

九州自動車道・球磨川第二橋の設計と施工について

森 博 人*
 荒 巻 武 文**
 福 島 秀 二***

1. ま え が き

九州縦貫自動車道は、北九州市を起点に九州を南北に縦貫して、八代・人吉を経て、えびの JCT でわかれて、鹿児島市に至る鹿児島線と、宮崎市に至る宮崎線からなる延長 428 km の高速道路である。このうち、八代～人吉間約 43 km は、南部九州山系北西部の急峻狭隘な地形のため、23 か所のトンネルと 54 か所の橋梁で通過し、構造物比率が 70% という曲型的な山岳道路である。

球磨川第二橋は、これら橋梁群の一つであり、日本三大急流に数えられている球磨川と国鉄肥薩線、国道 219 号をまたぐ橋長 242 m のディビダーク工法による PC 3 径間 T ラーメン箱桁橋であり、T ラーメン橋としては我が国有数のスパン (101 m) を有している。

本報告は、その設計と施工の概要について述べるものである。

2. 工 事 概 要

工 事 名：九州自動車道球磨川第二橋他 2 橋 (PC 上部工) 工事

路 線 名：九州縦貫自動車道鹿児島線・宮崎線

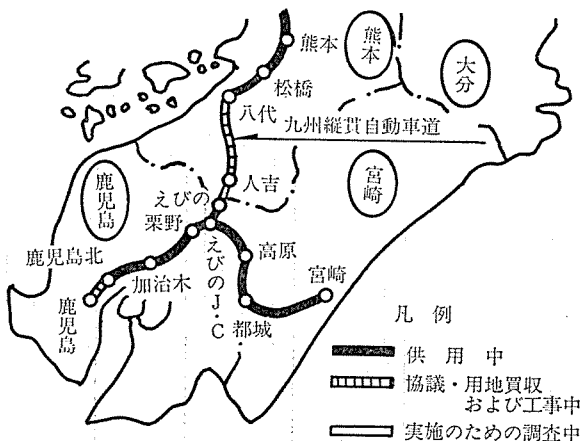


図-1 位置図

* 日本道路公団福岡建設局八代工事事務所工事長
 ** 住友建設(株)球磨川橋作業所所長
 *** 住友建設(株)土木部設計第2課課長代理

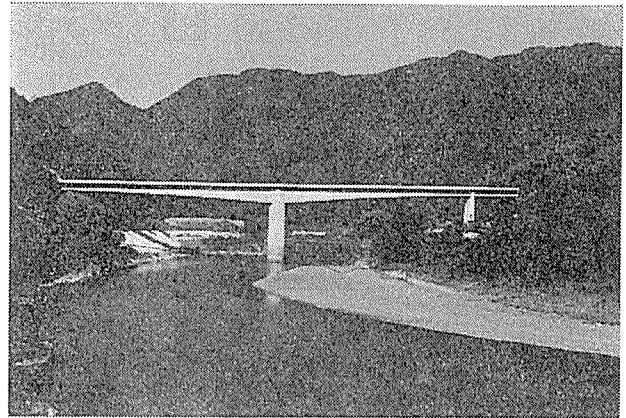


写真-1 完成写真

工事箇所：熊本県八代郡坂本村大字原女木

工事期間：自昭和 59 年 8 月 2 日

至昭和 61 年 5 月 23 日

構造形式：PC 3 径間 T ラーメン箱桁橋

設計規格：第一種 3 級 B, 車線数 2 車線 (暫定施工)

橋 格：一等橋 (TT-43, TL-20)

橋 長：242.0 m

径 間 長：101.0+101.0+40.0

幅 員：9.0 m (下り線のみ)

勾 配：縦断 0.4~2.06%

横断 2.0%

架設工法：移動作業車による張出し架設工法 (ディビダーク工法)

施 工：住友建設(株)

3. 設計条件および材料特性

設計条件

活 荷 重：TT-43, TL-20

設計震度： $k_H=0.19$ (施工時 $k_H=0.10$)

温 度 差：上床版のみ +5°C

温度変化： $\pm 15^\circ\text{C}$

支点沈下：10 mm

終局荷重時の荷重の組合せ：

1.3 (死荷重)+2.5 (活荷重+衝撃)

1.0 (")+2.5 (" + ")

1.7 (死荷重+活荷重+衝撃)

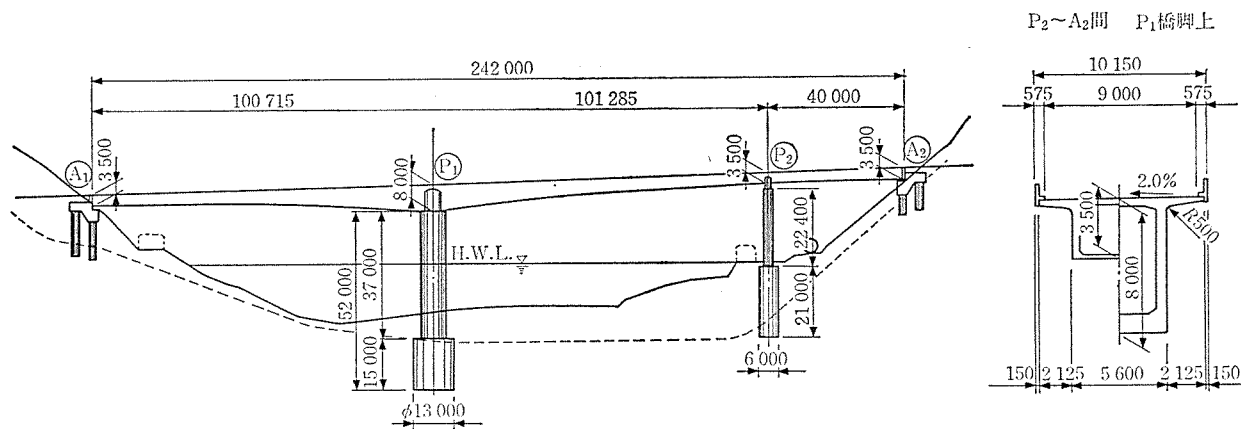


図-2 全体一般図

- クリープ係数：主方向設計時 $\varphi=2.0$
横方向設計時 $\varphi=2.6$
- 乾燥収縮度：主方向設計時 $\epsilon_s=18 \times 10^{-5}$
横方向設計時 $\epsilon_s=20 \times 10^{-5}$
- PC 鋼棒のレラクセーション率：上縁 5%
下縁 3%

主要材料の材料特性

- コンクリート：主桁 $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$
地覆・高欄 $\sigma_{ck}=240 \text{ kg/cm}^2$
- PC 鋼棒：主鋼棒・横締め鋼棒 $\phi 32$ A種2号
せん断鋼棒・仮設鋼棒 $\phi 32$ B種2号
- 鉄筋：SD-30

