

下津井瀬戸大橋補剛桁の架設

The Construction of the Stiffening Girders in the Shimotsui-Seto Bridge

滝 戸 勝 一 *
Shohichi TAKIDO

Summary

The Shimotsui-Seto Bridge, one of the Honshu-Shikoku Bridges, is a combined road and railway bridge with a center span of 940m.

To erect the double-deck stiffening truss girder of this suspension bridge, a towered block (1200t) and crane (350t) were erected by using a large floating crane, and thereby the whole construction period was shortened considerably.

This paper reports, in detail, the conditions of the floating crane under flowing current.

1. まえがき

下津井瀬戸大橋は本年4月の開通を待つばかりである。

本橋の補剛桁架設工事に当り、その架設工法として、関門橋・大鳴門橋など我が国の長大吊橋で実績のある、面材工法を採用しているものの、工期短縮を目的とした新しい試みが随所に採り入れられている。

補剛桁架設工事において、桁上のトラベラクレーンによる面材のサイクル架設を始める直前までを前段作業と呼び、塔付ブロックの架設、架設用クレーンの設置などを行うもので、昭和60年11月末に着工し、61年6月末の約7ヶ月間で終了した。

本文では、この前段作業のうち特徴のある工法として、

① 塔付ブロックの架設も含め大型フローティング・クレーンによる架設を12回行ったこと。

② 台船上から、直接桁上のトラベラクレーンによりトラス面材の直下吊上げ架設を行ったこと。

を中心に、潮流と潮位に対する作業の状況を詳細に報告して後の資料としたい。

2. 概要

(1) 地理的な状況

下津井瀬戸大橋は、岡山県の名勝地鷲羽山をトンネルで抜けた下津井港（田之浦港）から香川県の櫃石島まで、

約800mの海峡をひとまたぎする本土側の最初の吊橋である。

下津井は、幕末から明治の初期にかけて栄えた所で、北前船の潮待港や四国の金毘羅さんと児島の由伽山を両詣りする善男善女が往来した交通の要衝地である。対岸はその昔、塩飽水軍、宮大工などで名を成した櫃石島であり、今は平和な漁村で過疎化の傾向にある。しかし供用後は海洋リクリエーションの基地となる可能性を持つ島であり、両地点とも往年の繁栄は夢でないと思われる。

(2) 橋の規模

橋の構造諸元および一般図は、前出の“下津井瀬戸大橋の設計”を参照いただきたい。

本橋は児島・坂出ルート（Dルート）の3吊橋中では最小支間(940m)であるが、南・北備讃瀬戸大橋と違う点として、

① 鷲羽山側のアンカーは、名勝地での掘削を小さくするためトンネル式ケーブルアンカーレイジを採用する。

② ケーブル架設はストランドを太径に出来るエア・スピニング法で行う。

③ 塔の骨組はトラスより美観上評価が高いラーメン型式である。

④ 側径間は短いのでハンガー無しの張出しトラスである。

* 千葉工場工事部付課長

⑤ 桁下航路高は小型船舶を対象に31mと低い。
などが挙げられる。

(3) 架設工法の特徴

架設工法は、基本的には、従来の関門橋・大鳴門橋で実績のあるトラベラクレーンによる面材工法を採用している。また部材供給も同じ方法によっており、**図-1**のような手順で、架設が進められる。

下津井瀬戸大橋で採用した工法の中で特徴的な点は、前述した他に、

① 側径間にハンガーがないため、中央径間とのバランスを取りながらの架設となる。

② 側径間の張出し径間のカンチレバー架設後、橋台方の仮受け点として

3 P側 ベント工法

2 P側 仮ハンガー工法

により各々端部閉合する。

などがあげられる。

前段作業とは面材のサイクル架設を始める直前までを指し、中央に4パネルの補剛桁を架設したあと、その上に2台のトラベラクレーンを乗せ、中央と張出し側に向けて架設開始しようとする状態までをいう。本文で述べる前段作業のあとのトラベラクレーンによる標準的な架設要領を**図-2・3**に示す。

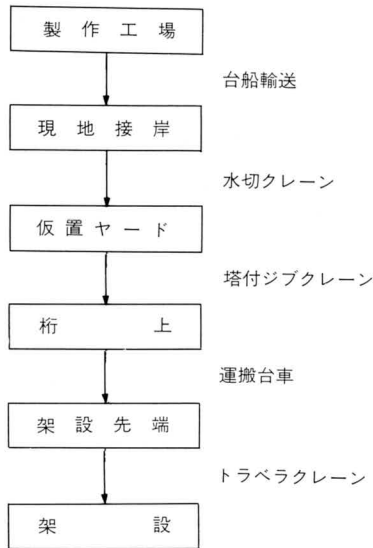


図-1 補剛桁の架設手順図

4. フローチングクレーンによる一括架設

前段作業においてフローチングクレーン (FC) による一括架設を選んだ理由を述べるとともに、係留、離脱作業の要領について、特に今後の資料になるように実績時間を入れて示すことにする。

(1) 一括架設工種

FCによる一括架設を採用した工種は**表-1**に示す。

(2) 選定理由

表-1における①、②の水切クレーン設置作業はケーブル工事とラップ作業になり、長期間2P、3Pの作業ヤードを占有できない。そのため工場でブロック化して現場は設置だけとする。

