

# 多主桁 PC 箱桁橋の設計・施工

(岩黒島高架橋)

大 田 享\*  
 藤 原 亨\*\*  
 玉 木 博 之\*\*\*

## 1. ま え が き

岩黒島高架橋は本州四国連絡橋児島—坂出ルート上にあり、岩黒島内で櫃石島橋と岩黒島橋の両斜張橋を結ぶ道路・鉄道併用の PC 橋である。構造は上層に道路橋、下層に鉄道橋を有する二層構造となっている。道路橋、鉄道橋とも箱桁形式構造で、特に道路橋は7重箱桁（上下線一体）、2径間連続ラーメン橋であり、スパンと幅員がほぼ等しい版状の桁が二層形式門形ラーメン橋脚の上

層梁（剛結水平梁）に剛結されるという特徴ある構造となっている。ここではその橋脚柱頭部と道路桁の設計と施工の概要を主に報告する。

## 2. 概 要

高架橋の位置を 図-1 に示す。また、橋梁の形状を 図-2, 3, 4 に示す。また、施工順序を 図-5 に示す。

## 3. 設 計

### 3.1 設計概略

主桁の張出し基部となる IVa 1P 上の剛結水平梁には上り線バスストップ連絡用の通路としての開口部 (2.5 m×2.5 m) が設けられ、主桁ウェブが梁内を貫通していないため、主桁から剛結水平梁への応力の流れが複雑になり、局部応力発生が予想された。このため剛結水平梁の設計にあたっては立体 FEM (有限要素法) 解析により水平梁内の応力状態を把握し局部応力に対する十分な検討を行っている。また、弾性梁に支持された8本のウェブにはそれぞれ異なった断面力が生ずることが予想されたため部材のねじりモーメントを考慮した8主桁立体ラーメン解析および平面格子解析を実施している。

### 3.2 設計条件

設計の条件を以下に示す。

橋 種：プレストレスト  
 コンクリート道  
 路橋

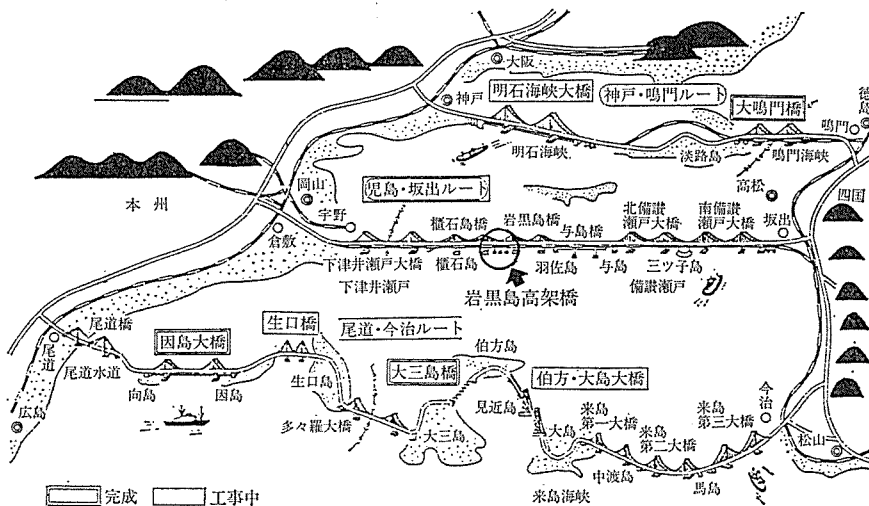


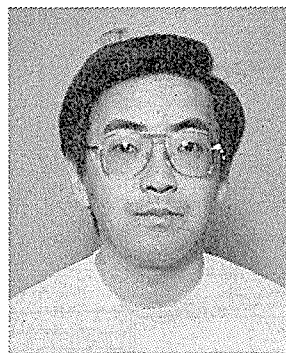
図-1 位置 図



\* Toru OHTA  
 本州四国連絡橋公団第二建設局児島工事事務所第三工事長



\*\* Toru FUJIWARA  
 本州四国連絡橋公団本社企画開発部企画課



\*\*\* Hiroyuki TAMAKI  
 本州四国連絡橋公団第二建設局児島工事事務所第三工事長付

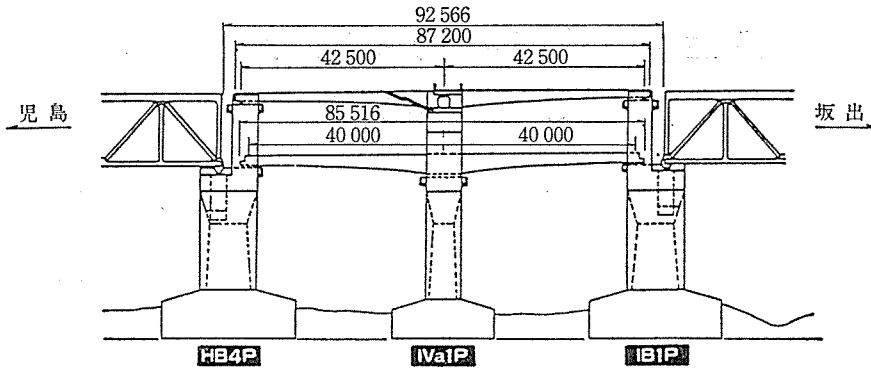
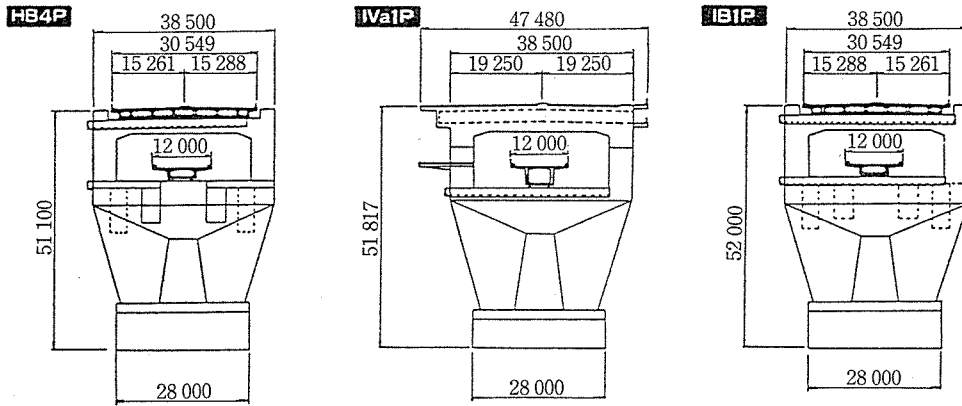


図-2 岩黒島高架橋側面図



道路橋断面図

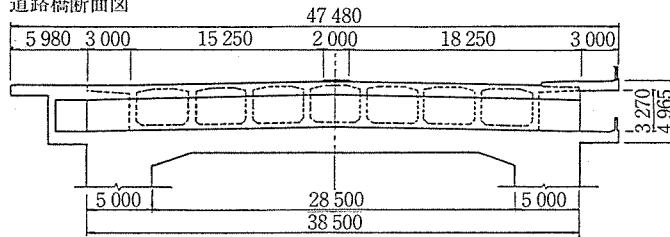


図-3 断面図

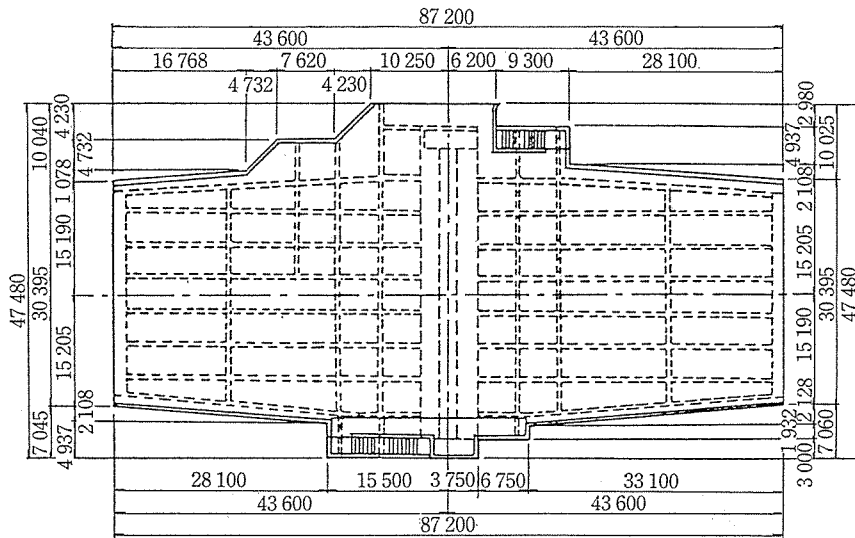


図-4 道路橋平面図

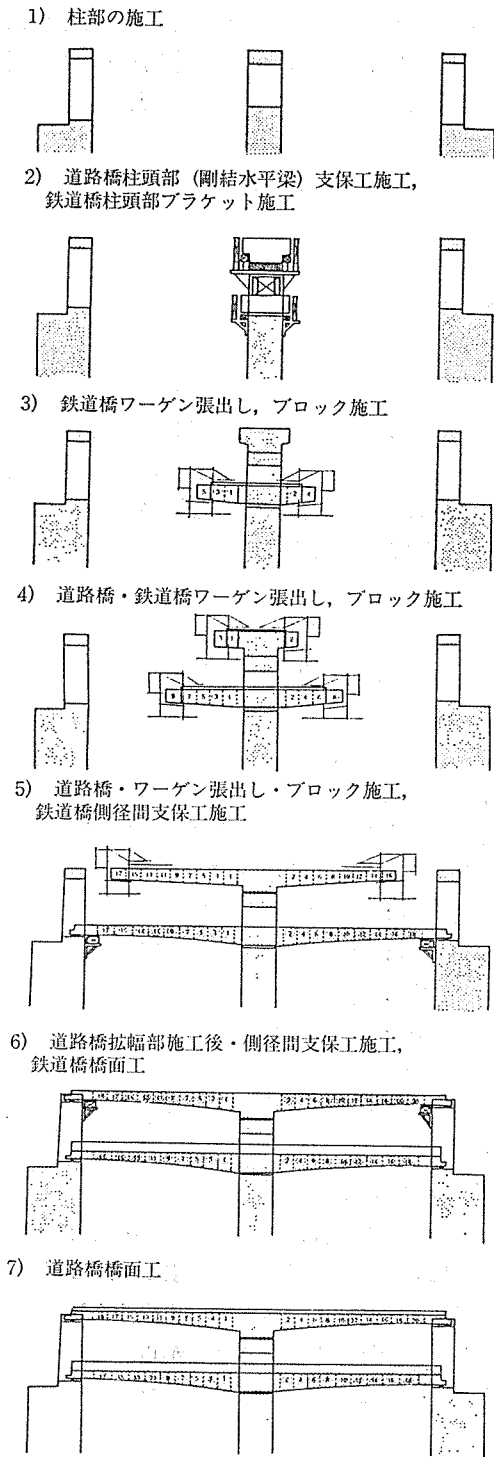


図-5 施工順序図

構造形式：2径間連続変断面立体格子桁橋(7重箱桁)  
 施工方法：ディビダー式カンチレバー工法  
 橋格：一等橋  
 橋長： $L=92.566$  m  
 支間： $S=42.500$  m+ $42.500$  m  
 幅員：総幅員  $B=30.395$  m~ $38.500$  m  
 柱頭部総幅員  $B=47.480$  m  
 平面線形： $R=\infty$

