

## 球磨川第三橋の設計と施工

明 石 行 雄\*  
 原 田 初 男\*\*  
 吉 野 博†  
 森 谷 久 吉††

### 1. はじめに

球磨川第三橋は、日本三急流の一つとして有名な球磨川に架かる、九州縦貫自動車道の第3番目の高架橋である(写真-1)。橋長 480 m, 有効幅員 9 m の長大橋で、5径間連続 PC ラーメン橋と 6径間連続 PC ラーメン橋によって構成され、当工事は上り線部分のみの暫定施工であった。

施工方法は 5 径間部が移動作業車(以下、トラベラーと称す)による張出し架設工法、6 径間部が固定式支保工による張出し架設工法であった。定着工法はフレシネー工法(12 T 12.4)を採用し、PC 鋼棒の定着には新しく FAB 定着具を採用した。本橋では、5 径間部を主に設計と施工についての主な特色について報告する。

### 2. 設 計

#### 2.1 設計条件

設計条件は日本道路公団設計要領第二集、道路橋示方書(昭和 53 年版)に依った(表-1)。また、材料強度、許容応力度も同様に表-2 に示すとおり設定した。

#### 2.2 本橋の特色

特色を列記すると次のとおりである。

- ① 平面線形にクロソイド曲線を含む連続 PC ラーメン橋である(図-1)。
- ② 多径間連続ラーメン橋であるため、施工順序(閉合順序)を事前に決定し、構造解析、クリープ・乾燥収縮解析を行わねばならない。

- ③ 主鋼材の PC 鋼材を PC 鋼より線に変更した。
- ④ PC 鋼材定着具として新しく FAB 定着具を採用した。

設計を行うのに重要なスケルトンの設定とコンクリート材令の設定は、架設系から完成系へと順次累積して影

表-1 設計条件

項 目	内 容	備 考	
形 式	主 桁 橋 脚 基 礎	5 径間連続箱桁ラーメン橋 2 柱式(円形中空) ケーソン基礎	
荷 重	活 荷 重 衝 撃 係 数 地 震 ク リ ー プ・ 乾 燥 収 縮 レ ラ ク セ ー シ ョ ン 温 度	TL-20, TT-43 主 桁 $i=10/25+l$ 床版・横桁 $i=20/50+l'$ $K_H=0.21$ (5 径間部) $K_H=0.24$ (沓の設計) $K_V=0$ 構造物周辺の湿度、部材断面の形状寸法、コンクリートの配合、材令等を考慮して定める 5% 全体系 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 床 版 $5^{\circ}\text{C}$	静的解析 静的解析 道路橋示方書による
架設法	主 桁	張出し架設工法(移動作業車:トラベラー)	
その他	終局荷重作用時の組合せ	$1.3 D+2.5 \times (L+i)$ $1.0 D+2.5 \times (L+i)$ $1.7 \times (D+L)$ $1.3 \times (D+E)$ $1.0 D+1.3 E$ $D$ : 死荷重 $i$ : 衝撃 $L$ : 活荷重 $E$ : 地震	