4. 主要材料

本橋に使用する材料は次のとおりである。

- コンクリート：2800 m³
- 鉄筋：270 t
- PC 鋼材 (SBPR 80/105)：270 t
(SBPR 95/120)：30 t

5. 上部工の設計

5.1 構造寸法の決定

本橋は剛結支点を有する3径間連続桁であり、主桁の桁高は、P₁ 中間支点部で H=8.0 m (桁高比 1/12.5)、A₁ 橋台および P₂ 橋脚で 3.5 m とし、桁高の変化は2次曲線とした。また、P₂~A₂ 区間は等桁高とした。

ウェブ間隔は、ウェブに作用する曲げモーメントのバランスや横締め鋼材の配置ピッチ、並びに箱桁としての機能を考慮して 5.6 m とした。

上床版厚は、主鋼材の本数が非常に多い (最大 308 本) ため、上スラブ内に鋼材を2段配置し偏心量を有効に確保できるよう、35 cm とした。

下床版厚は、P₁ 橋脚ではコンクリートの圧縮応力度より 1.0 m とし、側径間部は主鋼材が2段配置可能な

最小寸法の 28 cm、中央径間は主鋼材定着具の配置より 25 cm とした。

ウェブ厚さは、せん断耐力ならびにコンクリート打設時の十分な締固め作業が可能な寸法として、P₁ 支点部で 65 cm、支間中央部で 40 cm とした。

施工ブロック割は、中型ワーゲンの能力 (M_a=200 t・m) と架設中の橋脚に作用する曲げモーメントのバランスを考え、図-4 のごとく 2.5 m~4.0 m のブロック長とした。

5.2 主桁の設計

本橋は図-5 に示す施工順序をとるため、順次構造系が変化していく。したがって主桁の断面力は「任意平面骨組解析」プログラムを使用し、架設ステップを追って算出した。

架設時と完成後では構造系が変化するため、主桁自重およびプレストレスによる断面力は、クリープの進行により変化していくが、この変化量は次の Dischinger の

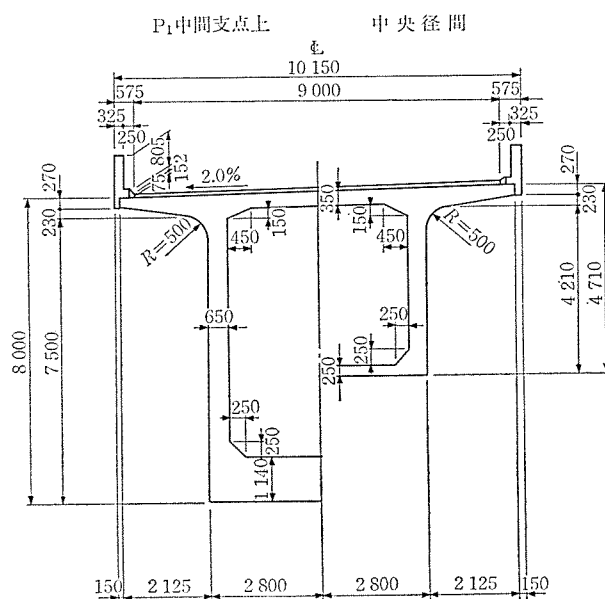


図-3 主桁断面図

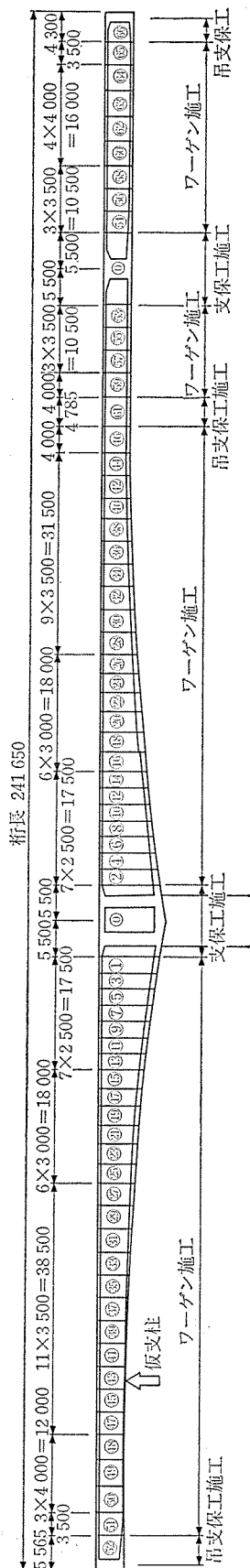
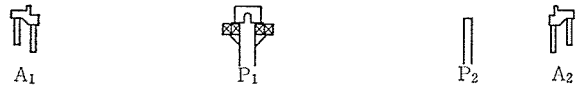
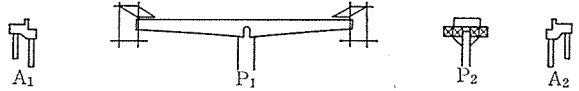


図-4 施工ブロック割置図

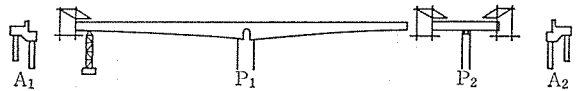
(1) P₁橋脚の柱頭部をブラケットにより施工し、ワーゲンを組み立てる。



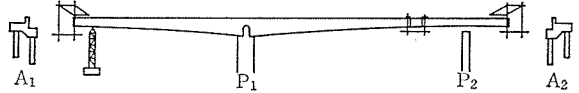
(2) P₁橋脚側は、ワーゲンによる張出し施工を行い、P₂柱頭部をブラケットにより施工する。



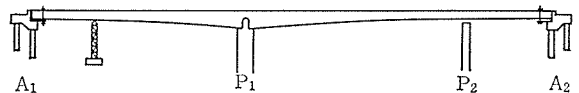
(3) No.2ワーゲンは46ブロック施工終了後解体撤去し、No.1ワーゲンは45ブロックを施工終了後、仮支柱を組み立てセットする。



(4) 61ブロック (中央閉合部) を吊支保工により施工し、P₂橋脚仮固定を解放撤去する。以後順次ワーゲンによる張出し施工を行う。



(5) A₁側、A₂側の最終ブロックを吊支保工により施工し、仮支柱を撤去する。さらに撤去後、架設鋼棒の緊張力を解放する。



(6) 橋体工の完成。地覆、壁高欄など橋面工を施工する。

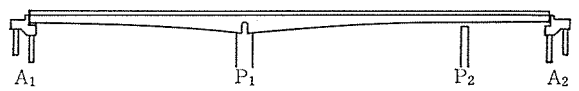


図-5 施工要領図

公式を用いて算出した。

$$X_{\phi} = (X_L - X_B) \cdot (1 - e^{-\phi})$$

ここに、 X_{ϕ} ：クリープにより生ずる断面力

X_B ：施工段階を越った完成直後の断面力

X_L ：支保工にて一度に構造系を施工した時の断面力

ϕ ：クリープ係数

なお、完成までに段階的に構造系の変化があるが、架設中における系の変化に対するクリープの影響はないものとした。

架設時および完成後の断面力を図-6に示す。

応力度の検討は各設計断面に対し、PC鋼棒 SBPR 80/105、 $\phi 32$ mm を図-7のとおり配置して行った。

5.3 横方向の設計

主桁横方向の設計は、上床版はPC部材、ウェブ、下床版についてはRC部材とし、ボックスラーメン構造として検討した。設計断面は、桁高変化および部材厚の変化を考え、図-8に示す5断面とした。

