

平羅橋 (PC斜張橋) のプレキャストセグメント張出し施工

城下 俊昭*1・梶山 浩一*2・木本 敏郎*3・胡 信弘*4

1. まえがき

平羅橋は、「大長早生みかん」で有名な大崎下島（広島県豊田郡豊町）と岡村島（愛媛県関前村）とを結ぶ3つの渡海橋のうちの一つである。瀬戸内の多島美そのままの当地域は、温暖寡雨という恵まれた気象条件のもとで古くから“みかん”の集団産地を形成しており、みかん栽培は、この地域の基幹産業となっている。広島県は、この産業育成のため散在する島々や本土各地に樹園地を開発し、農耕船による出作によって経営規模の拡大を行ってきた。しかし、天候の影響を受け易い海上交通のみに依存していたため、集出荷はもちろん生活そのものに制約を受けてきた。このような背景を受け、広島県は、安芸灘諸島連絡架橋計画を立て、8島（2島は無人

島）、6町村（愛媛県関前村を含む）を渡海橋で結ぶ事業に着手した。

平羅橋は、本計画の中で広島本土から5番目の橋梁であり、単径間PC斜張橋である。本橋の特徴としては、PC斜張橋の施工に日本で初めてプレキャストセグメント工法を採用したことが挙げられる。本事業計画全体および平羅橋のおかれる位置を図-1に示す。また、本橋がPC斜張橋に決定された過程を図-2に示す。漁業への配慮、船舶航行からの要求、維持管理面からみた経済性、所要支間100m等の諸条件から決定されている。一方、県道との平面交差による視距や迂回路の確保、主塔基礎のアンカレッジの規模、斜材ケーブル（バックステイ）の配置等の関係から、大崎下島側に主塔を設けることができず、無人島である平羅島側に主塔を配置し、

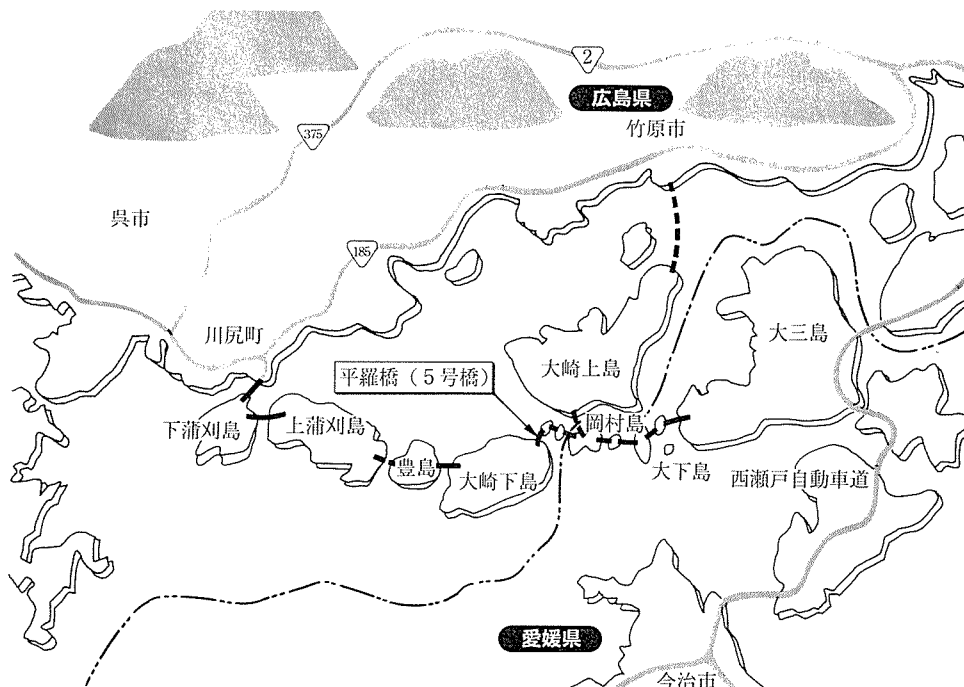


図-1 位置図

*1 Toshiaki SHIROSHITA : 呉農林事務所 大崎下島農道建設事業所

*2 Kouichi KAJIYAMA : 呉農林事務所 大崎下島農道建設事業所

*3 Toshiro KIMOTO : (株)鴻池組 広島支店

*4 Nobuhiro EBISU : オリエンタル建設(株) 大阪支店

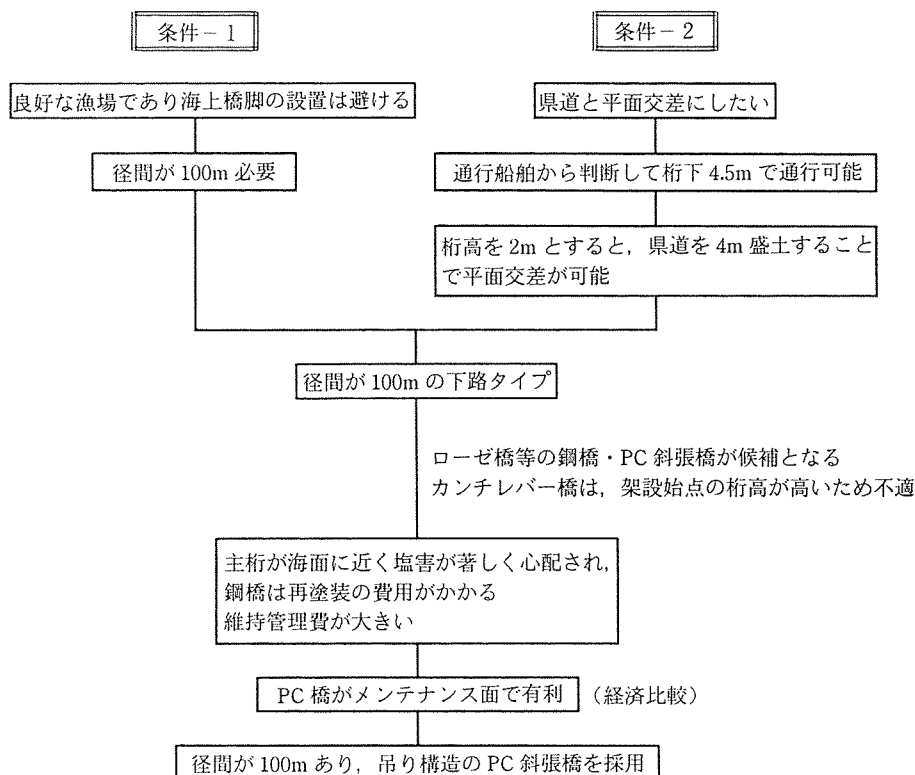


図-2 橋種, 形式決定の流れ

ここから主桁の張出しを開始するという条件のもと、架設工法の検討を実施した。張出し架設方法としては、場所打ちによる方法とプレキャストセグメントによる方法とが考えられるが、本橋の場合、工期短縮が図られ、高強度コンクリートの品質管理面での有意性からプレキャストセグメント工法が採用された。また、大崎下島側にはコンクリートプラントがあり、セグメント製作ヤードの適地も架設現場より約 500 m 離れた場所に確保できること、台船によるセグメントの海上運搬および海上クレーンによる海上架設が可能なことも採用理由としてあげられる。