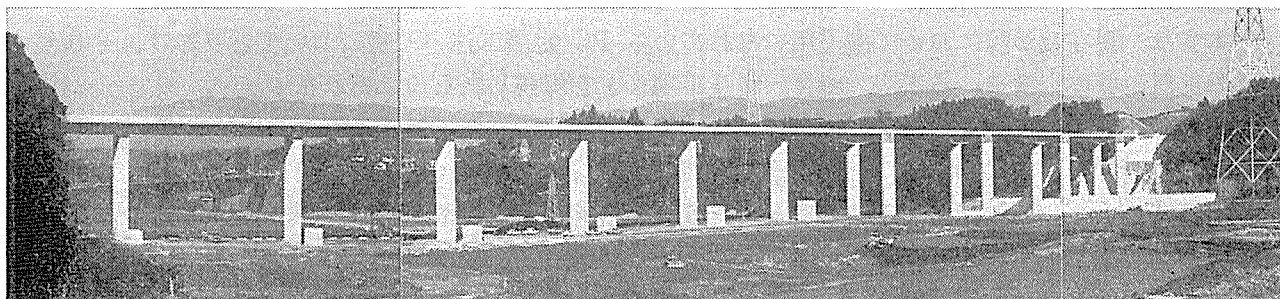


写真-1 球磨川第三橋

\* 日本道路公団福岡建設局人吉工事事務所構造工事長  
 \*\* 日本道路公団福岡建設局人吉工事事務所構造工事区

† 川田建設(株)(前)東京支店工務部工事二課課長  
 †† 川田建設(株)工事本部工務部工務課

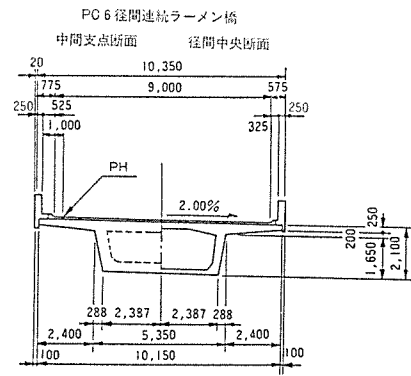
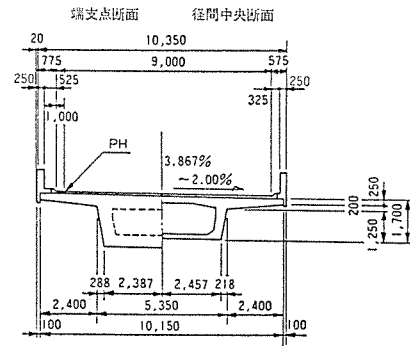
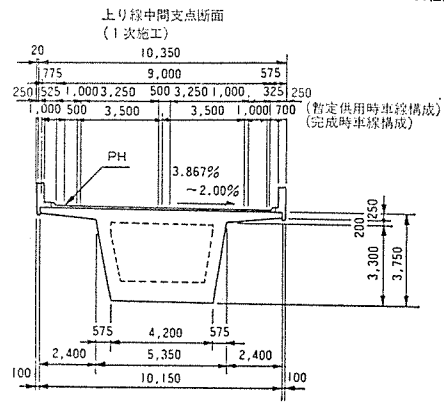
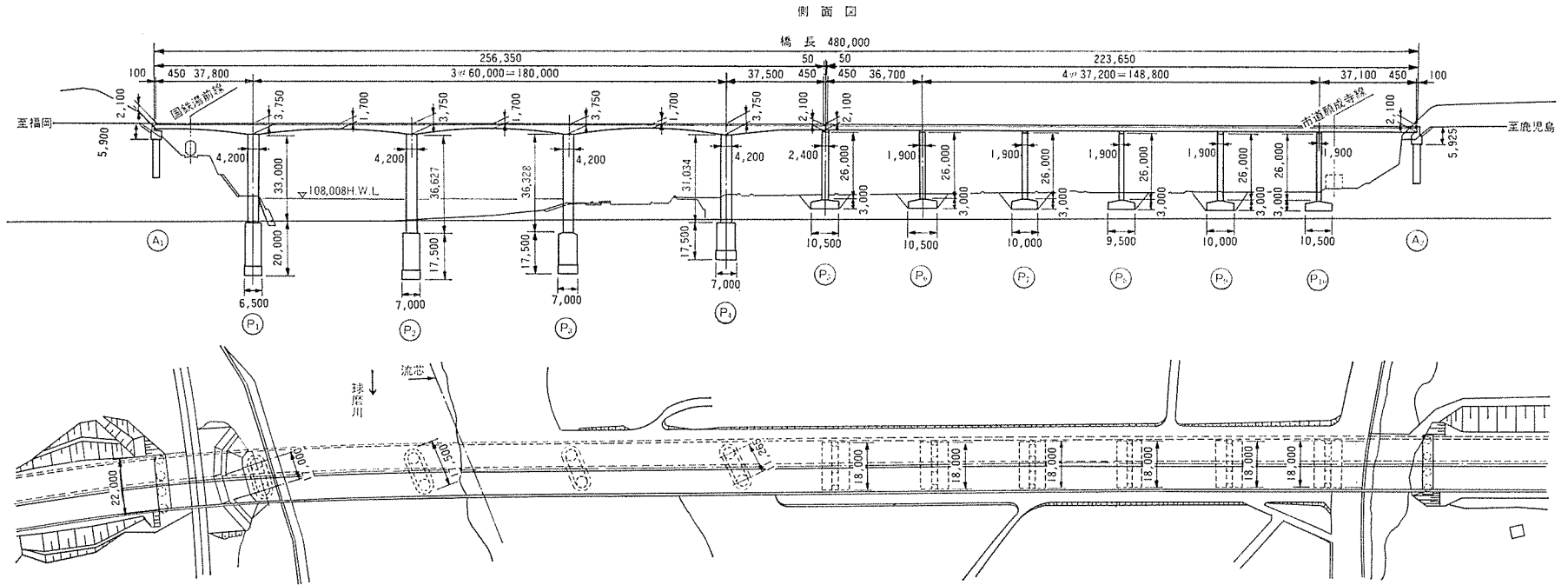