勾配：縦断 1.0% ←  
 横断 2.0% ← →  
 活荷重：TL-20, TT-43 (等価  $L$  荷重)  
 衝撃係数：主桁  $i=10/(25+L)$   
 横桁  $i=10/(50+L)$

設計震度：橋軸方向  $K_h=0.190$   
 橋軸直角方向  $K_h=0.190$   
 クリープ係数：主方向 (有効係数算出用)  $\varphi=2.1$   
 (系の変化考慮時)  $\varphi=1.8$   
 横方向  $\varphi=2.3$   
 剛結水平梁  $\varphi=1.9$

乾燥収縮度：主方向  $\xi_s=18 \times 10^{-5}$   
 横方向  $\xi_s=19 \times 10^{-5}$   
 不静定力算出時  $\xi_s=15 \times 10^{-5}$

レラクセーション：PC 鋼棒  $\gamma=3\%$   
 PC 鋼線・鋼より線  $\gamma=5\%$

温度変化：主方向  $t=\pm 15^\circ\text{C}$   
 剛結水平梁  $t=\pm 10^\circ\text{C}$

使用材料：

コンクリート；設計基準強度  $\sigma_{ck}=400$  kg/cm<sup>2</sup>  
 PC 鋼棒；SBPR 95/120  $\phi 32$  mm,  $\phi 26$  mm  
 PC 鋼より線；SWPR 7 B 12 T15.2 mm  
 PC 鋼線；SWPR 1 12  $\phi 7$  mm  
 鉄筋；SD 30 B, SD 35

### 3.3 解析方法と解析モデル

剛結水平梁は図-6に示す二層式門形ラーメンモデルに道路橋柱頭部反力を載荷させて断面力の算出を行った。また、水平梁内部の応力状態を把握するため図-7に示す1/4ソリッドモデルで立体FEM解析を行った。

主桁は7重箱桁橋で広幅員であるうえ、拡幅を有する版状の桁である。そのため格子構造理論に基づき、各格子に作用する断面力(特にねじりモーメント)を正確に

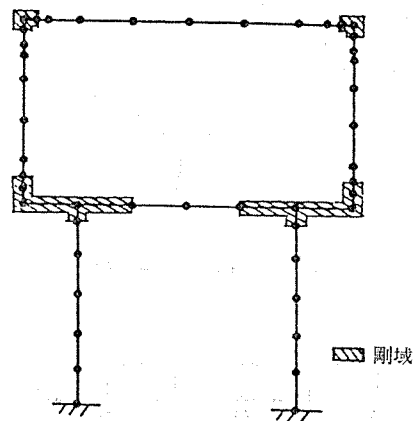


図-6 2層式門形ラーメンモデル

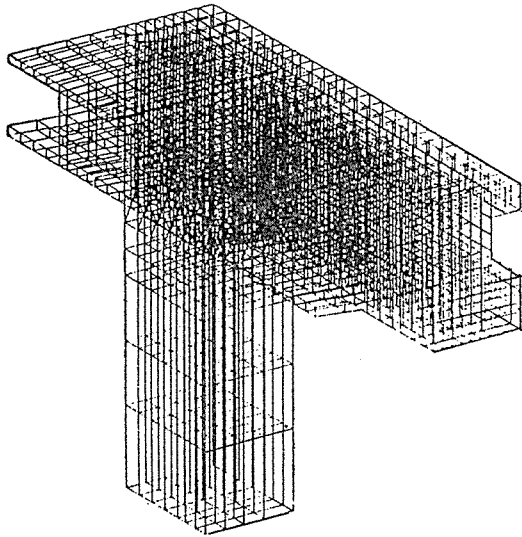


図-7 1/4 ソリッドモデル

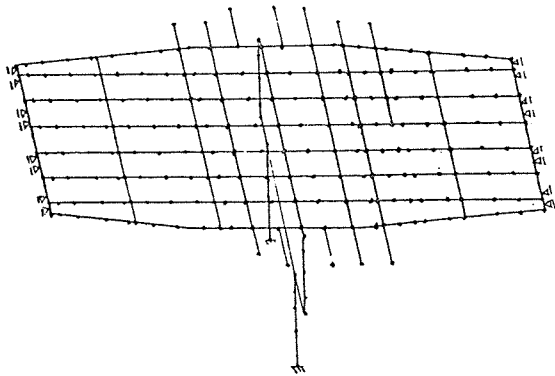


図-8 立体ラーメンモデル

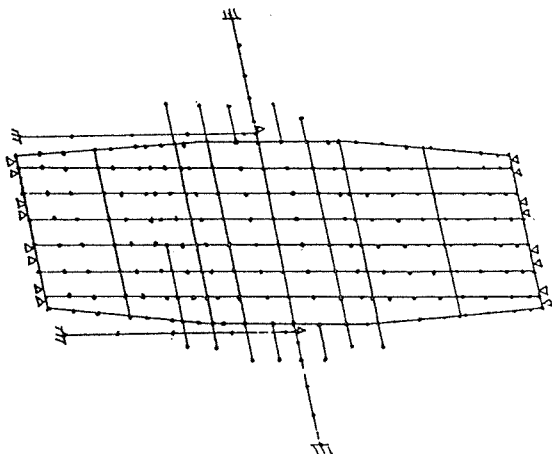


図-9 平面格子モデル

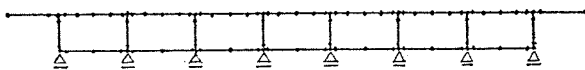


図-10 7 Box ラーメンモデル

把握できる立体ラーメンモデル(図-8)を用いた。活荷重については図-9に示す平面格子モデルを用い、等荷重  $L$  荷重を移動載荷し各主桁の最大・最小断面力を算出した。

横方向は図-10に示す7Box ラーメンモデルで解析を行った。

### 3.4 検討および設計

#### 3.4.1 主方向の設計(道路桁)

##### (1) 断面力の算出

本橋は施工方法としてディビダーク式カンチレバー工法を用いるため、施工時と完成時においては構造系が異なる。このためクリープおよび乾燥収縮の進行に伴い断面力が長期にわたり変化し、桁完成直後のものから完成系へと移行してゆくことになる(図-5 5), 6), 7) 参照)。

そこで断面力の算出にあたっては施工時系(張出し施工時, 側径間施工時)と完成時系(施工完了直後, 全支保工施工時)設計時(クリープ進行中と完了時)における応力度の照査を行った。

また, 移行した断面力の算出には Dischinger の公式を用いた。以下にその公式を示す(公式-1)。

$$X_t = X_B + (X_L - X_B) \cdot (1 - e^{-\varphi t}) \dots \dots \dots (1)$$

ここに,  $X_t$ : 時間  $t$  における断面力

$X_B$ : 主桁完成直後の断面力

$X_L$ : 全支保工施工した場合の断面力

$\varphi t$ : 時間  $t$  における残留クリープ係数

##### (2) 断面力図

完成系における曲げモーメントを図-11, 12, 13, 14に示す。

##### (3) 応力度の検討

設計荷重による断面力に対して各主桁ごとに応力度が許容値内におさまるように, 図-15, 16に示すと通りのPC鋼棒を配置した。特に陸側耳桁( $G_s$ 桁)は, 拡幅による影響を大きく受けることから, 曲げ応力度および斜引張応力度について十分な検討を行い配置を決定している。