2. 構造概要および設計条件

2.1 構造概要

本橋は、片側 7 本スチのファン型二面吊り（フォアスチ 7 段 1 列、バックスチ 7 段 2 列）の PC 斜張橋である。構造形式は、終点側（A₂ 側）橋台に主塔および主桁を剛結し、主桁の重量をメインスチを通して主塔の剛性およびバックスチアンカーの重量で受け持たせる構造とした。主桁の形状は一室の箱形であり、桁高は標準部で $H=2.0$ m（桁高/スパン比=1/97.9）、剛結部で $H=2.2$ m である。また、主塔の形状は H 形であり、塔高は $H=45$ m（塔高/スパン比=1/4.4）である。ただし本橋は片持ち張出しスパンが 97.9 m であるため、 $L=97.9 \times 2=195.8$ m を計算スパンとした。本橋の

構造一般を図-3 に示す。

主桁は、基準セグメント～No. 28 セグメントをプレキャスト桁、基準セグメントと A₂ 橋台間および側径間部を場所打ちとした。一方、主塔は、基本的に鉄筋コンクリート構造とし、横梁部については PC 構造とした。

2.2 設計条件

本橋の主要な設計条件を以下に示す。

種 別：プレストレストコンクリート道路橋

構造形式：主桁 PC 一室箱桁

主塔 H 形

斜材 ファン形二面吊り

施工方法：プレキャストセグメント工法

橋 長：98.500 m

桁 長：98.400 m

支 間 長：97.900 m

幅 員：全 幅 員 9.000 m

有効幅員 車道幅 6.500 m

歩道幅 1.500 m

縦断勾配：2.5 %

横断勾配：車道 1.5 %

歩道 2.0 %

斜 角：90°00'00"

活 荷 重：TL-20

衝撃係数： $i=10/(25+L)$

水平震度： $K_h=0.17$

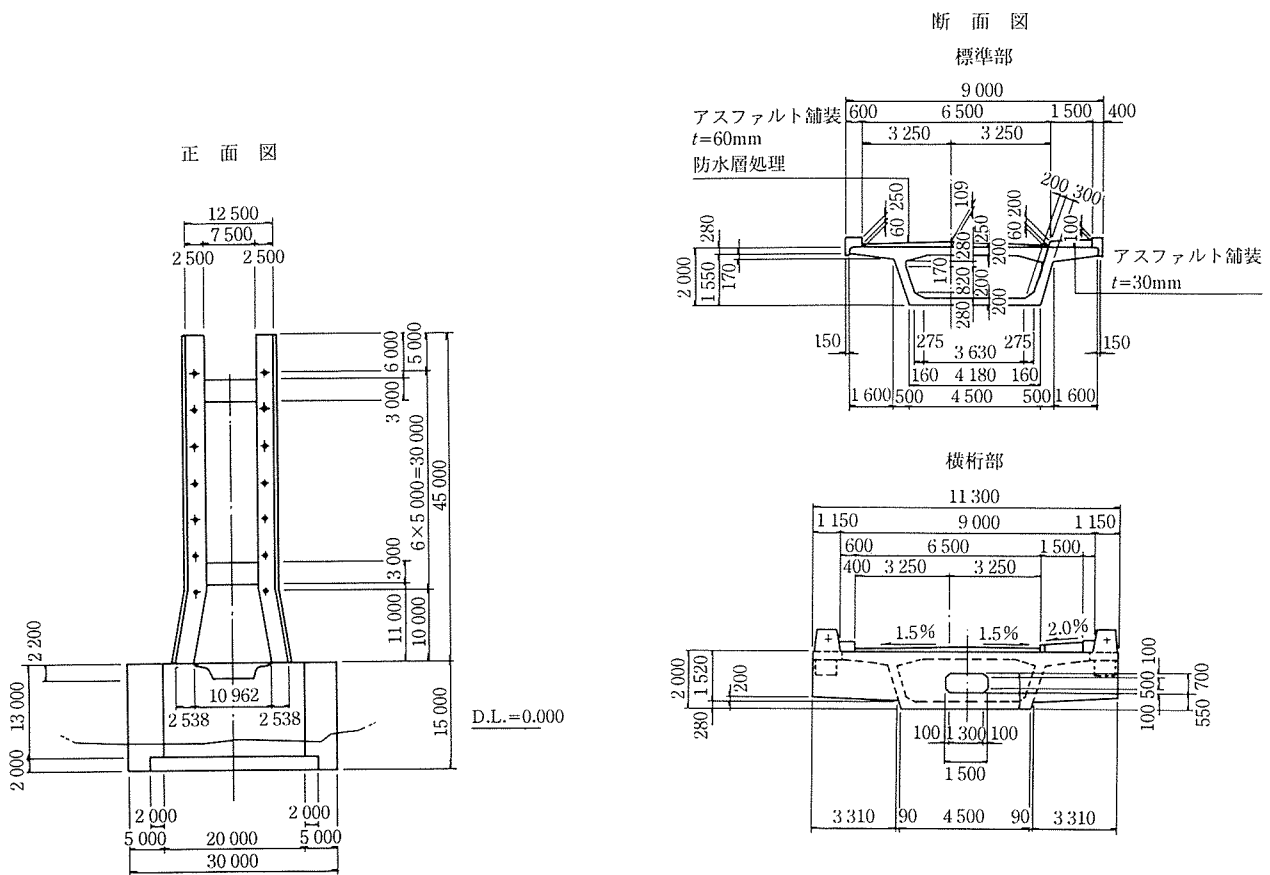
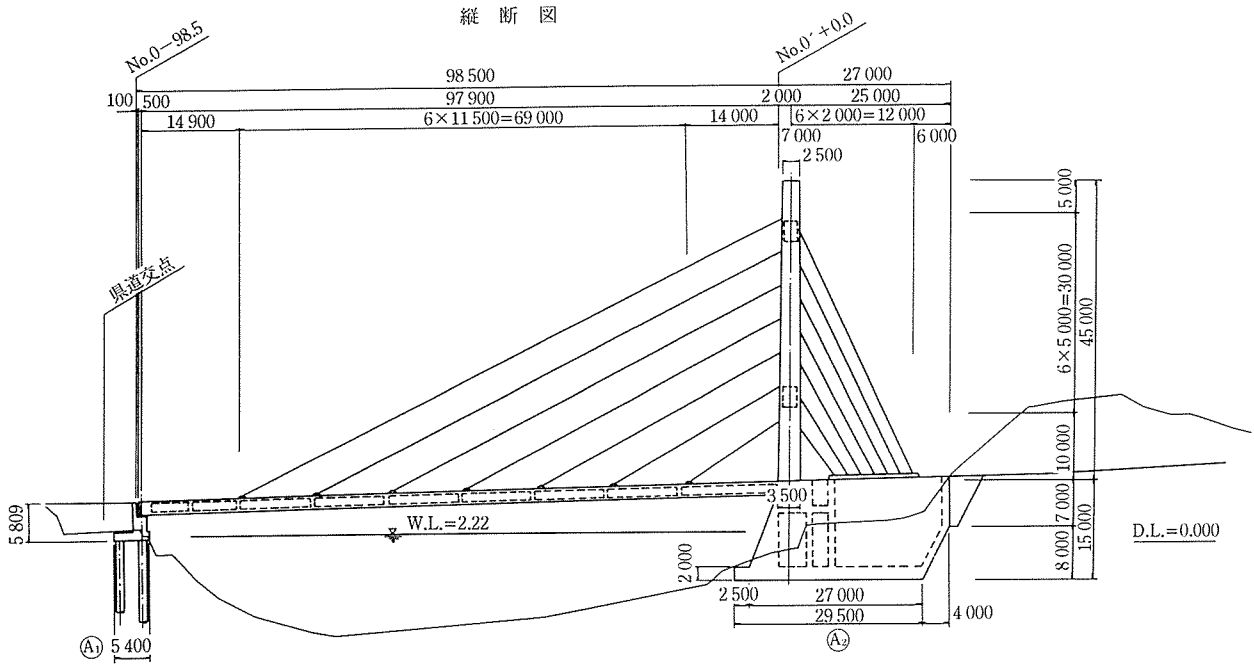


