

I-7 本四連絡橋下津井瀬戸大橋の製作について

函館どつく欄 正員 村井英治

1. まえがき

下津井瀬戸大橋は本四連絡橋児島-坂出ルート(図-1)の本州側に最も近い下津井と榎石島を結ぶ張出し径間付単径間補剛トラス吊橋(図-2)である。構造は上部が4車線の自動車専用道路、下部が鉄道在来線及び将来新幹線が通過できるダブルデッキの道路鉄道併用橋となっている。

本橋補剛桁の製作は列車荷重による部材応力の変動が大きく疲労の問題を考える必要があり本四公団において、いろいろな疲労試験が行なわれ従来の橋梁に比べ厳しい品質を求められた。これ等基本的問題点を解決する為に、実物大のパイロットメンバーによる施工試験を行うと共に、大型構造物の仮組立、長期防食塗装、遠距離海上輸送等についても実験、検討を行ったので以下報告する。

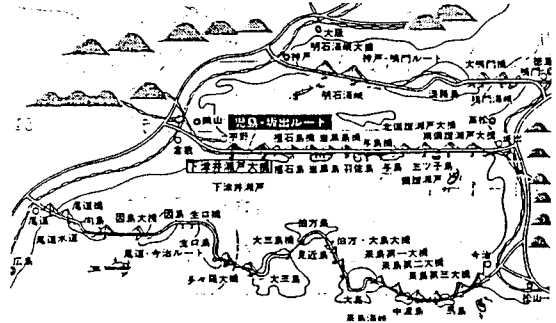


図-1 橋梁位置図

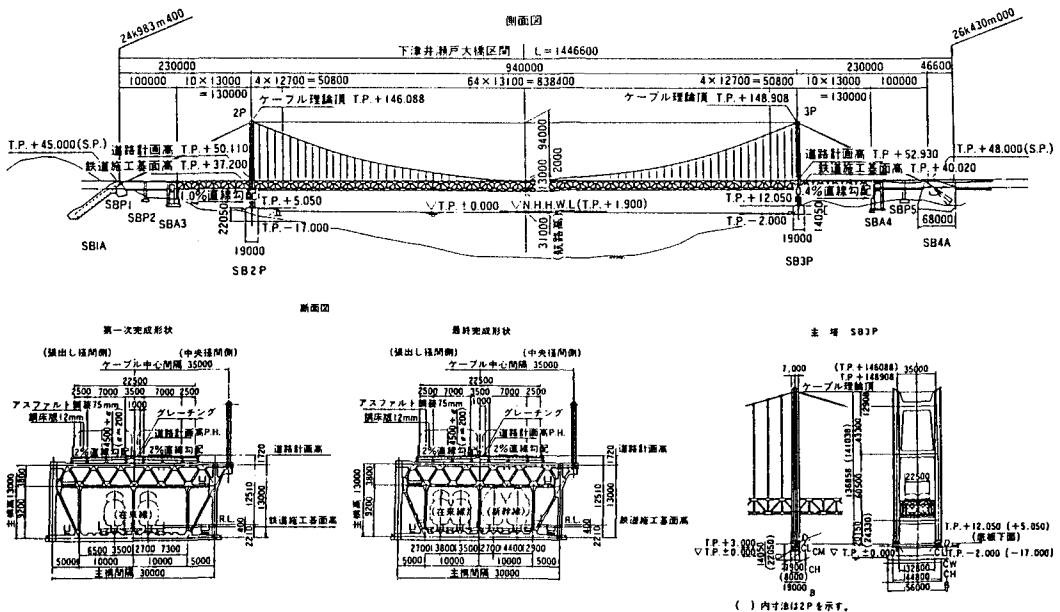


図-2 下津井瀬戸大橋一般図

2. 工事概要

2-1. 工事範囲及び鋼材重量

工事範囲は、側径間SBA3から6パネルの製作、仮組立、塗装及び輸送で製作鋼材重量を表-1に示す。

	主構造	管理路・他	合 計
補 剛 桁	1669.5	19.9	1689.4
道路床組	438.0	13.9	451.9
鉄道床組	81.3	83.0	164.3
付 属 品	—	65.6	65.6
合 計	2188.8	182.4	2371.2