#### 3.4.2 横方向の設計(道路桁)

##### (1) 断面力の算出

主桁断面形状の変化や床版拡幅等を考慮し, 図-17に示す値において単位幅あたりの断面力をフレーム解析により算出した。

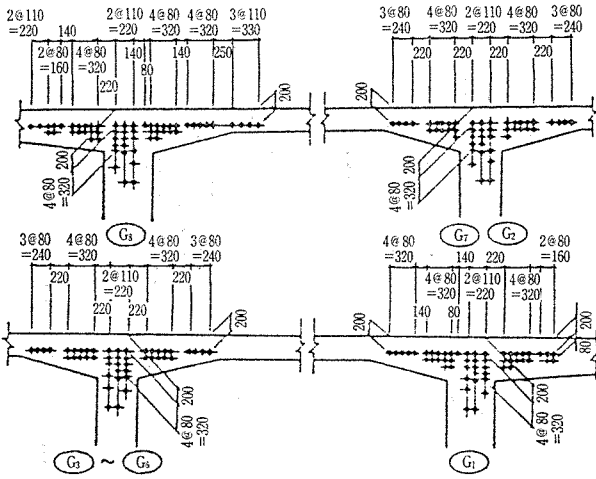
##### (2) 断面力図

検討断面①における曲げモーメントを図-18, 19, 20に示す。

##### (3) 応力度の検討

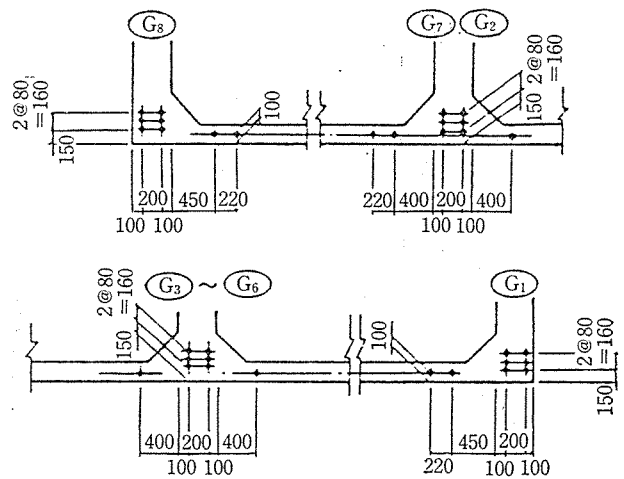
上床版についてはPC車道床版としての検討を行い,





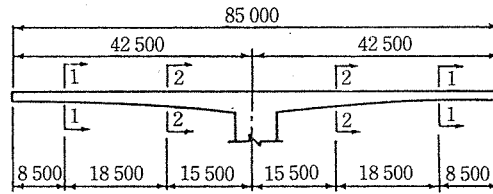
PC鋼棒φ32(SBPR 95/120), NP=344

図—15 柱頭部 PC 鋼棒配置

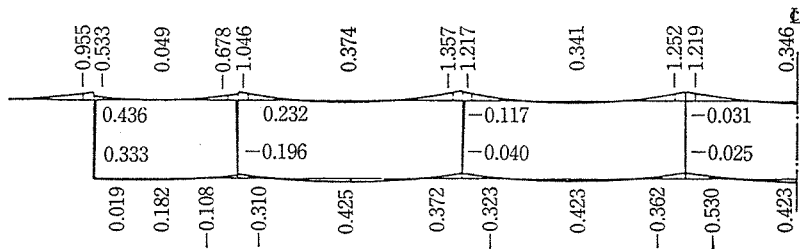


PC鋼棒φ32(SBPR95/120), NP=120

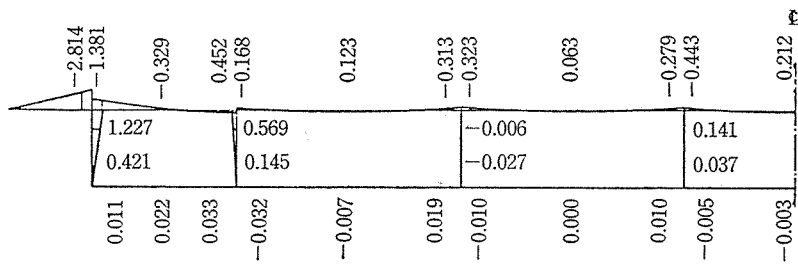
図—16 径間中央部 PC鋼棒配置



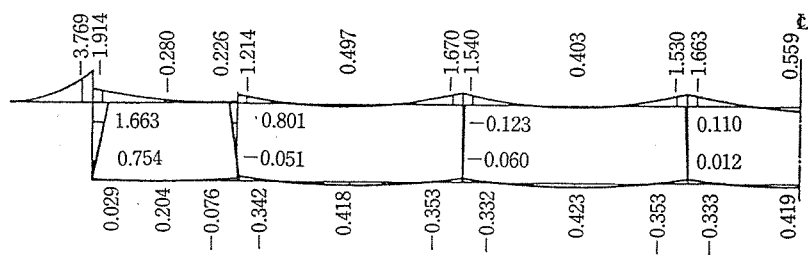
図—17 横方向検討位置



図—18 自重曲げモーメント図



図—19 橋面荷重曲げモーメント図



図—20 全死荷重曲げモーメント図

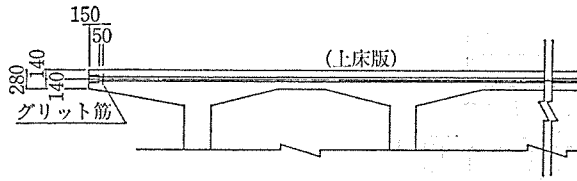


図-21 配置断面図

ウェブ、下床版は Box ラーメン構造として算出された断面力に対し RC 部材としての検討を行った。検討の結果、横締め PC 鋼材には SWPR 1, 12φ 7 mm を用い @ 45 cm で配置した (図-21)。

### 3.4.3 剛結水平梁の設計

#### (1) 断面力の算出

図-6 で示した 2 層式門形ラーメンモデルに道路橋からの反力を分布荷重として載荷し、断面力を算出した。ねじりモーメントについては立体ラーメンモデルにより算出された値を用いた。活荷重によるねじりモーメントは 図-22 に示す 2 種類の偏載ケースについて算出した。

また、下層柱・下層梁の部材断面が非常に大きいことから、部材のせん断変形を考慮した場合の断面力についても算出し比較検討を行った。

ラーメン節点部は断面力による応力の方向が急変し、応力の伝達機構が複雑である。ここでは「道路橋示方書」10-3 に基づいて引張応力度に対する補強鉄筋の算定を行った。

#### (2) 断面力図

全死荷重時における部材のせん断変形を考慮する場合としない場合についての曲げモーメントを 図-23, 24 に示す。さらに地震時のねじりモーメントを 図-25 に示す。

#### (3) 応力度の検討

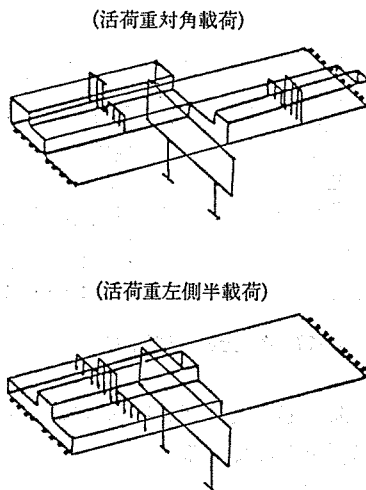


図-22 ねじりモーメント算出用活荷重載荷

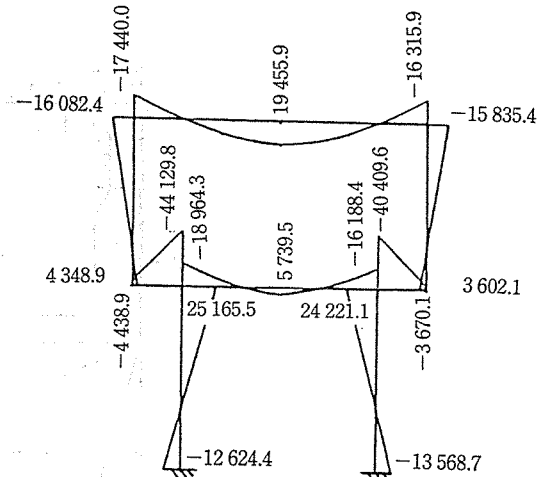


図-23 全死荷重時曲げモーメント図 (せん断変形無視)

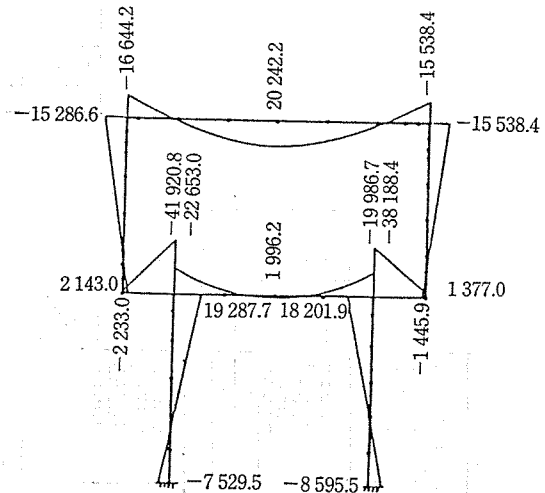


図-24 全死荷重時曲げモーメント図 (せん断変形考慮)

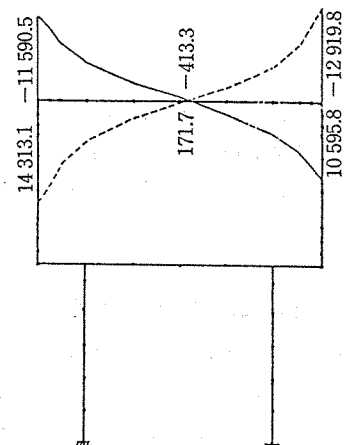
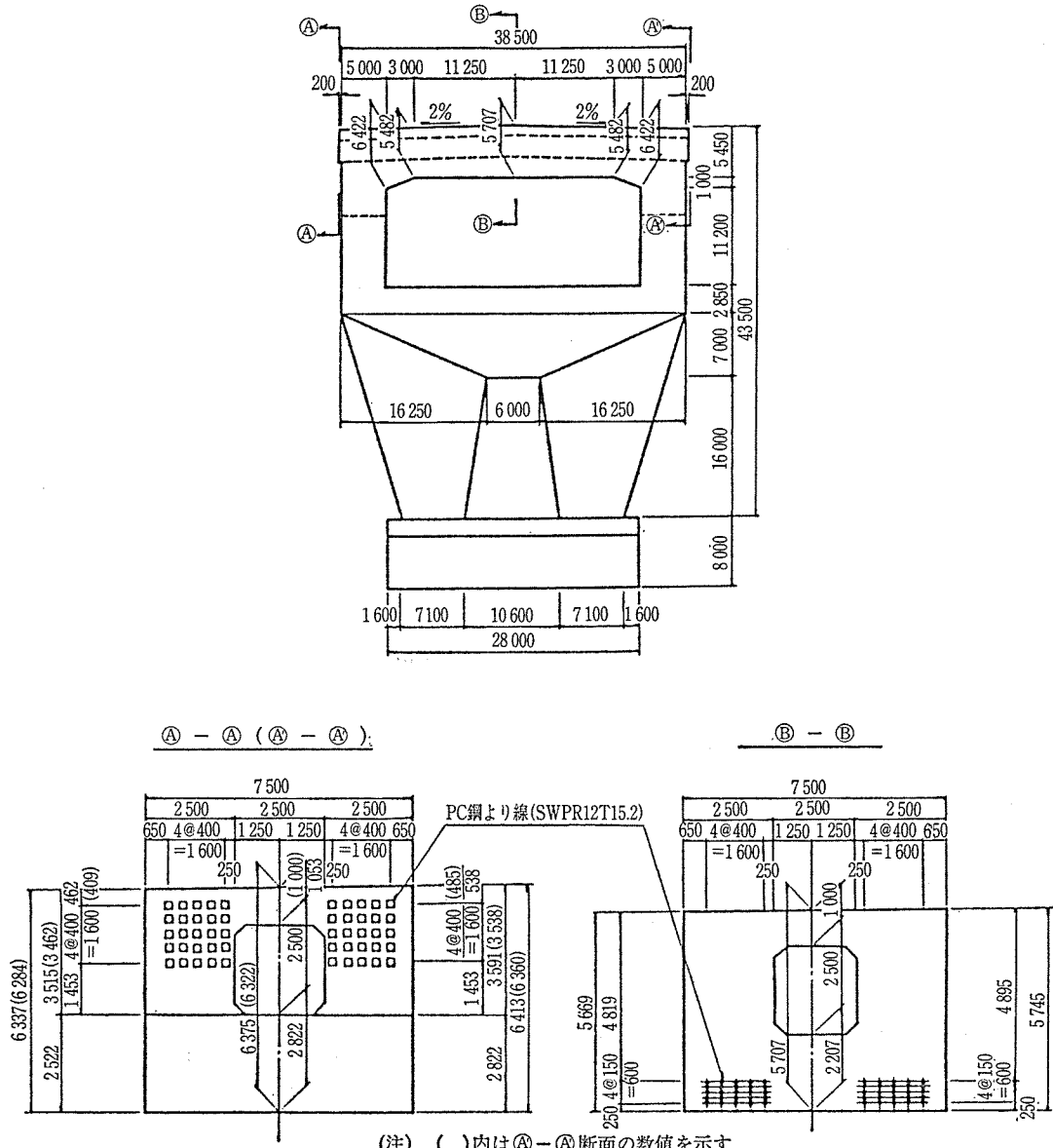