図-3 構造一般図

◇工事報告◇

3. 施工概要

3.1 主要材料および工事数量

上部工の主要な使用材料および工事数量を表-1に示す。主塔に配置される鉄筋は、かぶり70mmであるため通常の鉄筋を使用した。主桁に配置される鉄筋は、かぶり35mmであるため塩害対策として外気に触れる部分にはエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いている。

斜材ケーブルは、DINA アンカー（工場製作ノングラウトタイプで、φ7mm 亜鉛メッキ鋼線を109～253本束ねてポリエチレン被覆している。図-4参照。）を使用した。

3.2 施工方法

本橋上部工の全体施工手順を図-5に示す。以下に、図-5の施工手順に沿って主塔の施工、主桁セグメントの製作、運搬・架設、斜材の展開・緊張、側径間の施工の概要について述べる。

(1) 主塔の施工

主塔の施工手順を図-6に示す。また、主塔の鉄骨配置状況を図-7に、主塔の製作状況を写真-1に示す。

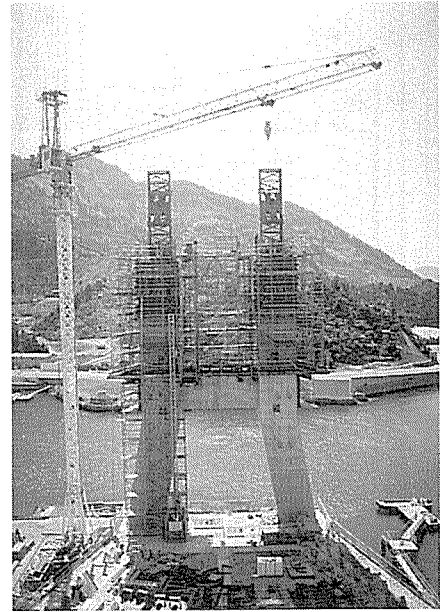


写真-1 主塔製作状況

表-1 主要材料の工事数量

種別	仕様	主桁		主塔
		プレキャスト部	場所打ち部	
コンクリート	$\sigma_{ck}=500 \text{ kgf/cm}^2$	551 m ³	—	—
	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	—	236 m ³	907 m ³
鉄筋 (SD 295)	普通鉄筋 (注-1)	10 tf	4 tf	81 tf
	塗装鉄筋 (注-2)	57 tf	16 tf	—
PC鋼材	φ32 (SBPR 930-1180)	23.1 tf		—
	12 T 12.7	5.5 tf		—
	12 T 15.2	—		5.6 tf
	1 T 21.8	5.4 tf		—
鉄骨		—		47.0 tf
斜材	DINA 109~253	91.0 tf		

