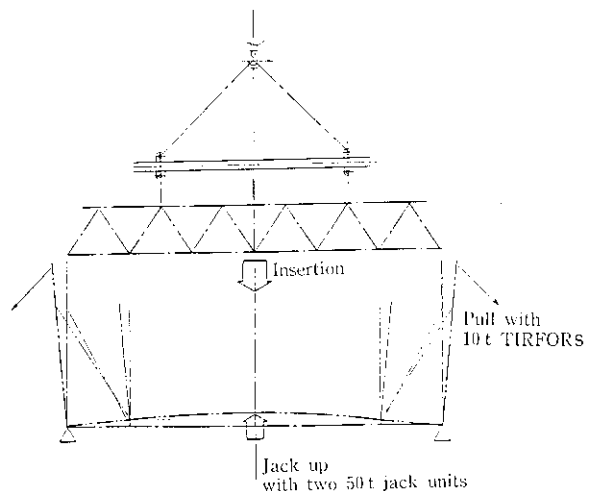


Fig. 9 Insertion method of subsidiary truss

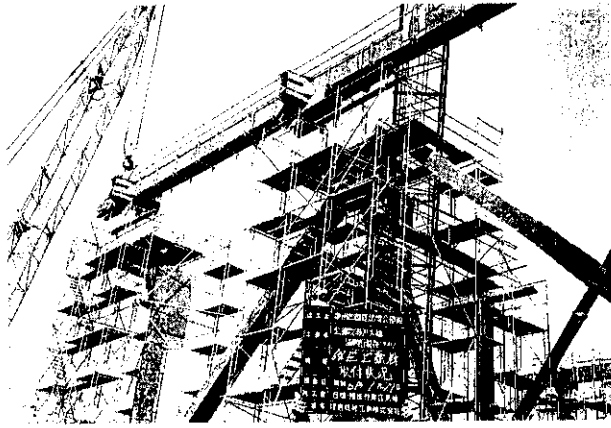


Photo 2 Assembling method of upper chord member

4 工事管理

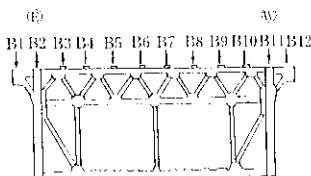
4.1 計測・精度管理

立体組立時の寸法精度は、吊橋全体の品質に大きな影響を及ぼすため、高い精度が要求された。計測にはトランジット、レベルゲージ、スチールテープ、ピアノ線、バネ秤などを使用した。代表的な計測結果を Table 3 に示す。いずれも所定の基準精度に収まる良好なものであった。

Table 3 Measured results of camber for upper chord

Measuring item	Point*1)	Specified value	Actual survey value	Difference	Limit
Main lateral upper chord of No. 114 panel	B 1	0	0	0	-5 +10
	B 2	7.6	7	-0.6	
	B 3	40.0	38	-2	
	B 4	43.1	40	-3.1	
	B 5	46.4	44	-2.4	
	B 6	52.0	50	-2	
	B 7	52.0	53	+1	
	B 8	46.4	47	+0.6	
	B 9	43.1	43	-0.1	
	B 10	40.0	38	-2	
	B 11	7.6	7	-0.6	
	B 12	0	-1	-1	

\*1 Location of measured point



4.2 高張力ボルトの締付と軸力管理

部材の接合に使用する M30, M24 の高張力ボルトは、下津井桁で約3万本、北備桁で約4万7千本であった。高張力ボルトの総重量が50tにも及ぶことから、専用の保管庫を製作するとともに、受払いミスを防ぐため入出庫管理シートによる厳密な管理を行った。

高張力ボルトの締付には耐力点工法が用いられた。ボルトの耐力

付近の軸力が得られるように締付機（ナットランナ）を電氣的に制御する工法で、締付中の所要電流変化を検出し、締付機を自動停止させるものである。

耐力点工法による施工管理として以下のことを行った。

- (1) ナットランナの検定と調整（3箇月に1回）
  - (a) ナットランナ用軸力計の精度をアムスラ試験機により検定し、調整を行った。
  - (b) 高張力ボルトのメーカ、製造ロットにより耐力が異なるので、実際にボルトを締付けて、ボルトの軸力  $N$  とナットの回転角  $\theta$  の関係をプロットした。M24 の高張力ボルトの  $N-\theta$  曲線を Fig. 10 に示す。
  - (c) この  $N-\theta$  曲線にもとづいてナットランナの制御器の電流調整を行った。