図-25 地震時ねじりモーメント図

設計荷重による断面力に対して応力度の検討を行った結果、図-26 に示すように PC 鋼材 SWPR 7B 12 T 15.2 mm を 50 本曲線配置した。せん断力、ねじりモー



(注) ( )内はA-A断面の数値を示す

図—26 剛結水平梁 PC 鋼材配置図

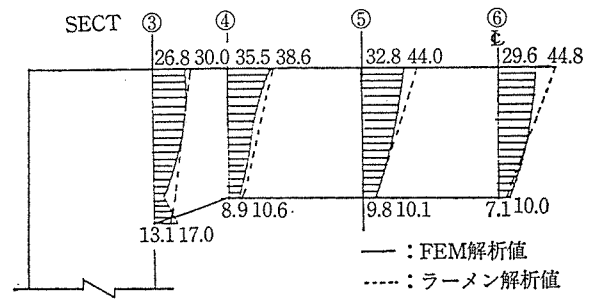
メントに対しては抵抗断面が大きいことからすべて鉄筋 (スターラップ D 29, D 25) で対処した。またラーメン隅角部 (節点部) に生ずる斜対角線方向引張力に対しても十分な補強を行った。

(4) FEM 解析

剛結水平梁は 図—26 に示すごとく梁部に通行用開口部 (2.5×2.5 m) を有し、道路橋主桁から剛結水平梁に伝わる応力度の流れはかなり乱れ、局部応力の発生が予想された。そこでコンクリートの乾燥収縮・温度変化による 2 次応力以外の荷重について考慮し FEM 解析を行い、以下のような結果を得た。

1)  $\delta_x$  分布

FEM 解析値とフレーム解析値を比較すると FEM 解析値の方が小さな値となり、その分布は 図—27 に示す



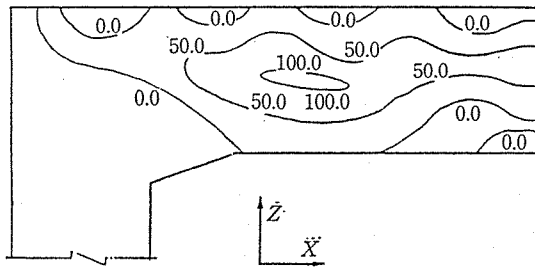
図—27  $\delta_x$  分布比較図 (kgf/cm<sup>2</sup>)

ように単純な曲げ応力度分布とはなっておらず、明らかに開口部の影響を受けている。

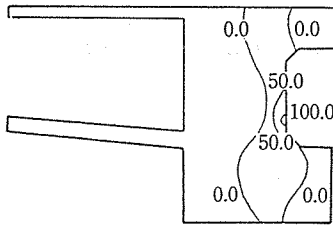
2)  $\delta_z$  分布

図—28 に示すように剛結水平梁全域にわたり、開口





側面図



断面図

図-28  $\sigma_z$  分布図 (tf/m<sup>2</sup>)

部に沿って鉛直方向引張力が生じている (Max-11.4 kgf/cm<sup>2</sup>)。この引張力は上縁から下縁まで分布していることからプレストレスによる補強を行った (図-29)。

#### 4. 施工

##### 4.1 工事概要

岩黒島高架橋は図-2, 3, 4 に示すとおり, IVa 1P と水平梁部で剛結された2径間連続ラーメン桁橋で, 幅員はバスストップ等により, 30.5 m から 38.5 m に連続的に変化しており, また, 桁高は柱頭部において  $H=$

3.5 m, 桁端部において  $H=1.7$  m で, その間を二次放物線変化で結んでいる。さらに柱頭部はバス停接続用階段を含む幅がなされており, 非常に複雑な構造となっている。主桁はディビダーク式カンチレバー工法により施工し, 剛結梁部, 側径間部は支保により幅部は吊支保による施工を行った。

つづいて工事の概要を以下に示す。

工事名: 岩黒島高架橋 PC 上部工工事

工期: 昭和 59 年 9 月~昭和 63 年 3 月

構造形式: 2 径間連続変断面立体格子桁橋 (7 重箱桁)

支間:  $S=42.500$  m+ $42.500$  m (橋長  $L=92.566$  m)

幅員:  $B=30.395$  m~ $38.500$  m

勾配: 縦断勾配 1.0%, 横断勾配 2.0%

(詳細は 3.2 を参照)

主要材料を以下に示す。

コンクリート: ( $\sigma_{ck}=400$  kg/cm<sup>2</sup> PC 部,

$\sigma_{ck}=240$  kg/cm<sup>2</sup> RC 部) 5 450 m<sup>3</sup>

鉄筋: (SD 30 B, SD 35) 710 ton

PC 鋼材: (SBPR 95/120  $\phi$  32 $\cdot\phi$  26,

SWPR 7 B 12 T15.2,

SWPR 12  $\phi$  7)

203 ton

工事の概要写真を写真-1 に示す。

写真-1 は工事最盛期の全景を上空より撮影したものであり, 向かって左側が櫃石島橋, 右側が岩黒島橋である。岩黒島上の HB 4 P と IB 1 P 間の IVa 1 P から両斜長橋に道路桁, 鉄道桁のワーゲンが伸びている。

IVa 1 P の島内側に位置するループ橋は岩黒島連絡路であり, バス停から島内へ昇降するためのエレベータ

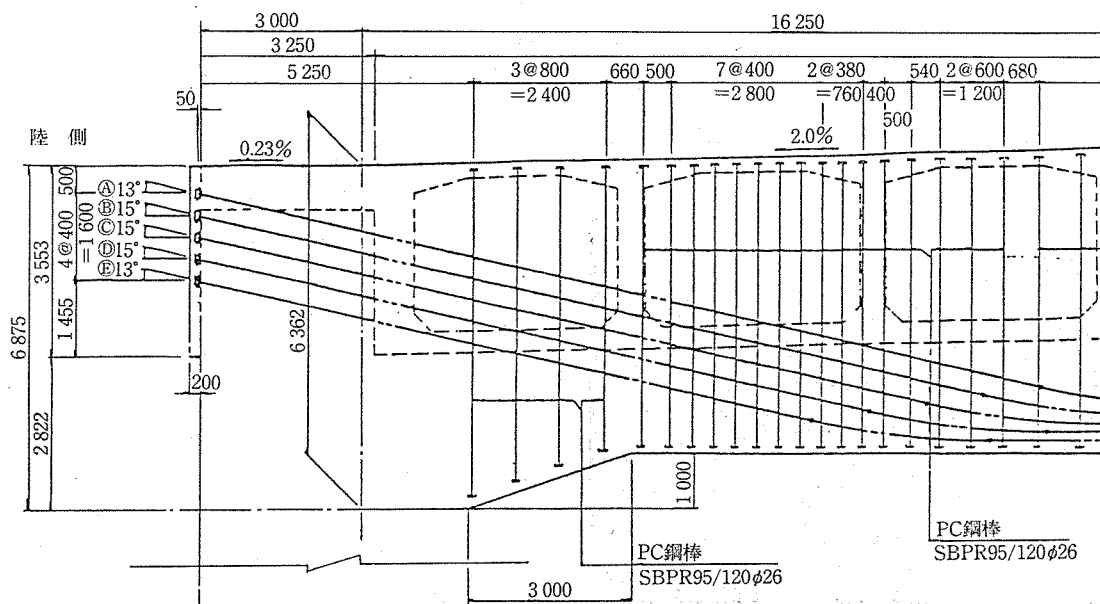
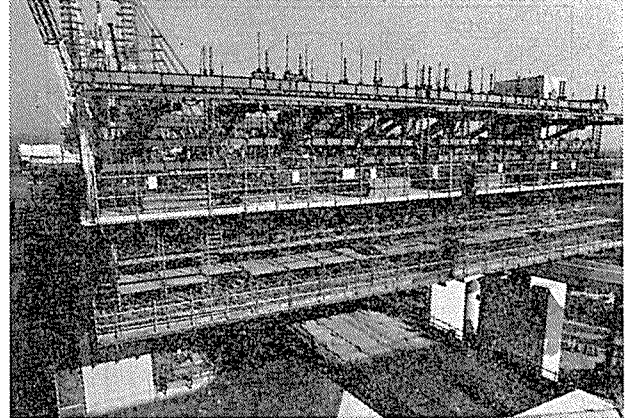


図-29 PC 鋼材配置



写真—1 工事全景



写真—3 ワーゲン全景

一塔と小型の緊急自動車専用 13 径間連続非合成鋼曲線箱桁橋が高架橋と連結して架設されている。

## 4.2 施工

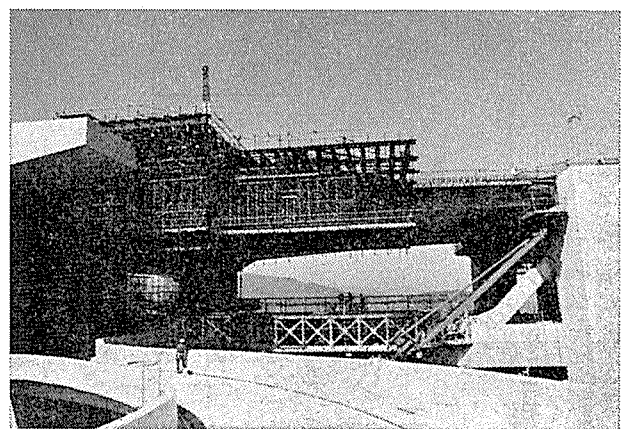
### 4.2.1 施工順序

全体の施工順序を 図—5 に示す。道路桁剛結水平梁と鉄道桁柱頭部を同時に施工し（写真—2）、鉄道・道路桁とも順時ワーゲンによる張出しを行う（写真—3）。

さらに道路桁は柱頭部付近の拡幅部を施工してから（写真—4）、側径間をブラケット支保工で行っている。

### 4.2.2 柱頭部施工

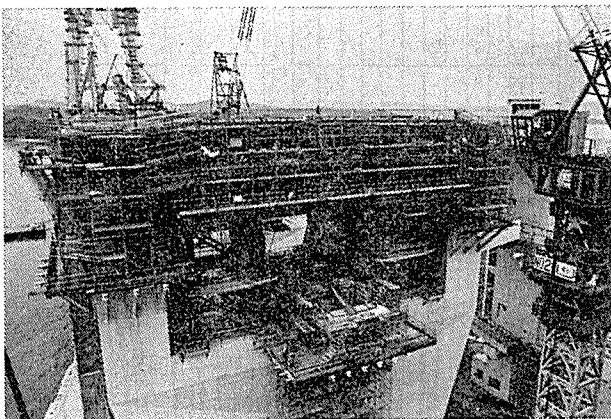
道路桁、鉄道桁同時施工のため 図—30 に示す支保工を用い、柱頭部のコンクリートは柱部 2 層、剛結水平梁部 4 層の計 6 層にわけて打設を行った。コンクリートの強度が PC 鋼材を緊張した時に生ずる圧縮応力  $124.6 \text{ kg/cm}^2$  の 1.7 倍以上を十分に満足する  $\sigma_c = 280 \text{ kg/cm}^2$



