

## 中小規模 PC 斜張橋の張出し施工について

長	崎	泰	樹*
鐘	築	一	雄**
太	田	良	彦†
渡	辺	浩	志††

## 1. はじめに

島根県隠岐郡都万村下田地区に架橋された屋那大橋は、昭和 63 年度下田地区一般農道整備事業の一環として施工された橋長 67.0 m の 2 径間連続 PC 斜張橋である（写真-1）。

隠岐は大きく島前と島後に分かれ、その周辺に大小約 180 の小島が散在している。古くは「遠流の地」として多くの流人にゆかりの島で、史跡や悲しい物語が島内各所に今も残されており、大山隠岐国立公園として有名である。

架橋地点は都万漁港の入江で、有名な「屋那の松原」があり、入り組んだ海岸線、密集した民家とが一体となった景観をなしている（図-1）。

本橋は以下の理由により PC 斜張橋が選定された。

- ① スレンダーな桁高が得られ、道路計画全体として経済的となる。
- ② 通過する船舶に与える圧迫感が少ない。
- ③ 景観に優れる。

本橋は橋長 67.0 m の中小規模の PC 斜張橋で、次の

特徴がある。

- ① 側径間長（15.0 m）と主径間長（51.0 m）との比が 1 : 3.4 と極端な非対称構造。
- ② 主塔と主桁とが分離したフローティング形式。
- ③ 特殊小型ワーゲンと架設用斜材を用いた張出し施工。

本稿では、このような屋那大橋の設計および施工の概要について報告する。

## 2. 工事概要および設計条件

## 2.1 工事概要

橋 名：屋那大橋

工 事 名：昭和 63 年度下田地区

一般農道整備事業橋梁上部工工事

場 所：島根県隠岐郡都万村大字都万

工 期：昭和 63 年 6 月～平成元年 3 月

発 注 者：島根県

## 2.2 設計条件

道路規格：3 種 5 級

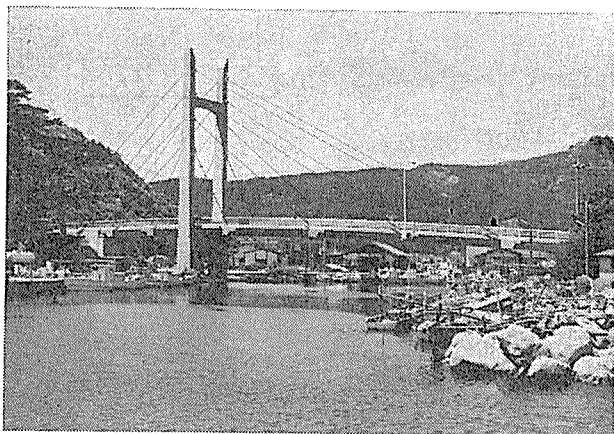


写真-1 屋那大橋

\* Yasuki Nagasaki : 島根県隠岐支庁農村部農村農道整備係長

\*\* Kazuo Kanechiku : (株) エイトコンサルタント技師長

† Yoshihiko Ohta : ピーシー橋梁(株)大阪支店工事部(現場代理人)

†† Hiroshi Watanabe : ピーシー橋梁(株)技術本部設計二課

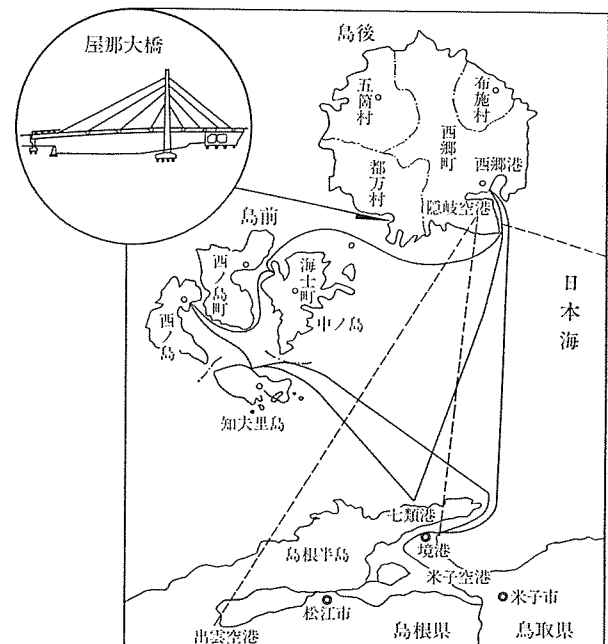


図-1 位置図

◇工事報告◇

橋種：プレストレストコンクリート道路橋  
 橋格：2等橋  
 橋長：67.000 m  
 支間長：51.000 m+15.000 m

幅員：5.000 m (全幅 6.000 m)  
 横断：2.0%  
 縦断：6.434% 6.95% V.C.L=70.00 m  
 設計震度： $K_H=0.16$

表-1

区分	単位	主桁	主塔	斜材
コンクリート ( $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$ )		222.3	122.3	—
鉄筋 (SD30A)	t	35.8	22.3	—
PC鋼棒 (SBPR 95/120 $\phi 32$ ) (ディビダーク工法)	t	16.7	—	—
PC鋼より線 (SWPR 7B) (SEEE工法)	t	—	—	7.5