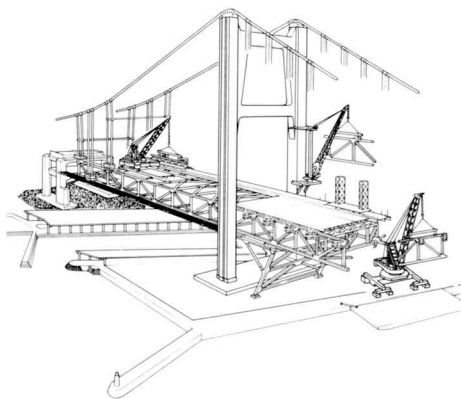


図-2 2P側架設要領図

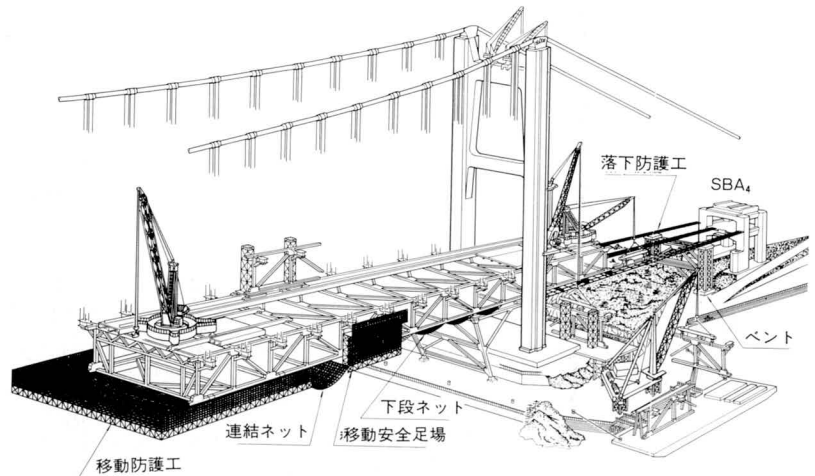


図-3 3P側架設要領図

表-1 一括架設工種と使用フローティングクレーン

No.	工 種	日 付	使用フローティングクレーン
①	3P 水切りクレーンの設置	61.1.11	宏栄号 600 t 吊
②	2P "	1.31	"
③	3P 塔付ペントの設置	4.18	"
④	2P "	4.20	"
⑤	2P 塔付ブロックの架設(CB-1)	4.29	金 剛 1600 t 吊
⑥	3P " (CB-36)	5.2	"
⑦	2P " (CB-2)	5.13	長 門 1300 t 吊
⑧	3P " (CB-35)	5.17	"
⑨	3P 張出し径間トラベラクレーン	5.19	金 剛 1600 t 吊
⑩	2P "	5.21	"
⑪	3P 中央径間トラベラクレーン	5.31	"
⑫	2P "	6.3	"

他の③～⑫は面材架設までの工期短縮を目的に一括架設を選定した。

桁工事の開始時における、ケーブル工事とのラップ作業の様子を表-2の工程表に示す。

この表で分るように、ケーブル工事のバンド搬入からハンガー架設までの期間は塔項クレーンの使用は望めないでその期間は基礎工事にあてる。

3月15日以後、塔項クレーンが本格的に使用できる期間に塔付ジブクレーンの組立を行う。その後FC架設が始まることになる。

(3) 使用FCの決定



図-4 下津井瀬戸地形図

1) 使用するFCと本体のブロック長は次のような制約がある。

① 図-4の下津井瀬戸地形図に見るように地形的に橋軸方向からの架設になる。図-5に塔付ブロックの架設状況を示す。

表-2 補剛桁工事とケーブル工事のラップ工程表

工事種別	日 付	60 年				61 年					
		11	12	1	2	3	4	5	6		
補剛桁工事	2P	11/25 塔付足場組立	水切りクレーン基礎	塔付ペント基礎	② 1/31 水切りクレーン	塔付ジブクレーン組立	▽ ④ 4/26 塔付ペント	▽ ⑤ 4/29 塔付ブロック	▽ ⑥ 5/21 張出トラベラークレーン	▽ ⑦ 5/13 塔付ブロック	▽ ⑧ 6/3 中央径間トラベラークレーン
	3P	塔付足場組立	水切りクレーン基礎	防弦材	仮置構台基礎	塔付ジブクレーン組立	▽ ③ 4/18 塔付ペント	▽ ④ 5/2 塔付ブロック	▽ ⑤ 5/19 張出トラベラークレーン	▽ ⑥ 5/31 中央径間トラベラークレーン	▽ ⑦ 5/17 塔付ブロック
ケーブル工事	AS完	解体工	バンド搬入	スライズ	スライズ	ハンガー取付	2次締め	跡片付			
			プレススライズ	スライズ	スライズ	2/26 ストーム解体					
塔頂クレーンの使用状況		桁工事使用可能		この間は塔頂クレーンをケーブル工事で占有			桁工事でほぼ占有				

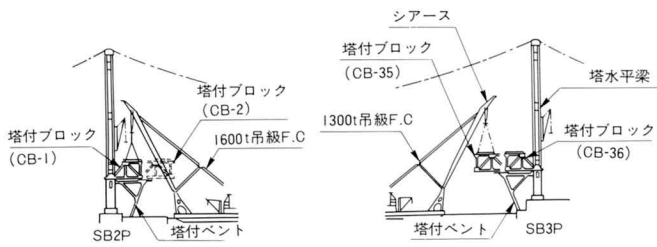


図-5 塔付ブロックの架設

- ② 塔水平梁にシアースが当たらないこと。
 - ③ 水切クレーン架設時、ストームロープに接近して架設可能なこと。
 - ④ 本ハンガー内にシアースが取まること。(進入部はハンガー後架設になる。)
 - ⑤ トラベラクレーンは桁上へ架設するため高揚程のFCが必要となる。
 - ⑥ 3P側は潮流が強く斜め方向に流れており、現地に慣れた船長の実績が要求される。
 - ⑦ 他工事とのローテーションを考慮して、FCの用船がDルート他工事および造船所等の使用とかわかないこと。
- 2) 塔付ブロック長のパネル数を増して大ブロック化し、更にクレーンも乗せたいが上記の①、②、④の条

件で不可能であった。

3) トラベラクレーンの架設

重量350t程度であるが⑤の理由から金剛(1600t吊)を使用する。

4) 水切クレーン、塔付ペントの設置

宏栄号(600t吊)は岩壁の既設ビットが使用可能で、ほぼ妥当と思われる。

以上のFCの仕様は、表-3に示す。

(4) 工程計画

水切クレーンの3P側据付日(1/11)は大潮の日で、東流4ノット/時の潮に乗って据付岩壁に進入できず、

表-3 使用フローティングクレーンの能力表

船名		宏栄号		長門		金剛		
船体	長さ	63.00m	80.00m	85.00m	85.00m	85.00m	85.00m	
	幅	32.00m	36.00m	36.00m	36.00m	38.8m	38.8m	
	深さ	5.00m	6.00m	6.00m	6.00m	6.00m	6.00m	
捲揚能力	主捲	ジブ傾斜角度	61°	29°	65°	25°	65°	25°
		定格荷重	600t	220t	1300t	366t	1600t	210t
		揚程	70.0m	43.5m	76.8m	39.5m	81.35m	46.59m
	補捲	張出距離	30.0m	57.5m	28.8m	68.6m	29.91m	69.34m
		定格荷重	200t	200t	100t	100t	200t	200t
		揚程	72.5m	66.9m	97.0m	48.7m	98.17m	51.40m
捲上速度	主捲	張出距離	35.0m	62.5m	36.5m	80.3m	37.60m	80.83m
		捲	2.2m/min	1.55m/min	1.3m/min	1.3m/min	1.3m/min	1.3m/min
捲上速度	補捲	捲	2.3m/min	5.00m/min	5.00m/min	3.0m/min	3.0m/min	3.0m/min

