

## 筒石川橋の設計と施工について

永嶋晃\*  
石川勇\*\*  
新川浩†  
梅田均††

### まえがき

北陸自動車道筒石川橋は、新潟市を起点とし滋賀県米原町に至る北陸自動車道の名立 IC～能生 IC 間 (15.2 km) の筒石川に架かる橋長 121 m の PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋である (写真-1)。

架橋地点は JR 北陸本線筒石川駅 (地下駅) の北西約 0.4 km に位置し、その付近の地形は標高 200 m 程度の丘陵地形で海岸沿いには急峻な海岸崖が発達しており、この丘陵地に筒石川の侵食作用によって V 字谷が形成されている (図-1)。

筒石川橋は、このような地形上の制約と橋下を交差する筒石川および町道仙納線によって決定された高橋脚を有する比較的強度な不等径間のラーメン橋であるため施工に先だって十分な検討を行った。

検討項目は、設計方針、施工方法、技術的施工管理手法等多岐にわたったが、これらの内容を実施工に反映さ

せることが最も肝要である。

ここに、筒石川橋上部工の設計と施工並びに技術的施工管理の概要についての一部を紹介する。

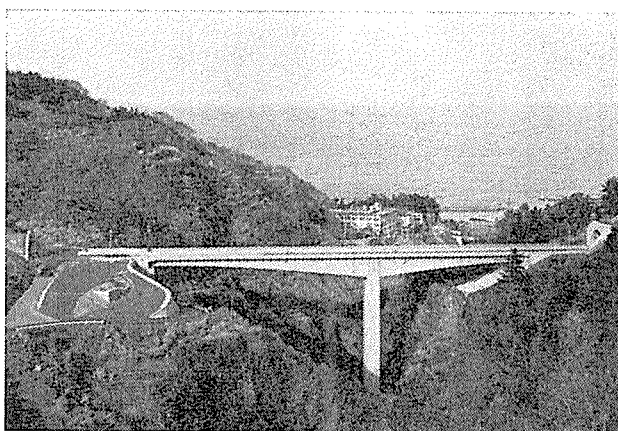


写真-1 筒石川橋

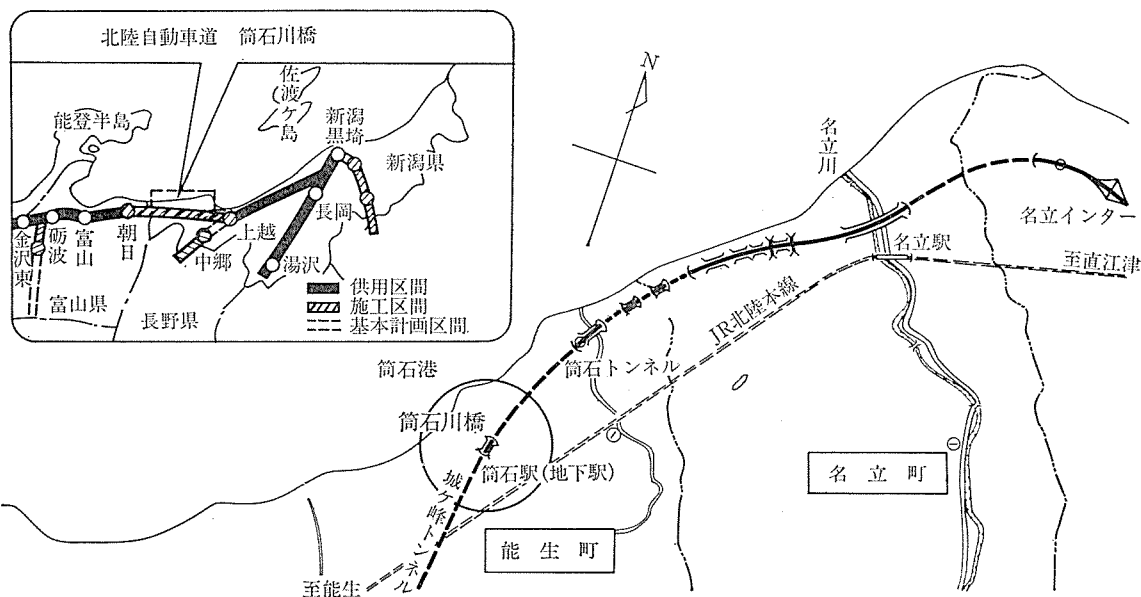


図-1 位置図

\* 日本道路公団新潟建設局構造技術課課長 (前: 上越工事事務所構造工事区工事長)  
\*\* 日本道路公団新潟建設局構造技術課課長代理

† ピーシー橋梁 (株) 筒石川橋工事主任技術者  
†† ピーシー橋梁 (株) 技術本部技術第一部設計課課長代理

1. 構造概要 (図-2 構造一般図参照)

橋種：プレストレストコンクリート道路橋  
 構造形式：2径間連続ラーメン箱桁橋  
 架設工法：移動式作業車による張出し架設工法(一部支保工による施工)

橋格：1等橋  
 橋長：121.000 m  
 支間：49.500 m+70.100 m  
 有効幅員：10.000 m  
 縦断勾配：0.6% /  
 横断勾配：1.5% \

活荷重：TL-20, TT-43  
 設計震度：設計時  $K_H=0.19$   
 (応答を考慮した修正震度法より算定)

温度変化： $\pm 15^\circ\text{C}$   
 温度差： $5^\circ\text{C}$   
 クリープ係数： $\phi=2.6$  (早強セメント 4~7日)  
 乾燥収縮： $\epsilon=20 \times 10^{-5}$   
 PC鋼棒のレラクセーション： $r=3\%, 5\%$   
 (床版横締め)

材料強度および許容応力度：  
 コンクリート 設計基準強度  $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$   
 鉄筋 SD 30  
 許容曲げ引張応力度  
 主桁  $\sigma_{sa}=1800 \text{ kg/cm}^2$   
 床版  $\sigma_{sa}=1400 \text{ kg/cm}^2$