注-1) 純かぶり70mmの部分は、普通鉄筋を使用。

注-2) 純かぶり35mmの部分は、塗装鉄筋を使用。

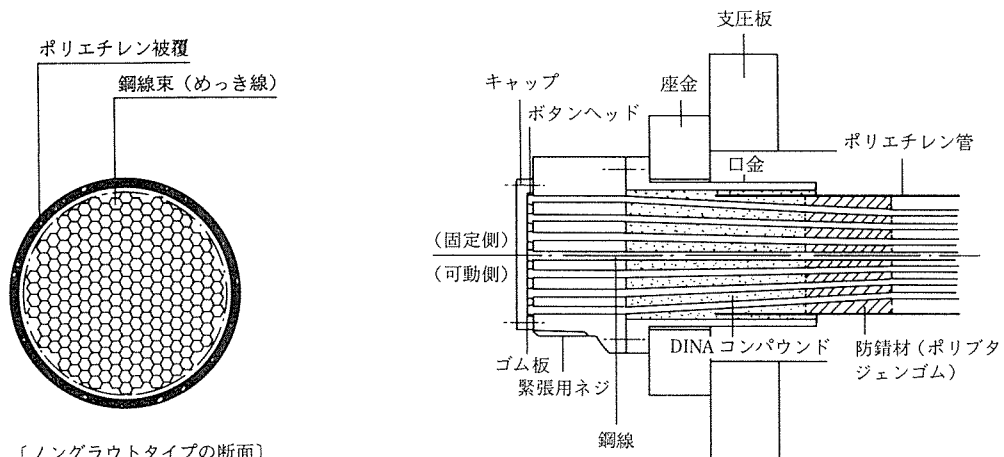


図-4 DINA アンカー

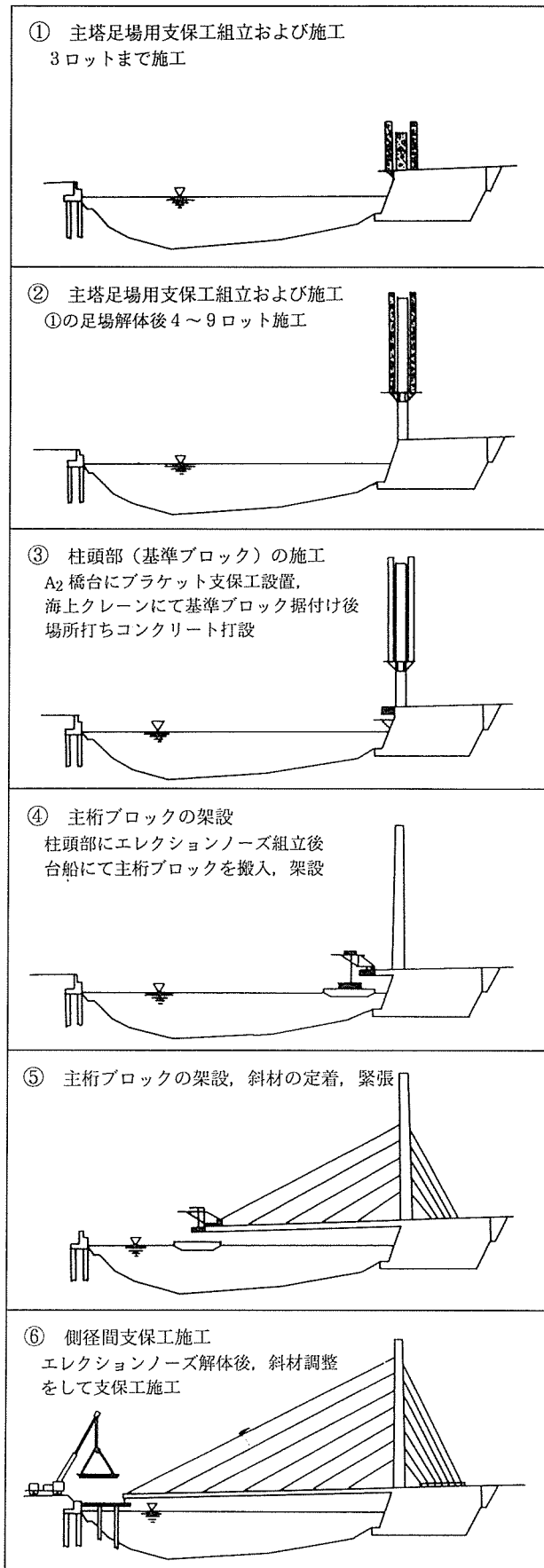


図-5 上部工の施工手順

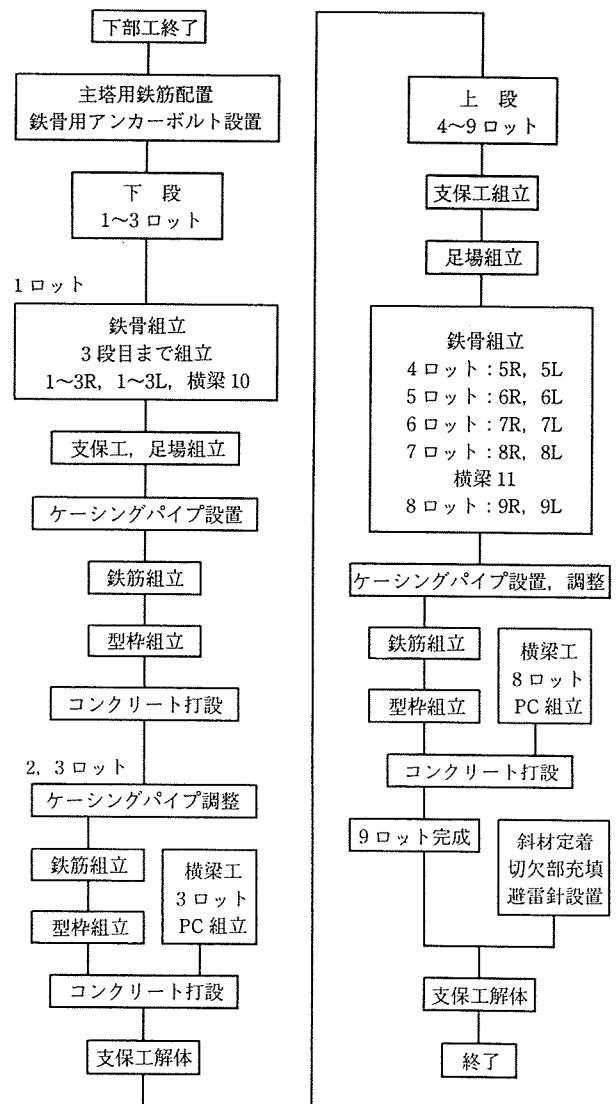
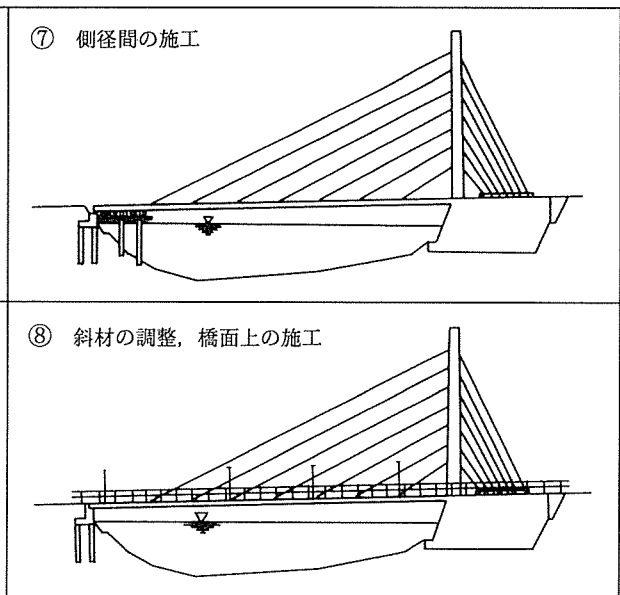


図-6 主塔の施工手順

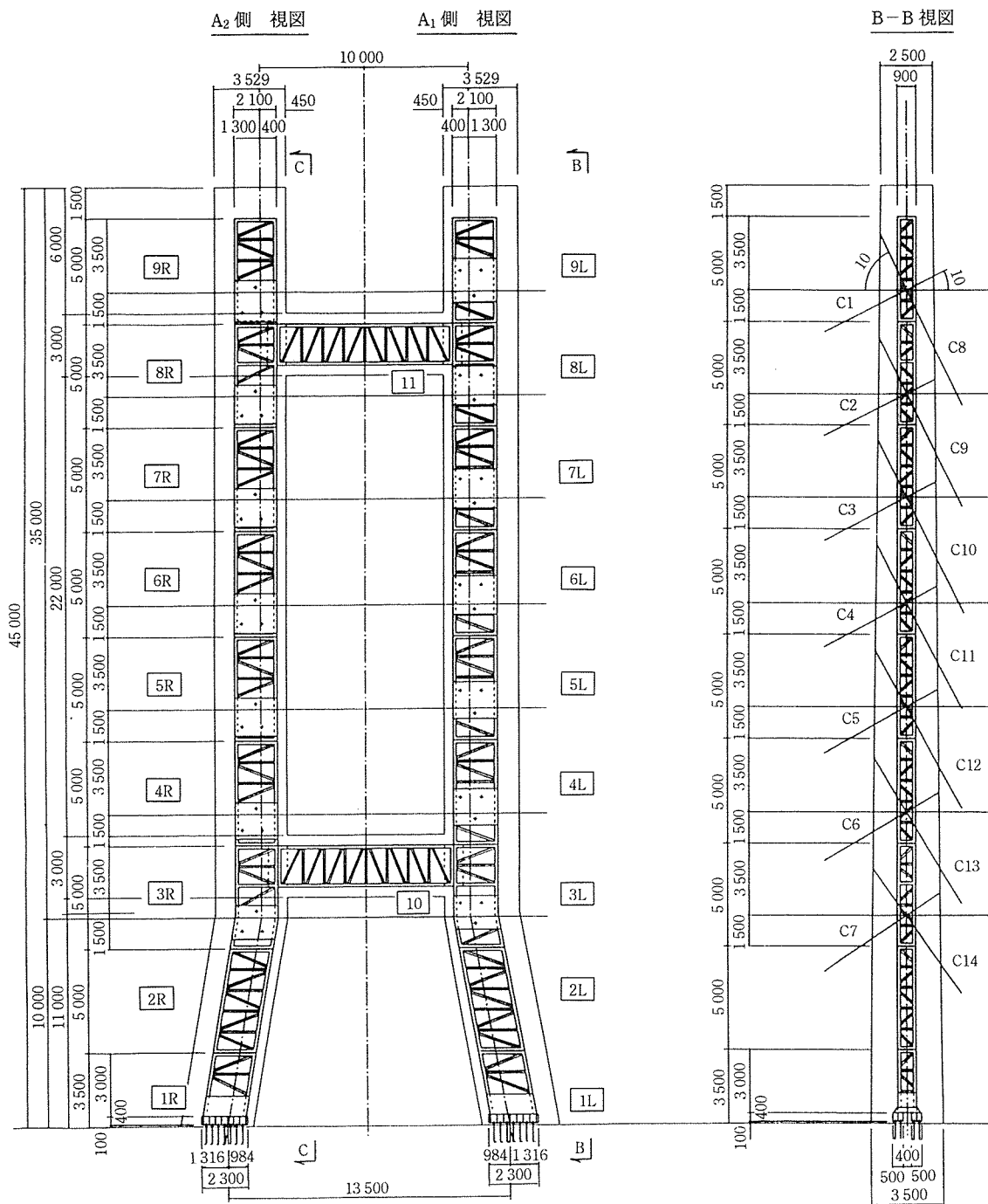


図-7 主塔の鉄骨配置

1) 鉄骨組立

主塔には、鉄筋配置および型枠組立用の定規とする目的とケーシングパイプを固定する目的のために鉄骨を配置した。配置される鉄骨は、1 R~9 R, 1 L~9 L, 横梁 10, 11 の合計は 20 ブロックから構成されている。