図-1 全体一般図

◇工事報告◇

表—2 材料強度および許容応力度

コンクリート		(単位: kg/cm <sup>2</sup> )		
		主 桁	地覆, 高欄	
設計基準強度		400	240	
プレストレス導入時 圧縮強度		325	—	
許 容 力 度	曲げ圧縮応力度	プレストレス導入直後	180	—
		設計荷重作用時	140	80
	曲げ引張応力度	プレストレス導入直後	-15	—
		全死荷重時	0	—
	せん断応力度	設計荷重作用時	-15(0)*	—
		終局荷重最大値 (せん断 or ねじり)	5.5	—
斜め引張応力度	設計荷重作用時	53	—	
	終局荷重最大値 (せん断 and ねじり)	61	—	
		設計荷重作用時 (せん断 or ねじり)	-10	—
		設計荷重作用時 (せん断 and ねじり)	-13	—

\* 桁上縁はフルプレストレス

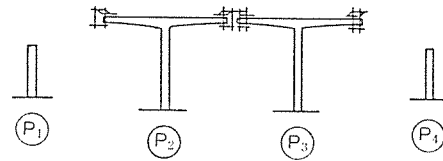
PC 鋼材		(単位: kg/mm <sup>2</sup> )			
		主 桁	床版横締め	横桁横締め	鉛直鋼棒
		PC 鋼より線 SWPR 7 A 12T12.4	PC 鋼線 SWPR 1 12 φ7	PC 鋼棒 SBPR 80/ 105 φ32	PC 鋼棒 SBPR 95/ 120 φ26
引 張 強 度		175	155	105	120
降伏点応力度		150	135	80	95
許 容 力 度	引張応力度	135	121.5	72	85.5
	プレストレス導入直後	122.5	108.5	68	80.7
	設計荷重作用時	105	93	60	71.2
レラクセーション (%)		5	5	3	3

響を及ぼすので、前述の①、②項に関しては特に慎重な打合せを行った。解析スケルトンは橋脚を含む基礎天端までとし、コンクリート材令は施工時の計画工程を設計工程に反映した。

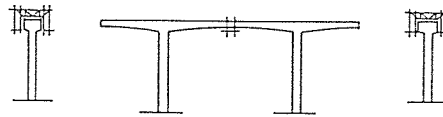
閉合順序は断面力（不静定2次モーメント）の発生に大きく影響するばかりでなく、コンクリート材令の算定とたわみ計算にも波及するので、多方面からの検討を行った。最終的には図—2に示す閉合順序に決定した。まず、P<sub>3</sub>・P<sub>2</sub> 橋脚の張出し施工を行い、ひき続いて P<sub>3</sub>~P<sub>2</sub> 間の中央閉合部を施工する。トラベラーを転用して、P<sub>1</sub>・P<sub>4</sub> 橋脚の張出し施工を完了し、トラベラーの撤去完了とともに側径間の施工を吊支保工にて行う。そして最後に、P<sub>1</sub>~P<sub>2</sub> 間・P<sub>3</sub>~P<sub>4</sub> 間の中央閉合部の施工を完了する。側径間を支保工施工とせず、吊支保工施工としたのは橋脚部の曲げモーメントが有利に作用したためであり、P<sub>2</sub>~P<sub>3</sub> 間の中央閉合を急いだのは P<sub>1</sub>・P<sub>4</sub> 橋脚施工期間を π 形でより安定に保ちたいという施工上の配慮からである。