2. 上部工の設計

2.1 設計条件

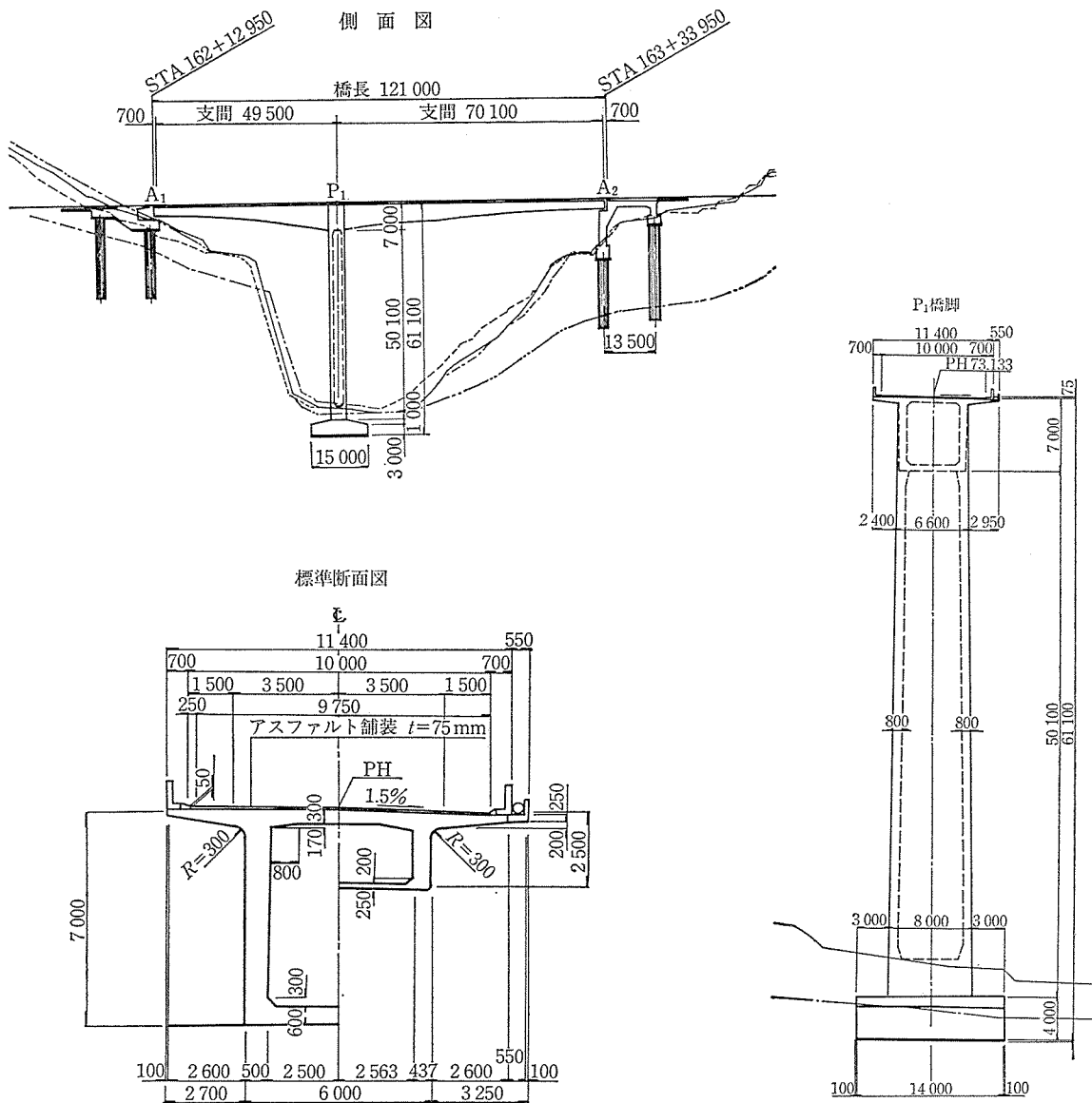


図-2 構造一般図

◇工事報告◇

PC 鋼棒

主 鋼 棒	}	SBPR 80/105 $\phi$ 32 mm
横 締 め 鋼 棒		
水平 沓 用 鋼 棒		
せん 断 鋼 棒	}	SBPR 95/120 $\phi$ 32 mm
柱 頭 部 鉛 直 鋼 棒		

架設用鋼材

アウトケーブル用鋼材 19 $\times$  $\phi$  9.5 mm  
 架設時設計張力  $P_a=0.6 P_u$

2.2 設計の方針

本橋は、完成系において  $A_1$  橋台に水平バネ支承をしているため、非対称 3 次不静定構造のラーメン構造として面内荷重による断面力を算出した (図-3)。

(1) 設計上の水平バネ支承の取扱いについては以下のような条件を付した。

- i) 主桁自重、プレストレス およびクリープにはバネ支承を考慮しない。
- ii) i) 以外の作用荷重、すなわち橋面荷重、乾燥収縮、温度変化、温度差、活荷重および地震の影響にはバネ支承を考慮する。
- iii) バネ支承のバネ定数の値については、橋軸方向の地震について静的解析を行い、 $A_1$  橋台の安定、 $P_1$  橋脚の安定および応力度より検討し、動的解析による確認を行って決定する。
- iv) 設計は決定されたバネ定数の上限値、下限値それぞれについて検討する。
- v) 水平バネ支承は、鉛直軸回りの回転は拘束しないものとして設計する。

(2) 構造解析においては、架設時系、完成系ともに面内断面力を平面フレームで、直角方向地震時の面外断面力は立体フレームによる解析を行った。なお、地震時断面力は橋軸方向、橋軸直角方向ともに平面フレームによる応答スペクトル動的解析を行った。

(3) 詳細設計にフローチャート (図-4) に示すとおり、アウトケーブル工法によって架設する部分については、架設時および完成時ともに応力度の照査によって安全性を確認した。

アウトケーブルの利点は、完成系の曲げモーメントと

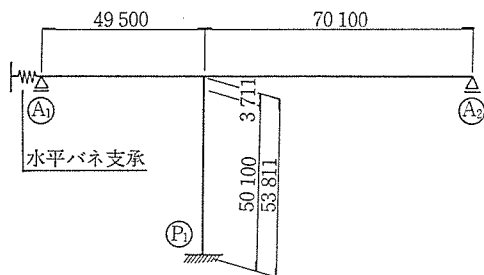


図-3 基本構造モデル (3 次不静定構造)

異符号の架設時曲げモーメントに対して、架設用 PC 鋼材は、完成系主方向 PC 鋼材の効果を減ずる結果となる。よって架設用 PC 鋼材をアウトサイド方式にして架設完了後解放撤去することによって完成系主方向 PC 鋼材を効果的にかつ経済的に配置することが可能となる。

そこでインサイドケーブル (部材内部で緊張定着されるケーブル) とアウトサイドケーブルの配置の基本方針としては、完成系の応力に対してはすべてインサイドケーブルで許容応力度を満足させることとした。架設時の応力検討は完成系のインサイドケーブルで応力照査後、プレストレスが不足する範囲をアウトサイドケーブルで負担させた。

2.3 耐震設計

本橋は、高橋脚の 2 径間連続ラーメン橋であるため地震の影響が大きい。したがって  $A_1$  橋台に PC 鋼棒とゴム沓から成る水平ゴム支承を設置し、 $P_1$  橋脚と併せて 2 点弾性支承により水平力 (地震時慣性力) の分散をはかった。

この水平ゴム支承のバネ定数の設定は上下部工に多大な影響を与える。また、直角方向地震時には鉛直支承に負反力が作用するため、その補強方法を検討する必要があった。

以上の理由によって、本橋の耐震設計として、

- 1) 固有周期の算定
- 2) 直角方向立体フレーム解析
- 3) 応答スペクトル解析による断面力の比較
- 4) 橋軸直角方向合成応力度の算出
- 5) 水平ゴム支承の検討
- 6) 鉛直支承の検討