応力検討の結果、床版横締めPC鋼棒は、SBPR 80/

◇工事報告◇

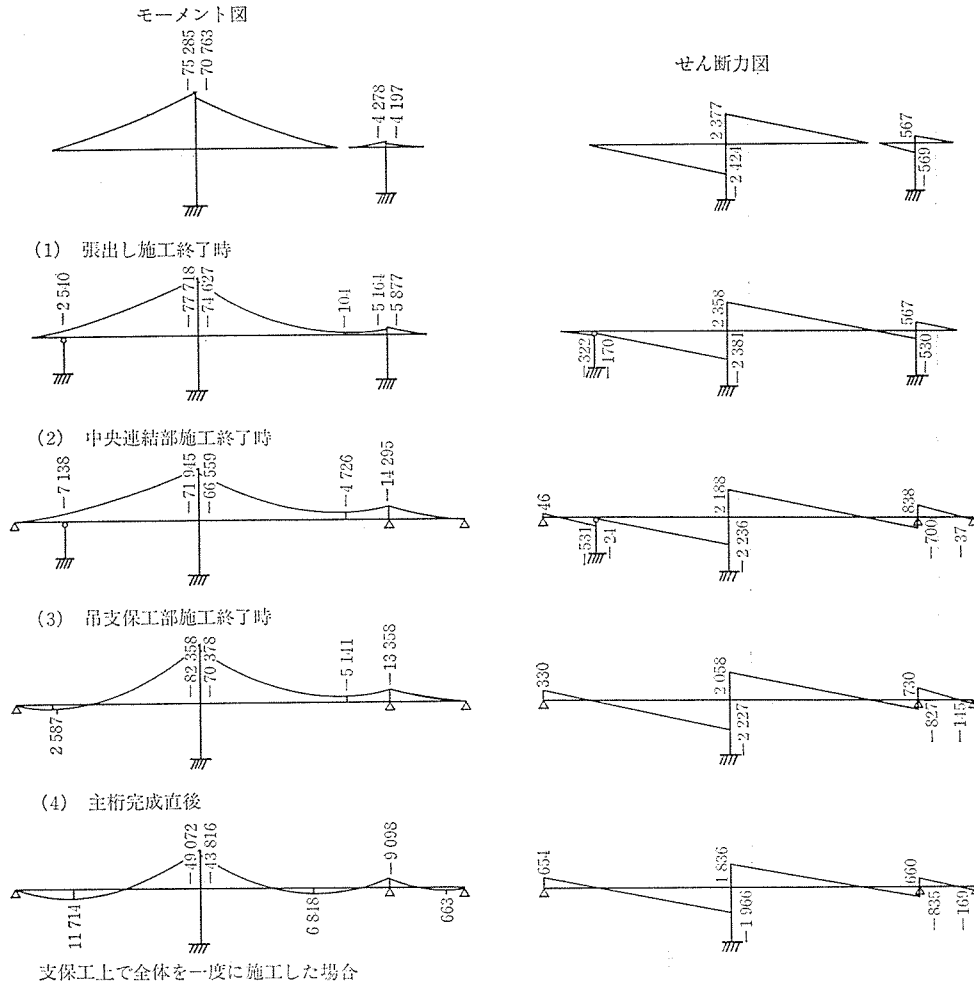


図-6 断面力図

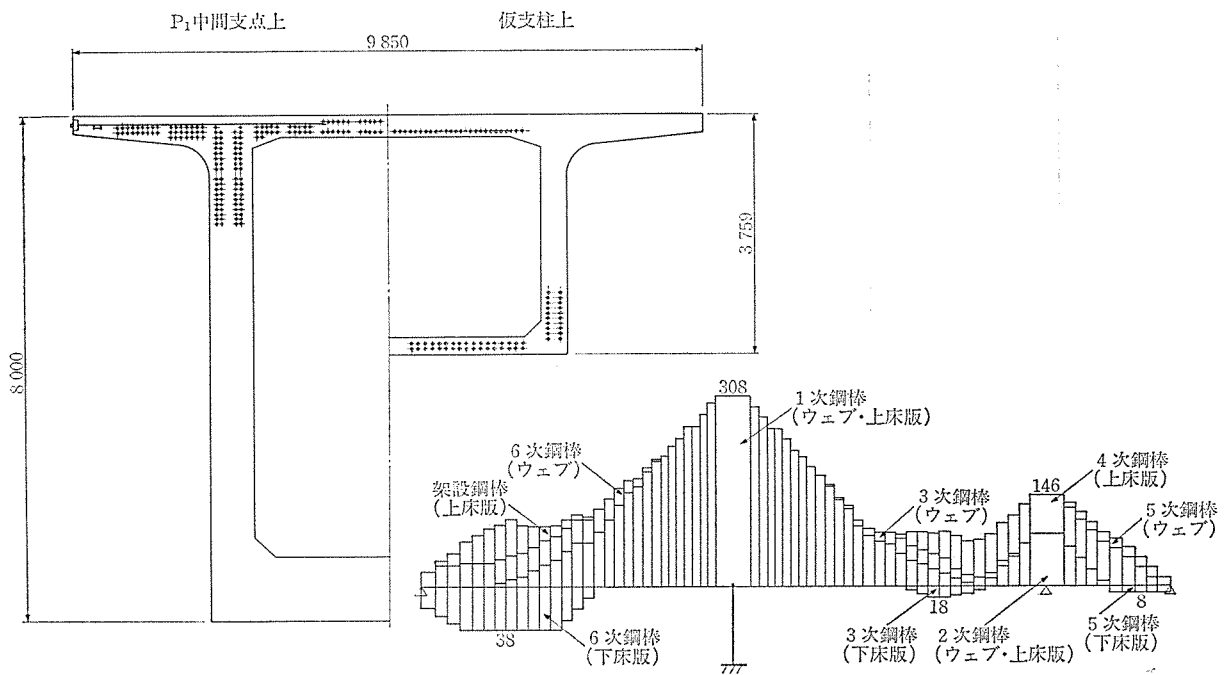


図-7 PC 鋼材の配置図

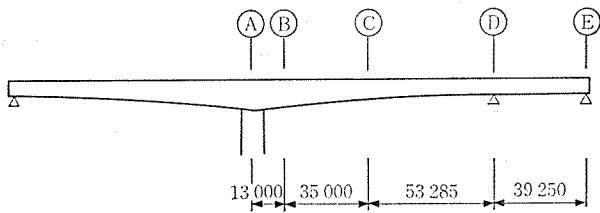


図-8 横方向設計断面

105 φ 32 mm を 55 cm ピッチで配置した。

5.4 仮支柱の設計

A₁~P₁ の側径間部は、施工法を比較検討の結果、仮支柱と仮設鋼材を用いたカンチレバー施工を採用した。

仮支柱の位置は、架設時の橋脚に生ずる曲げモーメント、主桁に生ずる応力度および仮設鋼材量等を考慮して P₁ 橋脚より 71.0 m の位置に決定した。

仮支柱で支持した後に 5 ブロックがワーゲン施工され、仮支柱に作用する最大反力は約 600 t となる。

仮支柱の検討は常時荷重のほか、風および地震荷重に対しても行った。

仮支柱の構造は H 形鋼 (H-350×350) 4 本を支柱とし、横つなぎ材は L-100×100 を用いた。

主桁と仮支柱の間には高さ調整用の台座コンクリートを打設し、その上に主桁受用のジャッキ (300 t, 4 台) を設置できるようにした。

仮支柱の基礎は、河川敷内の斜面部に位置し、地盤は崖錐堆積層が厚く支持層として不良のため、深礎基礎による良質な岩に支持させるものとした。

6. 上部工の施工

6.1 施工の概要

本橋は P₁ 橋脚部が剛結合された 3 径間連続 T ラーメン橋である。架橋地点はトンネル区間を結ぶ急峻な地形で、かつ、球磨川ぞいに走る国道 219 号線や国鉄肥薩線をまたぐため、施工はすべてワーゲンを使用したカンチレバー施工で行った。

P₁ 橋脚から A₁ 側への張出し施工は 100 m 近くになるため、施工時に生ずる断面力が完成時のそれを超えないよう、P₁ 橋脚より 71 m の位置に仮支柱を設けた。また、P₂ 橋脚は橋軸方向の幅が制限されており、施工中の地震力に対して非常に厳しい断面のため、左右に 4 ブロック張り出した後に P₁ 側の桁と連結し、水平力を P₁ 橋脚で受け持たせる構造にして残りの張出し施工を行った。