鉄骨の組立順序は、コンクリート打設時の変形を考慮して決定した。支保工下段組立 (1~3 ロット) は、1 R~3 R, 1 L~3 L, 横梁 10 を最初に組立て、支保工上段組立 (3~9 ロット) は、ケーシングパイプ中心位置までコンクリート打設することと圧接鉄筋を支持すること

を考慮して鉄骨を 1 段先行して組み立てた。

2) ケーシングパイプ組立

ケーシングパイプ (定着板付け工) は、DINA アンカーに用いるものである。ケーシングパイプの配置数量は、C 1~C 7 ケーブルが 14 個 (1 個当たりの重量=780~400 kg) で C 8~C 14 ケーブルが 28 個 (1 個当たりの重量=1 350~470 kg) である。

ケーシングパイプを配置するに際して、

- ① ケーシングパイプの固定方法
- ② ケーシングパイプの微調整方法

③ ケーシングパイプの位置測量方法
の3点が問題点としてあがった。検討の結果、それぞれ次のような対処法を採用した。

- ① 予めケーシングパイプの取付け位置を計算しておき、鉄骨にケーシングパイプ固定用金具を取り付けた。
- ② ケーシングパイプと固定金具の間に3次元的に微調整可能な特殊治具を取り付けた。
- ③ ケーシングパイプ先端中心と定着板の座標を計算しておき、光波測量を繰り返し行った。

3) コンクリート打設

コンクリート打設は、1ロットの高さを5mとし、合計9回に分けて行った。1ロット当たりの打設数量は、最大143m³、最小77m³である。

コンクリート打設に際しては、コンクリートプラントが主塔施工場所の対岸にあるため、500t台船にポンプ車を載せて配管を施設し打設を行った。また、コンクリートの供給は、フェリーにより生コン車を運搬して台船上のポンプ車に直接供給した。一方、夏期の打設であることおよび配管の長さを勘案し、流動化剤の添加を行いスランプ12cmとして施工を行った。写真-2に主塔のコンクリート打設状況を示す。

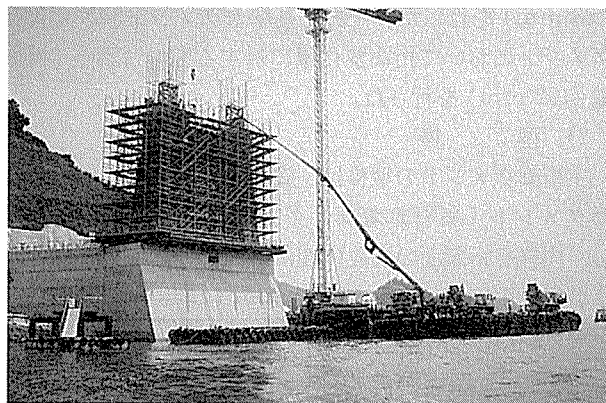


写真-2 主塔コンクリート打設状況

(2) 主桁セグメントの施工

主桁セグメントの製作手順を図-8に示す。主桁セグメントは、架設地点より約500m離れた港の岸壁にて製作した(写真-3参照)。



写真-3 主桁セグメントの製作状況

製作方法は、ロングライン方式であり、旧セグメントの端面を型枠として施工するマッチキャスト方式とした。主桁セグメント数は、基準セグメントを含めて総数29セグメントである。セグメント長は、基準セグメントおよび標準部セグメントが3.0m(22セグメント)、斜材定着部セグメントが2.5m(7セグメント)であり、総延長83.5mある。主桁セグメント製作に当たり、配慮した主な事項を以下に示す。

1) 主桁製作台

主桁下面高を決定するに際して、以下の方法をとった。

- ・縦断勾配 $i=2.5\%$ のとり方

基準セグメント架設時点において所定の縦断勾配に設置することとし、主桁はレベルに製作することとした。

- ・上げ越し量および桁高変化への対応

No. 1~No. 20セグメント(全長61m)までは、直線上げ越し(角度 $\theta=4$ 度33分)であるためセグメント架設時に架設角度を考慮することとして主桁セグメントはレベルに製作した。No. 21セグメント以降は、所定の上げ越し(架設時の架設角度を考慮した上げ越し量

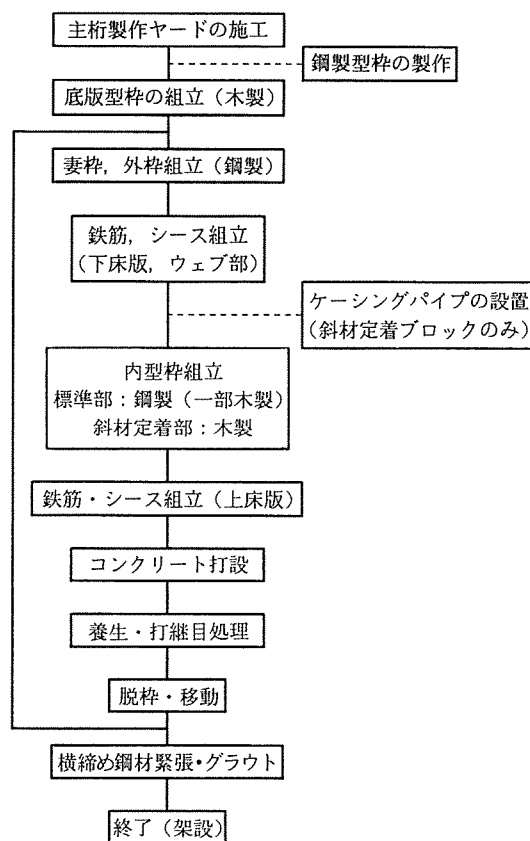


図-8 主桁セグメントの製作手順

◇工事報告◇

=88 mm)を行った。一方、基準セグメント～No. 3セグメントにおいて桁高変化量に対する製作台調整(調整量=192 mm)を行った。

2) 型 枠

主桁セグメントの型枠は、底版を木製、外枠を標準部セグメント・斜材定着部セグメントともに鋼製型枠とし、内枠を桁断面の変化区間にある標準部セグメントおよび斜材定着部セグメントにおいては木製、桁断面一定区間にある標準部セグメントにおいては鋼製とした。

3) ケーシングパイプの配置

ケーシングパイプを配置するに当たり、主桁セグメントをレベルに製作するため縦断勾配に対する調整、主桁上げ越し量に対する調整、サグによる偏心に対する調整等を考慮に入れて行った。

4) 綫ネジPC鋼棒アンカーの埋込み

主桁吊上げ用エレクションノーズのレールの転倒防止用に綫ネジPC鋼棒(φ26 mm)を主桁ウェブに埋め込んだ。埋込みに際し、それらのアンカー位置を図面におとし、できるだけムダのないように配置した。