2.3 主要材料

主要材料を表-1 に示す。

3. 上部工の設計

3.1 構造形式の選定

斜張橋は、主桁・主塔・斜材の3つの部材から構成されており、多様な構造形式が考えられる。設計自由度の

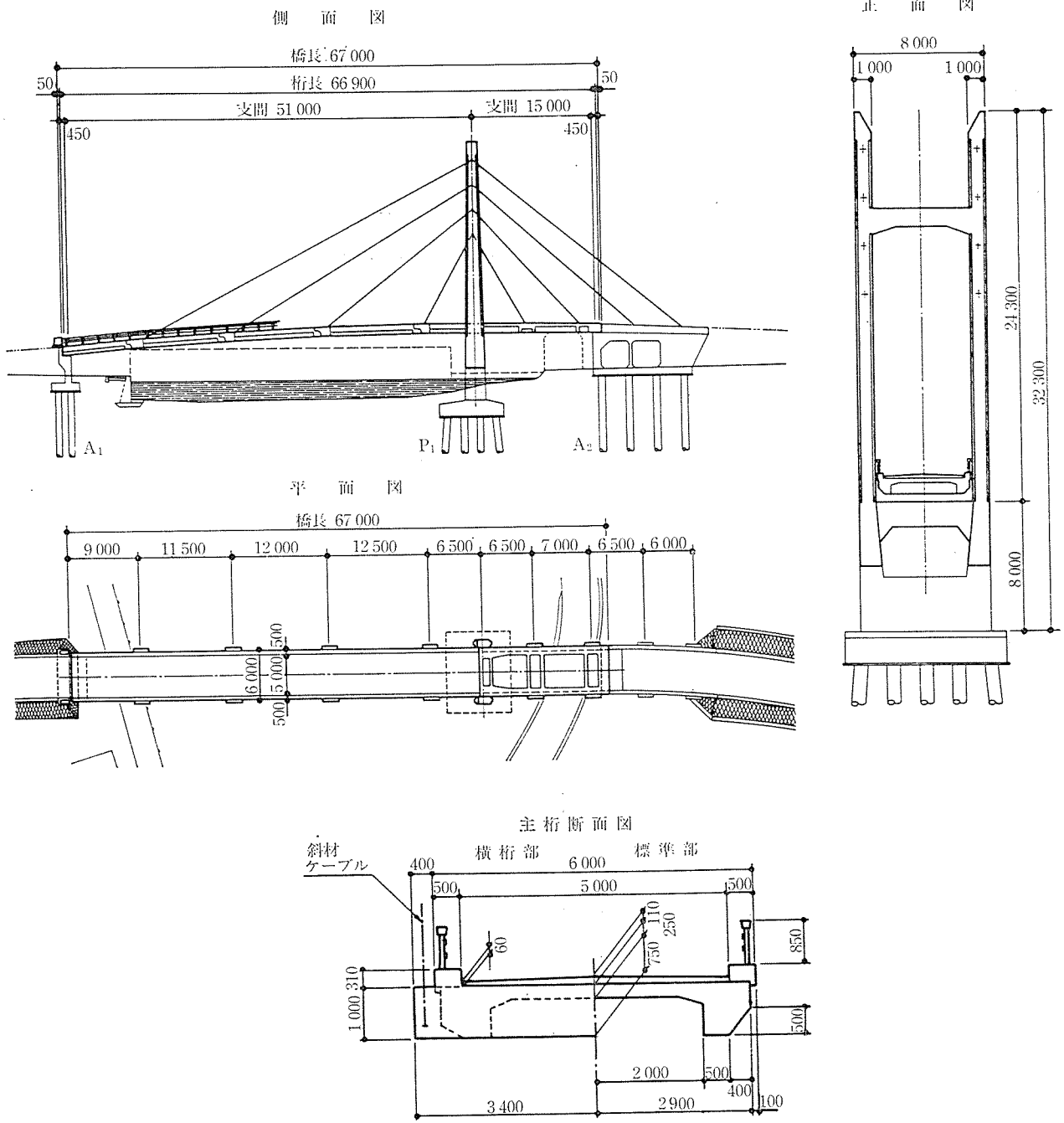


図-2 全体一般図

高いことが斜張橋の特徴となっている。

本橋は、航路限界より橋脚位置が限定され、支間長が51.0m+15.0mと極端に非対称な支間割りとなった。本橋は次の点に留意して構造形式を選定した。

(1) 基本構造

架橋地点は基礎地盤がGL-24m~GL-30mに位置しており、上層に比較的良好な玉石混じりの砂れき層、中間層に軟弱な粘土層が分布している。

P<sub>1</sub>橋脚は湾内に位置しており、杭基礎形式を採用した。橋脚基礎形状寸法が極力小さくなるように、主塔と主桁とが分離したフローティング形式として、上部工の橋脚への影響が少なくなるようにした。

(2) 主桁断面形状

本橋の桁高が航路限界より1.0mと制限されたこと、張出し工法にて主桁を施工することを考慮して端桁断面とした。

また耐風性、美観に対する配慮よりテーパを設けることとした(図-2)。

(3) 主塔形状

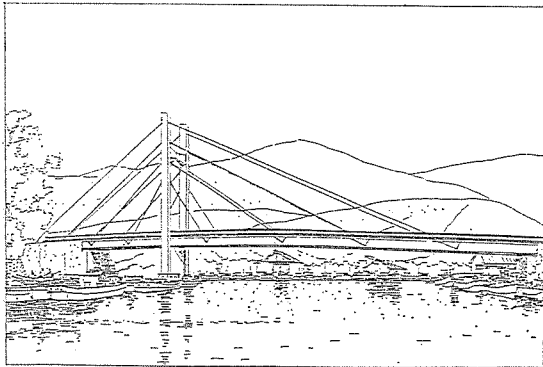
斜材配置が幅員構成より2面吊りとなるため、主塔形状は基本的な門型形式とした。

(4) 斜材配置

斜材配置は側面から見た場合に、ハープ型、ファン型、放射型に分類される。

本橋は次の理由および景観の比較からファン型の斜材

(1) ファン型



(2) 放射型

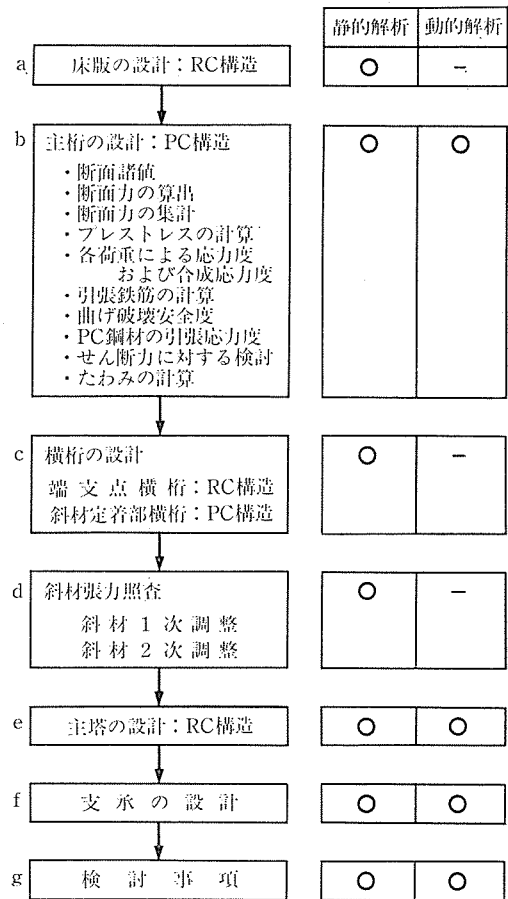
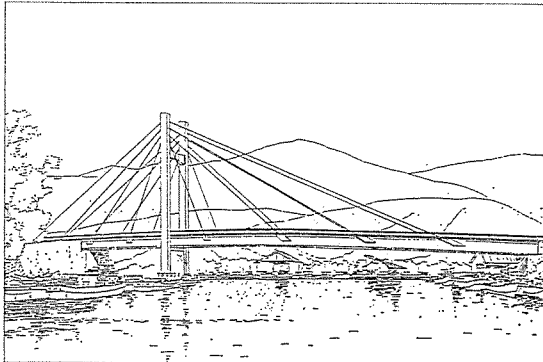


図-4 設計フローチャート

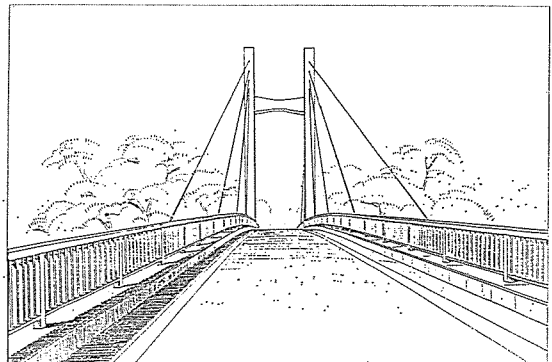
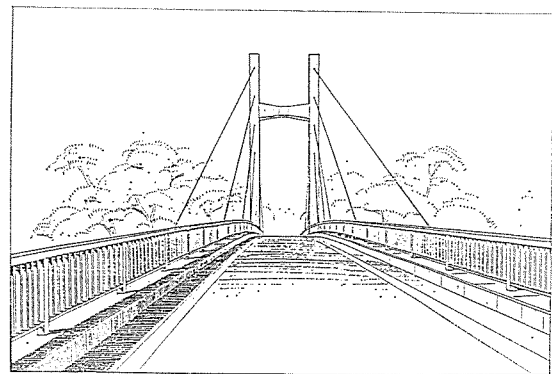


図-3 ケーブル配置形状の比較

◇工事報告◇

配置とした(図-3)。

- ① ハープ型は独特の景観美が得られるが、斜材重量が増加する。
- ② 放射型は斜材の吊り材効率に優れているが、本橋の場合は中小規模のため、その効果が薄い。
- ③ 放射型は主塔の斜材定着部が集中して煩雑となる。