表-4 FCによる一括架設工程表

月日	61年1月		2		4		5		6	
	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20
(1) 月令	●朝	○下弦	●上弦	○望	●	●	●	●	●	●
(2) 潮汐(3P対象)			○◎○△ 適最適適可能		△○◎			○◎○△		○◎○
(3) 架設項目	水切クレーン		塔付ペント		塔付ブロック		塔付ブロック		トラベラクレーン	
(4) 2P側	尾道 台船 台船輸送 吊上げ、架設		宇野 吊上げ、仮泊 日比 吊運搬		(CB-1) 玉野 台船、仮泊 吊上げ 日比 吊運搬		(CB-2) 玉野 日比 仮泊 吊運搬		(張出しトラベラ) 笠岡 瀬居 吊上げ、仮泊 吊運搬	
(5) 3P側	丸亀 吊上げ 吊運搬		日比 吊上げ、仮泊 吊運搬		(CB-36) 水島 台船、仮泊 吊運搬		(CB-35) 水島 台船 吊金具取付 仮泊 日比 吊上げ		(張出しトラベラ) 神戸 瀬居 台船 吊上げ	
	架設日 3P架設		架設日 3P架設		架設日 3P架設		架設日 3P架設		架設日 3P架設	

中央径間側に押し流された。曳船2隻(2700psと3400ps)でやっとUターンして、潮待ち後無事セットする。その後の3P側の架設は潮流のきびしい時期を避け小潮日(上弦、下弦の月令)に定め、その前後に2P側の同種作業をもってすることとした。このため2週間周期で連続して2P、3Pの架設を行う表-4の工程表に示すような工程となる。特に5月17日の小潮時は4回の過密ダイヤになった。

FC架設の工程計画は仮泊港、吊上げ港の事前調査を充分にする必要がある。今回も使用の可否が直前にならないと判明しない公共岸壁(日比港)、他JVと関連の多い瀬居基地などの条件に左右されながらの日程の決定となった。

予定日より延期したのは、FCのエンジントラブルと強風($V_{10} \approx 20\text{m/s}$)による各1日と2回だけでツキもあったようである。また小潮日を逃すと2週間ずらすことになり、一括架設の工程短縮効果がたちまち消滅してしまうので、工程の調整には最も苦勞するところであった。

(5) 海象・気象条件

瀬戸内の中でも最も気候に恵れた岡山ということで、この期間に3P側は、雨天3回、強風による作業中止1回、濃霧による待機1回、2P側の作業時の天候はすべて良好であった。FC作業における作業限界は表-5を目安とし、最終判断は関係者の協議により決定した。

下津井瀬戸の潮流は3P側の前面で、大潮時の約3~4ノット程度の東流が一番きつく、この間は係留・離脱をさける必要があった。

表-5 作業条件

	浜出し	吊運搬	現地据付	備考
風速	8 m/s以下	10m/s以下	8 m/s以下	平均
波高	0.5m以下	0.6m以下	0.5m以下	有義
視界	1000m以上	1000m以上	1000m以上	
雨	小雨決行	小雨決行	小雨決行	

(上記の条件は一応の目安とし、最終判断は関係者協議の上で決定する。)

(6) FCによる架設作業の内容

前述したように、3P側・2P側ともFCによる架設作業には、潮流の影響を大きく受ける。定位置への係留から離脱に至る手順と実績時間について順を追って図示する。また作業中の写真をできるだけ挿入したので参考としていただきたい。

(a) 3P水切クレーンの設置

図-6に、広栄号(600t吊FC)による水切クレーン設置時の、定位置への係留要領と離脱要領を示す。さらに、進入から離脱・回航に至る潮流と実績時間の関係についても図示した。(写真-1)また、考察欄に現場の状況を2~3記すこととした。