などを行った (図-5)。

水平バネ支承の設定範囲は  $A_1$  橋台、 $P_1$  橋脚の設計条件およびゴム支承の経済性を考慮して決定した。

上部工については、静的解析並びに動的解析の方法により応力照査を行った。

2.4 架設時の検討

本橋の橋脚基礎は直接基礎であるが、崖地に近接しているため、そのフーチングの規模が制約されている。したがって  $P_1$  橋脚から通常の両側張出し施工のできる長さが限られているため、 $A_1$  橋台側径間は崖上の斜面において支保工施工を行い  $A_2$  橋台側径間は  $A_1 \sim P_1$  閉合後に 37.800 m (10 ブロック) を片側張出しによる施工を行った。インサイドケーブルとアウトサイドケーブルの併用によって片側張出し施工の各段階毎の応力検討を行った。

架設時許容応力度の目標値は、ワーゲン荷重、主桁自重およびプレストレスを考慮して  $-15 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_c <$

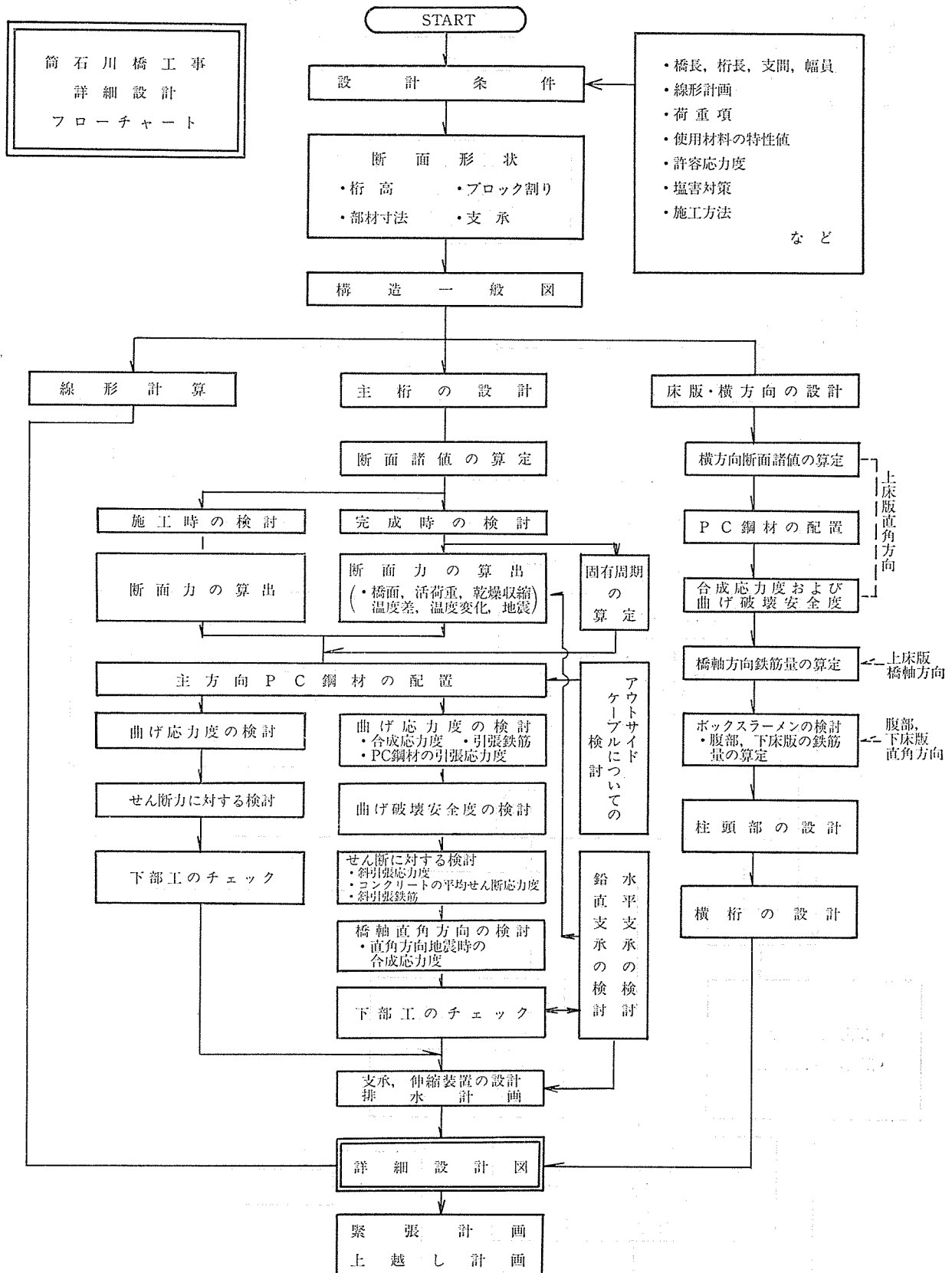


図-4 詳細設計フローチャート

筒石川橋  
耐震設計  
フローチャート

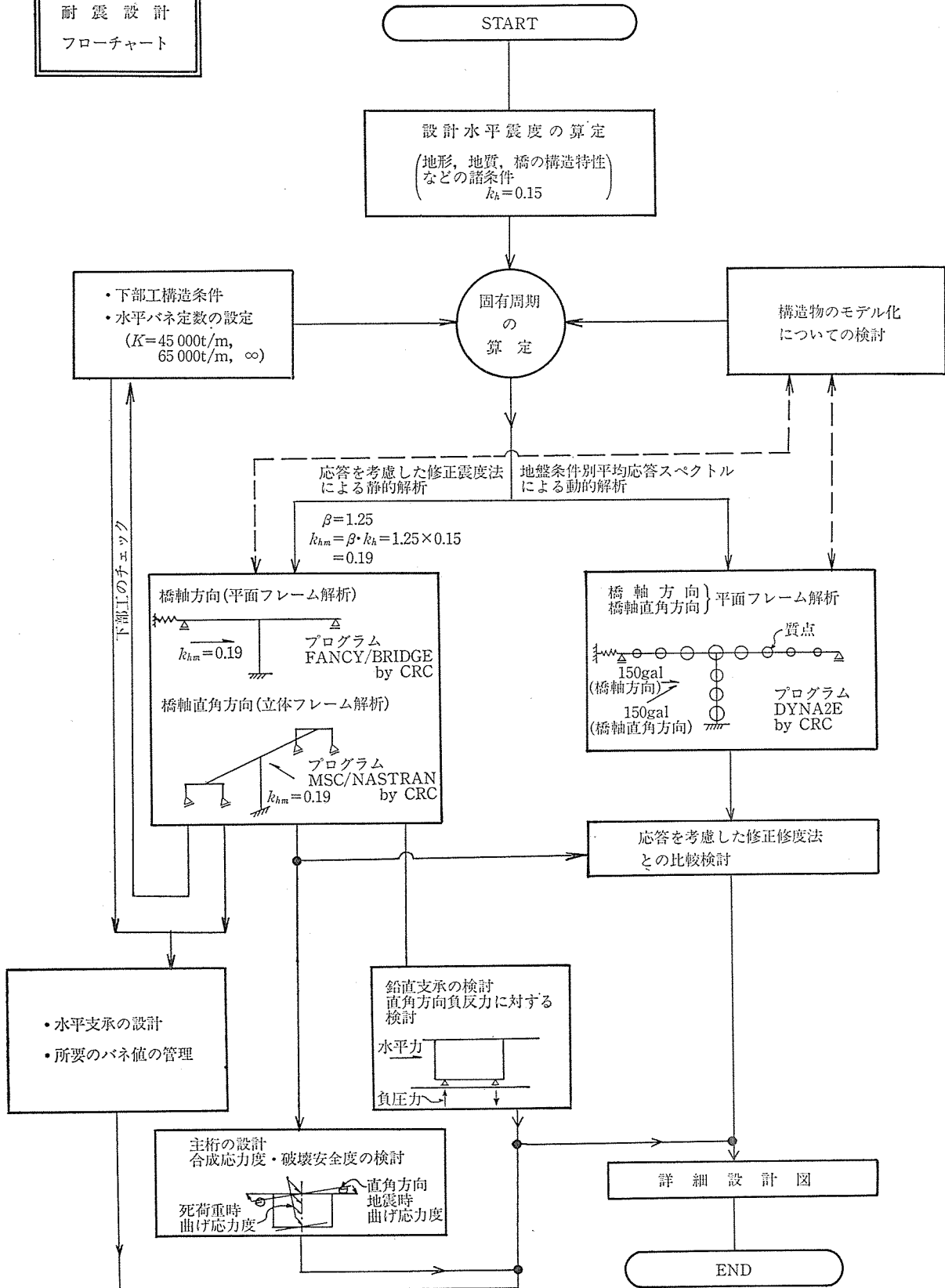
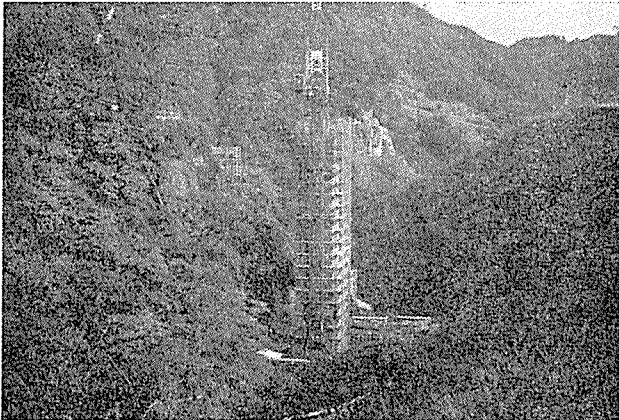


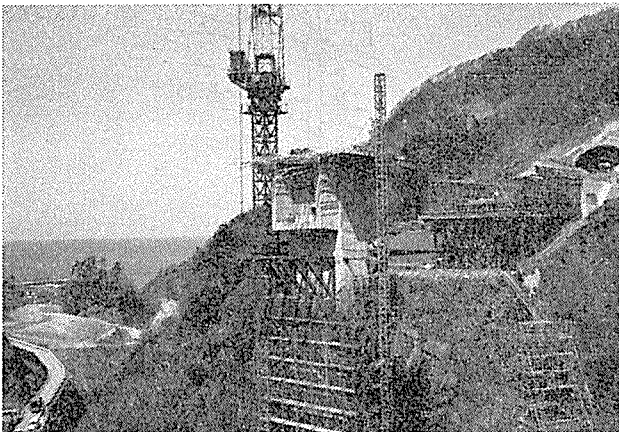
図-5 耐震設計フローチャート