写真—4 拡幅部支保工全景

表—1 柱頭部 PC 鋼材緊張順序

施工箇所	PC 鋼材種	緊張順序
橋軸方向 PC 鋼棒	SBPR 95/120 $\phi$ 32	中央桁側から端桁側に
橋軸直角方向 PC 鋼より線	SWPR 7B 12T 15.2	梁人孔側から梁外側に
鉛直方向 PC 鋼棒	SBPR 95/120 $\phi$ 26	梁中央部から柱部に



写真—2 柱頭部施工状況

になった時点で緊張を行った。緊張手順を表—1 に示す。

### 4.2.3 ワーゲン施工

ワーゲンは桁製作の際の型枠支保工および足場支持の役目を果たし、型枠組立から緊張の一連作業をその上で行う。

ワーゲンは 図—31、32 に示す菱形フレーム、大梁、吊材、型枠受材、作業台材と油圧ジャッキ、自走装置から成り立つ。さらに道路桁では側径間に向かって桁幅が減少してくるので、外側フレームにはモーター駆動による横取り装置を取付け橋軸直角方向の移動を可能にしてある。

岩黒島高架橋では児島側、坂出側に 4 連のワーゲンを 2 セットずつ、計 4 セット搬入し、桁中央部を幅 1600 mm 残して一連の作業を行い、中央部と横桁は 1 サイクル遅れて施工を行っている（写真—5：外桁部のスライドルールの角度が他のレールと違っているのがわかる）。

なお、ワーゲン最下段足場は全面足場板で塞ぎ、外面は幅木と安全ネットを設置し飛来落下災害の防止対策を行い安全性の向上に努めている（写真—3）。

ワーゲン部の施工は 図—33 のフローによって行われ

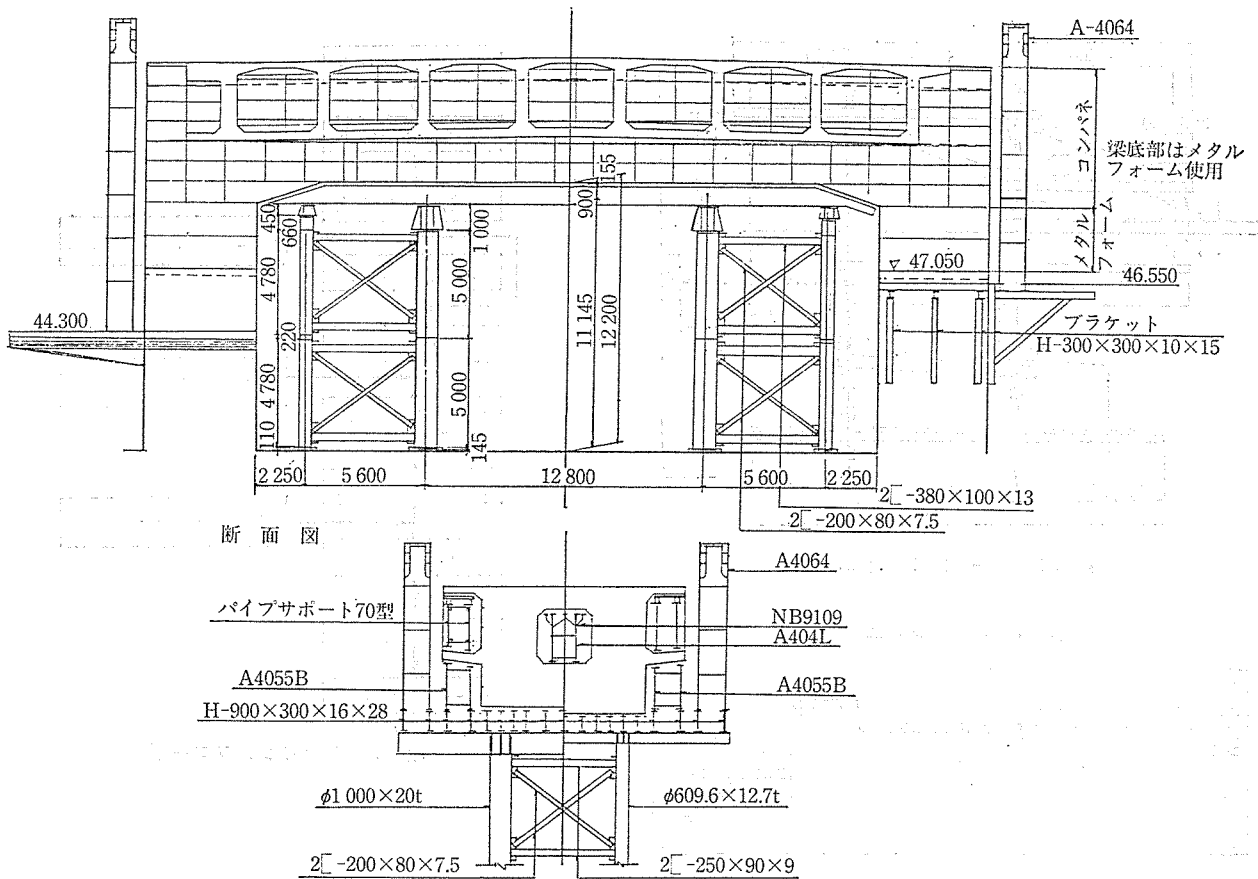


図-30 柱頭部支保工

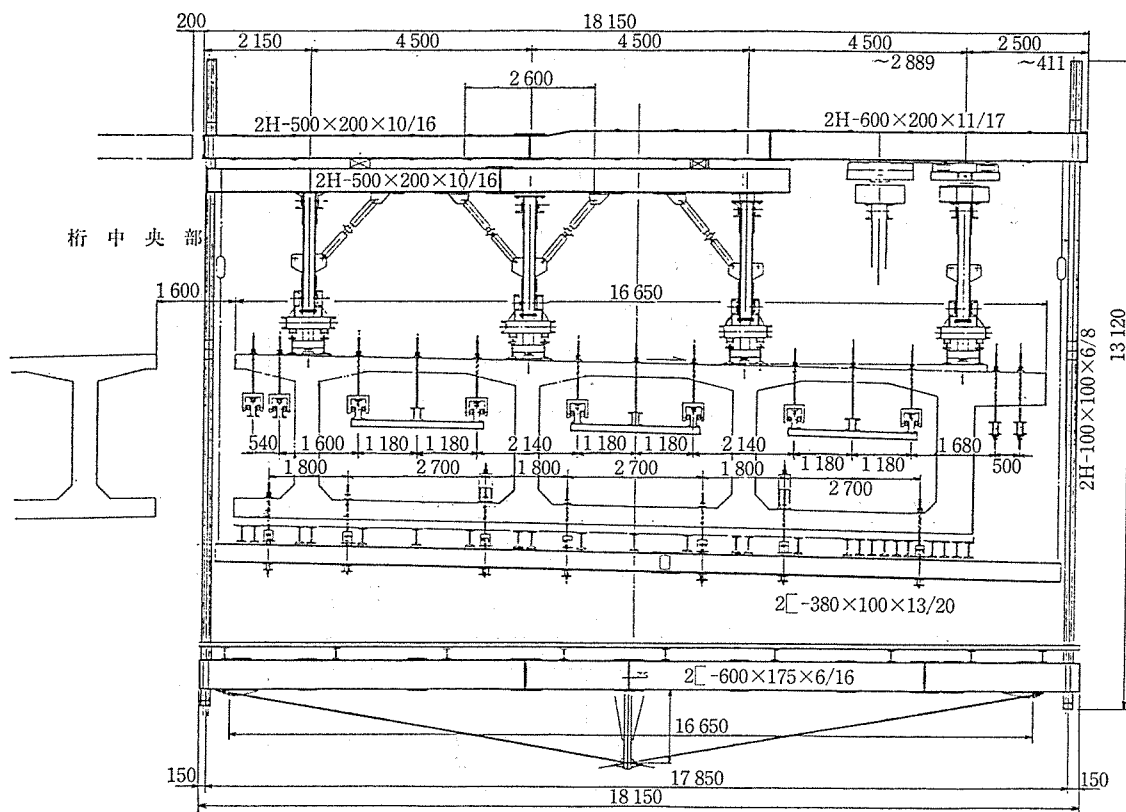


図-31 ワーゲン側面図

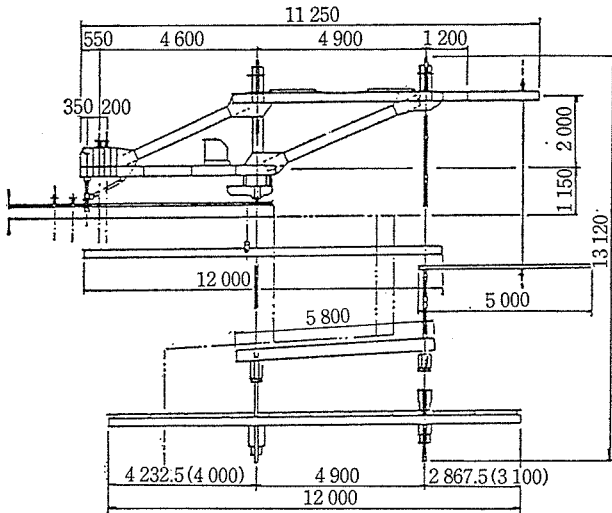


図-32 ワーゲン断面図

表-2 1 サイクル工程

工種	延日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
型 枠 組 立		■														
鉄筋・PC鋼材組立		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
コンクリート打設												■	■	■	■	■
養 生												■	■	■	■	■
型 枠 解 体																■
緊 張																■
ワーゲン移動																■