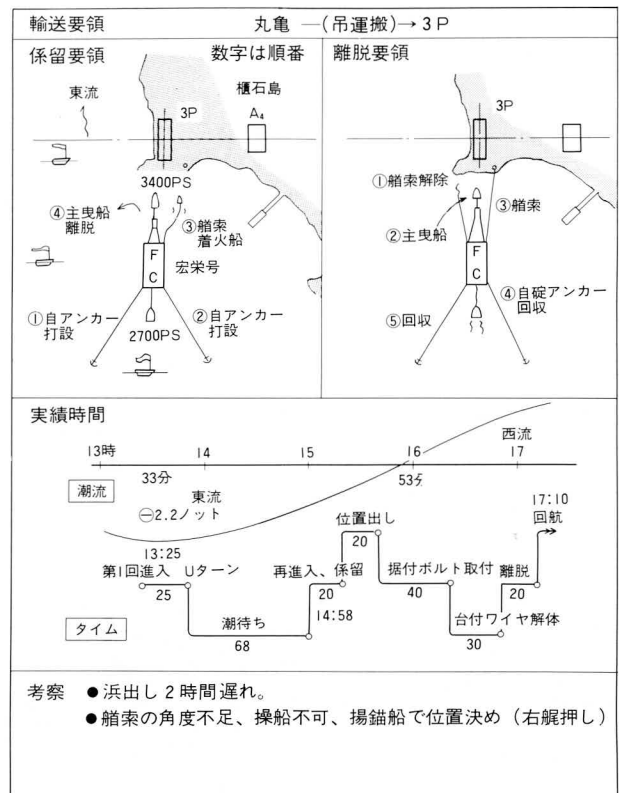


図-6 3P水切クレーン設置

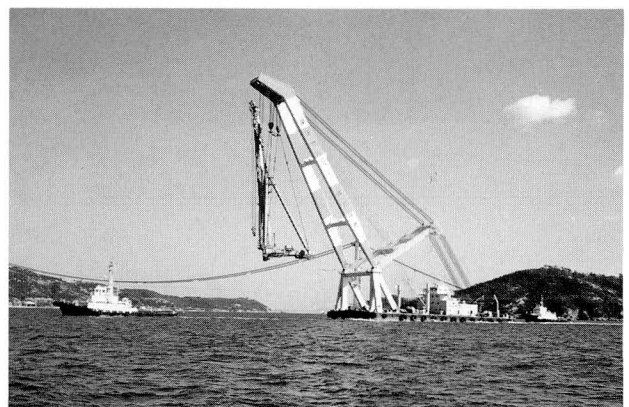


写真-1 600t吊FC宏栄による3P水切りクレーン吊運搬状況

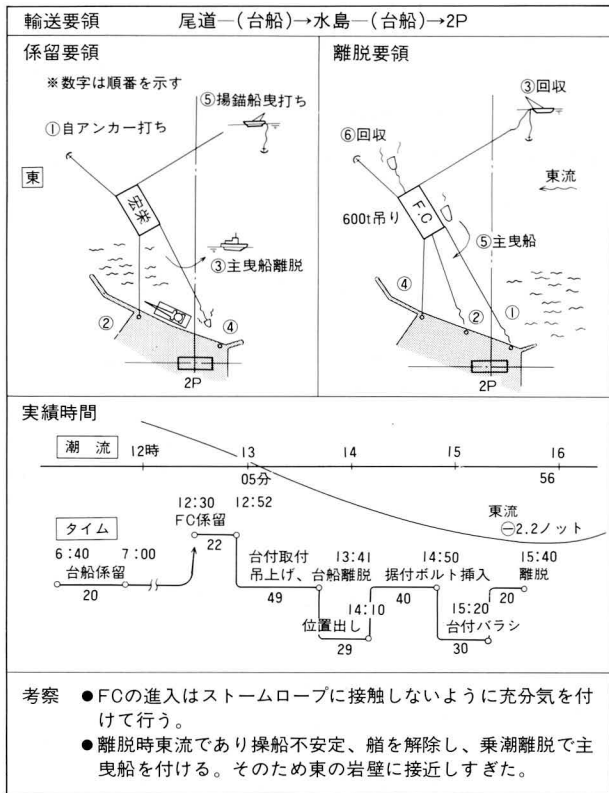


図-7 2P水切クレーン設置

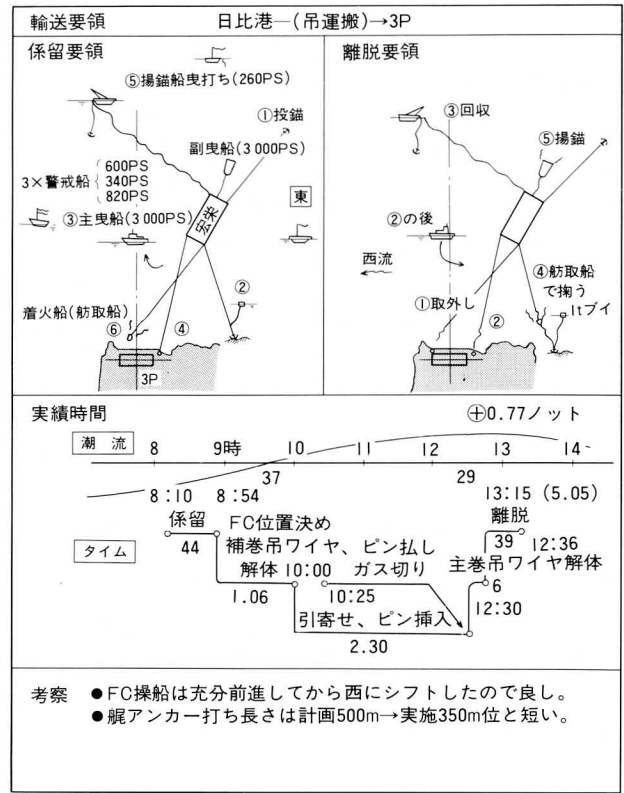


図-8 3P塔付ペント設置

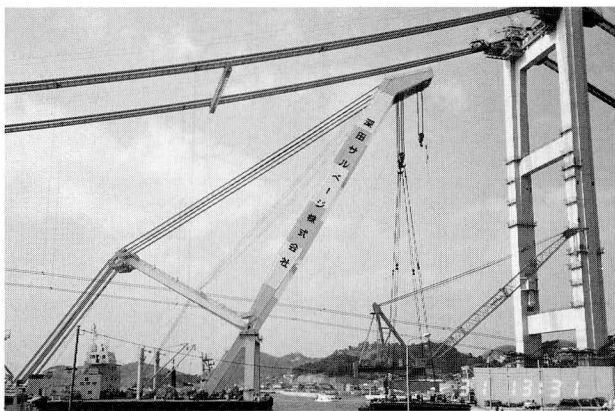


写真-2 2P水切クレーンの吊上げ

(b) 2P水切クレーンの設置

図-7に作業要領と実績時間を示す。(写真-2)

(c) 3P・2P塔付ペントの架設

塔付の斜ペントの架設を、宏栄号により図-8・9の要領にて実施した。写真-3にFCにより吊運搬して2Pに到着した塔付ペントを示す。

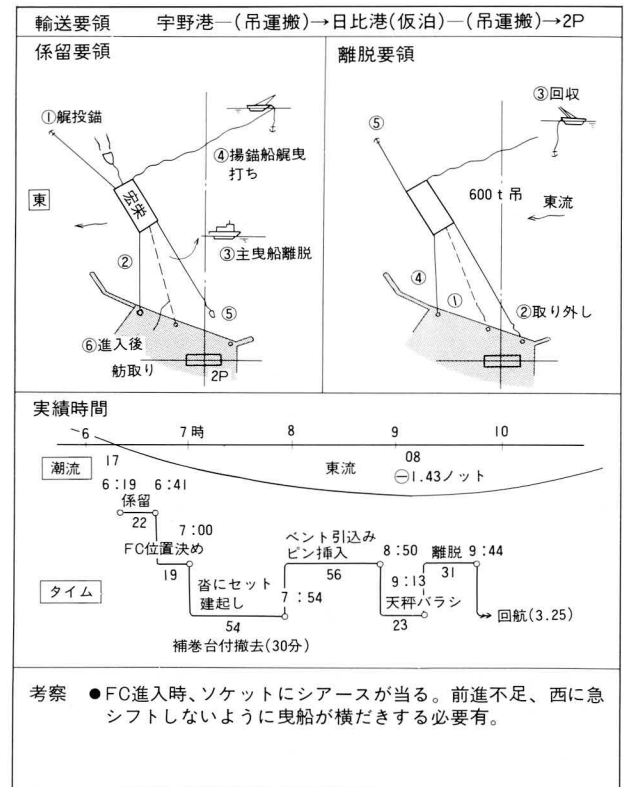


図-9 2P塔付ペント設置



写真-3 2P塔付ペント・吊運搬して2P到着



写真-4 2P塔付ブロック 2P前面に進入

(d) 2P塔付ブロックの架設 (CB-1)

早朝塔付ブロック (CB-1) を吊運搬して工場を出発したFC・金剛 (1600 t 吊) は、12時の潮止まりに写真-4のように2P前面に進入した。

係留は図-10のように金剛の自アンカーを東に投錨、西の10 t アンカーは揚錨船で吊って待機している。揚錨船は着火船によるFCとアンカーの結束後もアンカーからリードワイヤをとって海上係留を行う。