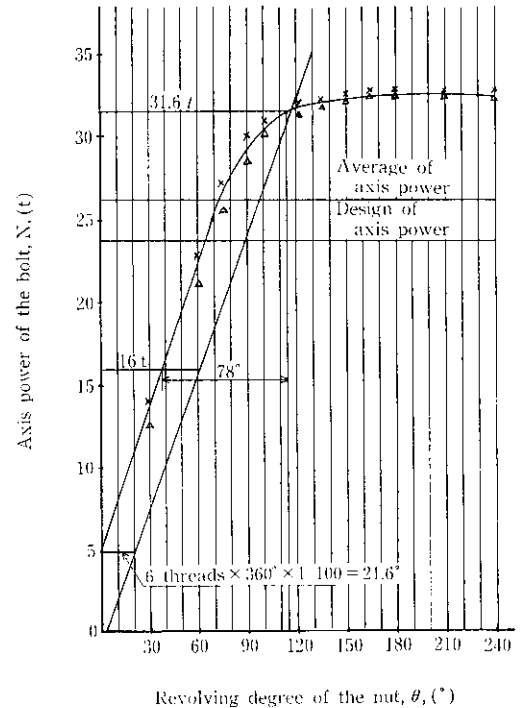


Fig. 10  $N-\theta$  Curve of high tension bolt (M24)

Photo 3 Control sheet for pre-test of site

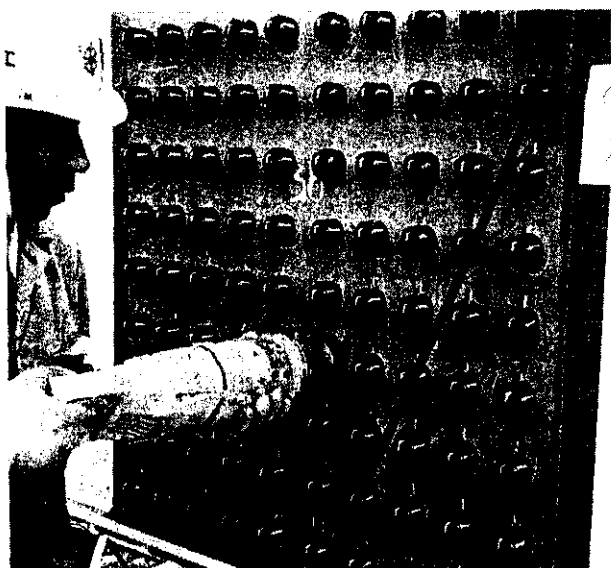


Photo 4 View of screwing high-tension-bolts

(2) ナットランナの日常管理

毎日の作業前に、ナットランナを軸力計にセットし5本のボルトを締付け、軸力およびナット回転角の値が所定の範囲にあることを確認した。同時に電流波形の記録によるチェックを行った。

精度（バラツキの少なさ）が要求される高張力ボルトの軸力管理は満足すべきものであった。日々の現場予備試験の管理シートの一例を Photo 3 に、ナットランナによる締付状況を Photo 4 に示す。

4.3 塗装管理

塗装面積は下津井桁および北備桁合計で約2万6千㎡であった。塗装にあたっての対策は次の通りである。

- (1) 専用の塗装ヤードを設置するとともに、移動式上屋を2棟製作した。

- (2) 気象条件（天候、温度、湿度）の最適時を狙って塗装するとともに、外気と接触の多いところは全て防塵・防風対策を施した。
  - (3) 塗装前の塩分測定を十分に行い、各層の塗装後の膜厚を基準値以上となるようにした。
  - (4) 最終塗装（第6層）は下地の第2~4層の塗装の出来ばえに大きく影響されるため、各ステップごとに入念に吹付塗装し、乾燥の都度ペーパーでダスト除去を行った。
  - (5) ボルト面、スカラップなど組立後の塗装が困難な部分は、先行塗りを完全に行った。
- 塗装作業の管理シートの例を Table 4 に示す。