3.2 構造解析

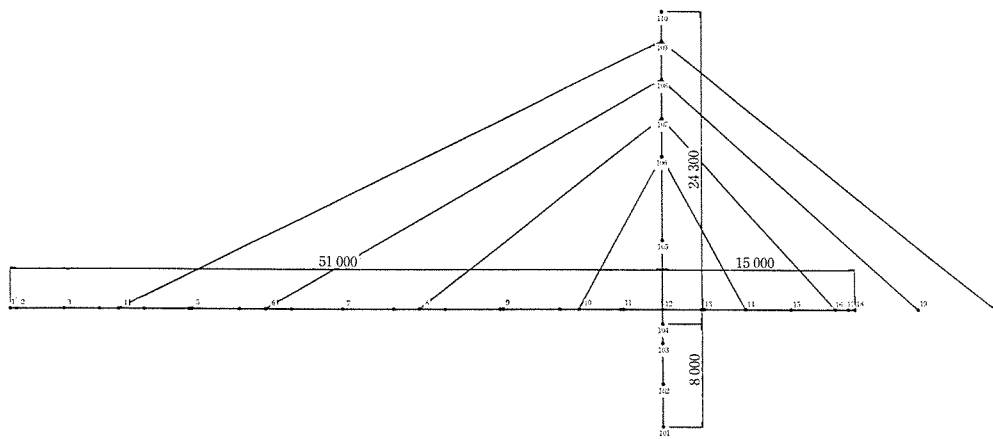
本橋の解析は架設系および完成系について、変位法に

よる平面骨組構造解析プログラムを用いて行った。

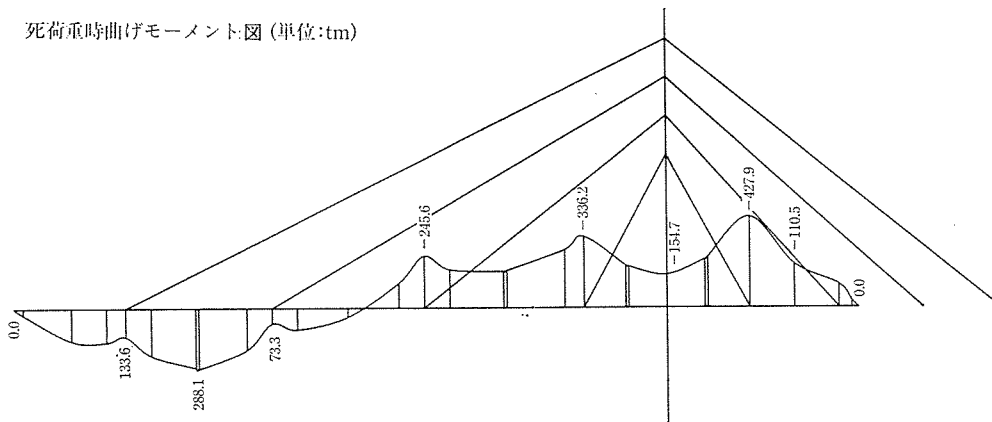
設計のフローチャートを図-4に示す。

設計荷重としては、①主桁自重、②橋面荷重、③活荷重、④斜材調整力、⑤主桁プレストス、⑥温度変化、⑦地震を考慮し、構造解析は斜材を考慮した骨組構造モデルにて弾性解析を行った。

斜材調整力は主塔に曲げモーメントが作用しないように主塔定着部の水平力の和が各々0となること、主桁の曲げモーメントの値が均一化することの2点に着目して



死荷重時曲げモーメント図(単位:tm)



設計荷重時曲げモーメント図(単位:tm)

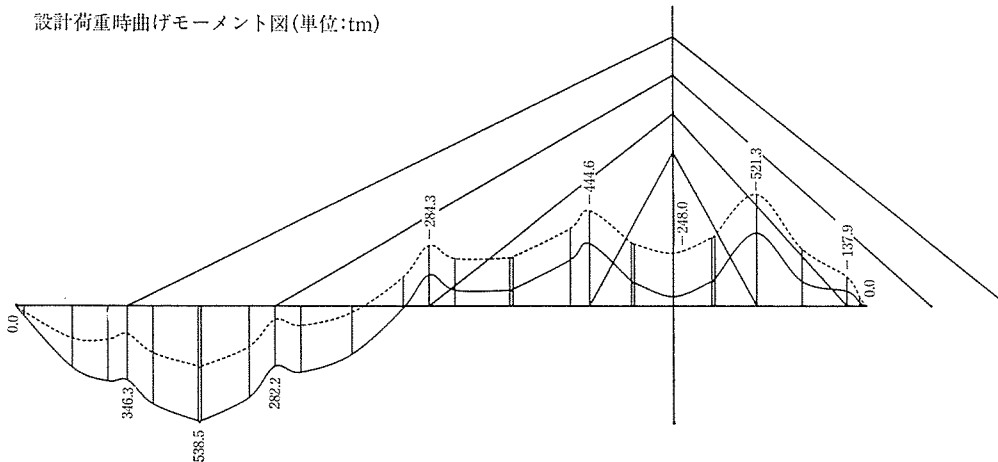


図-5 平面骨組モデルおよび曲げモーメント

調整力を決定した。

張出し架設中は主桁に生じる負の曲げモーメントが卓越するため、架設用斜材 (SBPD 95/110,  $\phi 32$ ) を併用して斜材調整を行った。

主桁完成後は、主桁プレストレス、仮固定解放、橋面荷重による断面力を打ち消すように斜材 2 次調整を行った。

またクリープ・乾燥収縮による断面力は Trost の式より誘導された文献 2) に基づいて算出した。

### 3.3 主桁の設計

主桁は、曲げモーメントと軸力を受ける PC 部材として設計を行った。

主桁 PC 鋼材は SBPR 95/120,  $\phi 32$  を平均 30 本配置した。

各施工ステップにおける断面力に応じて、プレストレスの導入および解放を行った。

主桁の骨組構造モデルおよび曲げモーメントを 図-5 に示す。

### 3.4 主塔の設計

主塔は門型形式で 2 面吊りとなっており、曲げと軸力を受ける RC 部材として設計を行った。

主塔上側の横梁は仮設用斜材支持金具を支持する部材である。また主桁下側の横梁は架設中主桁と固定されており、ねじりモーメントが作用する。

各々 RC 部材として設計を行い、所要鉄筋量を配置した。

### 3.5 斜材の設計

斜材は、1 本当たりの張力が大きく疲労強度を向上させ使用実績も多い SEEE 工法 F 160 PH から F 360 PH を使用した (図-6)。

ケーブルの設計荷重作用時の引張応力は「PC 斜張橋上部工設計指針 (案)」(財) 海洋架橋調査会より引張強度の 40% を目標値として鋼材量を算定した。

架設用斜材は異形 PC 鋼棒 (SBPD 95/110,  $\phi 32$ ) を使用した。架設中の張力は、引張強度の 60% として調整力を与えることとした。

### 3.6 支承の設計

固定支承 A<sub>2</sub> 支点には、非対称構造で斜材の一部が橋

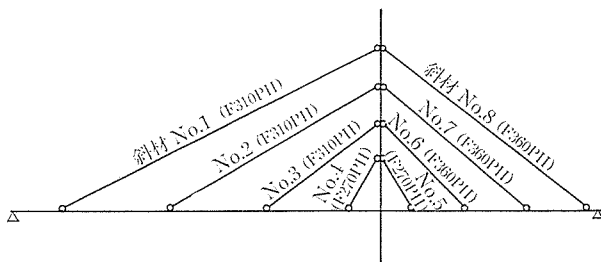


図-6

台に定着されているため、負反力と水平力が作用する。

特に水平力は、架設中と完成時とではその作用方向が異なっていた。負反力と架設中の水平力に対しては PC 鋼棒を配置し、完成時の水平力に対しては水平脊を設置した (図-7)。

### 3.7 斜材定着部の検討

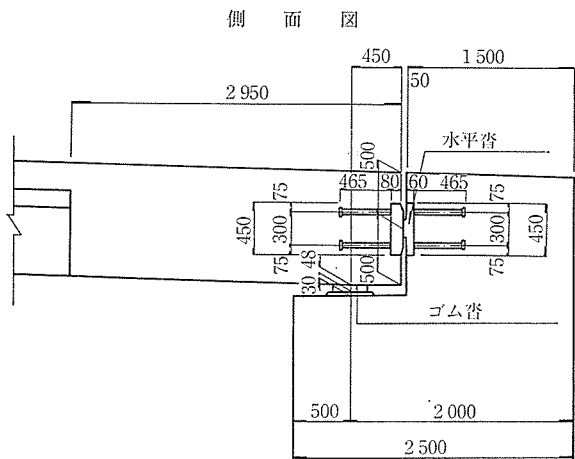
斜材定着部には、斜材張力により大きな支圧力と割裂による引張力が作用する。

斜材定着部の設計は、メルシュ (Mörsch) の式より割裂引張応力を求め、補強鉄筋量を算定した。さらに主桁斜材定着部は FEM 解析により検討を行い、安全性を確認した。