塔間への縦引き作業はスキ間が65mmしかなく、FCだけでは挿入が難しいので、タワーリンクのピンから10m手前で位置決め用のワイヤをつけて進入する。ペント上にはピンから0.8m手前でタッチさせ、縦引きジャッキの主動で挿入する。FCの台付をはずしてタワーリンクのピン挿入作業に入ったが治具の不具合で終了は22時40分と夜間作業になる。

(e) 3P塔付ブロックの架設 (CB-36)

CB-1の1日遅れを取りもどすため、当初予定の日

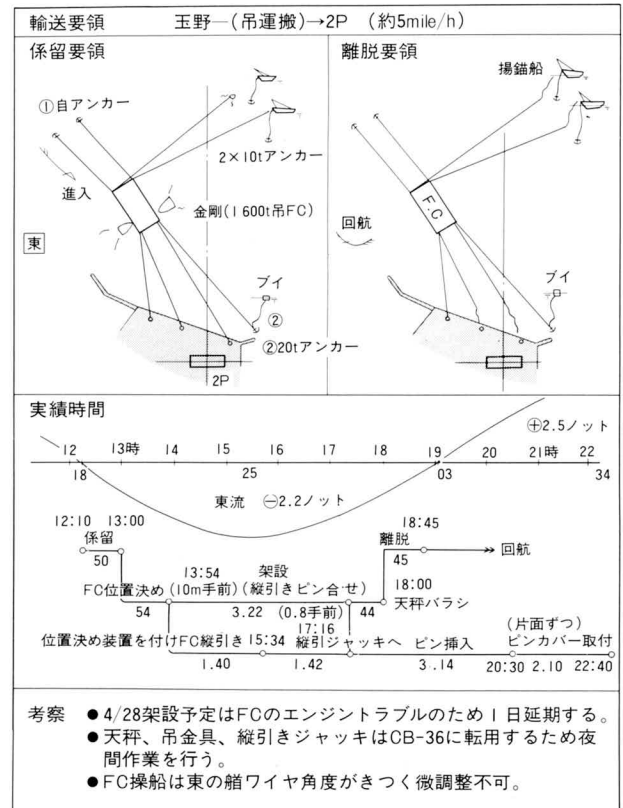


図-10 2P塔付ブロック (CB-1)の架設

比港で台船から吊上げて東から進入する方法を、水島から現場まで直接吊運搬して西側から入る方法に変更する。

当日は一時視程500m以下になる濃霧のため待機しながら進入となった。写真-5は主曳船、副曳船による進入開始の状況である。係留要領は図-11のように自アンカーを西に投錨して、次に対角線上の10 t アンカー②につなぐ作業は好都合の逆潮時に行う。主曳船は両舷に副曳船によって位置決めされている間に離脱、着火船は③の20 t ストックレスアンカー (船首角度の確保用に設置) とつなぎ、曳索に使用していたワイヤを④、⑤ビットにとる。東側船尾アンカーは2隻の揚錨船がリードワイヤをアンカーからとって船舶交通の邪魔にならぬように係船する。

(f) 2P塔付ブロックの架設 (CB-2)

使用FCは長門 (1300 t 吊) である。塔付ブロック重量は 800 t でCB-1の1200 t に比べて軽い、空中ジョイントとハンガー引込作業があるために係留時間が長くなる。

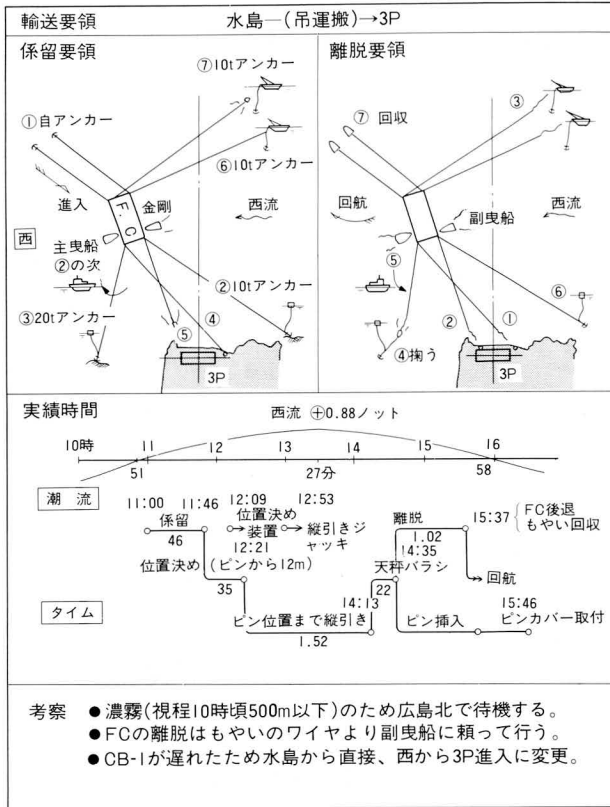


図-11 3P塔付ブロック(CB-36)の架設

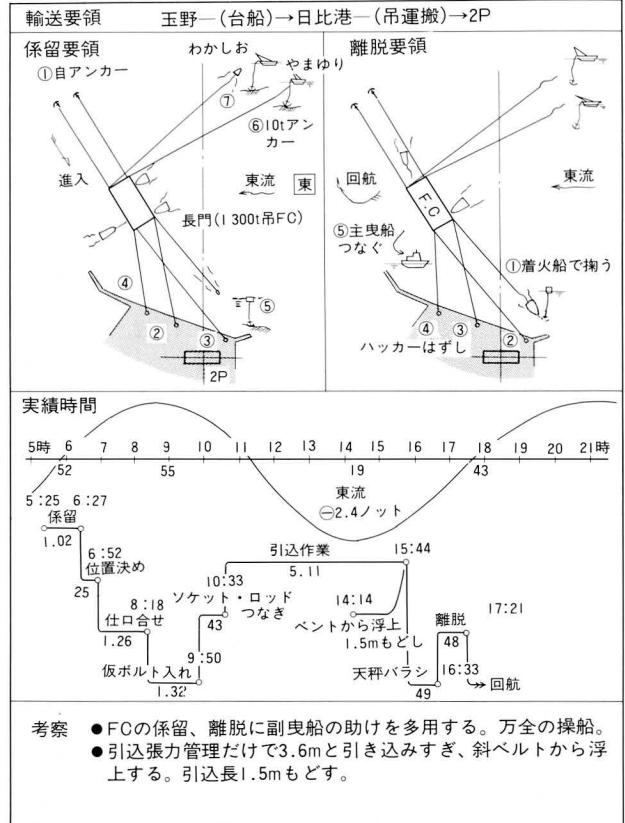


図-12 2P塔付ブロック(CB-2)の架設



写真-5 3P塔付ブロック 進入開始の状況

FCの位置決めは主曳船の離脱後にウインチ操作で行うが、その前進、横移動がはっきりしており、正確に直角に操船してくるので安心して見ていられる。曳船の力をうまく利用している点等、指示も適確である(図-12)。