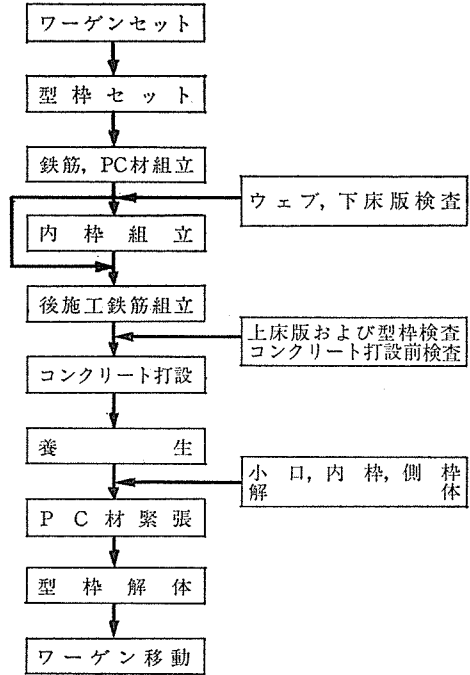


図-33 1 サイクルフロー図

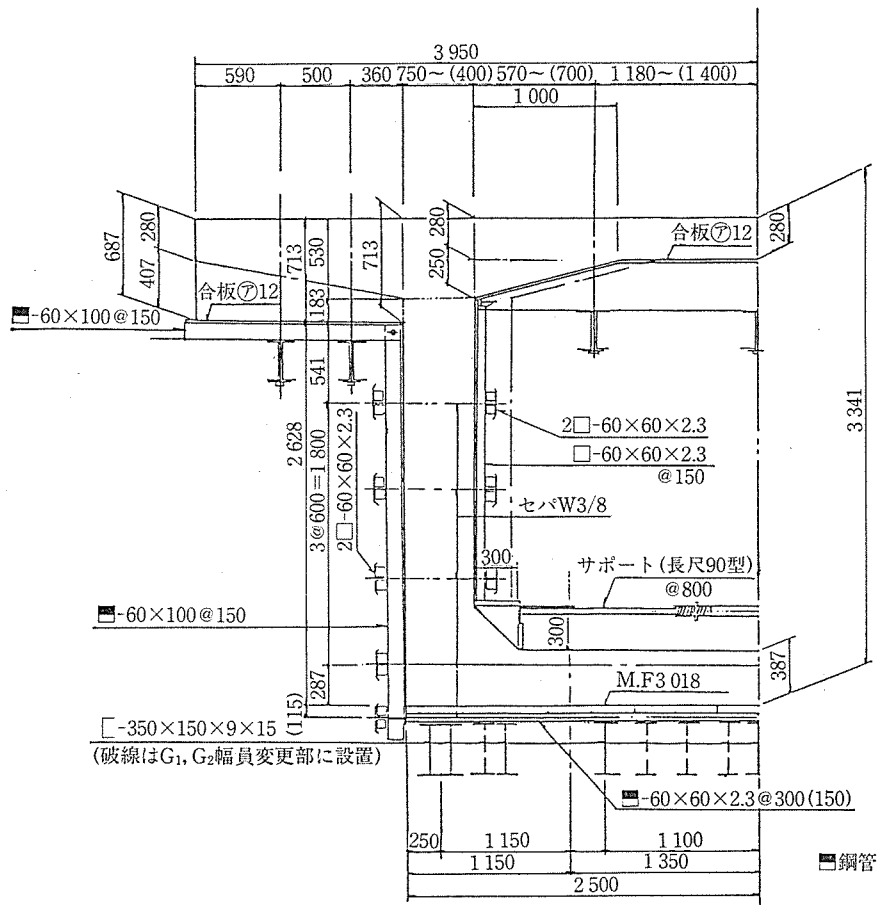


図-34 型枠割付け図

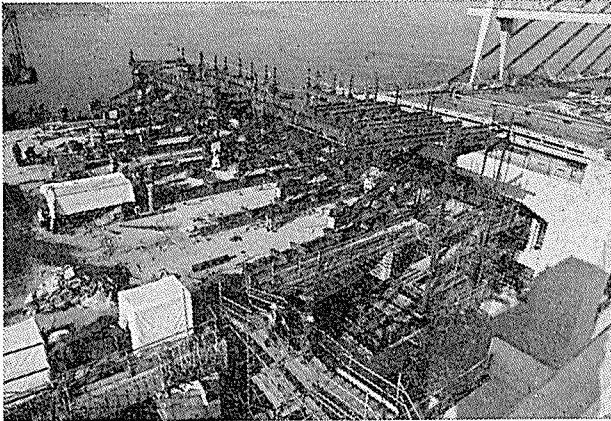


写真-5 ワーゲン施工状況

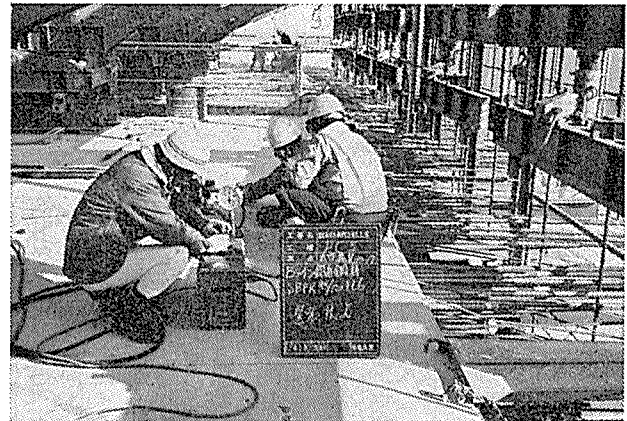


写真-6 鋼棒緊張状況

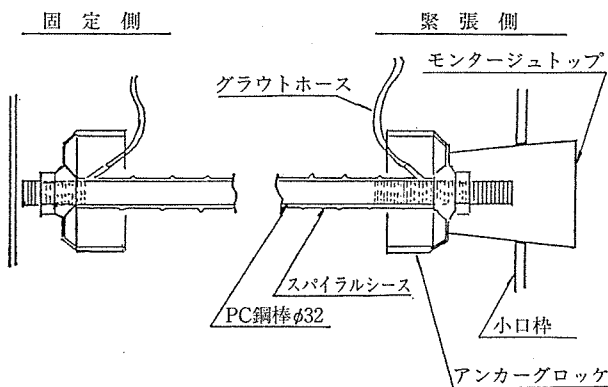


図-35 PC鋼棒定着具

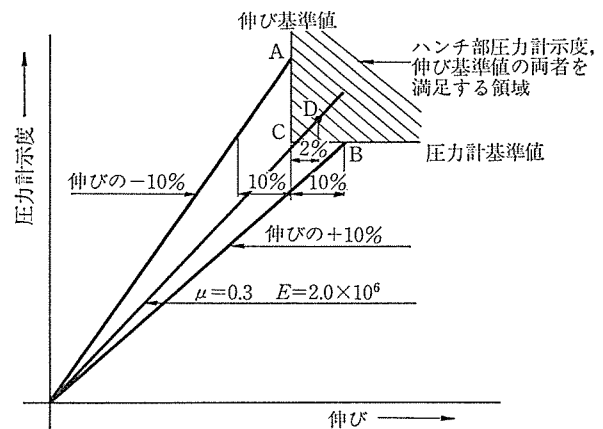


図-36 鋼線緊張管理図

た。また1サイクルの工程を表-2に示す。

(1) 型枠工

4連4基のワーゲンをセットした後、型枠は図-34に示すとおり、底面にメタルフォーム、外・内面、張出しスラブは化粧合板、小口は合板を使用している。

(2) PC緊張工

道路桁張出し架設に使用するPC鋼材は、主鋼棒φ32 (SBPR 95/120)、せん断鋼棒φ26 (SBPR 95/120)、上床版横締め鋼材12φ7 (SWPR 1)を使用する。図-35に主鋼棒の定着具を示す。

鋼棒の緊張工はディビダーク式ジャッキおよび油圧ポンプを使用している。管理はユーバスタンドメジャー

表-3 許容誤差 (伸び測定器) による緊張前後のPC鋼棒のナットからの突出量の差によって求める。さらにポンプ圧力計のマノメーター示度による緊張力との比較を行い、差の平均が表-3以

組の数	許容誤差
4	5%
6	4%
10以上	3%

表-4 配置精度の管理基準

鋼材種別	規格	管理精度
主鋼棒φ32	SBPR 95/120	鉛直方向の偏位 ±10 mm
せん断鋼棒φ26	SBPR 95/120	定着間隔 175 mm 以上
横締め鋼線	SWPR 1 12φ7	鉛直方向の偏位 ±5 mm

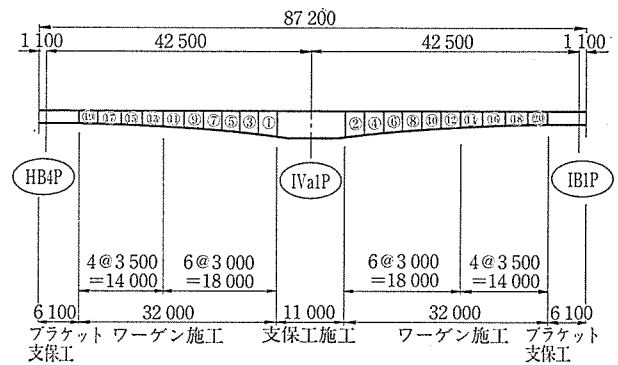


図-37 ワーゲン施工ブロック割図

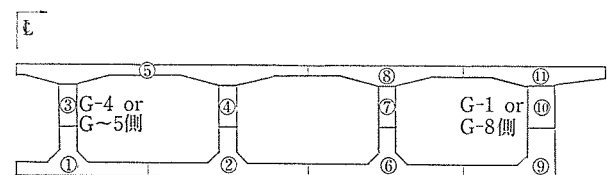


図-38 ブロック内打設順序図

上になる時はキャリブレーションを実施して誤差の原因を確かめることにしていたが、今回の緊張においては誤





差を上まわることなく全数、規定の管理を行うことができた。鋼棒の緊張作業を写真—6に示す(せん断鋼棒)。

鋼線の緊張工は摩擦係数  $\mu=0.3$ 、ヤング係数  $E=2.0 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$  として緊張計算を行い、所定の緊張力を与えるための圧力計の示度、および拔出し量を計算し、これを基準値として圧力計の示度および拔出し量のいずれもが基準値より低くならないように引止め点を決定し、管理を行った(図—36)。また、鋼棒、鋼線とも所定の緊張力が導入できるようにするため、鋼材配置の精度を表—4の基準で管理した。

### (3) 鉄筋工

鉄筋はSD 30 B と SD 35 を使用した。継手は柱頭部にはガス圧接継手、バスストップの拡幅部には機械式継手を各々必要箇所施工している。

### (4) コンクリート

岩黒島高架橋のコンクリートはPC部(桁・柱頭部等)に早強セメント、RC部(壁高欄、地覆、給水管受台、階段等)に高炉B種セメントを使用し、岩黒島々内にあるバッチャープラントにて製造を行った。コンクリートの打設は図—37に示すとおり全体を20ブロックに分けて施工している。道路桁のコンクリートは約1900