施工要領を 図-5 に示す。

6.2 仮設備

仮設備配置を 図-9 に示す。

〈仮設栈橋〉

他工区工事との関連でケーブルクレーンの設置ができない期間については、揚重設備がないため、右岸側より P₁ 橋脚まで延長 61 m の仮設栈橋を設置し、50 t 吊りタワークレーンを利用して荷取り作業を行った。

栈橋の支間は 11.0 m とし、主桁は H-800×300、支持杭は H-350×350 を使用し、杭の施工はパイプロンマー (45~60 kW) にて行った。仮設栈橋の使用は 60 年

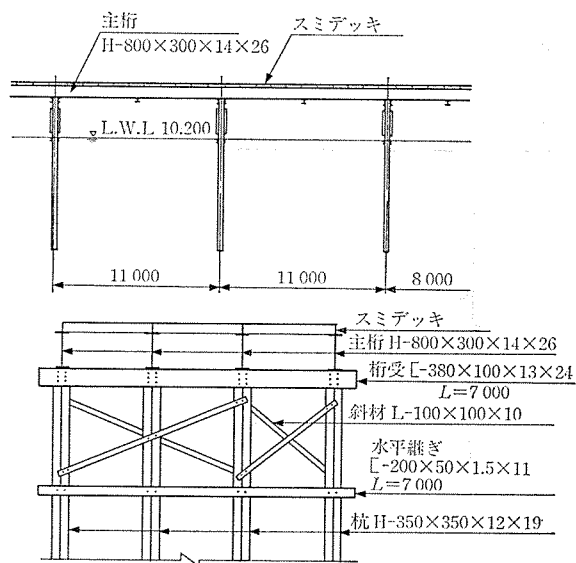


図-10 仮設栈橋図

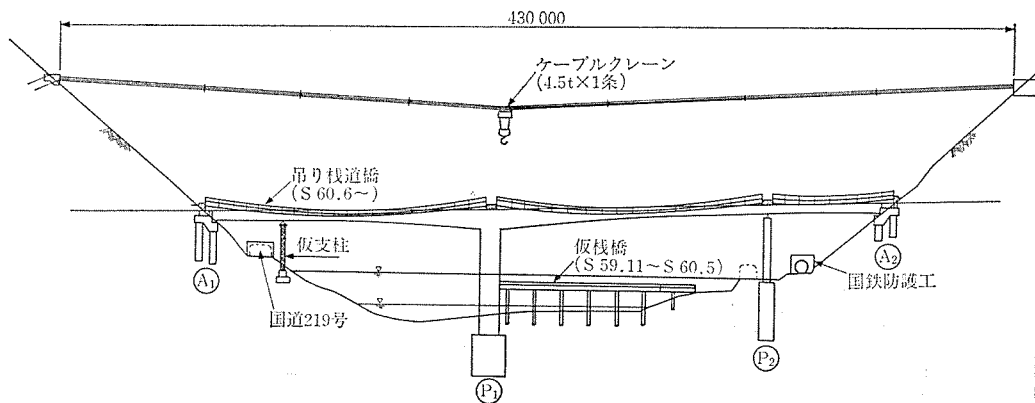


図-9 仮設備配置図

◇工事報告◇

5月末の渇水期までとした。

〈ケーブルクレーン〉

A₁ 橋台完成後は、原女木トンネル内を資材置場ならびに工事用道路として利用できるように、仮設棧橋撤去後の揚重設備としてケーブルクレーンを設置した。

クレーンの吊上げ能力は、コンクリートの打設作業およびワゲン解体時を考慮し、4.5 t吊とした。なお両サイドの地形が急峻なため、メインケーブルのアンカーにはロックアンカーを併用した。

〈国鉄防護工〉

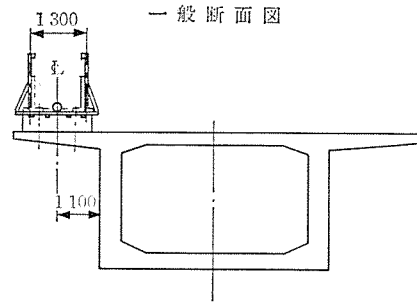
P₂ 橋脚～A₂ 橋台間には国鉄肥薩線が通っており、事故の防止ならびに列車運行を妨げないよう防護工を設け、国鉄上でのワゲン移動は列車の通過時刻を避けて行った(図-11)。

表-1 ケーブルクレーン性能表

形式	両端固定式
定格荷重	4.50 t
吊上げ荷重	4.95 t
主索径	410 m
支間高低差	5.0 m
支間傾斜角	0.6987 度
主索中央垂下量	20.5 m
揚程	85.0 m
巻上げ速度	50.0 m/min } 55 km または
横行速度	240.0 m/min } 125 PS エンジン