添接作業は主構上弦材のTop P₀ から寄せピン・仮ボルトを入れ、次に下弦材、斜材の順とした。

引込作業は東西で2格点、各々約2mの引込を行った。

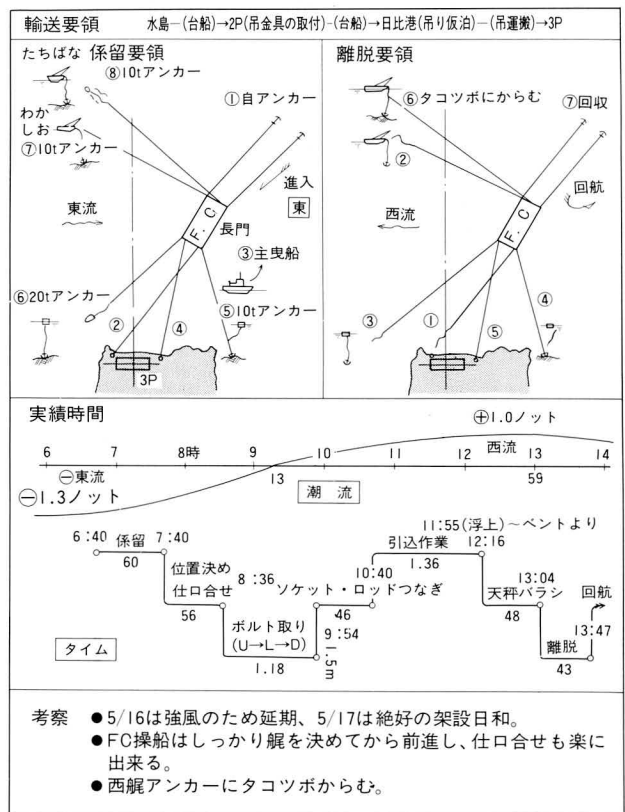


図-13 3P塔付ブロック(CB-35)の架設

(g) 3 P塔付ブロックの架設 (CB-35)

FCの係留、位置決めまでを行う海上作業員と仕口合せ、ボルト取りをする陸上作業員の呼吸がピッタリ合い、自らの作業を迅速に終わらせて回航を早めさせようとする様子を、思わず“ニヤツ”とさせられる。実績時間を図-13に示す。