(3) 主桁セグメントの切離しおよび台船積込み

主桁セグメントの切離しは、海上クレーン(全旋回型80 tf吊り)にて主桁セグメント自重(標準部セグメント: 38～50 tf, 斜材定着部セグメント: 62～76 tf)と釣

り合う程度まで吊り上げ、ワイヤーを張った状態でジャーナルジャッキ4台を用いて水平移動させることにより行った。せん断キィの突起がセグメント端面より切り離されたことを確認した後、垂直に吊り上げ、台船(800 tf 積み)に積み込んだ。写真-4に主桁セグメントの切離し状況を示す。主桁セグメントの吊上げは、予め主桁に埋め込んだアンカーに吊上げ用治具を接続して行った。また台船積込みにおいては、台船の傾斜を極力抑えることを考慮して積込み順序、積込み位置等の検討を行って実施した。

(4) 主桁セグメントの架設

1) 基準セグメントの据付け

基準セグメントの据付けにおいて、橋体全体の方向性が決定されるため、以下のことに留意して慎重に行った。

- ① 基準セグメントとA₂橋台間の場所打ちコンクリートによって基準セグメントが所定位置より移動しないこと。
- ② 基準セグメントの架設は80 tf吊り海上クレーンで行われ、架設時の正確な位置決めが困難なため、架設後に微調整が可能な支保工にすること。
- ③ 橋体全体の方向性に関し施工誤差を極力小さくするため、基準セグメントを可能なかぎり大きくすること。
- ④ 縦断勾配および上げ越し量を換算した据付け角度を考慮すること。

写真-5に80 tf吊り海上クレーンによる基準セグメントの据付け状況を示す。

2) 主桁セグメントの架設作業

主桁セグメントの架設作業の流れを図-9に示す。本

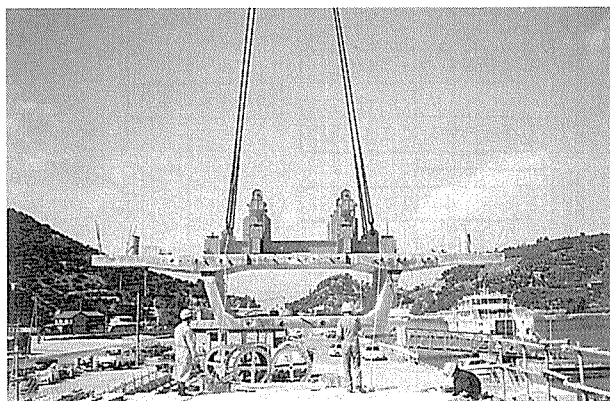


写真-4 主桁セグメントの切離し状況

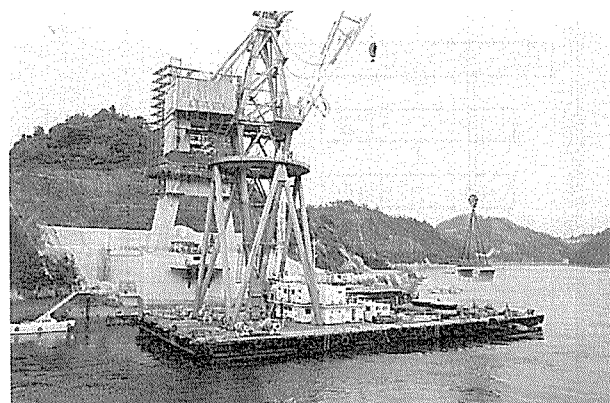


写真-5 海上クレーンによる基準セグメントの据付け状況



写真-6 エレクションノーズによる主桁セグメントの架設状況

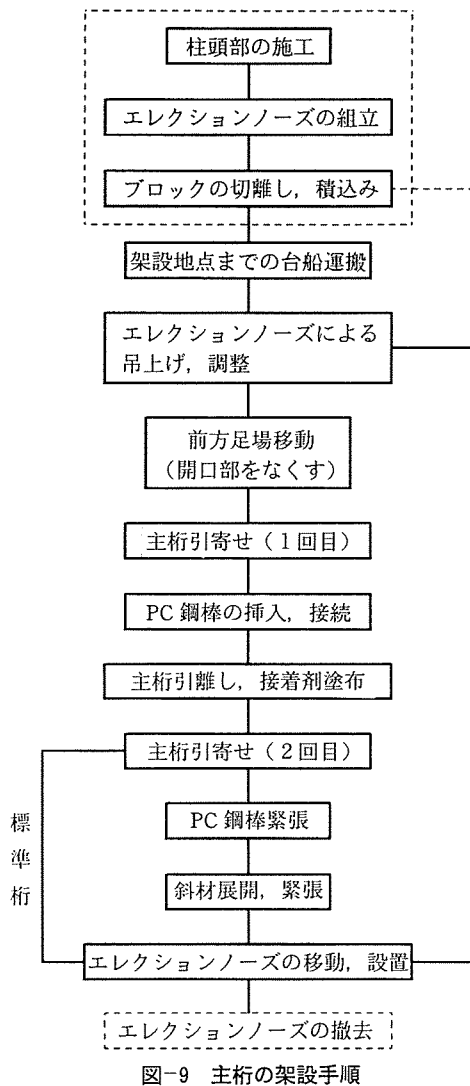


図-9 主桁の架設手順

橋においては、主桁セグメントの架設はエレクションノーズを用いて行った。エレクションノーズを製作するに際して、構造上次のような点に配慮した。

- ① 主桁セグメント最大重量 76 tf を吊り上げる能力を有すること。
- ② 主桁セグメントを吊り上げた後、セグメント接合のため 30 cm 程度水平移動が可能であること。
- ③ 架設終了後、主桁セグメントに PC 鋼棒 $\phi 32$ mm ($L=9$ m) を、前方 (A_1 側) より挿入できる足場を確保すること。
- ④ 斜材の緊張が可能な足場を確保すること、およびラムチェア、緊張ジャッキ (合計重量 2 tf) の吊上げ可能な構造とすること。