〈吊棧橋設備〉

仮設棧橋撤去後の P₁ 橋脚への昇降設備として、A₁ 橋



標準断面図

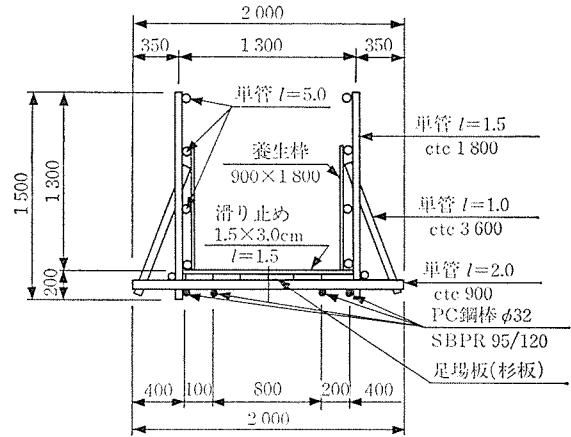


図-12 吊棧橋図

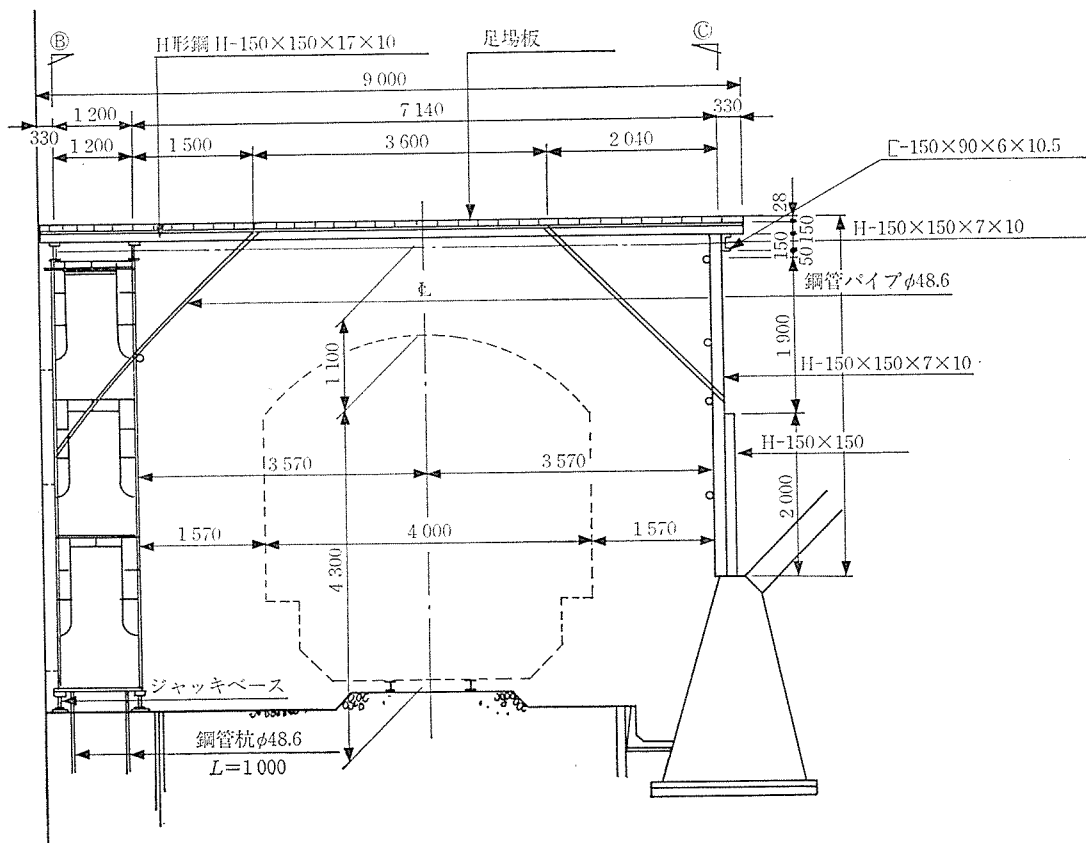


図-11 国鉄防護工

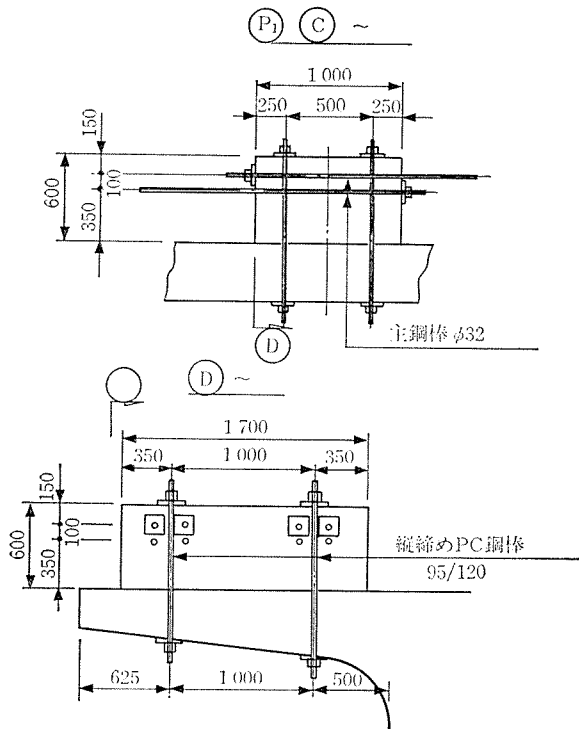


図-13 吊棧橋アンカー図

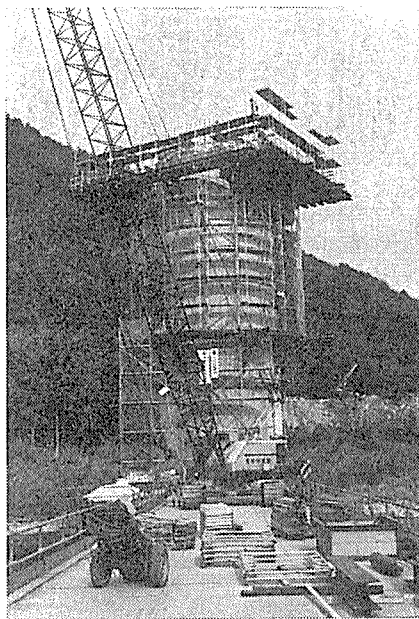


写真-2 柱頭部の施工

台から P₁, P₂, A₂ 橋台を結ぶ吊棧橋を架設した。

吊棧橋は主鋼材として PC 鋼棒 (A種 2号 φ32) を使用し、補助材として足場パイプ・足場板を用いた。

主鋼材のアンカーは A₁, A₂ は H 鋼を埋め込んでおき、P₁, P₂ は橋面上にコンクリートブロックを設け PC 鋼棒にて固定する方式を採用した (図-12)。