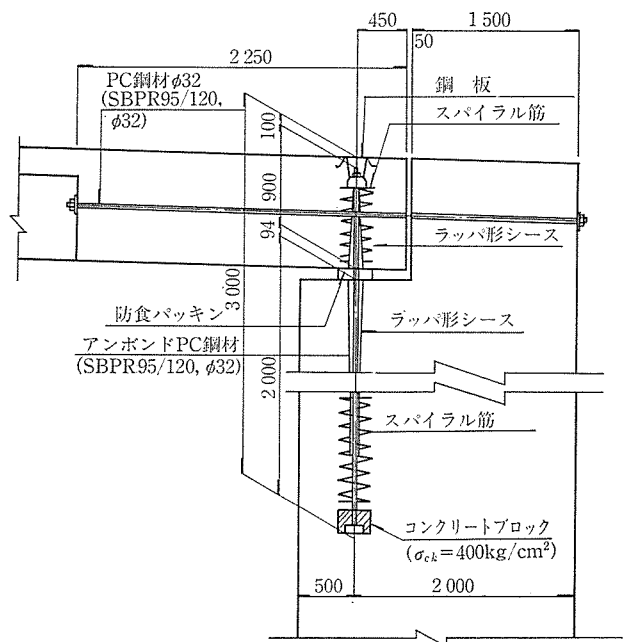
### 3.8 耐震設計

地震時の解析は、橋軸方向・橋軸直角方向ともに、静的解析と動的解析を行った。

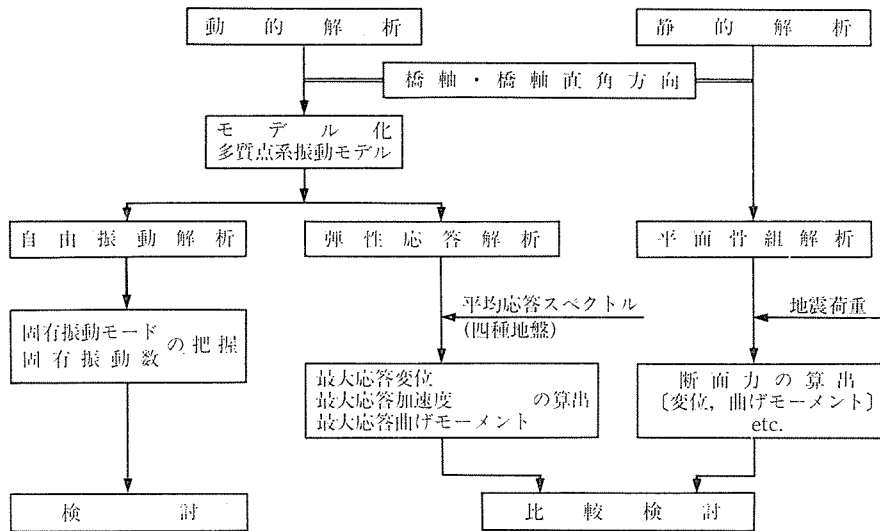
動的解析には、平均応答スペクトル法 (弾性応答解



側面図



断面図



入力波  $\alpha=160\text{gal}$  ( $\approx 980\text{cm/sec} \times 0.16$ )

図-8 耐震設計フローチャート

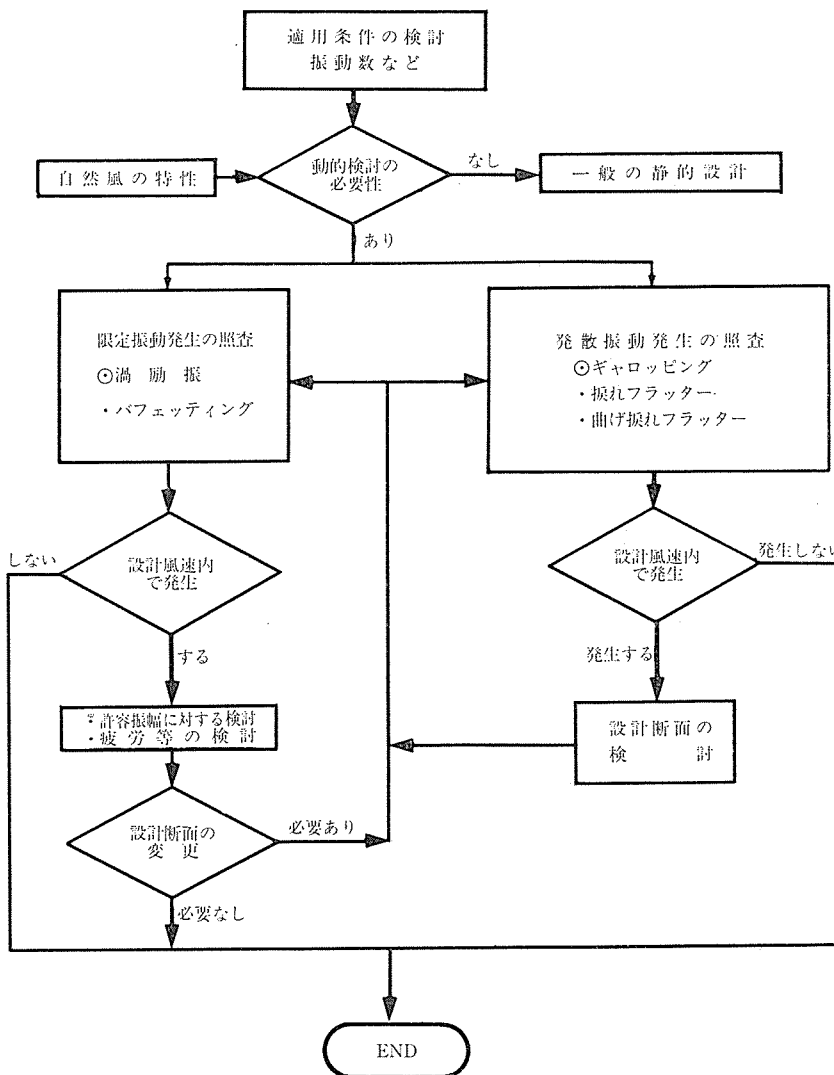


図-9 耐風性動的照査フローチャート

析)を用いた(図-8)。

### 3.9 耐風性についての検討

道示 I 2.1.11 に基づいた静的検討, および動的照査を行った(図-9)。

本橋は, たわみ一次振動数と支間の関係からは動的照査が必要のない部類に属する橋梁であった。しかし, 立地条件を考慮して渦励振とギャロッピングについて動的照査を行い, 安全性を確認した。

### 3.10 支承の設計

固定支承  $A_2$  支点には, 非対称構造で斜材の一部が橋台に定着されているため, 負反力と水平力が作用する。

特に水平力は, 架設中と完成時とではその作用方向が異なっていた。負反力と架設中の水平力に対しては PC 鋼棒を配置し, 完成時の水平力に対しては水平沓を設置した(図-7)。

## 4. 上部工の施工

本橋は, 都万漁港の入江に架かる海上橋であり, 張出

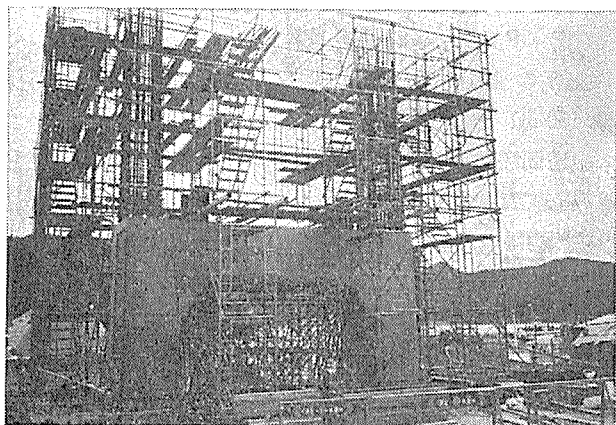


写真-2 主塔の施工

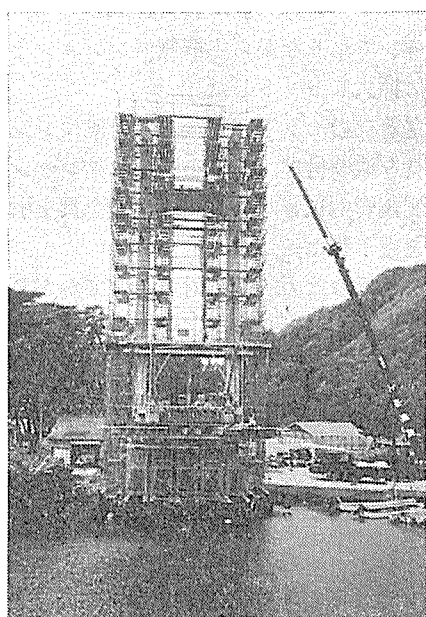


写真-3 ワーゲンの設置

し工法で主桁を施工した。

非対称構造であるために, 施工順序としては  $A_1 \sim P_1$  径間の支保工施工後, 片側に張出し施工を行い  $A_1$  橋台に到達させた(写真-2~写真-6)。