写真-6 にエレクションノーズによる主桁セグメントの架設状況を示す。

(5) 斜材の展開および緊張

斜材の展開および緊張作業の流れを図-10 に示す。斜材は主塔側を先行して取り付け、次に主桁側を取り付け

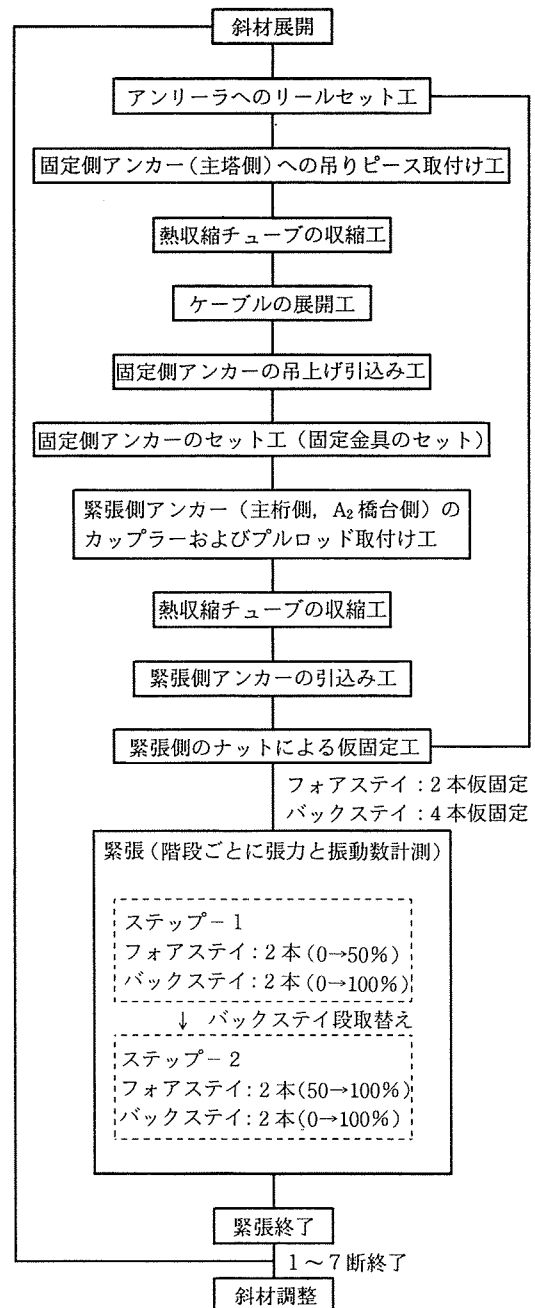


図-10 斜材の展開および緊張作業手順

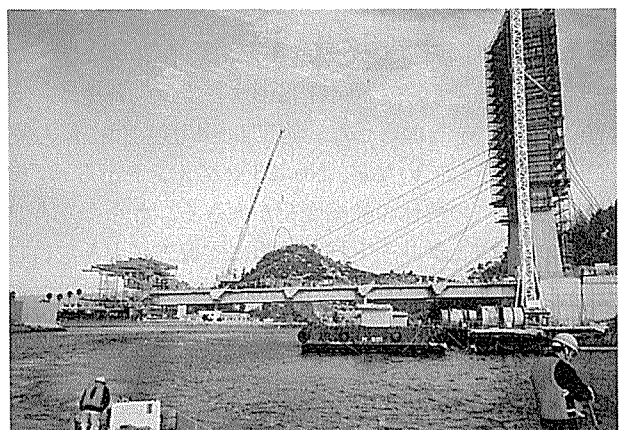


写真-7 斜材の展開状況

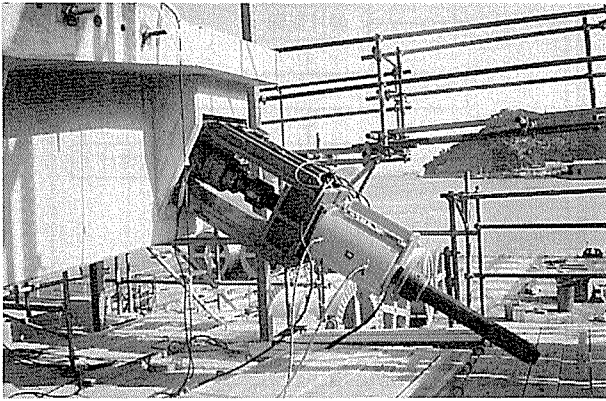


写真-8 斜材の緊張ジャッキ

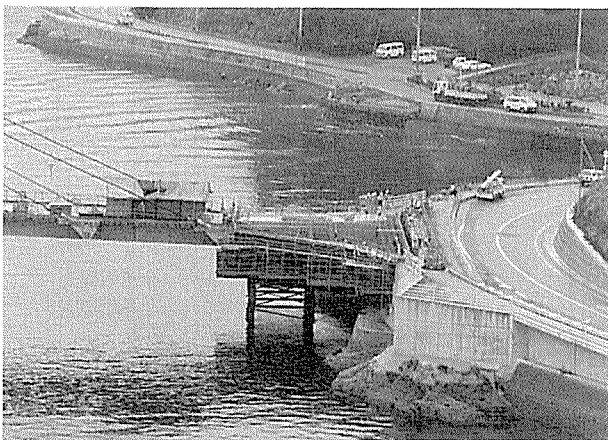


写真-9 側径間の施工状況

た。本橋では、斜材の固定側は主塔側であり、斜材緊張はフォアステイが主桁側、バックステイがA₂橋台側である。

斜材緊張は、通常の片引きにより行った。緊張に際しては、主塔に作用するアンバランスモーメントを極力抑えるために、相対する左右のケーブルを1組として4ケーブル同時に緊張を行った。一方、ケーブル1本ごとの緊張力の値は、緊張時に温度補正等を考慮して決定した。写真-7に斜材の展開状況、写真-8に斜材緊張ジャッキを示す。

(6) 側径間の施工

側径間の施工手順を図-11に示す。支保工基礎は、支持杭およびA₁橋台とした。施工計画段階では、吊り支保工で計画されていたが、No. 28セグメントからA₁橋台部にかけての橋体の拡幅変化が大きく、さらに左右非対称のためコンクリート打設時等に支保工に大きなねじりが生じる危険性があり、支持杭による支保工施工に計画変更を行った。