閉合順序・側径間施工方法の比較・検討結果をまとめると次のとおりとなる。①閉合順序による断面力の変動

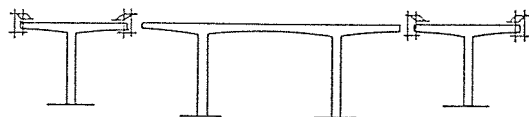
1. 主桁張出し



2. 中央径間閉合



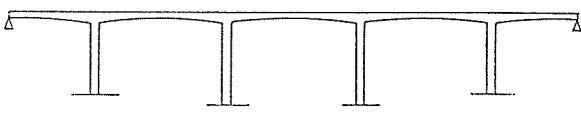
3. 主桁張出し



4. 側径間先閉合(吊支保工), 中央径間閉合



5. 構造系完成



図—2 閉合順序

は側径間施工方法に支配され、閉合順序そのものによってはほとんど生じない。④側径間施工方法による断面力の変動は、側径間側で大きく中央径間側では影響が小さくなる。③側径間施工方法のうち、支保工タイプは側径間の支間中央で正の曲げが増加し、吊支保工タイプでは柱頭部で負の曲げが増加する。

③項の PC 鋼材は、PC 鋼棒で発注されたものを、発注後請負人の PC 工法として PC ケーブルに変更し、使用した。PC 鋼棒を使用する工法では、カップラーの使用により PC 鋼棒の定着・接続が自由であるが、1 本当たりの導入力が小さくて、多数の PC 鋼棒を配置する必要があり、設計面によっては断面内への配置上の制約を受ける場合もあった。緊張材として高強度の PC ケーブルを用いて行う片持張出し施工 (FCC 工法: Free Cantilever erection with Cable) では、多種容量のケーブルおよび各種の定着具が応用でき、設計・施工の新しい要求にも対応することができる。設計上の特徴として、大容量のケーブルを使用するため鋼材本数が少なく断面内の配置が容易であること、可撓性のあるケーブルを使用するため PC 鋼材の曲げ上げ等鋼材配置の自由度が大ききことが挙げられる。また施工上では、主鋼材が後挿入となるため養生期間が有効に利用でき、かつ、PC 鋼

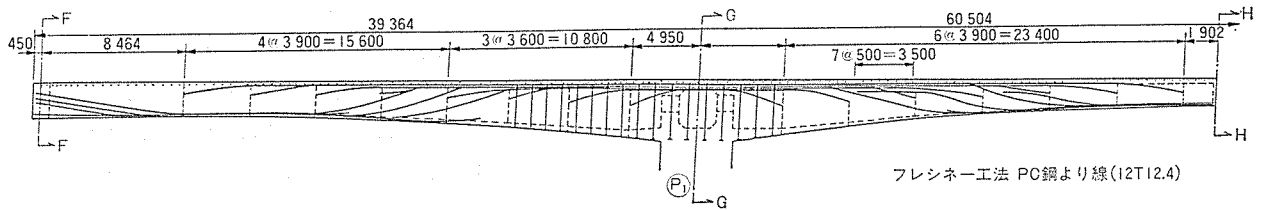


図-3 PC 鋼棒とケーブル配置図

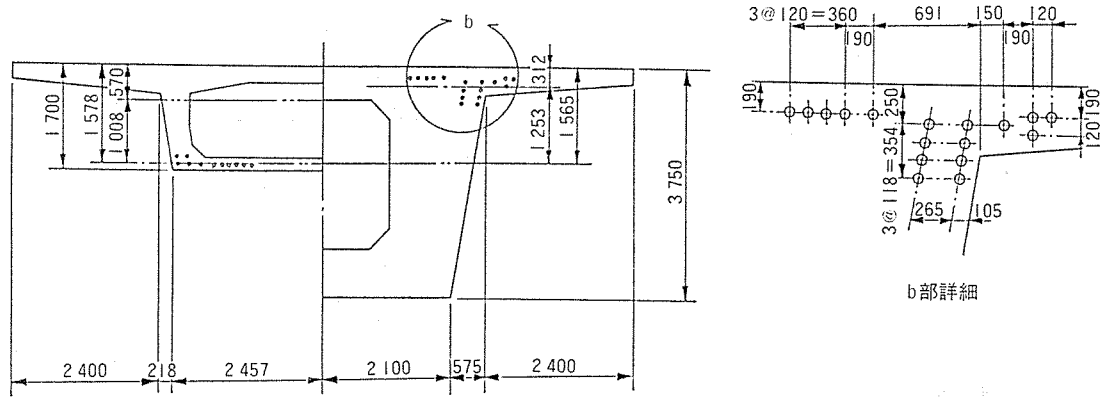


図-4 主桁断面のケーブル配置

表-3 コンクリートの合成応力度 (設計荷重時)