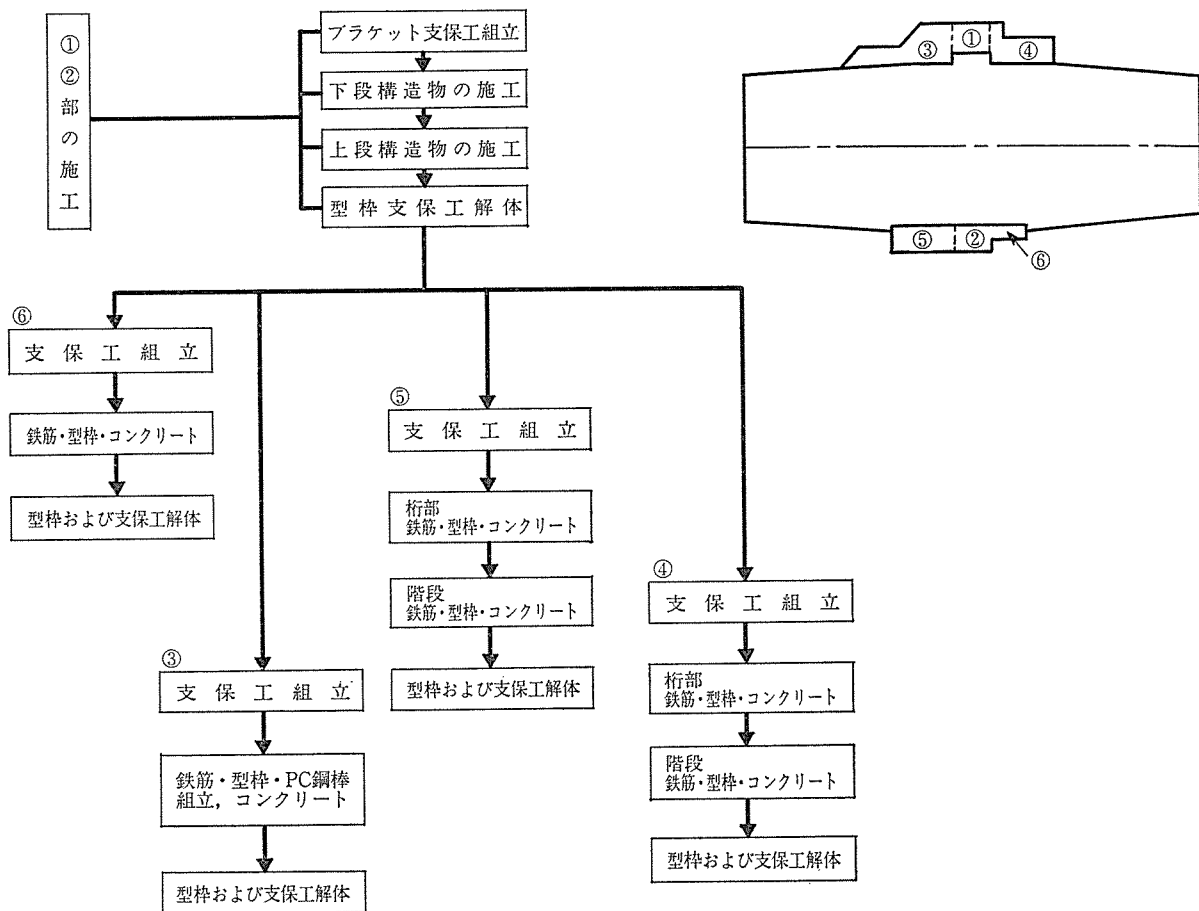
m<sup>3</sup> あり、1ブロック平均 95 m<sup>3</sup> の打設量があり、TP 5.0 m の地上からコンクリートポンプ車による配管打設を行った。また、1ブロックの打設順序は中央桁から外桁側へ図—38の順で打設している。また、壁高欄、階段等の少量コンクリートはクレーンによるバケット打設も行っている。

各鉛直打継目はコンクリート打設前に打継目処理剤を小口型枠に散布し、翌日脱型後高圧洗浄を行い、粗面にすることで処理している。

養生は乾燥および急激な温度変化による有害な影響を受けないように、仕上げ面に被膜剤を散布し、被膜養生を行ったうえで、養生シートを張り、散水し湿潤状態を保って養生した。

### 4.2.4 拡幅部施工

拡幅部とはIVa 1P 橋脚上付近の東西両側のバス乗降用マウンドアップ、待合所、連絡通路昇降用階段、東側はさらに岩黒島連絡路への進入広場をさす。拡幅の構造寸法を図—39、40に示す。施工はIVa 1P 橋脚部分より着手し図—41のフローにより行った。支保工は橋脚部がブラケット式、その他の箇所は吊支保工を用いた。支保工の構造を図—42、43に示す。型枠は高所狭



図—41 拡幅部施工フロー図



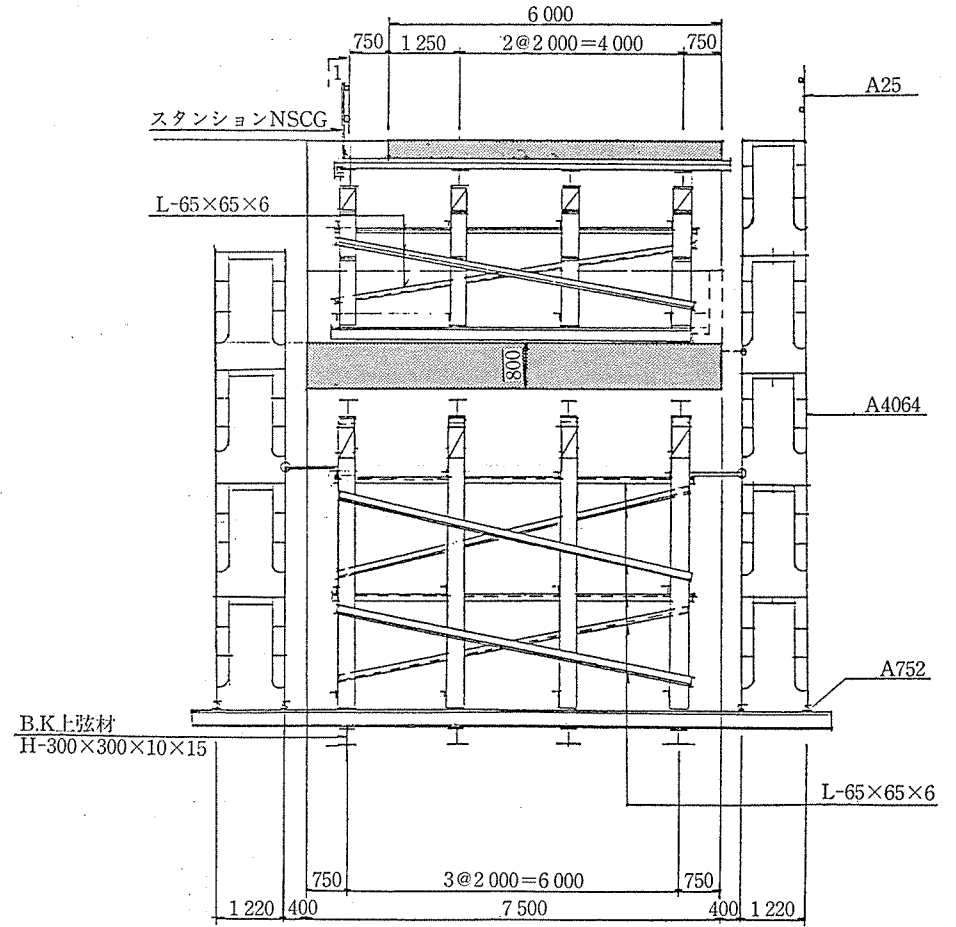
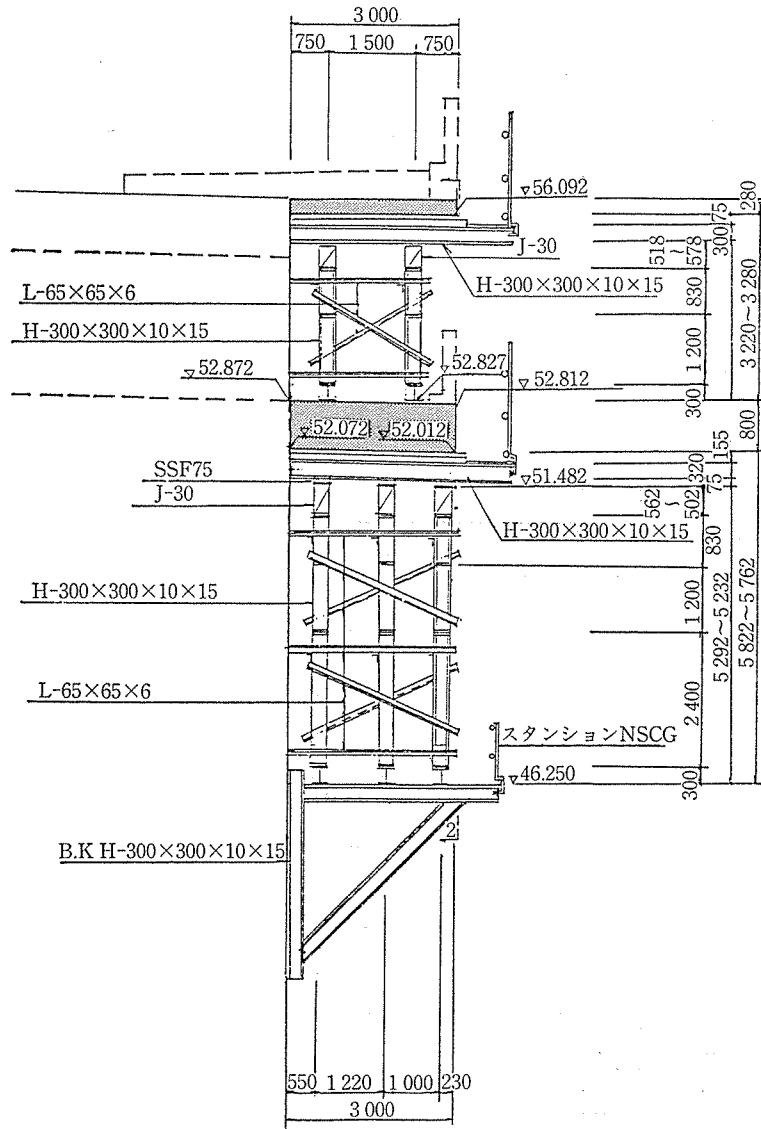