図-10, 表-2, 3 に, 施工順序の概要, 施工工程, 張出し施工時の1サイクル工程表を示す。

### 4.1 主塔の施工

海上に設置したH鋼杭上にH鋼を渡し, その上部に主塔施工用足場としてビティ杵を組み立て, 木製型枠にて主塔の施工を行った。

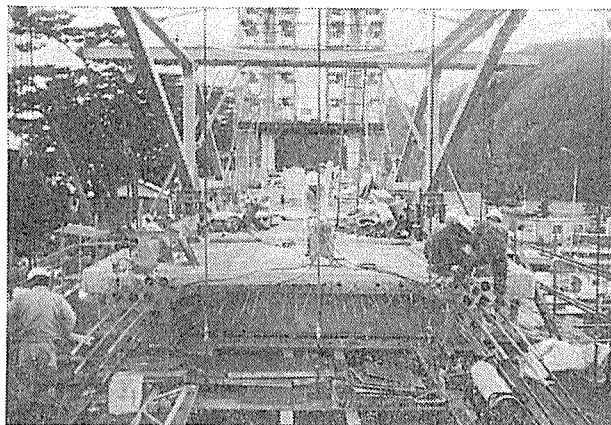


写真-4 第1ブロックの施工

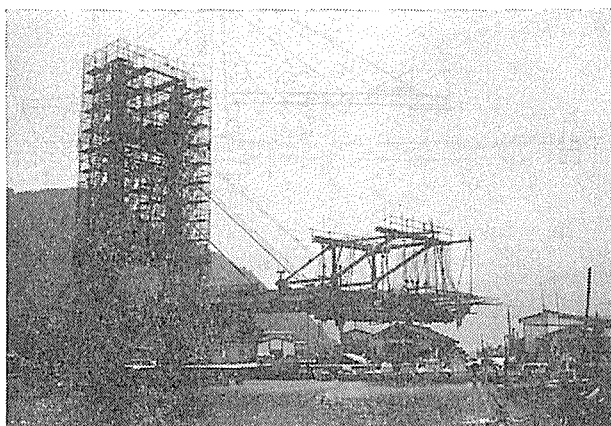


写真-5 張出し施工

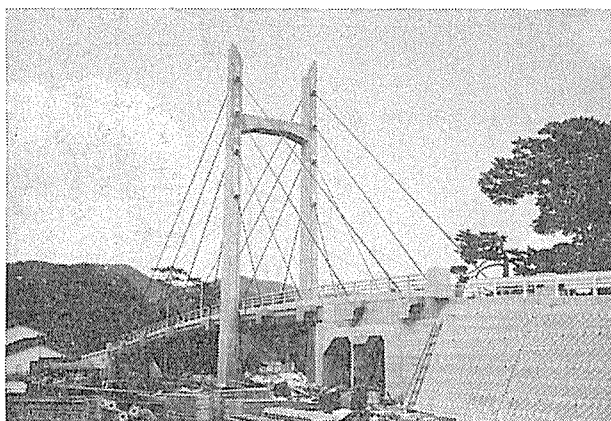
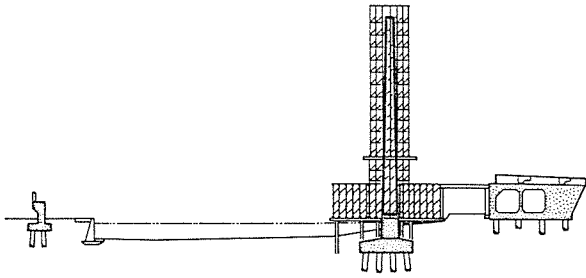


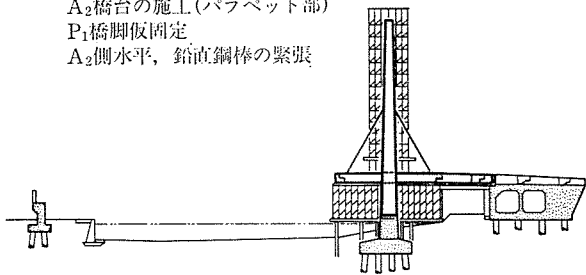
写真-6 完成 ( $A_2$  側より)

◇工事報告◇

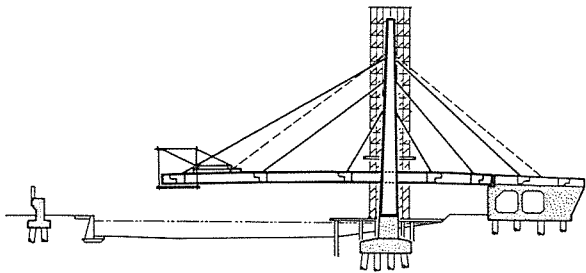
- ① P<sub>1</sub>主塔の施工  
A<sub>2</sub>橋台の施工 (斜材定着部  
架設用バックスティ部)



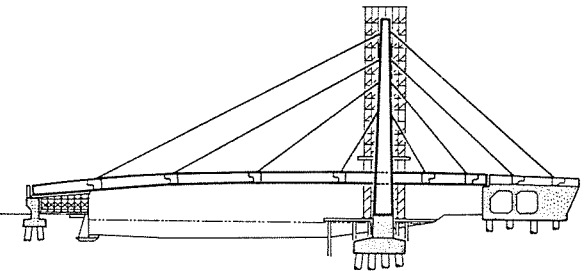
- ② A<sub>2</sub>側支保工部の施工  
A<sub>2</sub>橋台の施工 (バラベット部)  
P<sub>1</sub>橋脚仮固定  
A<sub>2</sub>側水平、鉛直鋼棒の緊張



- ③ 張出し施工  
□~□ブロックの施工 (架設用スティの利用)



- ④ A<sub>1</sub>側支保工部の施工  
P<sub>1</sub>橋脚仮固定解放, A<sub>2</sub>側水平鋼棒の解放



- ⑤ 完成  
斜材 2 次張力の調整, 橋面工の施工

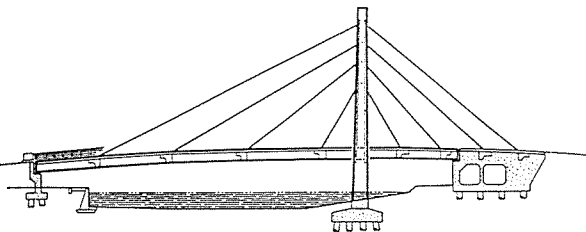


図-10 施工順序

表-2 工程表

項目	年度											
	63			64			65			66		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
準備・後片付け												
主塔工												
A <sub>2</sub> 橋台工												
主桁工												
斜材工												
橋面工												

表-3 ワーゲン1サイクル工程表 (標準サイクル)

工種	11	1	2	3	4	5	6	7
ワーゲン移動・据付け								
型枠・鉄筋・PC鋼材の配置								
コンクリート打設								
養生								
緊張								
架設スティセット・緊張 (斜材ケーブルセット, 緊張)								