5 保管、構内輸送および出荷

5.1 立体保管

北備桁は塗装完了後、面材8パネルを立て保管する。このための立体保管架台の設計、製作を行った。

従来の方では8パネルを1列に並べる方法が主流であるが、風、地震荷重を考慮すると架台の自重が大きくなり、製作コストが大となる。今回は Fig. 11 に示すように、立体保管架台（2点鎖線

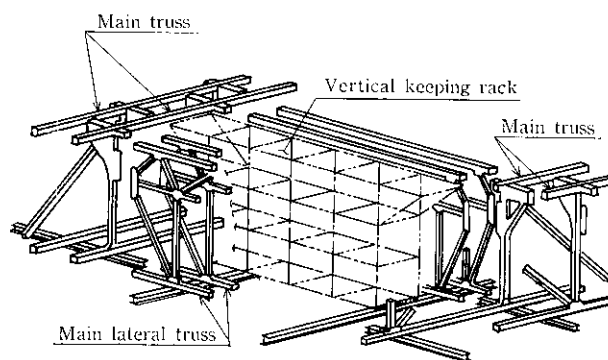


Fig. 11 Method of vertical keeping

Table 4 Control sheet of painting work

Member's name		Steel slab				
Painting division		A-5				
Painting area		737.1 m <sup>2</sup>				
Painting standard	Layer	2nd layer	3rd layer	4th layer	5th layer	6th layer
	Name of paint	Mist coat	Epoxy	Epoxy	Polyurethan	Polyurethan
	Quantity of paint (g/m <sup>2</sup> )	160	300	300	170	140
	Film thickness (μm)	—	60	60	30	30
Weather condition	Date of work	3/8	3/9	3/16	3/17	3/22
	Weather	Fine	Fine	Fine	Fine	Fine
	Temperature (°C)	10	10	10	9	11
	Humidity (%)	57	52	65	48	52
Former certification before painting	Condition of painting surface	Good	Good	Good	Good	Good
	Film thickness (μm) of preceded painting	90	110	180	240	270
Painting condition	Painting method	Spray	Spray	Spray	Spray	Spray
	Dilution with thinner (%)	50	7	7	7	10
	Primary pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	2.5	3.5	3.5	2.5	2.5
	Film thickness (wet) (μm)	—	100~150	100~150	75~100	75~100
	Amount of paint used (kg)	120	240	220	128	112
	Type of painting machine	Airless 45:1	Airless 45:1	Airless 45:1	Airless 45:1	Airless 45:1

部)をはさみ込んで、4方位にそれぞれ2パネルずつ立て保管する方法を取った。全体としての剛性が高まり、保管架台の重量は65tと、従来方法の約半分に軽量化を図ることが出来た。