表-1 製作鋼材重量 (TON)

2-2. 製作場所及全体工程

製作場所は室蘭製作所で全体管理、予備実験、工場製作を行い、設備の関係で函館造船所にて立体仮組立、塗装を行った。全体工程を表-2に示す。

工程	年 月	昭和59年												昭和60年												昭和61年												昭和62年								
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8					
予備実験																																														
工場製作																																														
立体組立																																														
工場塗装																																														
輸送																																														

表-2 全体工程

2-3. 品質管理

本橋補剛桁の設計、製作、架設工事は、全体の設計、架設と主塔近傍の製作を4社で、中央径間の製作を2社で、側径間の製作を2社で各々共同企業体として担当した。各共同企業体間の品質管理基準、作業基準等の統一を計るため、設計、製作、輸送、架設の各部会を編成し、1部現地に常駐し作業を進めた

当社でも各部門からメンバーを選出し、プロジェクトチームを作り各種実験、施工計画等をたてると共にチェックシートによる徹底した品質管理を行った。又、作業者に対し疲労部材に対する品質確保の重要性を教育し、各工程における問題点を認識させた。

3. 工場製作

3-1. 概 要

本橋補剛桁の製作には次の様な特徴がある。

- (1) 使用材質はSM58材で最大65mmの厚板を多用している。
- (2) 取扱う部材は最大重量65TON,最大長さ26Mと大型である。
- (3) 疲労部材としての要求品質(表-3)が規定され部材加工,組立,溶接の品質が高度である。

これ等の基本的な問題点を解決するため、実物大のパイロットメンバー(長さ26M,巾1.2M,高1.2M)による施工試験を行い、品質管理目標、作業基準を確立し製作に反映させた。主構造下弦材の1例を図-3に示す。

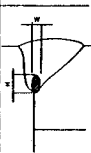
要求品質	ブローホールの許容寸法	備 考
特A	1) 球状ブローホール (H/W ≤ 2のもの) W ≤ 1.5mm	
	2) パイプ状ブローホール (W ≤ 1.0mmのもの) H ≤ 4.0mm	
A	1) 球状ブローホール (H/W ≤ 2のもの) W ≤ 3.0mm	
	2) パイプ状ブローホール (W ≤ 1.0mmのもの) H ≤ 6.0mm	

表-3 超音波探傷検査要求品質

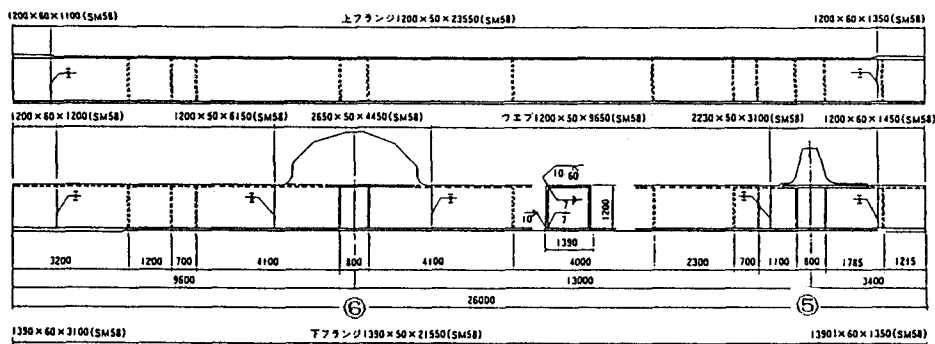


図-3 主構下弦材の1例

3-2. 部材加工及び組立

調質高張力鋼の溶接継手におけるルートギャップの管理基準（図-4）として0.5mm以下を規定されたので、部材加工管理目標（表-4）を定め、更に部材のタッチ面は全て自動研削機でガス切断面の酸化皮膜と鋼板のジंकリッチプライマーを除去した。組立順序は下フランジの上に機械切削したダイアフラムを基準にして上フランジ、腹板を取付た。組立は油圧による組立専用機を開発し圧着する事によって、ルートギャップを0.3mm以下に納めることができた。