注: ( ) 斜材定着部ブロックの場合

1 リフトの高さは 4m を基準として, 8リフトに分割して施工を行った。斜材定着部は 2.700m~3.700m に適宜リフト高さを調節した。

4.2 主桁の施工

(1) P<sub>1</sub>~A<sub>2</sub> 径間支保工施工部

主桁の張出し施工に先立ち, P<sub>1</sub>~A<sub>2</sub> 径間 (区間長 23.450m) を支保工にて施工した。

主塔同様にH鋼杭を利用してビティ枠により支保工を組み立てた。一部村道部分は支柱式支保工とした。

主桁コンクリートはポンプ車にて一度に打設した。

コンクリート打設後, 圧縮強度が  $\sigma=300 \text{ kg/cm}^2$  以上に達したことを確認して主桁にプレストレスを導入した。

主桁プレストレスはディビダーク工法 (SBPR 95/120,  $\phi 32 \text{ mm}$ ) を使用した。

主桁プレストレス導入後, 斜材を架設した。斜材の一端をクレーンで吊りながら主桁側マンションを定着体鋼管パイプに挿入しセットした。

主桁側定着部のセット完了後, 主桁側マンションに引込み用金具を取り付け, 一端を同様にクレーンで吊りながら主塔側鋼管内にレバーブロックで金具を引き込み斜材の架設を完了した。

主桁は海上橋のため, 塩害対策としてかぶりを十分確保するとともに, 横桁や斜材定着部突起では塗装鉄筋を使用した。

(2) 張出し施工部

P<sub>1</sub>~A<sub>2</sub> 径間の施工完了後, ワーゲンを組み立て主桁の張出し施工を行った。

本橋の張出し施工においては, 最大容量 80tm の特殊小型ワーゲンを使用した。

本ワーゲンは, 通常の中型ワーゲン (最大容量 200tm) に比べて小型・軽量化を図ったものである (図-11)。



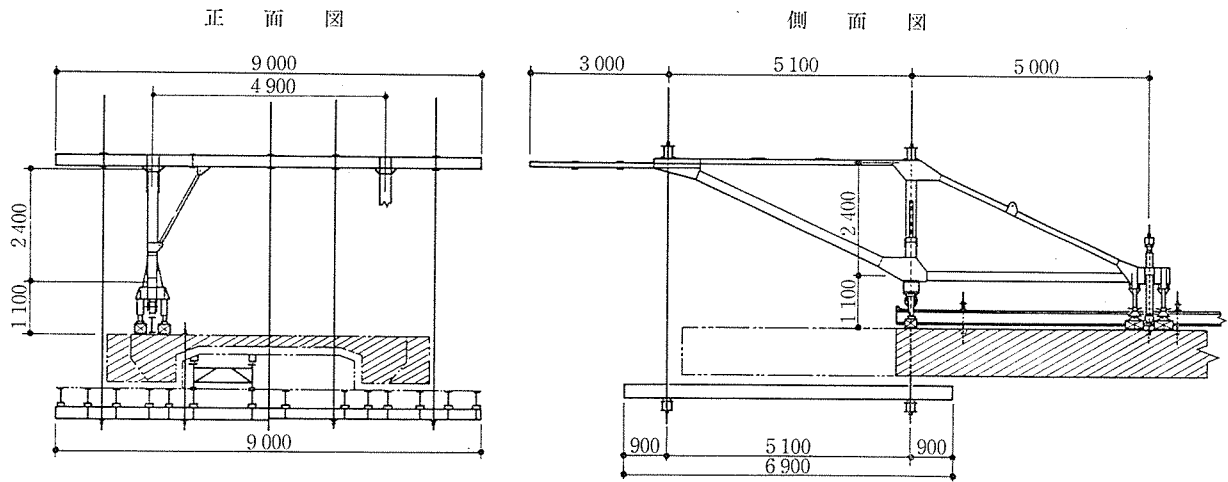


図-11 特殊小型ワゲン姿図

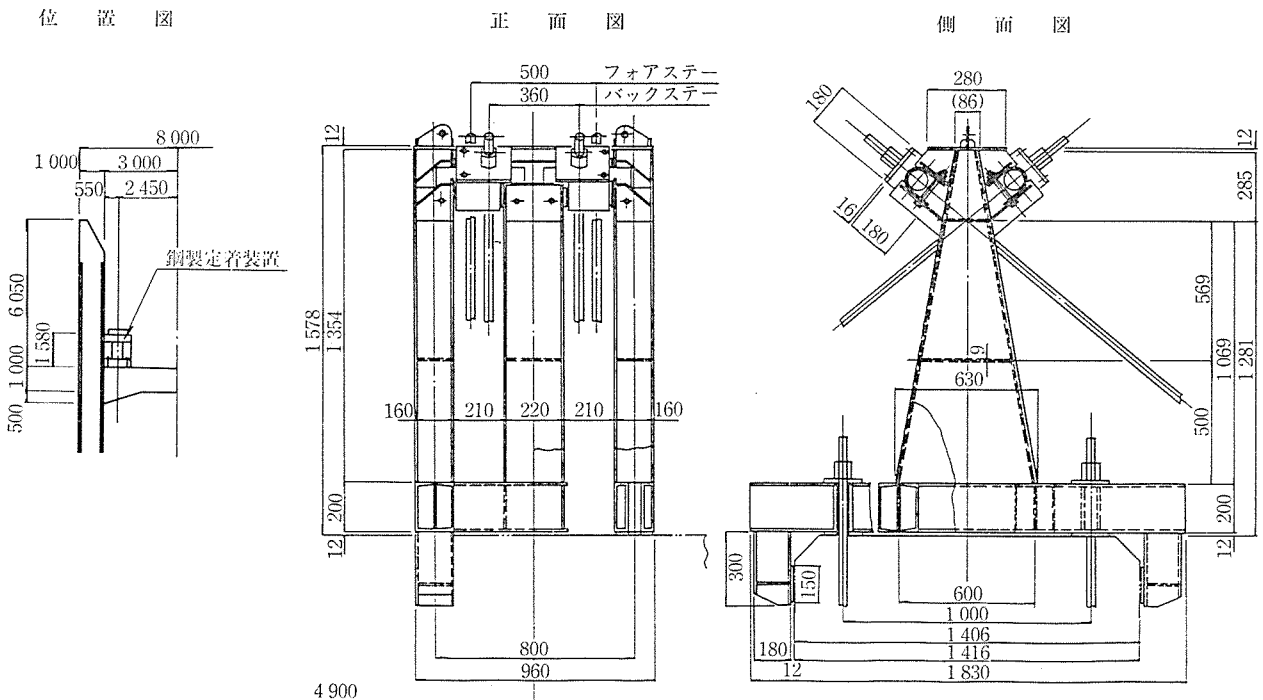


図-12 架設ステイ用鋼製定着装置

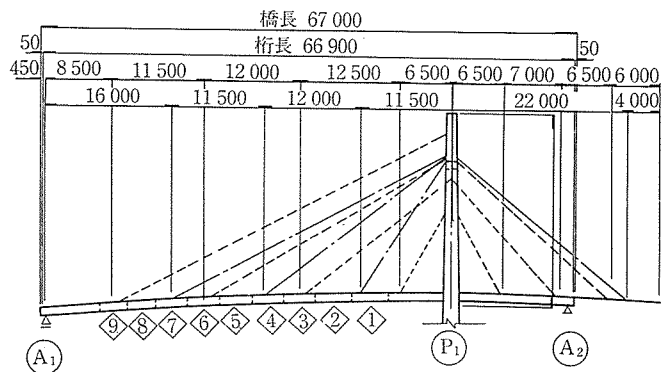
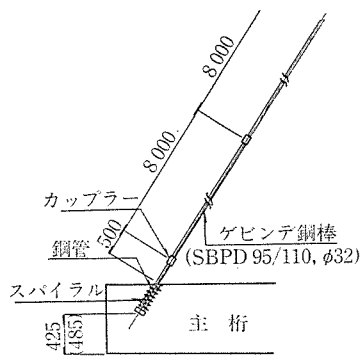


図-13 架設用ステイの配置

◇工事報告◇

主桁のブロック割りは、1ブロック長3.500m~4.500mで標準部6ブロック、斜材定着部3ブロック合計9ブロック（区間長36m）である。

各ブロックの打設量は、標準ブロックで約12m<sup>3</sup>、斜材定着ブロックで約15m<sup>3</sup>である。コンクリートの打設はポンプ車にて行った。