180 kg/cm<sup>2</sup> とした。アウトケーブルにはネジ定着式の PC 鋼より線 19×φ9.5 mm を最大 P<sub>1</sub> 橋脚上で 20 本使用した。

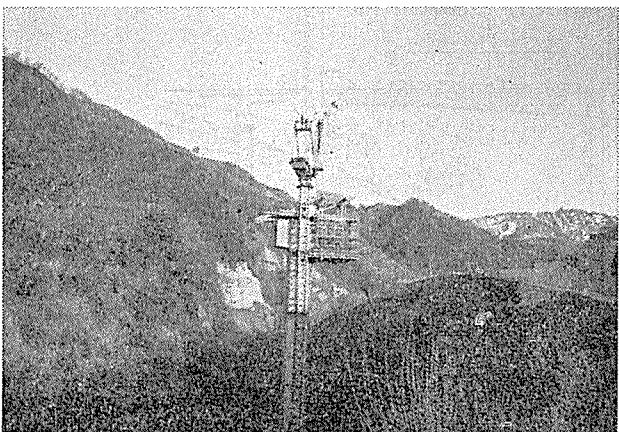
その定着方法は、主桁上縁にコンクリート製の突起を設置し鉛直方向 PC 鋼棒 SBPR 95/120 φ32 mm と鉄筋 D22 の補強により、アウトケーブルの水平力による定着突起と主桁上縁の“ずれせん断”に対して安全となるように検討した。



写真—2 上部工事着工前 (P<sub>1</sub> 橋脚)



写真—3 柱頭部支保工による施工



写真—4 第1ブロックのワーゲンによる施工

### 3. 上部工の施工

#### 3.1 施工概要

本橋は、不等径間でアンバランスな構造であるため、施工順序としては、P<sub>1</sub> 柱頭部に始まる一次張出し施工 (58.7 m) の後、短い方の A<sub>1</sub>~P<sub>1</sub> 径間を先に閉合し、その後 P<sub>1</sub>~A<sub>2</sub> 径間の残りの部分を片側張出し施工 (二次張出し施工) にて A<sub>2</sub> 橋台に到達させるものである (図—6)。

具体的には、P<sub>1</sub> 橋脚から 21.60 m を一次張出し施工とし、A<sub>1</sub> 橋台側より 20.50 m は支保工による施工をして第 18 ブロックにて閉合した。

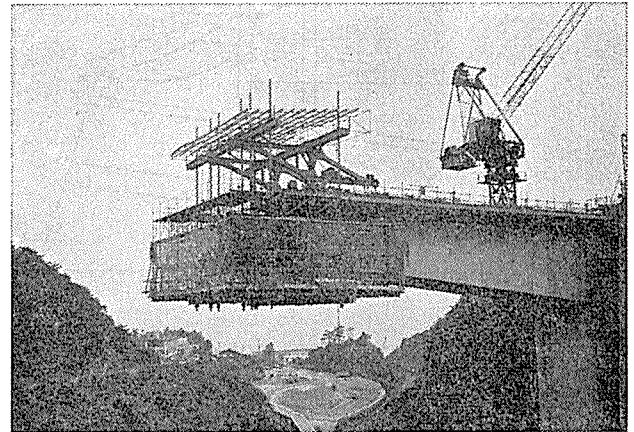
二次張出し施工の最後の施工箇所の真下に町道仙納線が通っていることもあり、改良を加えた吊支保工施工を行った (写真—2~写真—8)。