管理項目	管理目標	実測値
鋼板の平坦度	0.5/500mm	0~0.3/500mm
板継ぎの目違	0.1mm以下	0~0.1mm
切断直角度	0.2mm以下	0~0.2mm
上フランジ巾	±0.5mm以下	±0.5mm
ルートギャップ	0.5mm以下	0~0.3mm

表-4 部材加工管理目標

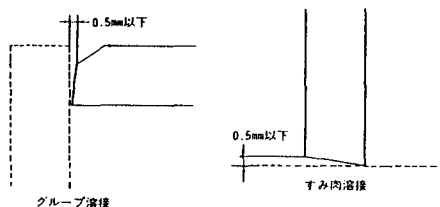


図-4 ルートギャップの管理基準

3-3. 溶接

本工事の中で溶接は最も重要な工程で具体的に次の点に留意した。

- (1) 組立精度を高めルートギャップを0.5mm以下とする。
- (2) 溶接欠陥の原因となる開先面の錆、油、ゴミ等を完全に除去する。
- (3) 溶接の溶け込み量を一定にするため、自動センサーにより溶接棒のねらい角を制御する。
- (4) 溶接による変形を少なくするため、同時対称溶接とする。
- (5) 溶接の電流、電圧を安定させるため、溶接電源は独立電源とする。表-5に溶接条件を示す。

溶接位置	溶接方法	溶接材料	溶接条件				予熱	姿勢
内面スミ肉溶接 (脚長7mm)	MAG自動溶接 (ミトレン)	MGS-63B(1.2φ) 齡加(CO ₂ 20%)	層数	電流	電圧	速度	50℃	水平
			1	300A	30V	38cm/min		
外面スミ肉溶接 (脚長12mm)	マーマーアーク溶接 (シグナル)	Y-DM(4.8φ) YF-15K	1	700	34	30	50℃	45°
外面グループ溶接  12	マーマーアーク溶接 (タンデム)	Y-DM(4φ) YF-15K	1	L	700	32	50℃	水平
				T	550	35		
			2	L	650	33		
				T	600	36		
			3	L	650	35		
				T	600	38		

表-5 主構弦材の溶接条件

溶接部の品質に就いては、溶接ビード外観検査、溶接部のマクロ断面試験、溶接継手ルート部の破面試験及び自動超音波探傷検査を実施した。表-6に自動超音波探傷検査の結果を示す。

溶 接 位 置	溶 接 長 (m)	発 生 個 数 (1.5W)1.0)	発 生 率 (%/m)
内面 ス 肉溶接	448.0	3 個	0.007
外面 ス 肉溶接	309.6	3 個	0.010
外面 ス 溶接	309.6	1 個	0.003
合 計	1067.2	7 個	0.007

表-6 溶接欠陥数

3-4. 仮組立
仮組立は地盤の不等沈下をさける為、造船用30万TON 建造乾ドック内で250TON G/C を使用して立体仮組立を行った。他工区との隣接部材については仮組立完了後、他社に転送し取合部を確認した。仮組立精度については表-7に規定値の1部を示すが、いずれも規定値を満足することができた。

検 査 項 目	条 件	許 容 差 (mm)	備 考
全長・支間長	N：パネル数	1×N 2×N	全長 部分組立
格 間 長		±3	
中 心 間 距 離	主構間隔 B：設計主構 中心間距離	±0.5(B-5)	隣接する格点位置での差 は5mm以下
高 さ	主構 H：設計高さ	0.5H	同 上
対 角 線 長	主 構 平 面	±0.5(B-5)	対角線長の差 0.25(B-5)
鉛 直 度	主 構	H 1,000	