海上作業中の揚錨船と着火船は写真-6のようである。

(h) 3 P張出径間用トラベラクレーンの設置

T.P.50m以上の橋上にクレーンを設置するため高揚

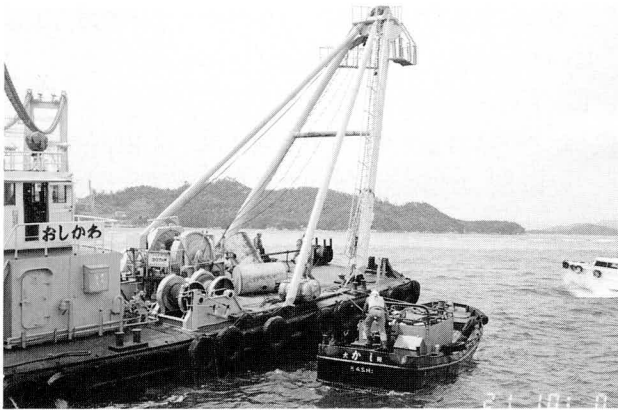


写真-6 海上作業中の揚錨船と着火船

程が必要で、1600 t吊FCの金剛により図-14の要領にて作業を行った。橋上にクレーンを設置しようとしている状況を写真-7に示す。

(i) 2 P張出径間用トラベラクレーンの設置

3 P側と同様に、図-15の要領にて作業を行ったが、



写真-7 3P張出径間用トラベラクレーンの設置

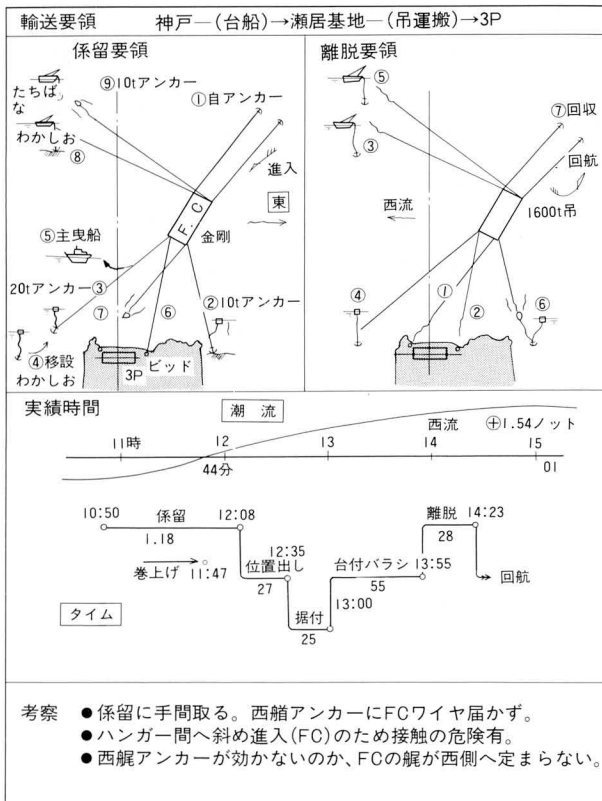


図-14 3P張出しトラベラクレーン設置

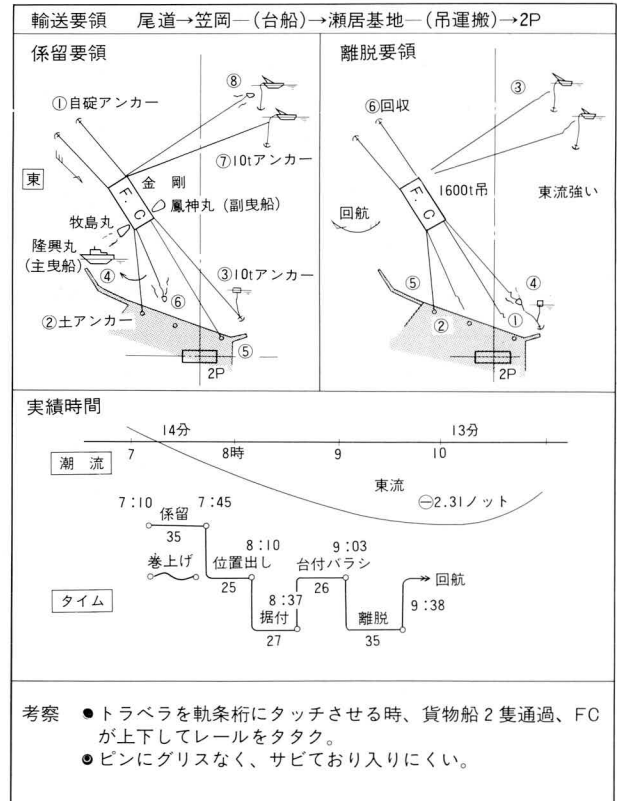


図-15 2P張出しトラベラクレーン設置

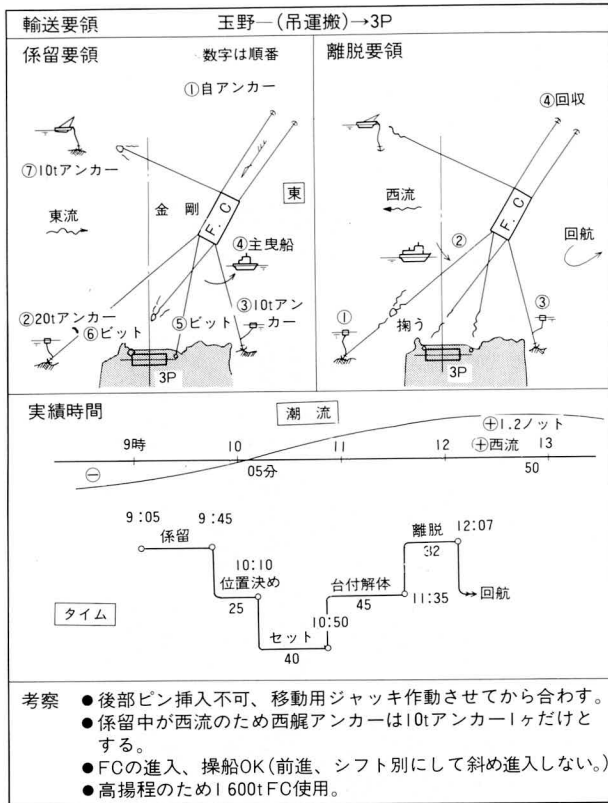


図-16 3P中央トラベラクレーン設置

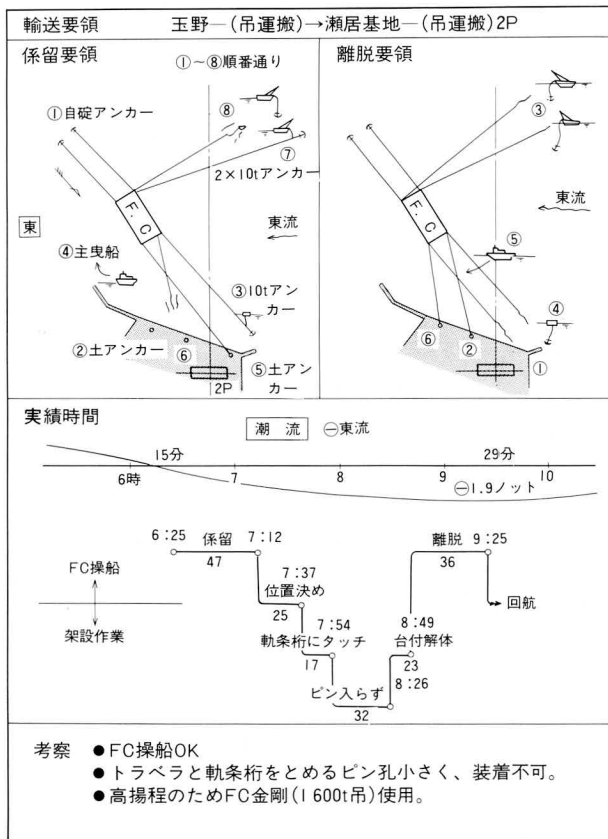


図-17 2P中央トラベラクレーン設置

現場は貨物船や漁船の通過が多いため、警戒船3隻を使用した。

(i) 3P・2P中央径間用トラベラクレーンの設置
金剛(1600t吊FC)による作業要領を図-16・17に示す。

(7) 反省点

各作業内容の中で考察したもので今後に生かすべき点を列挙してみる。

(a) 海象、気象の事前調査

潮流、濃霧の発生時期、台風時期および季節による風向等の調査は、十分すぎることはない。

(b) FC作業回数の低減

現地一括架設のため前日に別地点で吊上げ作業を行ったので、12回の倍以上のFC作業になることを配慮する必要がある。

(c) 進入、係留要領の事前打合せの徹底

海事関係者と打合せをくり返し行っても、内容が船長以下作業員まで周知されているか確認する必要がある。

(d) 岩壁、港の使用条件の調査

仮泊地の選定に振り回された観があり、使用可能日を入念に調べる必要がある。

(e) 架設物の仮組立検査

予定外に時間のかかった作業は、ほとんどがピン挿入などの不具合に起因したものである。

(f) 係留、離脱の所要時間

実績時間の通り、係留は40~60分、離脱30~40分位で終るような設備(揚錨船、着火船)を海事業者は準備してくるようと思われる。

5. 台船からの直下吊上げ工法

3P側の塔付ブロックを架設したものの、橋上の面積は運搬台車を乗せるだけのスペースがない(写真-8)。そこで次の面材(CB-34)架設は図-18に示すCB-34の架設要領図のように、直下に台船を係留して直接トラベラクレーンにて吊上げ架設する方法を採用する。