図—7 に上部橋体工の工程を示す。

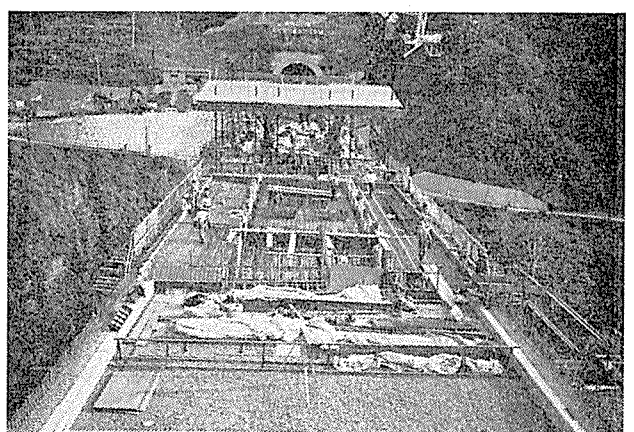
#### 3.2 施工の特徴

##### (1) アウトサイドケーブルによる張出し施工

一般的に二次張出し施工は、一次張出し施工の後、支保工が組めない状況下では仮支柱を立てインサイド仮鋼棒を設け、連結終了後に仮支柱、仮鋼棒とも撤去する方



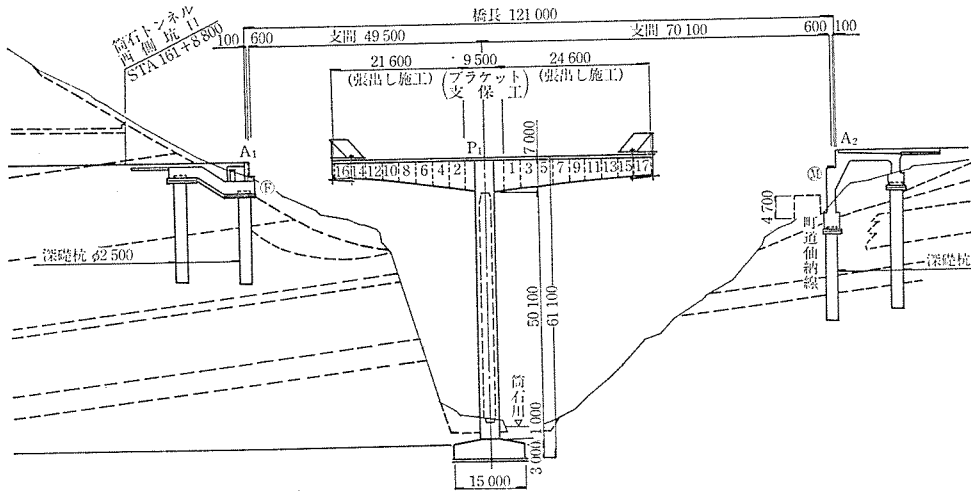
写真—5 P<sub>1</sub>~A<sub>2</sub> 径間の張出し施工



写真—6 A<sub>1</sub>~P<sub>1</sub> 径間の支保工施工部分の配筋工

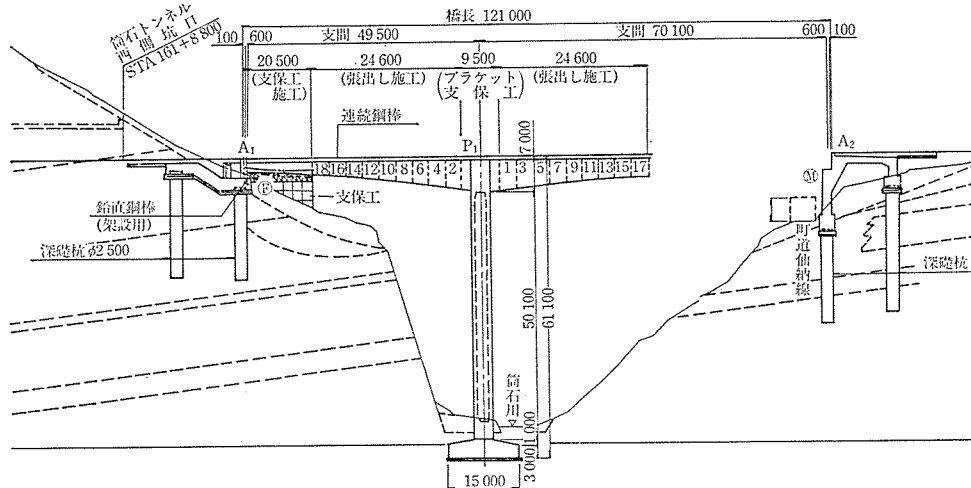
◇工事報告◇

ワーゲン施工（一次張出し施工）  
柱頭部にワーゲンを設置し、第1ブロックより第17ブロックまで順次ワーゲン施工を行ってゆく。



A<sub>1</sub>側 側径間支保工施工

側径間支保工部を施工後、18BLを吊支保工にてコンクリート打設し、連続鋼棒を緊張し結合させる。  
また、水平着床用PC鋼棒、鉛直鋼棒（架設用）を配置する。



ワーゲンによる張出し施工（二次張出し施工）

A<sub>1</sub>側連続鋼棒緊張後、支保工を撤去する。その後A<sub>2</sub>側はNo.19ブロックよりNo.28ブロックまで順次ワーゲン施工を行ってゆく。このとき架設時に発生する負荷曲げモーメントに対してアウトサイドケーブルで補強する。  
A<sub>1</sub>に発生する負反力に対して鉛直方向PC鋼棒で対処する。