6.3 柱頭部の施工

P₁ 橋脚は河川内, P₂ 橋脚も国鉄と県道に近接し、支保工高が 20 m を超えるため両方とも H 鋼によるブラ

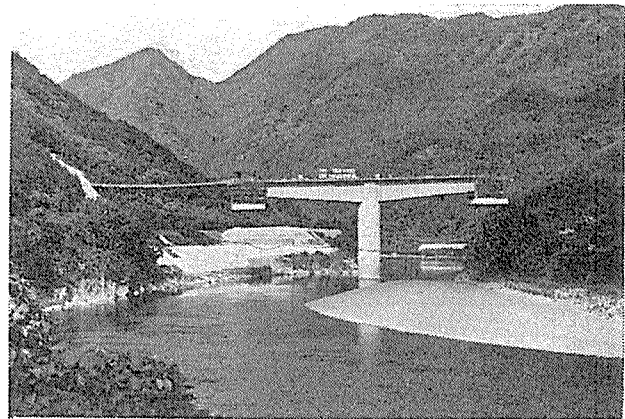


写真-3 張出し施工時

ケット支保工により施工した。ブラケットは PC 鋼棒にて 60 t/本 の緊張力を導入し固定した。

コンクリートは P₁, P₂ とともに下スラブとウェブ・上スラブを 2 回に分け、コンクリートポンプ車にて打設した。

6.4 ワーゲン部の施工

柱頭部の施工終了後、支保工を撤去し、ワーゲンの組立を行いカンチレバー施工に移った。

ワーゲンは 2 主桁中型 ($M_a=200\text{ t}\cdot\text{m}$) を 4 台使用した。

組立には、50 t 吊りのクローラータワークレーンを使用した。1 ピースの最大重量はメイントラスと前車輪等を含めて約 4.5 t 程度であった。

ワーゲン部の型枠は、内枠・外枠ともに鋼製型枠を使用し、内枠の一部のみ、桁高変化に対応できるように木製型枠とした。

コンクリートはケーブルクレーン設置までは仮設橋よりポンプ車にて打設し、それ以降はケーブルクレーンにてバケット打設を行った。

ワーゲン施工の 1 サイクルの標準工程を 図-15 に示す。上スラブに仮設用鋼材の定着用ブロックが入ってくる部分については型枠の組替えが必要となり、1~2 日程度標準工程より長くかかった。

1 サイクル 7 日

作業日	1	2	3	4	5	6	7	8
ワーゲン移動据付け	□							
型枠		—————						
鉄筋・鋼棒		—————						
コンクリート打設					□			
養生						—————		
プレストレッシング								□
ワーゲン移動準備								□

ただし、稼働効率を考慮すると 1 サイクル 9 日程度になる。

図-15 ワーゲン標準工程 (1 ブロック当り)