図-42 ブラケット支保工一般図 (海側)



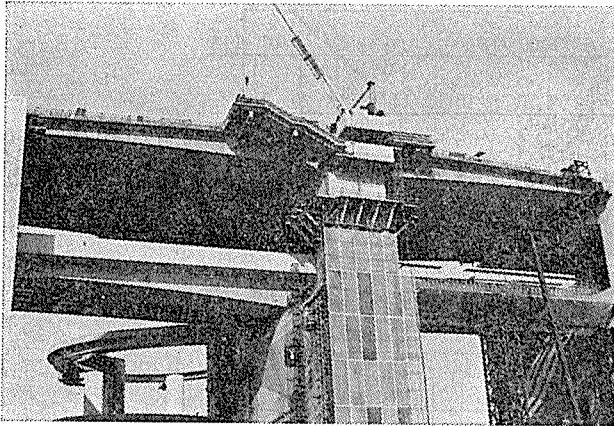


写真-7 拡幅部施工状況 (海側)

隘箇所のため施工場所で組み立てている。コンクリートは一打設量最大 87.0 m<sup>3</sup> でワーゲン施工部と同様にポンプ打設を行った。PC 鋼材の緊張も SBPR 95/120 φ 32 mm でワーゲン施工部と同じ管理をした。安全対策としては、落下および墜落防止のため、ブラケット支保と吊支保部上面に全面足場板を敷きつめている。

拡幅部の施工は、型枠の複雑な組合せが非常に多く、打設にも労力がかかる割りに、施工量としてはかどらず予想外に手間どらされた箇所であった (写真-7)。

#### 4.2.5 側径間施工

側径間の施工は支承セットの関係から、拡幅部の吊支

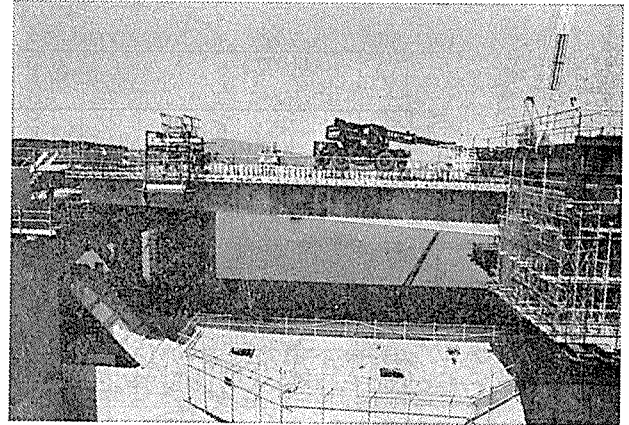


写真-8 側径間施工状況  
(支保工組立段階で右に写っている拡幅部支保工はコンクリート打設前に撤去する)

保工、ワーゲン本体による仮設材荷重撤去完了後、桁閉合前の最終段階で HB 4 P, IB 1 P 両橋脚に 図-44 に示すブラケット支保工を設置しコンクリート打設を行っている。

コンクリート・鉄筋・PC 鋼材のいずれもワーゲン施工部と同じ施工方法、管理を行った。

側径間の施工状況を 写真-8 に示す。

側径間のコンクリートは昭和 62 年 6 月打設され、PC 緊張も終了して、桁は閉合、構造系も施工時系から完成時系へと移行した。

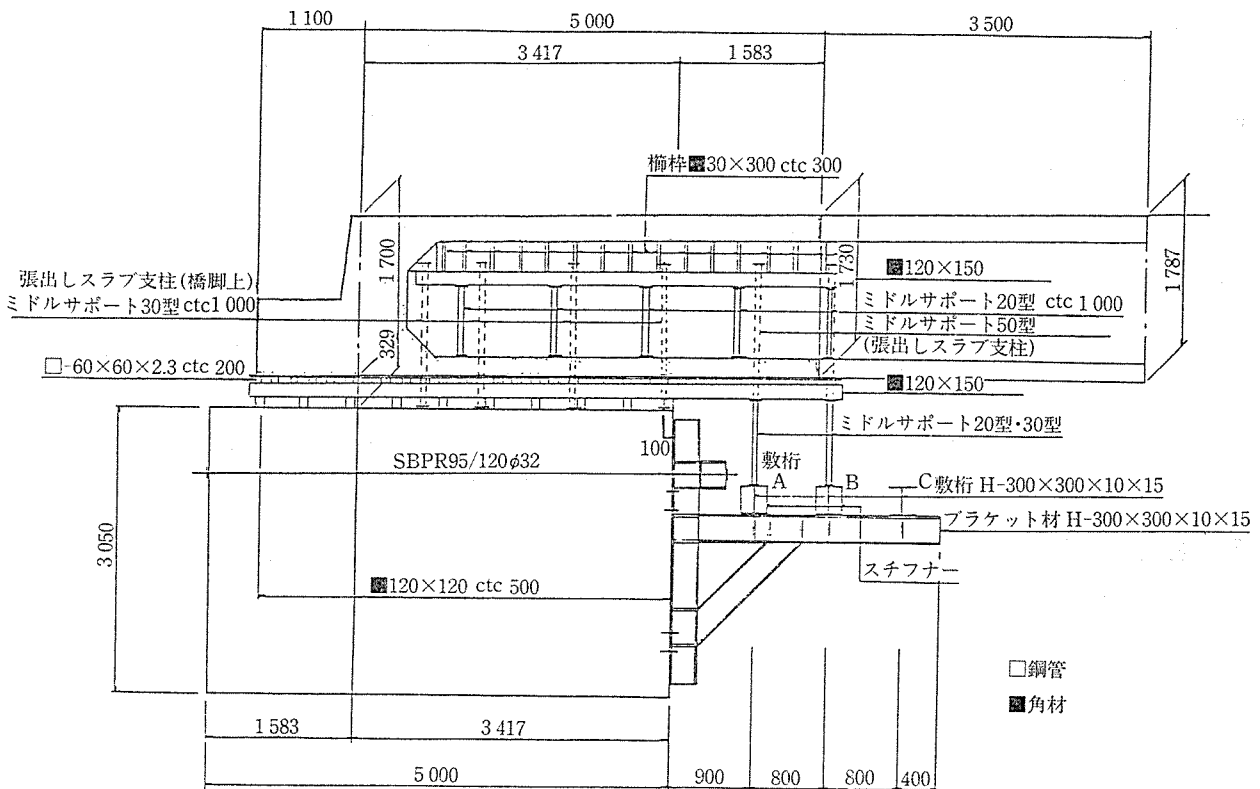
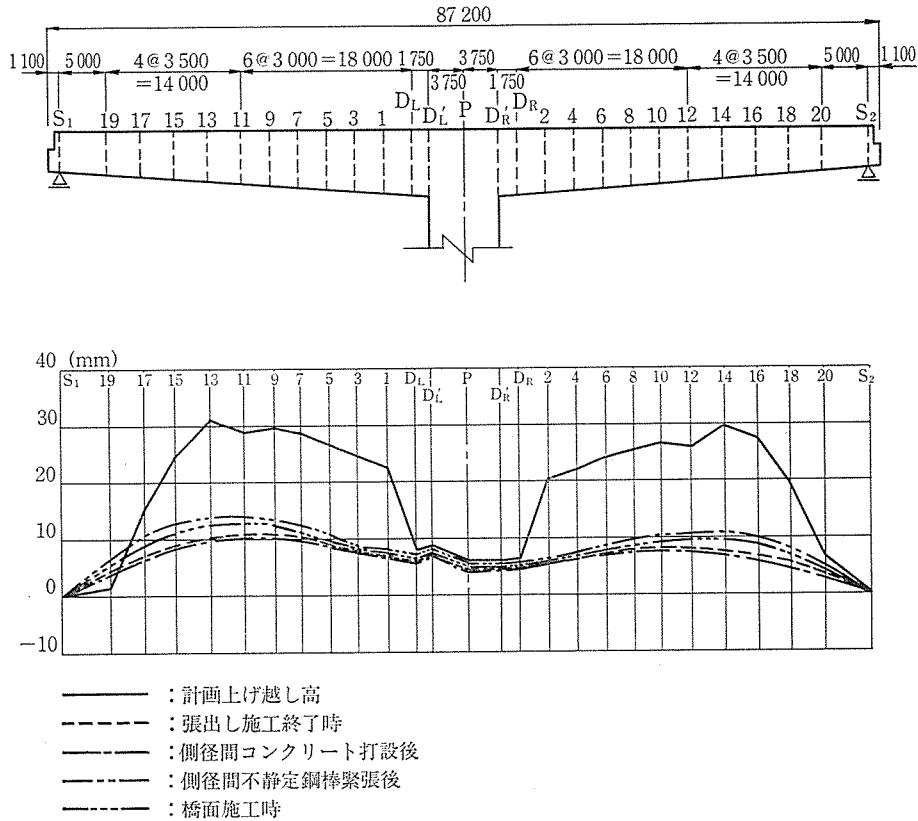


図-44 側径間支保工



図—45 各施工段階における橋面施工高

### 4.3 上げ越し管理

本橋は変断面立体格子桁橋であり、ワーゲンによるカンチレバー工法で施工を行っているため、クリープ終了時の橋面高さが所定の高さになるように、施工中の桁自重、ワーゲン荷重、プレストレス、橋面荷重等の各施工段階の変位量および施工終了後のプレストレスの減少やクリープ等による変位量を求めて上げ越し量を決定している(図—45)。

さらにワーゲンの弾性変形量についても各ブロックごとの補正を行った。

結果としてワーゲン終了時も側径間終了時においても、たわみ量は計画値とあまり差はなく管理することができた。今後は施工される橋面工による変位や減少プレストレス・クリープ変形による変位をさらに追跡してゆくことにする。

## 5. あとがき

岩黒島高架橋は現在、橋面工および付帯工の施工段階

に入り、その最中である。ルート共用部に唯一橋上にバスストップを持つ橋梁で、バスストップの付属物、さらには岩黒島内連絡路への進入広場があるという非常に複雑な構造となっている。また、他に例を見ない8連のワーゲン施工、吊支保工による拡幅部の施工という、高所狭隘箇所での作業の連続であったが、着工以来、安全対策には充分気を配り無災害施工が続いてきている。今後も高所作業の連続ではあるが、昭和63年3月の竣工に向けてさらに一層安全に注意し、関係者一同取り組んでゆく決意である。

最後に本報告に対し、適切なる御指導、御助言、御協力いただいた関係各位に紙面を拝借して深く謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 福永ほか：岩黒島高架橋(道路橋)の設計について、銭高組技報，No. 11，1987

【昭和62年7月6日受付】