張出し架設中は、本斜材と仮設用斜材を 図-13 に示すように併用して1ブロックから9ブロックまでの施工を行った。

4.3 架設用斜材

主塔上部横梁両端部に架設用斜材鋼製定着装置を左右2基設置し、横梁と定着装置とはPC鋼棒で固定した(図-12)。

架設用斜材としては、ワーゲン施工部（フォアステイ）、後方アンカー部（バックステイ）のいずれも異形

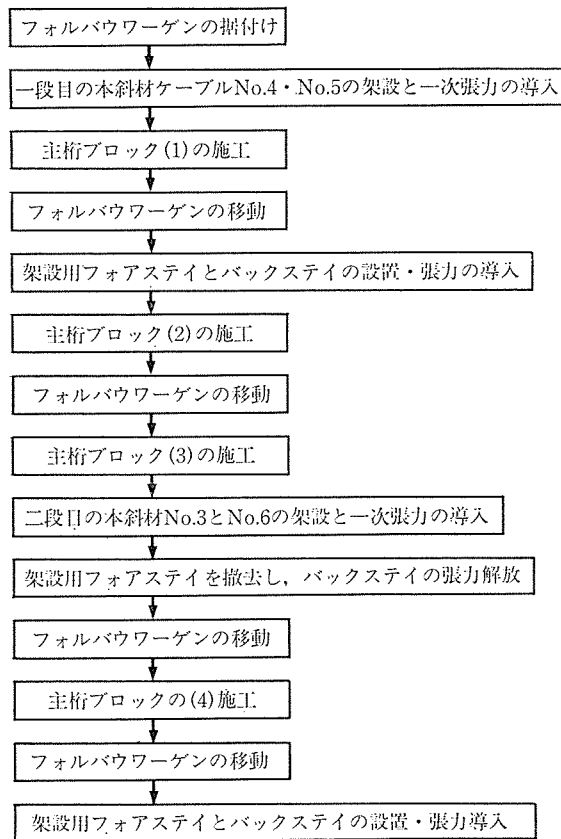


図-14

PC鋼棒(SBPD 95/110, φ32mm)を、各々4本合計8本設置した(図-13)。

主桁部は、主桁上縁より50cmの長さまでセットした後、ブロックのコンクリート打設を行う。

コンクリート硬化後、カップラーを利用して鋼材を順次結合して所要の長さにセットした。

本斜材と仮設用斜材を 図-14 に示された要領で順次張出し架設を行った。架設用フォアステイは、1ブロック、4ブロック、7ブロックに設置した。

(3) A<sub>1</sub>側支保工施工

張出し施工完了後、A<sub>1</sub>側端部を支保工にて施工した。ビティ枠により支保工を組み立てた後、コンクリートをポンプ車にて打設した。

主桁にプレストレスを導入し、P<sub>1</sub>橋脚の仮固定を撤去し、A<sub>2</sub>橋台の水平鋼棒の緊張力を解放を行った。

さらに橋面荷重に対する斜材二次調整を行い主桁施工を完了した。

5. 施工管理

5.1 パソコンを利用した施工管理

本橋は張出し工法で主桁の架設を行うため、構造系が施工ステップごとに変化し、かつ斜材張力の変動に伴い、桁の応力、変位が複雑に変化する。このため複雑な現場管理と解析が必要であり、パソコン等の電算機器の利用は不可欠である。

予め大型電算機にて算出した計画値を基本に、現場で設置したパソコンを活用して本橋の施工管理を行った(図-15)。

本橋の管理項目と測定方法を表-4に示す。

5.2 上げ越し管理

現場における計画値のチェック、補正計算を迅速かつ正確に処理し、施工能率および施工精度の向上を図るため、上げ越し管理（主桁の計画高、主塔の水平変位）はパソコンを利用して集中管理を行った。

管理の内容は、①斜材張力導入ステップでの温度補正を考慮した上げ越し量の算定、②各ステップでの計画高と実測値の比較および補正量の算定について行った(図-16)。

表-4 各施工管理項目毎の測定方法

	① 上げ越し管理		② PC鋼材緊張管理				③ 斜材張力管理	
	主塔	主桁	主鋼棒	鉛直鋼棒	横方向鋼棒	水平鋼棒	本斜材	架設斜材
管理内容	水平変位	鉛直変位	導入力および伸び量	同左	同左	同左	導入力および伸び量	同左
測定方法	傾斜計トランシット	レベル測量	ジャッキの圧力計ユーバスタンドメッサー	同左	同左	同左	ジャッキの圧力計、加速度計	ジャッキの圧力計ユーバスタンドメッサー
摘要	$\sigma_{ck}=400$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{ck}=400$ kg/cm <sup>2</sup>	PC鋼棒 SBPR 95/120 φ32	同左	同左	同左	PC鋼より線 SEEEケーブル	総ネジ PC鋼棒 SBPD 95/110 φ32

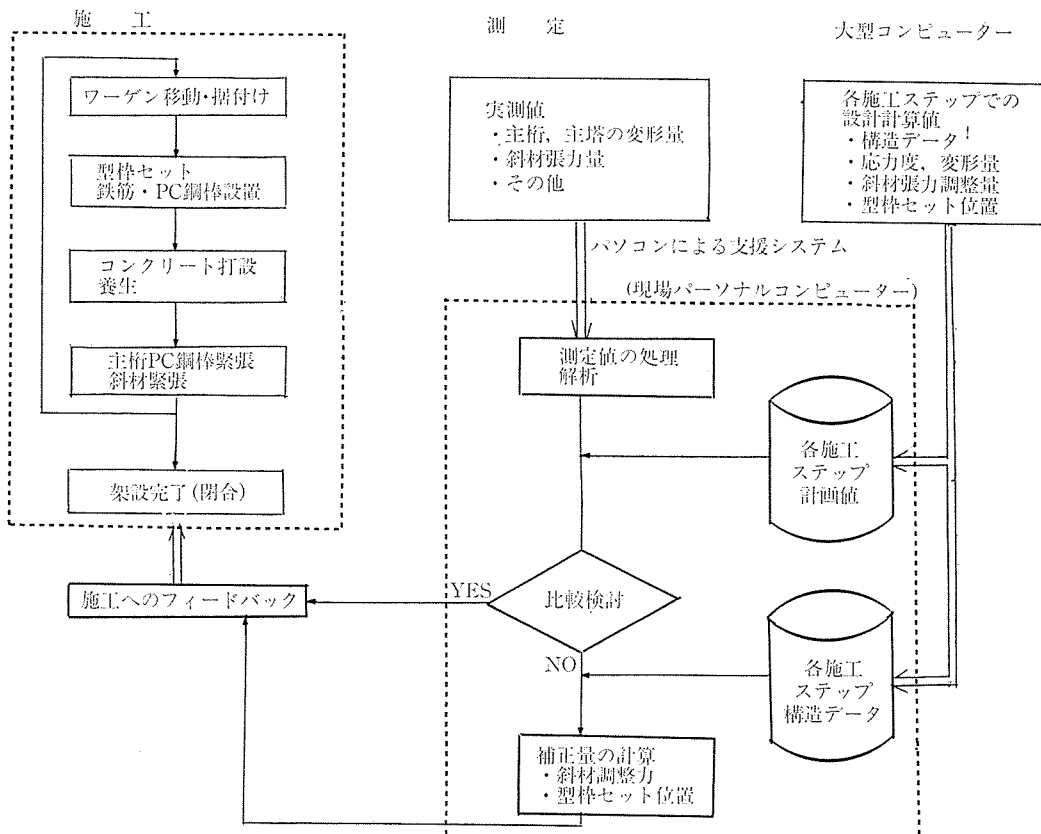
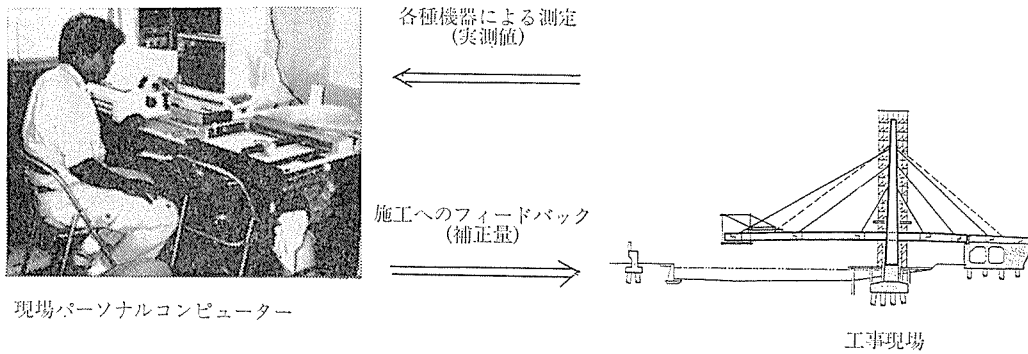