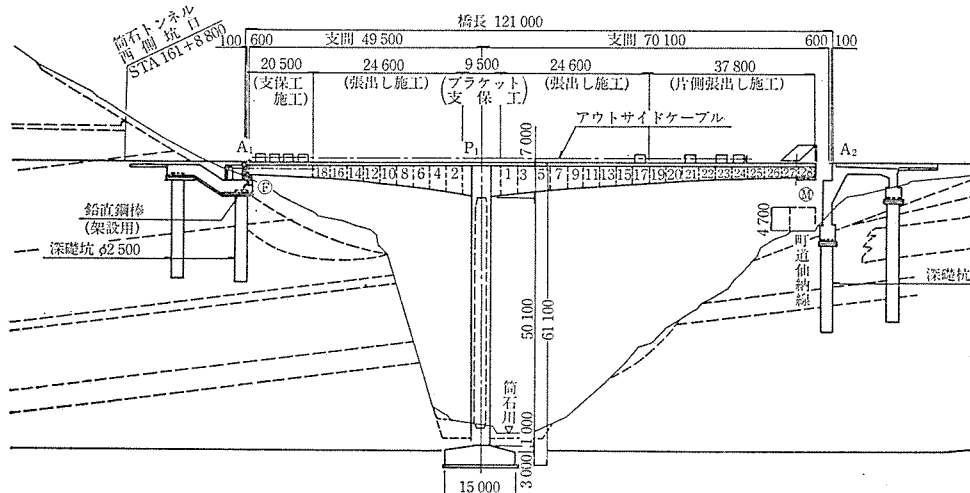


図-6 施工順序図

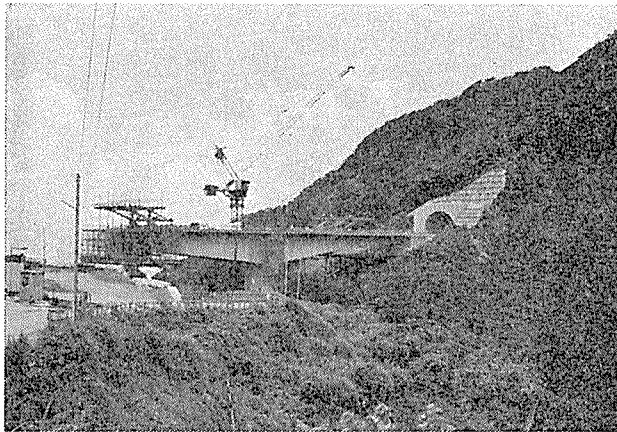


写真-7 A<sub>1</sub>~P<sub>1</sub> 閉合部の片側張出し開始  
(第19ブロック)

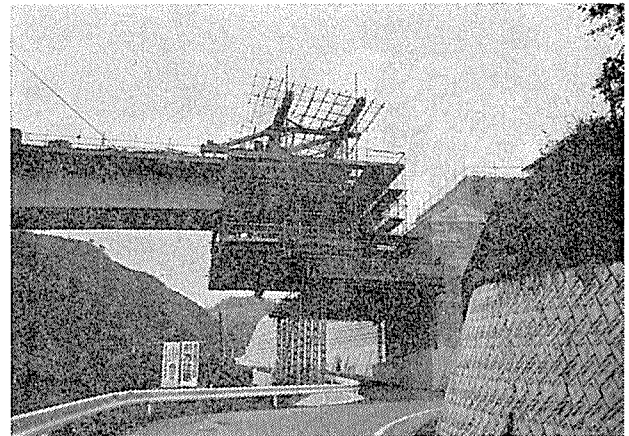


写真-8 第28ブロックの施工(町道を跨いでいる状況)

工種	年		月												
	S61		12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
柱頭部															
一次張出し 施工															
支保工 施工															
閉合 (No.18)															
二次張出し 施工															
吊支保工 施工															
反力調整															
A <sub>2</sub> セ ット															
水 平セ ット															
A <sub>1</sub> セ ット															
A <sub>1</sub> 鉛直鋼 棒放															

図-7 工 程 表

法が採用されている。本橋の場合はV字形の斜面という地形上の制約もあり、主桁上面に定着突起を設けて引張用鋼材を完全に露出させるという方法を採用した。

架設時期が夏場のため、直射日光による鋼材の温度上昇を極力避けるべく、アウトケーブルの周りには内側に発泡スチロールを貼りつけた防護柵を設置し、内部の温度を常時観測することにした(写真-9~写真-12)。

(2) 架設中の地震対策

本橋の耐震対策は、完成時においては A<sub>1</sub> 橋台に水平支承を設置し、P<sub>1</sub> 橋脚と併せて地震時水平力を受ける構造となっているが、架設中において特に二次張出し施工中に A<sub>1</sub> 橋台部分を固定することは、橋体自体および P<sub>1</sub> 橋脚に多大な影響が生じるため、A<sub>1</sub> 橋台水平支承の設置は橋体完成後とした。その間の緩衝部材として、A<sub>1</sub> 橋台と橋体の間に無応力状態の水平 PC 鋼棒 φ 32(SBPR

95/120) をセットしコンクリートとの接触面にラバーを貼り付けたキリンジャッキ 5 基を設置した。桁の移動に対して、ジャッキと PC 鋼棒のナットを調整して橋台と橋体との隙間を小さくするようにした。

なお、A<sub>1</sub> 橋台での桁の移動時には、本桁は上沓から吊り下げた状態で仮置きとし、橋座と桁下面の間には、摩擦を少なくするためテフロン板 (t=6 mm) を挟んだコンクリート製の仮沓を設けた。

また、二次張出し施工の進捗に伴い A<sub>1</sub> 側支承に負反力が生じるため、A<sub>1</sub> 橋台から仮設用として鉛直 PC 鋼棒 φ 32 (SBPR 95/120) を 7 本設置し緊張した。なお、水平移動に対して拘束しないためと PC 鋼棒に局部的な変形を生じさせないために、ラップ状のシースを用いることとした。