表-7 仮組立精度

4. 工場塗装

4-1. 概 要

塗装の品質は、橋の安全性や耐用年数に大きな影響を与え特に本橋の様に常に潮風を受ける海岸構造物の塗装作業は十分な管理と細心の注意を要する。本橋の塗装は気象条件の最も良い5月～10月を選定し全て室内で行い塗装品質の向上に努めた。

4-2. 塗装仕様

本橋の塗装仕様と塗膜厚は工場で仕上げ塗装迄行う長期防錆塗装でその仕様の1部を表-8に示す。

塗装系	通 用 部 位	素地調整		第一層	第二層	第三層	第四層	第五層	第六層
		一次	二次	塗膜厚	塗膜厚	塗膜厚	塗膜厚	塗膜厚	塗膜厚
工場塗装	A1S1 (1) 補剛桁外面 (工場添接部を含む)	原板 プラ ス ト	製 品	HBS K 5603 2d 厚膜型無機 ジンクリッ チペイント	2d ミストコー ィ 5m	HBS K 5606 1d 厚膜型エポ キシ	1d 同 3m	HBS K 5608 1d ポリウレタ ン (中塗)	HBS K 5608 1d ポリウレタ ン (上塗)
				75	約10	60	60	30	30
工場塗装	A1S8 (2) 補剛桁箱断面内面 非密閉部 (工場添接部を含む)	5611 無機 ジンク ス ト	同	2d 上 5m	2d 上 5m	HBS K 5609 1d タールエポ キシ	1d 同 10d	1d 同 10d	1d 同 10d
				50	約10	110	110	110	

表-8 塗装仕様と塗膜厚

4-3. 塗装実績

塗料はHBS塗料規格に適合する物を使用し、仕上げ塗装色は日本塗料工業会KI-1003（マンパ記号N7.5相当）とした。一次素地調整はミルメーカーにて原板プラストし、二次素地調整は製品プラスト（ショット）により防錆度SPSSのSh2以上、表面粗さはJIS B0601で70RZ以下とした。プラスト後2時間以内に厚膜ジンクリッチプライマーの塗装を行った。

本塗装に入る前に、塩分測定(100mg/㎡以下)を行い最終塗装迄入念な施工を行った。 塗装結果については、主構造上弦材外面の塗膜厚管理値及測定結果を表-9に、そのヒストグラムを図-6に示す。

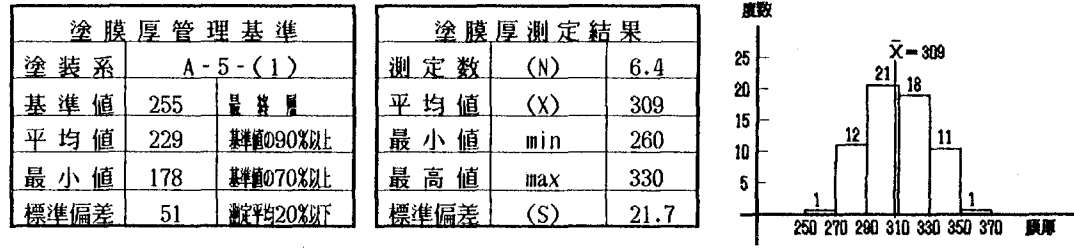


表-9 塗膜厚管理基準及測定結果

図-6 ヒストグラム

5. 輸 送

5-1. 概 要

本橋の輸送は現地の架設計画に従って主構弦材については、単部材，主横トラスについては面部材として架設時期に合せ海上輸送とした。海上輸送は気象条件，対象貨物の発地，着地の諸条件及び就航経路によって船舶の種類，工程，安全性が左右されるので十分な事前調査を行った。