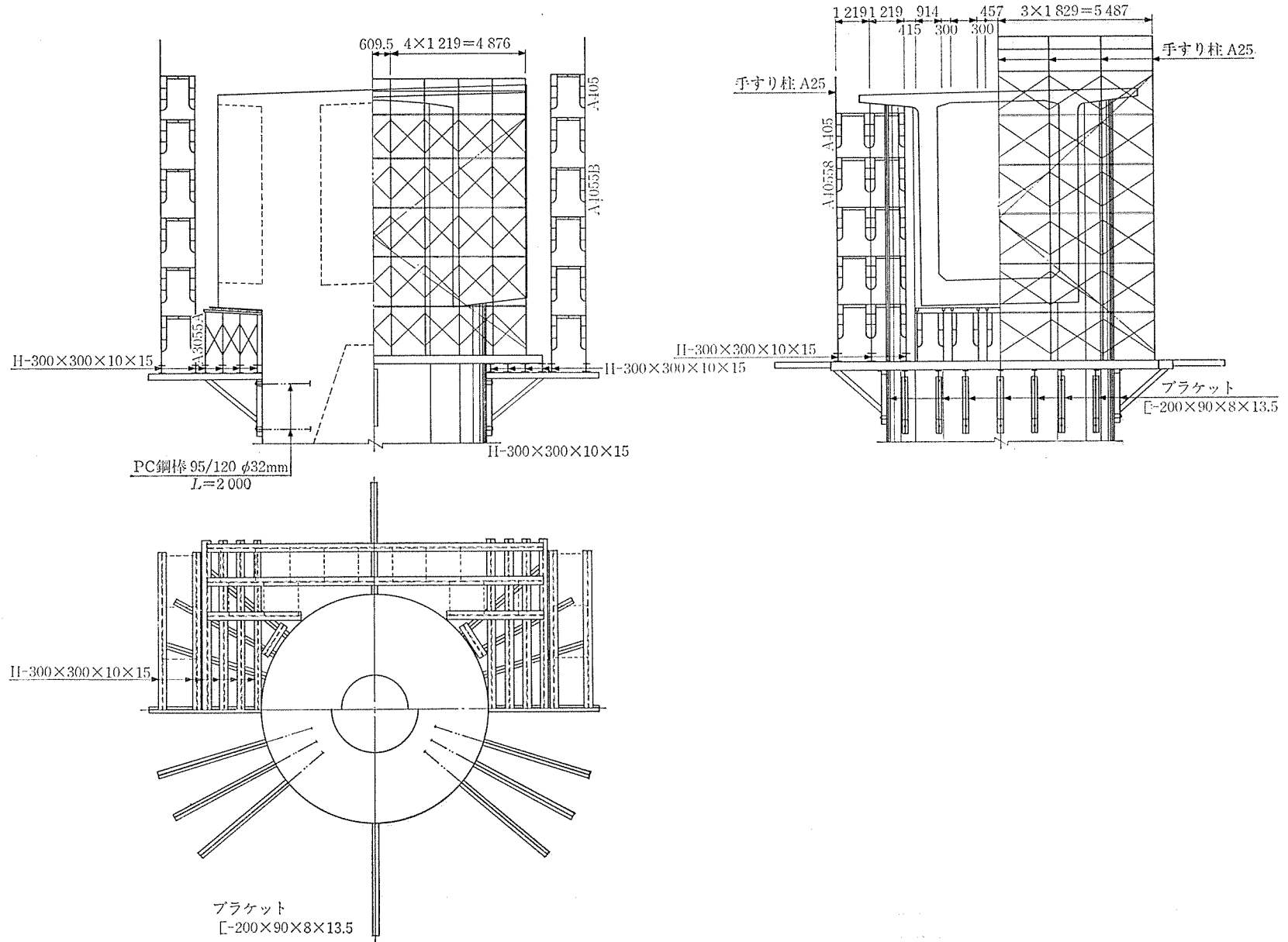


図-14 柱頭部支保工図

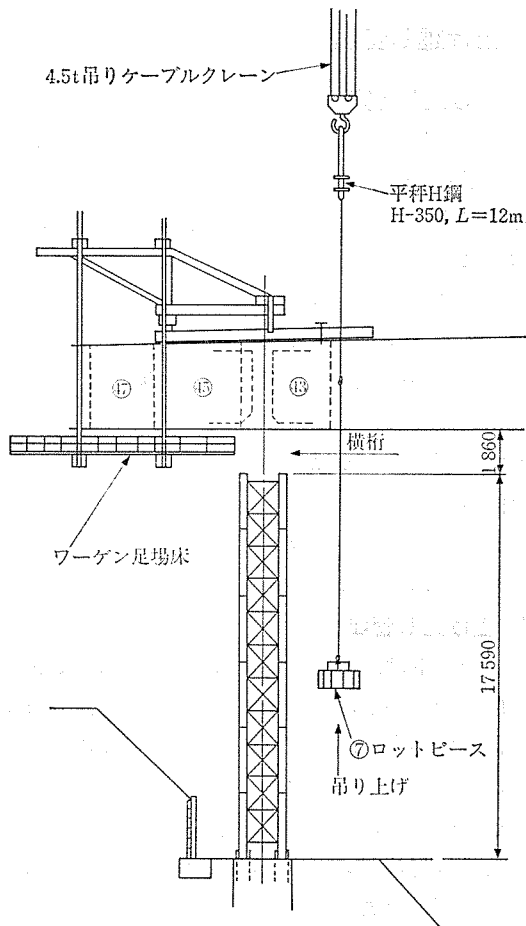


図-16 仮支柱組立要領図

6.5 仮支柱の施工

仮支柱はケーブルクレーンにて組み立てるため、1ピースが4.5t未満になるよう7分割して製作した。

基礎が完了後、仮支柱は最上部のピースを残し先行して組み立てておいた。桁下面とのクリアランスは約2.0m確保しておき、ワーゲン通過前にワーゲン足場を解体し、ワーゲン足場床面を上昇させて通過させた。ワーゲン通過後に、最上部のピースをケーブルクレーンにて架設し、鉛直ジャッキおよびストッパー金物を設置した(図-16)。

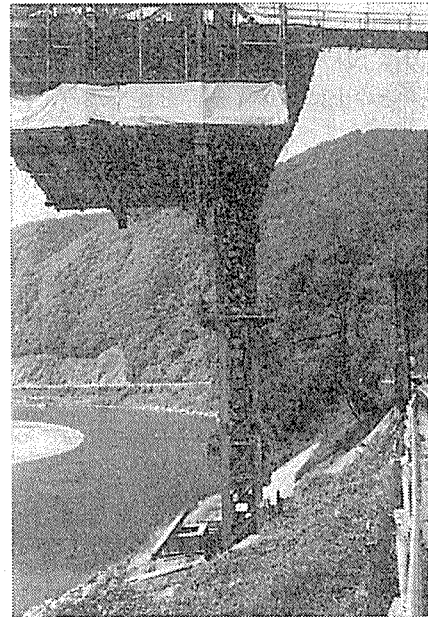


写真-4 仮支柱

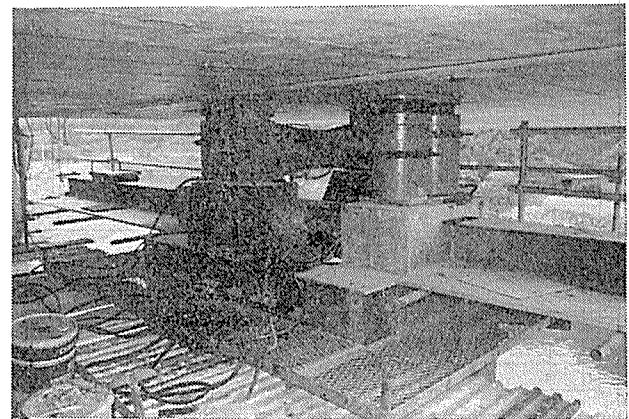


写真-5 仮支柱上の鉛直ジャッキ

仮支柱の解体は、A₁、A₂部の吊支保工部が完了後、橋面上に2台のトラッククレーン(45t, 30t)を据え付け、合吊りで行った。

6.6 吊支保工部の施工

中央径間の連結部および両側の桁端部は吊支保工にて

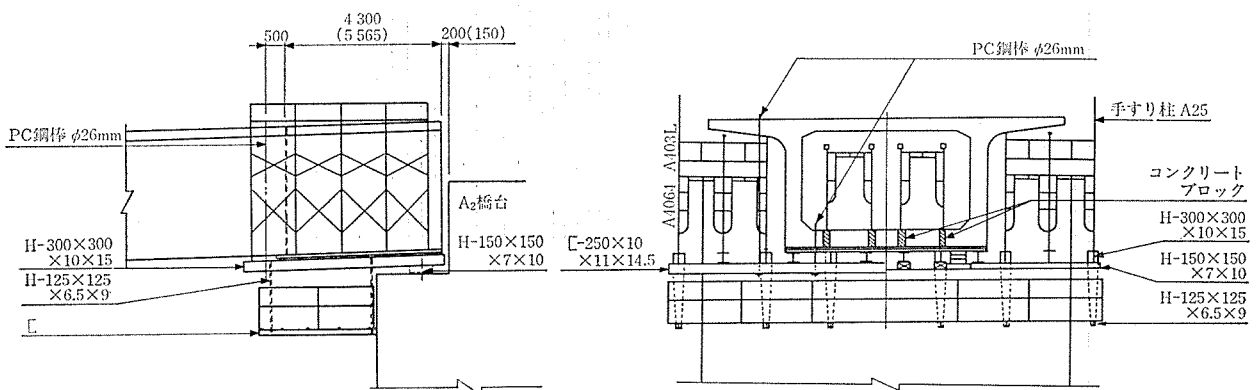


図-17 吊支保工図

◇工事報告◇

施工した。

桁端部分は下床版に 150×150 のコンクリートブロックを置き、その上にビティー枠を建て込み、内部支保工とした。

吊支保工図を 図-17 に示す。

6.7 工事工程

全体工事工程を 図-18 に示す。

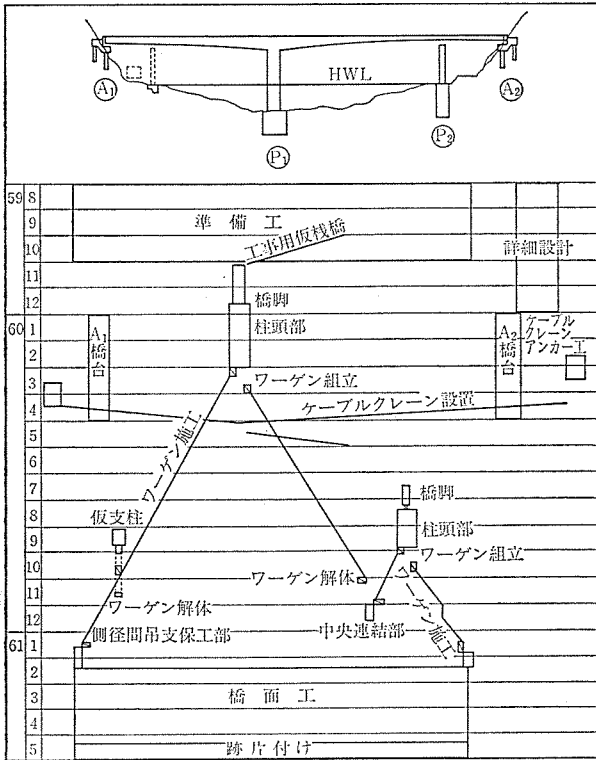


図-18 実施工程

7. 上げ越し管理

7.1 上げ越し計算

桁の上げ越し計算は、コンクリートのクリープ、乾燥収縮が終了した時点で橋面高が所定の計画高となるよう、各施工段階での型枠セット高を決定するために行う。本橋には以下のたわみを考慮した。