(a) 輸送

千葉県工場から3000t 艀装台船に本体を乗せ3昼夜かけて宇野港に到着する。

(b) 水洗い

港の高水圧の用水で水洗いする。



写真-8 3Pトラベラクレーン設置状況

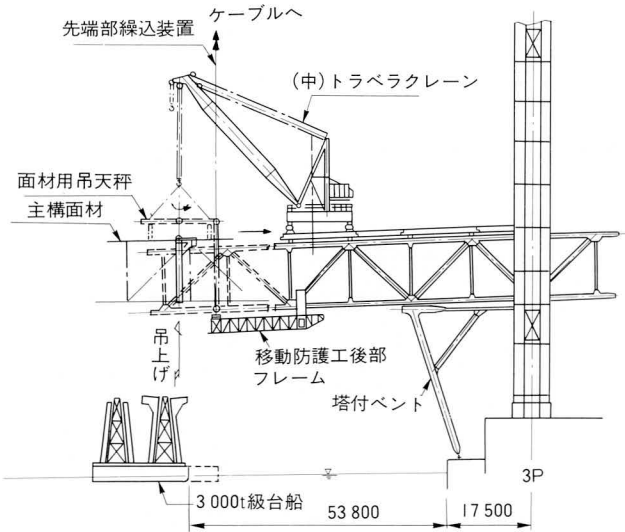


図-18 主構面材の直下吊り上げ架設 (CB-34)



写真-9 3P前面に係留した台船

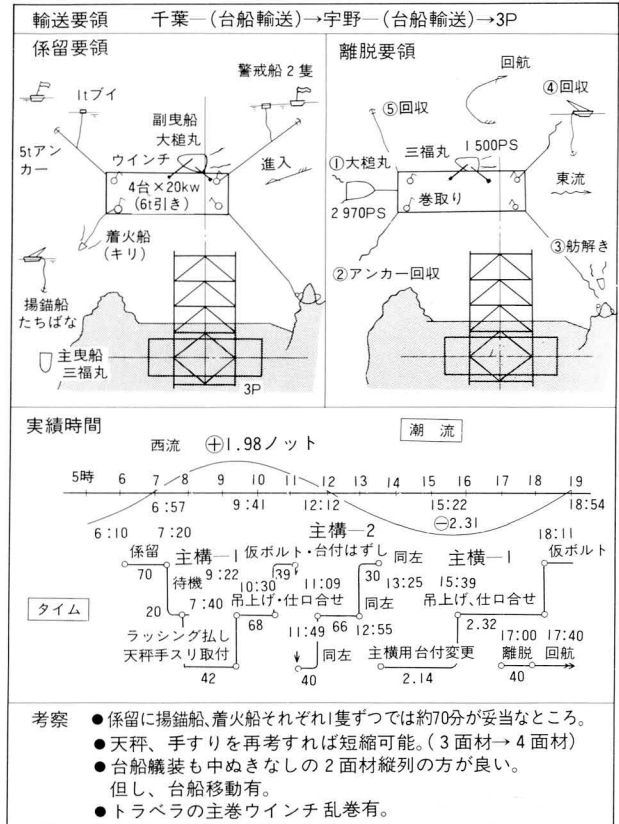


図-19 直下吊り上げ架設(CB-34)

(c) 係留、離脱

3P前面に係留した台船の状況を写真-9に示す。

係留、離脱要領を図-19に示す。実績時間は揚錨船、着火船各1隻ではこの程度(係留70分、離脱40分)はやむを得ないと思う。

(d) 吊上げ架設

1主構の面材架設は約2時間30分、当日は2主構1主横トラスの架設を行った。

(e) 台船の艀装

面材の積付けは並列より縦列にした方が台船の重心移動が小さく、面材地切り時吊荷の水平移動が少ない。

(f) 考察

トラベラクレーンによる直下吊り上げ工法は、水切クレーン、塔付ジブクレーンおよび運搬台車設備なしで架設出来るので前段作業の工程短縮、および各クレーン設置と並行作業が可能になる。

海面使用条件が許せば、中途半端なブロック架設によって後方クレーン(鋼床版:付属品)を要するより、トラベラクレーンの使用が多用途で経済的な工法である。

7. あとがき

下津井瀬戸大橋の前段架設工事に採用した海上作業についてのべたが、海象条件の比較的恵まれた瀬戸内海で行った点に注意して各要領、実績時間を読みとっていただきたい。

吊橋の架設計画は今後とも工程短縮の要請がますます

増えることは必須である中で、架橋地点の自然条件を正確に洞察し、必要最小限度の架設機材（最高級品）を選定することによって経済的な施工を今後の目標としたい。

終りに、工事遂行にあたり御指導いただいた本州四国連絡橋公団の方々、またJV各社はじめ特に社内の関係各位には現場からの無理難題についてご協力をいただきましたことを、誌面を借りて感謝する次第です。

グラビア写真説明

電源開発本店ビル

電源開発株式会社本店社屋は、中央区銀座6丁目の通産省工業品検査所の跡地に建設された。従来は丸の内の第二鉄鋼ビルを本拠とし、各所に分散していて不便であったが、今回新社屋に統合され、昭和62年11月から営業を開始している。

電源開発は、昭和61年10月に改正電源開発促進法が施行され、藤原一郎前副総裁を初代社長とする新体制で新生電発としてスタートしたが、本店新社屋は新生電発の記念となるに違いない。(永瀬)

岡谷市庁舎

かつては蚕糸業で有名な諏訪湖畔の岡谷市が21世紀をめざした街造りの一環として、市庁舎および周辺の整備計画を開始した。全計画は設計コンペ形式で募られた一連の施設であり、周囲とのマッチングもすばらしく見事な景観を呈している。

当社は主要建物である庁舎を施行した。主体構造は、S-造箱柱で、梁続手には現場溶接が採用されている。当社の得意な構造であり、工場から近いこともあって、施工は予定よりはるかに順調に進んだと思われる。

尚、当地が本州でも屈指の寒冷地であり、現場施工が一部厳寒期に当ることから、厳寒期における現場溶接作業の可否について、設計者との間に、白熱した議論のあったことが思い出される。(織田)

シェイクスピアホール

山の手線に乗って、高田馬場から新宿に向かうと、間もなく右側に3棟の天を突くような高層住宅が目飛び込んでくる。これが抽選倍率、数百倍でマスコミを賑わした新宿西戸山タワーホームズである。そしてこれら住宅棟の南側にある円筒形の低層建物が、ここで述べるシェイクスピアホールである。3棟の高層住宅棟とこのホールが、どういう関係にあるのか、あるいは、名称が何故シェイクスピアなのか残念ながら聞き漏らした。聞き漏らしたというのは、実は製品がうまく納まるか否かに神経を奪われていたに他ならない。平面は円形、垂直面は兜を思わせる立体トラス構造であり、一ヶ所引張ると他方が縮み、縮んだ箇所を引張ると予期しなかった他方が縮む、といった何とも例えようのない困難が予期され、知恵の輪がジグソーパズルを解く様な心境にも陥ったものである。幸いにも、さしたる問題もなく納めることが出来たが、製作担当者の労を多とする工事であった。(西原)