その結果、側径間重量分のたわみを調整する必要性が生じ、No. 28セグメント付近にカウンターを設置して施工を行った。写真-9に側径間の施工状況を示す。

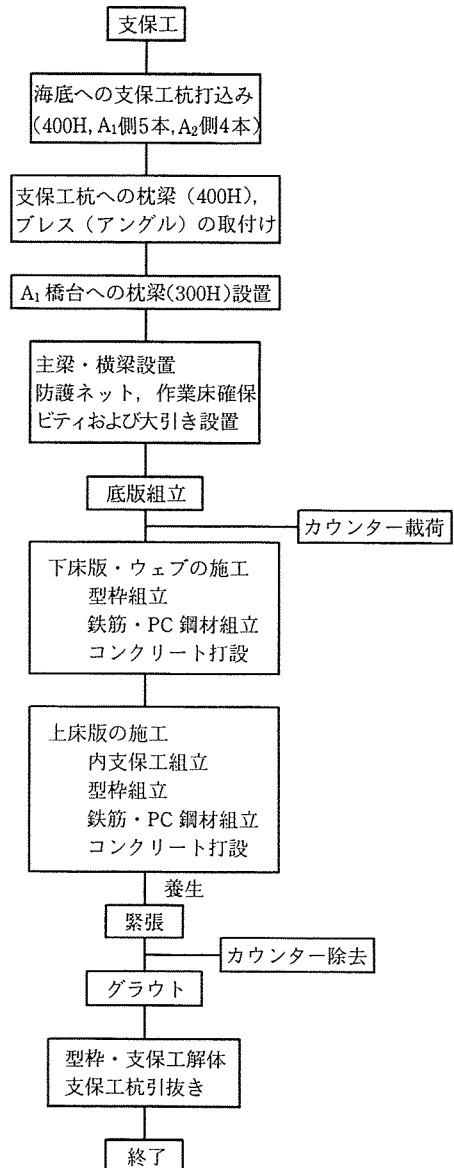
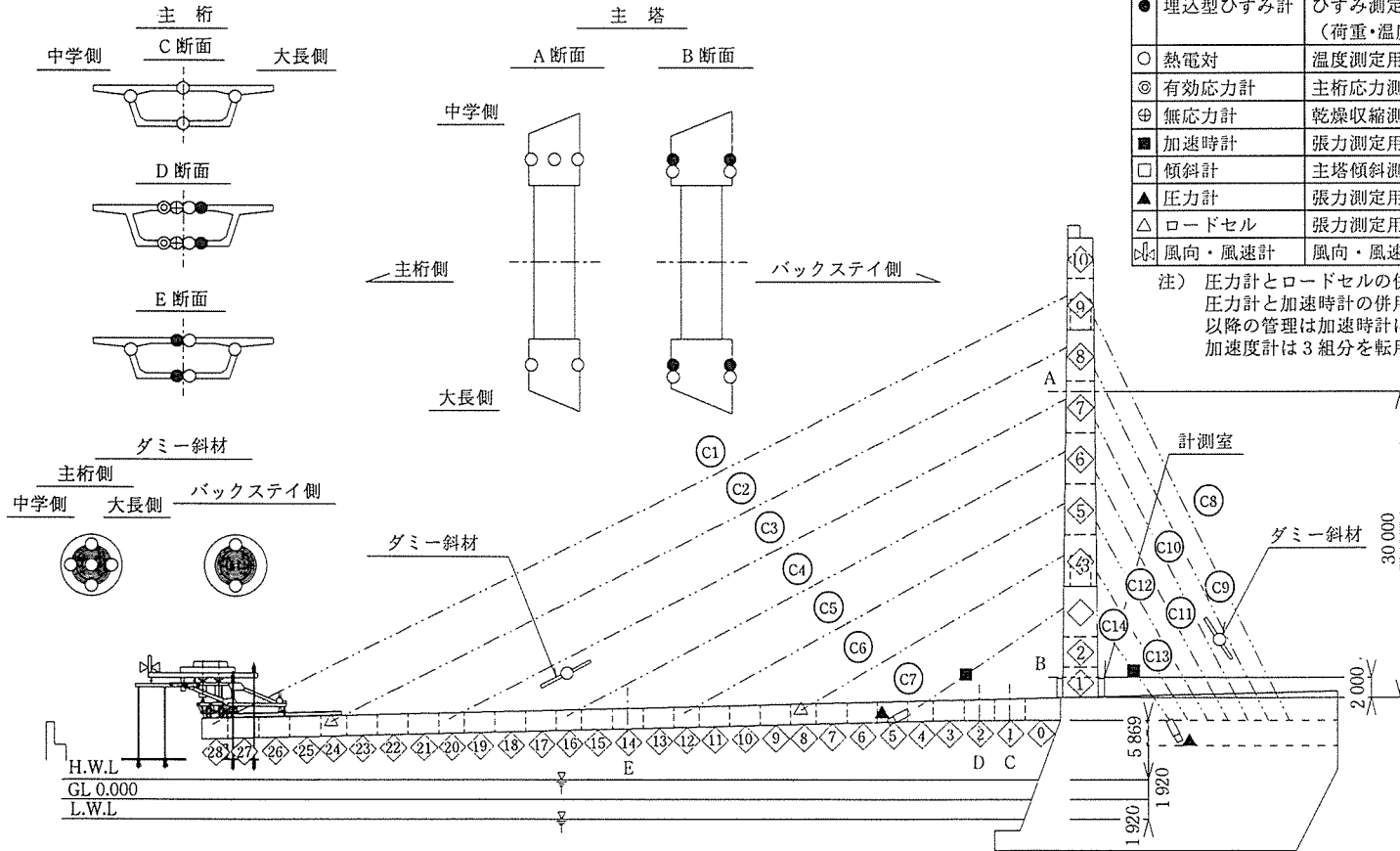


図-11 側径間の施工手順

4. 計測管理

斜張橋の施工においては、施工段階においてその構造系が逐次異なるため、斜材の張力、主桁のたわみ、主桁の応力等の計測管理が重要である。本橋では、それらの管理をより効率的に行うためにパソコンによる計測管理システムを導入した。図-12に計測器の種類および配置位置を示す。斜材の張力管理は、加速度計を用いた固有周期測定値による管理とロードセルによる管理の2通りを採用した。図-13にC2ケーブル(上段より2段目のケーブル)の張力測定結果(ロードセル測定値)と計算値を示す。実測値は、計算値とほぼ等しく計画どおりの施工が実施されたものと考えられる。一方、図-13には加速度計による測定結果は記入していないが、ロードセルによる測定結果と同程度であった。

平羅橋計測計画図



	用途	数量
●	埋込型ひずみ計 ひずみ測定用 (荷重・温度・クリープ・乾燥収縮すべてを含む)	8コ
○	熱電対 温度測定用	-
◎	有効応力計 主桁応力測定用 クリープ測定用	2コ
⊕	無応力計 乾燥収縮測定用	2コ
■	加速時計 張力測定用	6コ
□	傾斜計 主塔傾斜測定用	1コ
▲	圧力計 張力測定用	4コ
△	ロードセル 張力測定用	2コ
↻	風向・風速計 風向・風速の測定用	1コ

注) 圧力計とロードセルの併用はジャッキ・ポンプの内部損失測定
 圧力計と加速時計の併用はキャリブレーション用
 以降の管理は加速時計による
 加速度計は3組分を転用する。ただし、バックステイ側は片側のみ

図-12 計測器の配置図

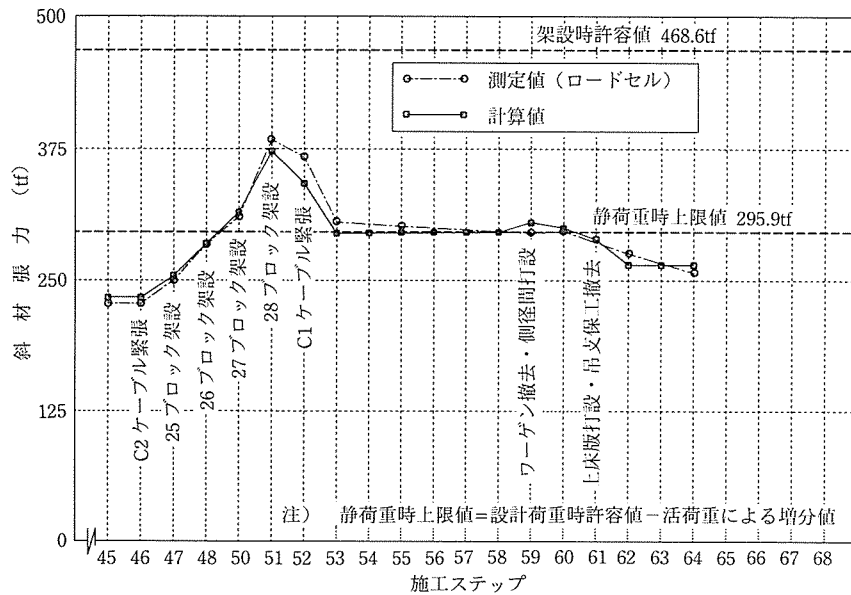


図-13 斜材張力の経時変化 (C2ケーブル)



写真-10 平羅橋 (完成直前状況)

5. あとがき

本橋は、わが国で初めてプレキャストセグメント工法で施工したPC斜張橋である。そのため、主桁セグメントと主塔の施工精度および基準セグメントの据付け精度等に大いに留意した。一方、離島の交通の便、瀬戸内海特有の潮の干満や潮流等に悩まされ、種々の施工検討を必要とした。橋体が完成した現在、架設セグメントの直線性の誤差は数mm程度であり、主桁セグメントの製作から架設までかなりの精度で施工できたものと考えている。写真-10に完成直前の状況を示す。

本報告が、今後ますます増えてくるであろうプレキャスト化施工に少しでも役に立てば幸いである。

【1995年6月21日受付】