(単位: kg/cm<sup>2</sup>)

工 法		フレシナー工法
使用鋼材		PC 鋼より線 JIS G 3536 PC 鋼より線 7本よりA種
着目断面		
側径間中央断面 (④ 断面)	上 縁	19.7
	下 縁	7.2 (10本)
中間支点断面 (⑬ 断面)	上 縁	8.3 (34本)
	下 縁	89.7
支間中央断面 (⑭ 断面)	上 縁	64.7
	下 縁	4.1 (22本)

材の接続・緊張回数が少なくすむなど工程上有利な面がある。

本橋においては、ケーブルシステムの中からフレシナー工法を採用し主方向 PC 鋼材として JIS SWPR 7A の 12 T 12.4 を採用した。PC 鋼材の配置(側面・断面)を 図-3, 4 に示す。閉合完了後に緊張するスパンケーブルの緊張端は、突起定着とした。ウェブ突起が上床版の緊張用切欠きのかわりに採用された。表-3 において、コンクリートの合成応力度とケーブル本数を示した。

④項の PC 鋼棒の新しい定着具は、従来より用いられてきたアンカープレート方式にかわるものとして新しく開発されたもので、アンカープレートと PC 鋼材の直角性を確保し、グラウトの充填が完全にできる新しい支圧板(キャストイング)を用いている。

定着具は 図-5 に示すように、PC 鋼材にネジ込まれ

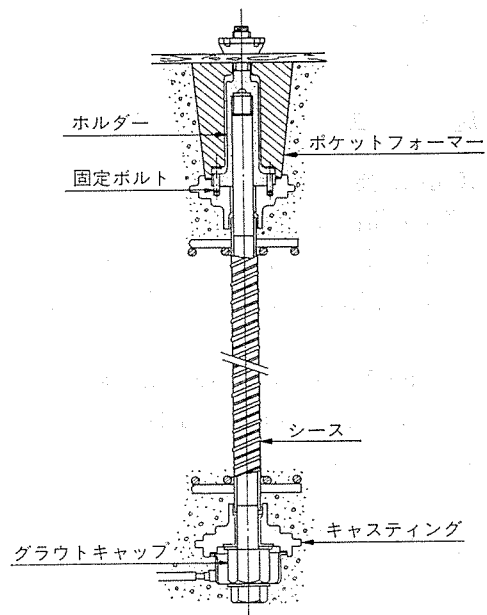


図-5 新型 FAB 定着具

たホルダーにキャストイングが面接合にて固定され、ホルダーを介して PC 鋼棒と直角になる。ネジ込み長さは 80 mm であり、固定ボルトの装着によりキャストイングの芯と PC 鋼棒芯が一致している。また、グラウト注入時には 図-6 に示すように、グラウトキャップより注入したグラウトはナット直下の溝と、キャストイング内部をくり抜いた孔によって、まんべんなく、かつすみやかにシース内へ流入するように工夫されている。