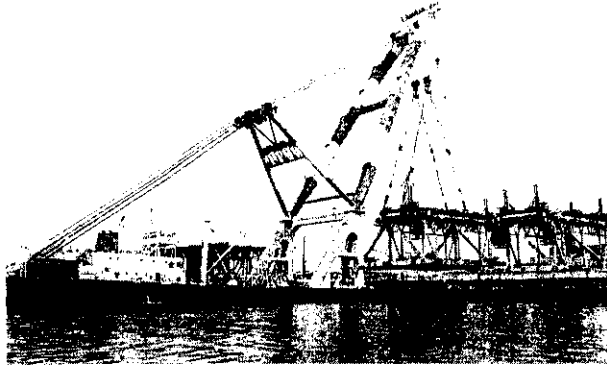


Photo 5 Raising of stiffening truss by 1 600 t sea crane

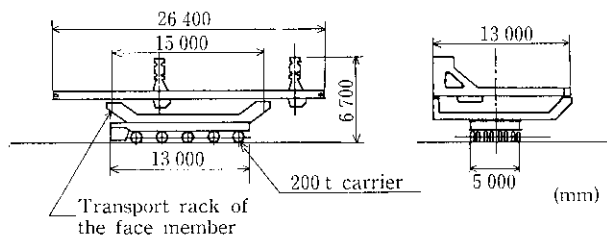


Fig. 12 Loading plan of face member

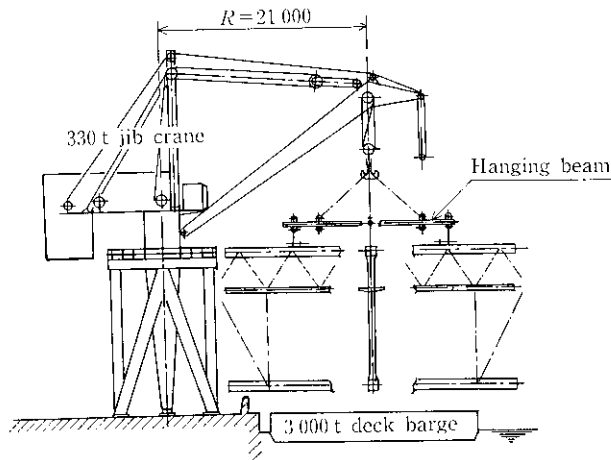


Fig. 13 Shipping plan of face member

## 5.2 構内輸送および出荷

下津井桁は組立および塗装完了後2つの大ブロックに分割され、現地架設用の吊天秤を取付けた。1600t吊り海上クレーンにより吊り上げられ、1ブロックはそのまま現地まで運ばれて架設された。他の1ブロックは3000tバージに積込まれて出荷された。Photo 5に1600t吊り海上クレーンによる吊上げ状況を示す。

北備桁の出荷は1986年10月から12月にかけて行われる。4パネル単位で6船分の出荷となる。長さ27m、幅15mのパネル(90t/パネル)を積出し岸壁まで輸送するには、構内最大の200tキャリアを使用する予定である(Fig. 12参照)。水平に倒したパネルを受けるための専用の輸送架台の設計、製作はすでに終わっている。

岸壁に輸送されたパネルは、330tジブクレーンで再度立直しされ、3000tバージに船積、出荷される。Fig. 13にパネルの積込計画を示す。

## 6 結 言

本州四国連絡橋(児島・坂出ルート)の内、下津井瀬戸大橋の補剛桁の一部(78m, 2150t)、北備瀬戸大橋の補剛桁の一部(168m, 3471t)の組立工事および出荷を行った。かなり厳しい工程であったが、無事、納期までに完了し完工検査に合格した。

主な結果は次のとおりである。

- (1) 補剛桁は幅30m、高さ13mの断面で、総重量5600tを超え、格点重量の最大は320tに達する。組立場所に極厚スラブを敷くことで地盤強度を得ることが出来た。
- (2) 組立および輸送にあたって製鉄所の重量物および闊大品取扱技術が活用されるとともに、種々の工夫が生み出された。これにより長期間にわたる組立作業であったが十分な寸法精度が得られた。
- (3) 77000本の高張力ボルトの締付において軸力管理が行われた。また26000m<sup>2</sup>の塗装のため専用ヤードを作り、塗膜厚の管理を行った。関係機関による評価結果はいずれも良好であった。
- (4) 下津井桁は2つのブロックに分割し、船およびクレーン船で海上輸送が行われた。北備桁は24パネルに分割して、船により海上輸送が行われる。

本州四国連絡橋の一つが川崎製鉄水島製鉄所の至近距離にあるという地理的条件に恵まれて、この世紀の大プロジェクトに参画出来たことは甚だ有意義であった。本格的な橋梁工事に対して初参加であったが、当工事の管理および施工両面について、またとくに安全施工についても、本州四国連絡橋公団より高い評価が与えられたことは大変幸いであった。

本工事の施工に関し多大の技術的指導をいただいた株式会社宮地鉄工所および櫻田機械工業株式会社に深く感謝する次第であります。

## 参 考 文 献

- 1) 香川裕次:「児島大橋の補剛桁架設工事」, 橋梁と基礎, 18 (1984) 1, 10-17
- 2) 山口浩二, 淵田政信, 鈴木周一, 高松映二:「大鳴門橋補剛桁架設工事の施工概要」, 橋梁, 20 (1984) 8, 8-15