図-15 施工管理システム

### 5.3 斜材張力の管理

斜材張力の管理は、①圧力センサーによる管理と②強制振動法による管理を併用して行った。すなわち、斜材調整力の導入は、ジャッキの圧力センサーで張力測定を行い、導入した張力が他の斜材に及ぼす影響については、強制振動法により張力測定を行った。

強制振動法は加速度計を各斜材に取り付け、図-17に示すシステムにて行った。

## 6. あとがき

PC斜張橋は、スパンの長大化が図れる、桁高を低くできる、主塔・主桁・斜材の組合せにより周囲の環境にマッチした美しい景観を得ることができる、等の特徴に

より近年我が国において増加の一途をたどっている。

従来は支間 200 m 以上の長大スパンに適する構造形式と言われてきたが、中小規模の橋梁においても施工実績は増加しつつある。

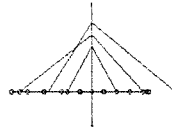
中小規模の橋梁においては、主桁は剛性の小さな低い桁高が採用され、斜材配置本数も少なく、支保工による施工方法が一般的であった。

しかし本橋のように、特殊小型ワーゲンの使用、架設用斜材を利用した張出し架設工法により、中小規模 PC 斜張橋も立地条件に左右されることなく施工可能である。そして他の構造形式と比較しても十分な経済性を有していると言える。

最後に、本橋が国立公園に指定されている隠岐の風光

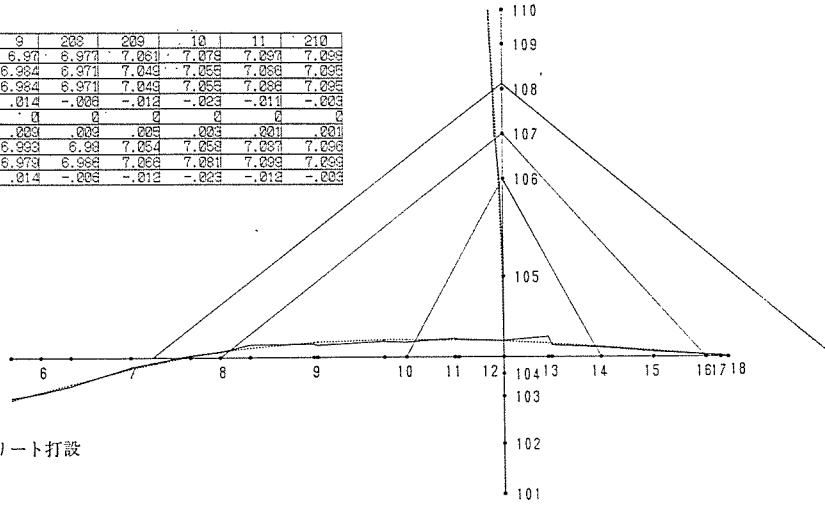
◇工事報告◇

STEP19 斜材No.6 100%導入  
主桁たわみ



実力F	0
実力B	101.98

	206	8	207	9	208	209	10	11	210
設計値	6.877	6.763	6.839	6.97	6.974	7.061	7.078	7.068	7.099
実測値	6.898	6.777	6.859	6.984	6.974	7.049	7.058	7.068	7.099
温度補正後	6.898	6.777	6.859	6.984	6.974	7.049	7.058	7.068	7.099
誤差	.021	.014	.019	.014	-.006	-.012	-.023	-.011	-.003
斜材材力	0	0	0	0	0	0	0	0	0
桁材材力	.019	.015	.013	.003	.003	.005	.003	.001	.001
温度補正係	6.714	6.782	6.863	6.933	6.93	7.054	7.058	7.067	7.099
設計値	6.894	6.777	6.852	6.973	6.968	7.056	7.061	7.069	7.099
誤差	.021	.013	.014	.014	-.006	-.012	-.023	-.011	-.003



STEP32 ブロック6 コンクリート打設

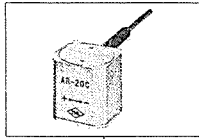
— 実測値  
- - - 設計値

	204	6	205	7	206	8	207	9	208	209	10	11	210	12	211	13	14	15	16	17
設計値	5.914	6.06	6.197	6.449	6.658	6.747	6.825	6.957	6.963	7.051	7.07	7.094	7.095	7.094	7.073	7.07	7.024	6.951	6.852	6.819
実測値	5.921	6.055	6.19	6.452	6.661	6.745	6.835	6.951	6.952	7.045	7.061	7.099	7.097	7.095	7.095	7.065	7.021	6.947	6.851	6.822
温度補正係	5.921	6.055	6.19	6.452	6.661	6.745	6.835	6.951	6.952	7.045	7.061	7.099	7.097	7.095	7.095	7.065	7.021	6.947	6.851	6.822
誤差	.006	-.005	-.007	-.004	-.003	-.002	-.01	-.006	-.011	-.006	-.009	-.005	-.002	-.001	-.022	-.005	-.003	-.004	-.001	-.003
設計目標値	6.054	6.173	6.284	6.484	6.654	6.727	6.792	6.906	6.912	6.993	7.011	7.036	7.037	7.041	7.028	7.026	6.99	6.929	6.845	6.816

	18	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	
設計値	6.802	0	0	.001	.001	.001	-.003	-.015	-.022	-.03	-.038	-.044
実測値	6.801	0	0	0	0	0	-.011	-.027	-.033	-.041	-.048	
温度補正係	6.801	0	0	0	0	0	-.011	-.027	-.033	-.041	-.048	
誤差	-.001	0	0	-.001	-.001	-.001	.003	.004	-.005	-.003	-.003	-.002
設計目標値	6.802	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

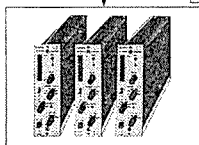
図-16

○加速度計 AR-5C

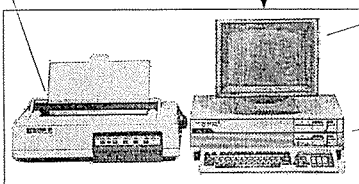


延長コード

○動ひずみ測定器 DA



○パソコン  
プリンター  
PC-PR201 V2

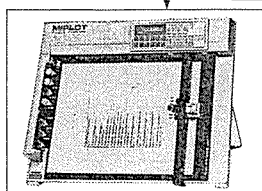


A/Dボード  
ANALOG-PRO II

ディスプレイ  
PC-KD853

本体  
PC9801 VX21

○XYプロッター MP3400



FFTソフト  
DSS98 TYPE IV

明媚な「屋那の松原」に架かる PC 斜張橋として、平成元年 3 月無事完成したことは、関係各位の御援助の賜物と厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) (財) 海洋架橋調査会, PC 斜長橋に関する調査研究委員会, PC 斜長橋に関する調査研究報告書, 昭和 56 年 3 月
- 2) 佐藤, 渡辺, 佐藤: 変位法によるコンクリート構造物のクリープ・乾燥収縮解析の基礎理論, プレストレストコンクリート, Vol. 22, No. 2, 昭和 55 年
- 3) (社) プレストレストコンクリート建設業協会, PC 斜張橋資料 [計画・設計・施工], 昭和 63 年 3 月

【1989 年 10 月 11 日受付】

図-17