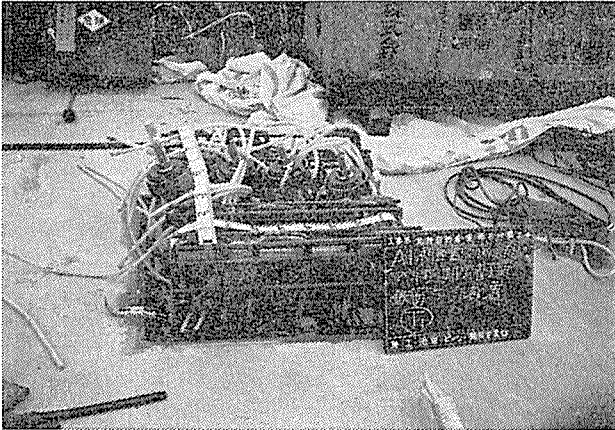


写真-9 アウトケーブル定着突起の配筋状況

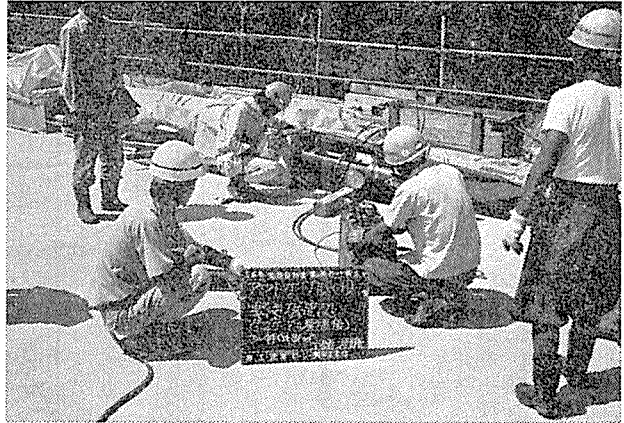


写真-11 アウトケーブルの緊張

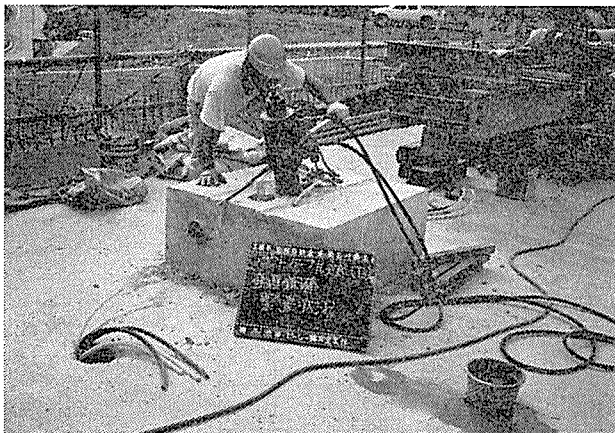


写真-10 アウトケーブル突起の鉛直鋼棒緊張

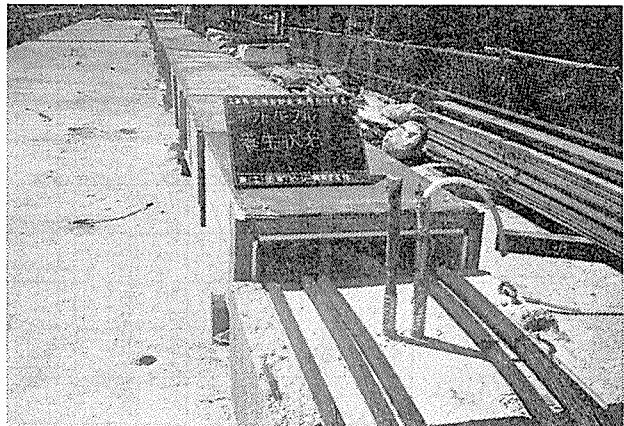


写真-12 アウトケーブル防護カバー

#### 4. 施工時の技術的施工管理

本橋の施工に際して設計思想を十分反映させるべく下記に示す項目について管理を行った。

- 1) アウトケーブルの緊張力管理
- 2) 張出し施工時の変位量に対する出来形管理
- 3) 反力調整時の反力および変位量の測定管理

##### 4.1 アウトケーブルの緊張力管理

A。橋台側径間の片側張出し区間 10 ブロック (37.80 m) のうち架設時断面力が支配的となる最後の 6 ブロック (23.40 m) の施工に際しては必要なプレストレスの 35~45% 程度をもアウトケーブルに受け持たせた。すなわち本橋の架設工法では最も重要な役割を担わせた。

緊張時期は、張出し施工の段階が進むに従って生ずる負の曲げモーメントに抵抗し得るよう順次 4 本ずつ 5 段階に分けて緊張した。

アウトケーブルの緊張力は圧力計の示度ならびに伸び量によって管理した。

初期緊張力の設定にあたっては、

- 1) プレストレスによるコンクリートの弾性変形
- 2) コンクリートのクリープによる PC 鋼材応力度の

減少

- 3) PC 鋼材のリラクゼーションによる応力度の減少

- 4) 緊張ジャッキの内部摩擦損失等を考慮して緊張力と伸び量の算定を行い緊張管理を行った。

このほかに、ケーブル自体は裸線の状態で床版上面に配置されており架設時期も夏期であるため、温度の影響をも考慮せねばならなかった。

直射日光にさらした PC 鋼材の温度がかなり上昇しコンクリート本体との相対温度差が大きい場合には PC 鋼材の応力度の変動を生じ、架設に最も重要であるアウトケーブルの機能が低下することとなる。

設計段階における検討では、コンクリートと PC 鋼材の相対温度が 10°C の差がある場合、PC 鋼材の応力度の変動がその長さによっては 2%~3.5% 生じることを確認している。

したがって直射日光による温度上昇の影響を極力避けるべくケーブルに沿って保護カバーを設け、その効果を確認するためと相対温度差が大きい場合に速やかに対処できるように内部の温度測定管理を行った。

場合によっては、送風機による通風あるいは常時散水

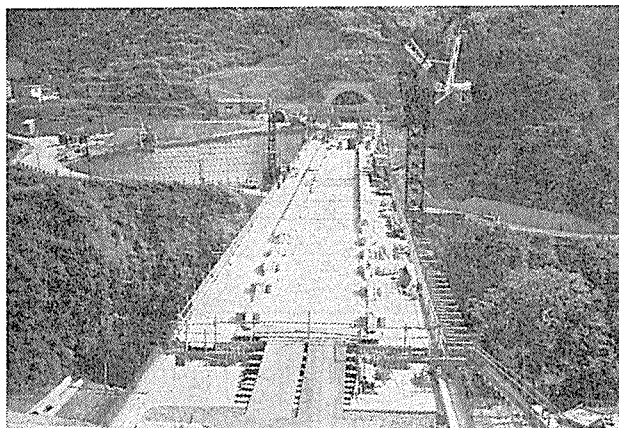


写真-13 片側張出し施工中（緊張後のアウトケーブルの防護カバー）

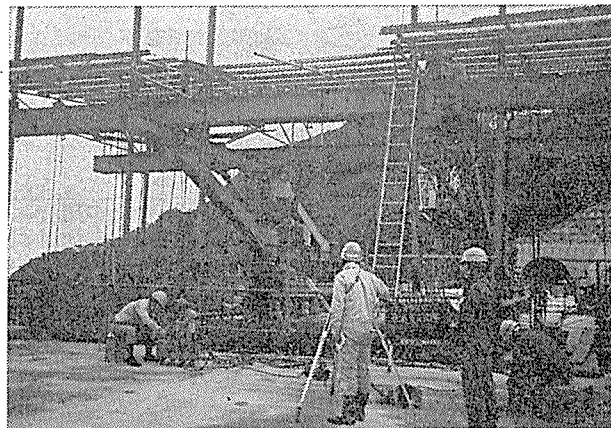


写真-14 吊支保工部鉛直変位調整

するなどして PC 鋼材の温度を下げる方法も事前に検討した（写真-13）。

温度管理は、

1) 気温の測定

橋脚の上下部および主桁内部

2) コンクリート温度の測定

橋脚の上下部および主桁腹部の上下部

3) アウトケーブル温度の測定

上記の温度を架設期間中を通じて測定した結果、コンクリートとアウトケーブルの相対温度差が、最大時で 5℃ 前後であり、温度管理も十分行き届いた成果と言える（図-8 にコンクリート温度とアウトケーブル温度の測定管理表を示す）。