5-2. 輸送経路及び安全対策

輸送経路は気象条件により、太平洋，日本海回りを選択できる様に配慮し、輸送方法は航海の所要時間安全性，塩分付着等を考慮して内航船499型（艀69.4m×艀11.5m×艀4.5m×D/W1590TON）を採用した又、安全性については、輸送経路が「海上交通安全法」の適用海域であるため、事前に関係官庁の届出を行い同法に基づく教育や運送全般に対して担当者の指導を行うと共に万全を期した。

5-3. 輸送実績

輸送に伴う部材の変形，塗装の損傷に注意し、特に面部材については受架台を製作し縦積輸送とした。塩分の付着に就いては積込前日に水洗いを行い、輸送の前後に塩分測定を行ったが規定値の100mg/㎡対し10mg/㎡以下と十分に満足する値であったので、現地での水洗いは行なわなかった。

表-10に輸送実績を示す。

No	積載重量	積 載 日	使用重量	積載場所	使用 船 舶	出 港 日	水 切 日	主 曳 船	輸 送 経 路
1	213.6	61- 8-23	500T FC	大 阪	D.B 3000T	61- 8-23	61- 8-25	船政丸(1.000P)	太 平 洋
2	56.0	61- 9- 4	500T FC	大 阪	D.B 1500T	61- 9- 4	61- 9- 6	船政丸(1.500P)	太 平 洋
3	29.0	61- 9- 4	45TLLC	商 船	星山丸 499型	61- 9- 4	61- 9- 8	—	太 平 洋
4	152.4	61- 9-18	250TG.C	商 船	船政丸 499型	61- 9-18	61- 9-24	—	日 本 海
5	279.0	61- 9-18	250TG.C	商 船	船政丸 699型	61- 9-19	61- 9-24	—	太 平 洋
6	74.5	61- 9-26	250TG.C	商 船	船政丸 499型	61- 9-26	61-10- 2	—	太 平 洋
7	111.6	61- 9-27	250TG.C	商 船	星山丸 (前出)	61- 9-27	61-10- 3	—	太 平 洋
8	241.4	61-10-13	250TG.C	商 船	三高丸 499型	61-10-13	61-10-17	—	太 平 洋
9	168.3	61-10-13	250TG.C	商 船	船政丸 499型	61-10-13	61-10-17	—	太 平 洋
10	128.2	61-11-11	250TG.C	商 船	さんり丸 699型	61-11-12	61-11-17	—	太 平 洋
11	146.7	61-12- 1	250TG.C	商 船	船政丸 499型	61-12- 1	61-12- 8	—	太 平 洋
12	191.2	61-12- 2	250TG.C	商 船	船政丸 499型	61-12- 2	61-12- 8	—	太 平 洋
13	91.7	62- 4-11	35T TC	大 阪	船政丸 499型	62- 4-11	62- 4-13	—	太 平 洋
14	74.3	62- 4-17	80TLLC	商 船	船政丸 (前出)	62- 4-17	62- 4-23	—	太 平 洋
15	142.2	62- 5- 2	80TLLC	商 船	白樺丸 699型	62- 5- 2	62- 5- 7	—	太 平 洋
16	196.2	62- 5-14	45TLLC	商 船	船政丸 (前出)	62- 5-14	62- 5-20	—	日 本 海
17	74.8	62- 5-19	35TLLC	大 阪	船政丸 599型	62- 5-19	62- 5-20	—	太 平 洋

表-10 輸 送 実 験

6. あとがき

下津井瀬戸大橋の補剛桁の製作架設は8社、3共同企業体で約4年の歳月を経て昭和63年4月10日開通し、現在供用中である。本橋の製作は、調質高張力鋼を使用した疲労部材としての高い要求品質を求められたが、製作に先立ち各種パイロットメンバーによる基礎実験を行い基本的問題点を解決し、それを製作に反映することによって十分満足できる製品を作ることができた。最後にこの間、数回弊社の工場においでになり、御指導を頂いた東京大学名誉教授 奥村敏恵先生、大阪大学教授、堀川浩甫先生、並びに本四公団の皆様に深く感謝しますと共に、この貴重な経験と技術を今後、益々活用して参りたいと思います。