- ・桁自重によるたわみ
- ・プレストレストによるたわみ
- ・ワーゲンの移動、撤去によるたわみ
- ・仮支柱撤去によるたわみ
- ・仮固定解放によるたわみ
- ・橋面荷重によるたわみ
- ・クリープによるたわみ
- ・ワーゲンによるたわみ

7.2 上げ越し管理

型枠のセットは、温度差による桁の変形が大きいため、温度の影響の少ない早朝に行うのを原則とするが、やむをえない場合は、既設のブロック先端に仮ベンチを移しておき、これを基準に行った。

上げ越し管理図は毎ブロック作成し、動きに異常がないか、桁や橋脚のヤング係数が設計値と差がないかを確認しながら施工を進めて行った。

上げ越し計画高を 図-19 に示す。また、実測値を 図-20 に示すが、張出し長が 50 m を超えてから両側ともやや下がりすぎの傾向が生じ、中央連結部において一部強制力により修正を行った。原因としては施工中のクリープ、乾燥収縮による影響かと思われるが、現在検討中であり、別の機会に報告したいと思う。

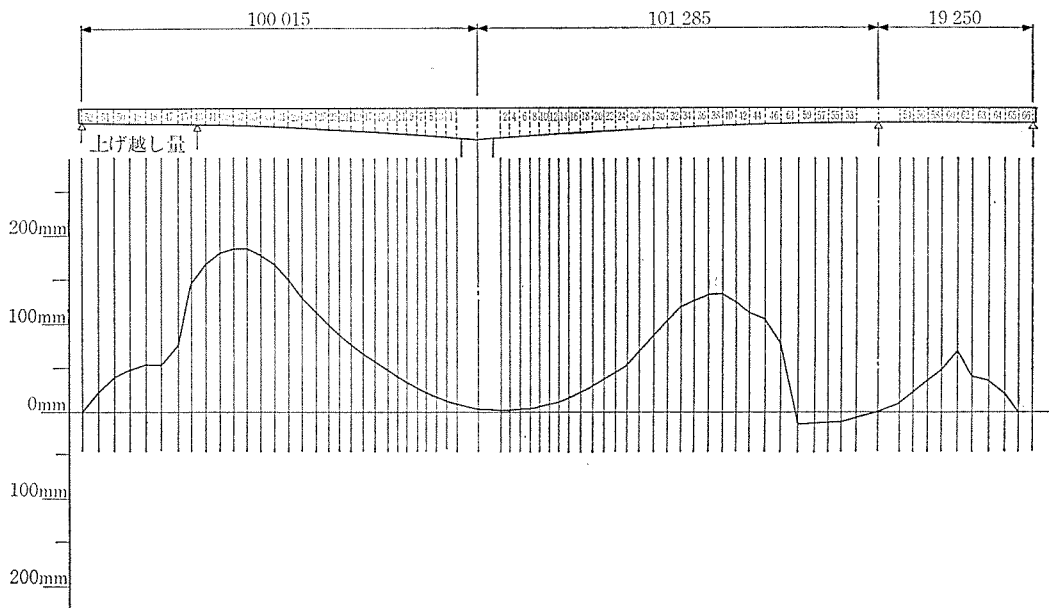
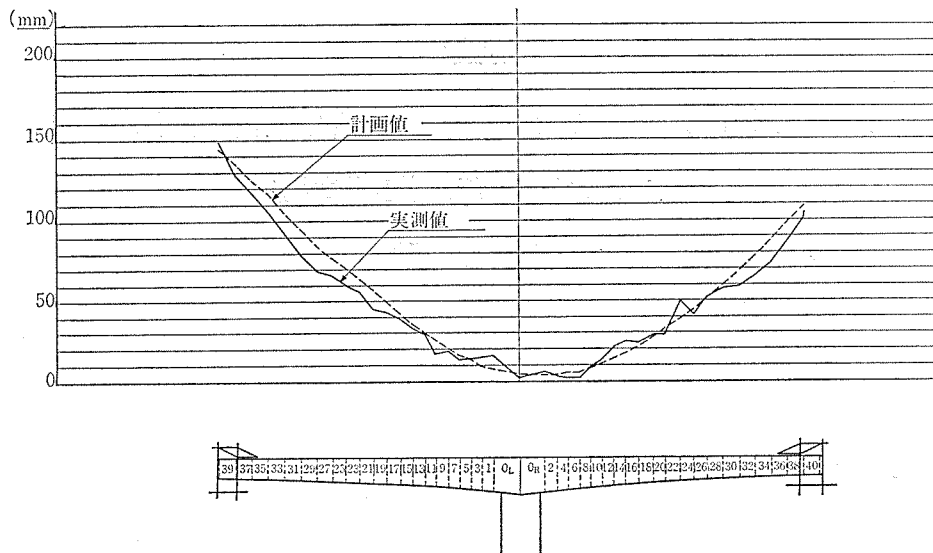


図-19 上げ越し図



図一20 上げ越し実測高

8. あとがき

球磨川第二橋は、下部工工事の着工以来2年6か月の工期を要し、本年5月に無事竣工した。この橋梁を工事用道路として使用してトンネル工事が間もなく開始される予定になっている。一日も早いトンネルの貫通と八代

～人吉間の開通が待たれる。

最後に本工事の施工にあたり、貴重な御意見、御協力をいただいた関係各位に対し、誌面を借りて心から感謝する次第である。

【昭和 61 年 7 月 4 日受付】

協会誌「プレストレストコンクリート」用ファイル発売のご案内

このファイルは2年分(12冊)綴込み用で、紺の布クロス表紙に金文字で「プレストレストコンクリート」と刻印したものです。散逸を防ぎ、取外しも自在ですので、重宝されると思います。

価格は、会員用に大変低廉になっておりますが、送料は割高になりますので、できる限りまとめて注文なさるか、協会事務局に立ち寄りお持ち帰ることをお勧めいたします。

体 裁：B5判(背幅60ミリ)，12冊綴込み用，布クロス張り(紺)

価 格：400円

送 料：1冊の場合 300円

2冊以上10冊まで @200円×冊数

11冊以上 実費請求