4.2 張出し施工時の変位量に対しての出来形管理

P<sub>1</sub>~A<sub>2</sub> 径間の約 40 m 区間は片側張出し施工を行う比較的施工難度の高い橋梁で、架設時断面力をアウトケーブル方式で内部応力として対応させている。このような架設方法による橋梁実績も少ないので、張出し施工時の変位については特に注意を払った。

したがって施工時には詳細な変位量の測定管理を行った。

鉛直方向変位については、各張出しブロック毎にコンクリートの打設前と後、ワーゲン移動前と後およびアウトケーブルの緊張前と後においてレベル測定を行った（写真-14）。

同じく水平方向変位についての測定も A<sub>1</sub> 橋台の背面

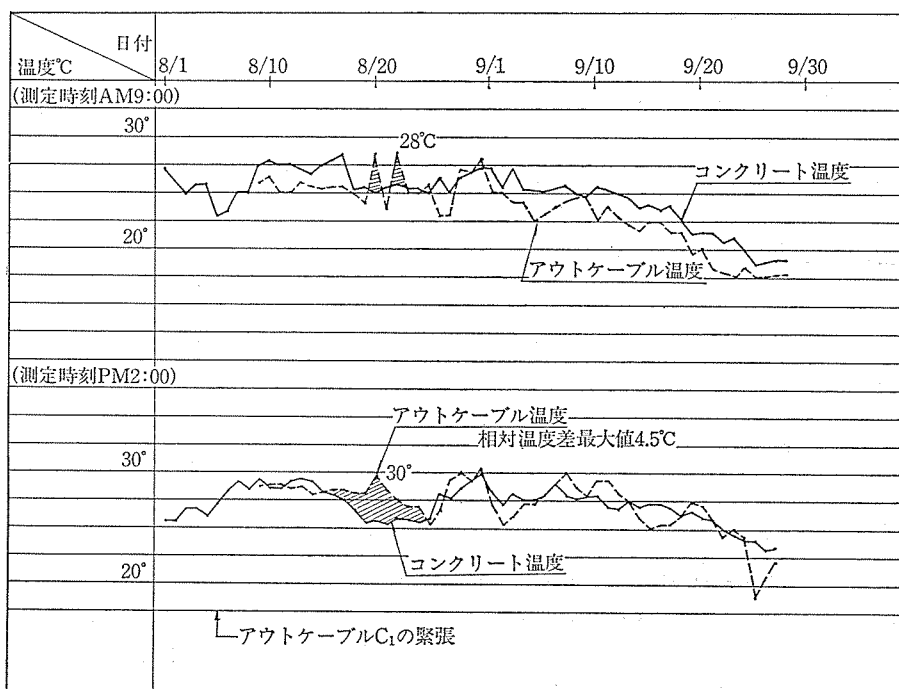


図-8 コンクリートとアウトケーブル温度測定管理表

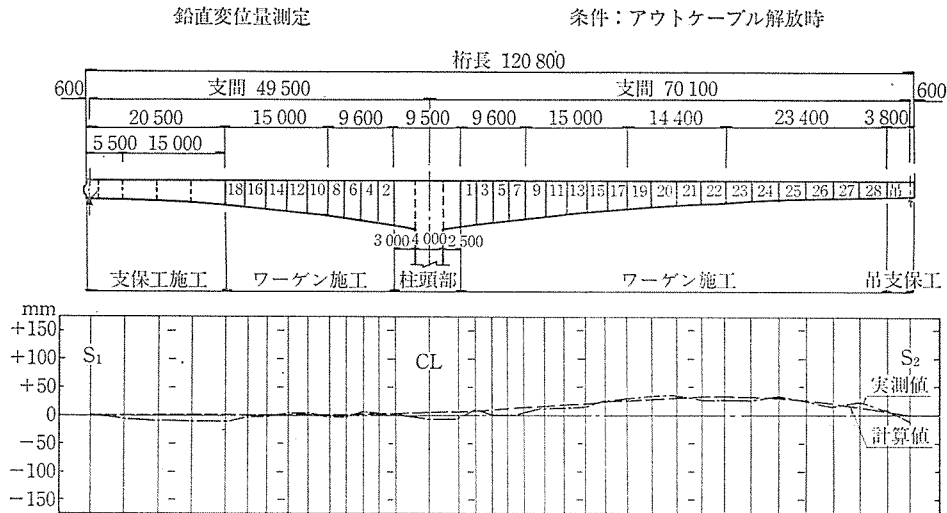


図-9 変位量測定管理表

と柱頭部に定点を設けて、その間の距離を光波測定器にて測定した。

張出し施工の進捗状況に伴って生じる変位を、上げ越し計算値と照合しながらその状態を把握して次の施工ステップに反映させるものとした。

#### 4.3 反力調整時の反力および変位量の測定管理

片側張出し施工時にはアウトケーブルを併用するが、主桁が A<sub>2</sub> 橋台に到達すればアウトケーブルを撤去する。その時点では構造系変化によるクリープのモーメント移行が終了していないので、負の曲げモーメントが支配的な状態となっている。

このため A<sub>2</sub> 側支点をジャッキアップすることにより正の曲げモーメントを発生させて主桁の応力度を緩和させる。

その時の反力、変位の状態またはアウトケーブル解放撤去後の変位について測定した(図-9)。

- 1) 反力調整による主桁の揚程量(桁のジャッキアップ量)の目標値は S<sub>2</sub> において  $\delta_p=80$  mm であり、その値は設計上、十分検討がなされているものである。

ここではジャッキアップによる主桁の任意点の変位測定管理を行った。

- 2) 反力調整の方法は、S<sub>2</sub> の桁側面に鋼製のブラケットを PC 鋼棒  $\phi 26$  (×8 本) にて取り付け、分離式両動型油圧ジャッキ(揚量 100 ton) 4 台で主桁を 20 mm ずつ上昇させた(写真-15)。

この時、仮沓を設置し、主桁が上昇するに伴い仮沓と主桁との間に薄鉄板を順次挿入し、目標値に達したところで仮沓にて桁を支持した。

- 3) 反力調整時の測定結果は、主桁変位を変位測定管理表に示すように各測点において計画上げ越し量に



写真-15 ジャッキアップ状況

対して比較的良好な測定結果を示した。

作用反力の実測値も計算値に比べてアウトケーブル解放時で 96% の値を示した。

#### あとがき

筒石川橋は架橋地点の地形状況を克服するため構造および施工方法に特殊な点をもつ橋梁であるが、設計段階における十分な検討と適切な技術的施工管理により、当初の目標は十分に達成されたものと思われる。

特に施工面では、移動作業車による張出し架設工法にアウトケーブル工法を併用して片側張出しを可能にしたことは、施工性および経済性においても意義あるところと考えられる。

なお本橋は、北陸自動車道の数多い橋梁の中で重要な役割を担う PC 橋であることをこの報告に記し、昭和 63 年 4 月に無事完成したことは関係者の御援助の賜と厚く感謝いたします。

【昭和 63 年 3 月 23 日受付】