◇工事報告◇

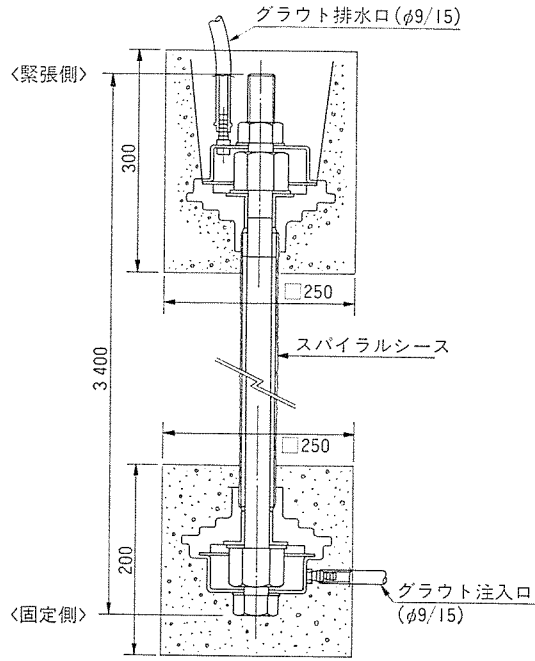


図-6 グラウト試験

定着具の性能確認をコンクリート供試体を用いて行い、①キャスティングとPC鋼棒との直角度、②グラウトの充填について良好な結果が得られた。

### 3. 施 工

#### 3.1 工事概要

工事名：九州自動車道 球磨川第三橋工事  
 路線名：九州縦貫自動車道 鹿児島・宮崎線  
 工事箇所：熊本県人吉市頼成寺町岩清水～七地町天道ケ尾  
 工事区間：STA. 401+60.0～STA. 408+27.3  
 橋 格：一等橋 (TL-20, TT-43)  
 構造形式：PC5 径間連続箱桁ラーメン橋 (変断面)  
 フレシネー工法，ケーソン基礎  
 PC6 径間連続箱桁ラーメン橋 (等断面)

フレシネー工法，直接基礎

橋 長：479.580 m (255.930+223.650)  
 支 間：38.916+60.504+60.007+60.296+35.157  
 m, 36.700+4 @ 37.200+37.100 m  
 有効幅員：(上り線のみ) 9.0 m [全幅10.350 m]  
 勾 配：縦断 0.5%，横断 2.0%～3.867%  
 平面線形：クロソイド (A=350)，直線  
 工 期：昭和 59 年 7 月～昭和 61 年 12 月  
 主要材料：表-4 参照  
 実施工程：図-7 参照

本橋の施工上の特色を列記すると以下のようにまとめることができる。

- ① 上部工・下部工を一つの共同企業体（株）白石，川田建設（株）で施工した。
- ② 10 月から翌年 5 月までの湯水期施工という制約の中で，河川内工事（ケーソン，橋脚，護岸，もたれ擁壁，橋体張出し施工）を消化せねばならなかった。
- ③ 交差する高圧線（九州電力：鹿児島幹線 22 万ボルト）が橋面上の建築限界直上を通過し，予防停電を行って作業をすすめた。

①項の共同企業体には，工期内にある 2 度の湯水期（合計 16 か月）を有効に使用して②項にあげた 5 つの工種をこなす必要があり，工期短縮をはかる管理が要求された。2 期目の湯水期は工事最盛期となり，仮栈橋上は上部工と下部工の工種が行きかい，事前の打合せと連係プレーが効果を発揮した。

第 1 湯水期は 10 月の仮栈橋の着手にはじまり，まず P<sub>2</sub> 橋脚のケーソンが始まった。P<sub>1</sub> 橋脚は築島に時間がかかり，翌年 1 月からのケーソン沈下開始となった。P<sub>1</sub>・P<sub>2</sub> 橋脚ともピアケーソンの沈下完了までが第 1 湯水期であった。P<sub>1</sub> 橋脚については，もたれ擁壁・護岸工・上部工と 3 つの工種が第 2 湯水期に集中するため，橋脚部の立ち上がりを先行させるため，索道を設置し資材運

表-4 主要材料

材	料	単 位	5 径間連続 PC ラーメン橋	6 径間連続 PC ラーメン橋	合 計	備 考
コンクリート	$\sigma_{ck}=240 \text{ kg/cm}^2$	m <sup>3</sup>	164.0	143.3	307.3	地覆，高欄 橋体（6 径間） 橋体（5 径間）
	$\sigma_{ck}=350 \text{ kg/cm}^2$	m <sup>3</sup>	—	1373.6	1373.6	
	$\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$	m <sup>3</sup>	1901.4	—	1901.4	
鉄 筋	SD 30	t	245.96	199.29	445.24	
PC 鋼 材	12T12.4	kg	62732.2	42803.2	105535.4	主鋼材 床版横締め 鉛直鋼棒 横桁横締め
	12φ7	kg	19545.7	16711.4	36257.1	
	φ26	kg	2091.9	1610.3	3702.2	
	φ26/φ32	kg	—/1268.8	426.3/236.8	426.3/1505.6	
型 枠	P <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>	1673.1	5892.2	7565.3	場所打ち部 張出し部
	P <sub>2</sub>	m <sup>2</sup>	5461.1	—	5461.1	
沓	BP 沓	kg	1877.8	2853.2	4731.0	

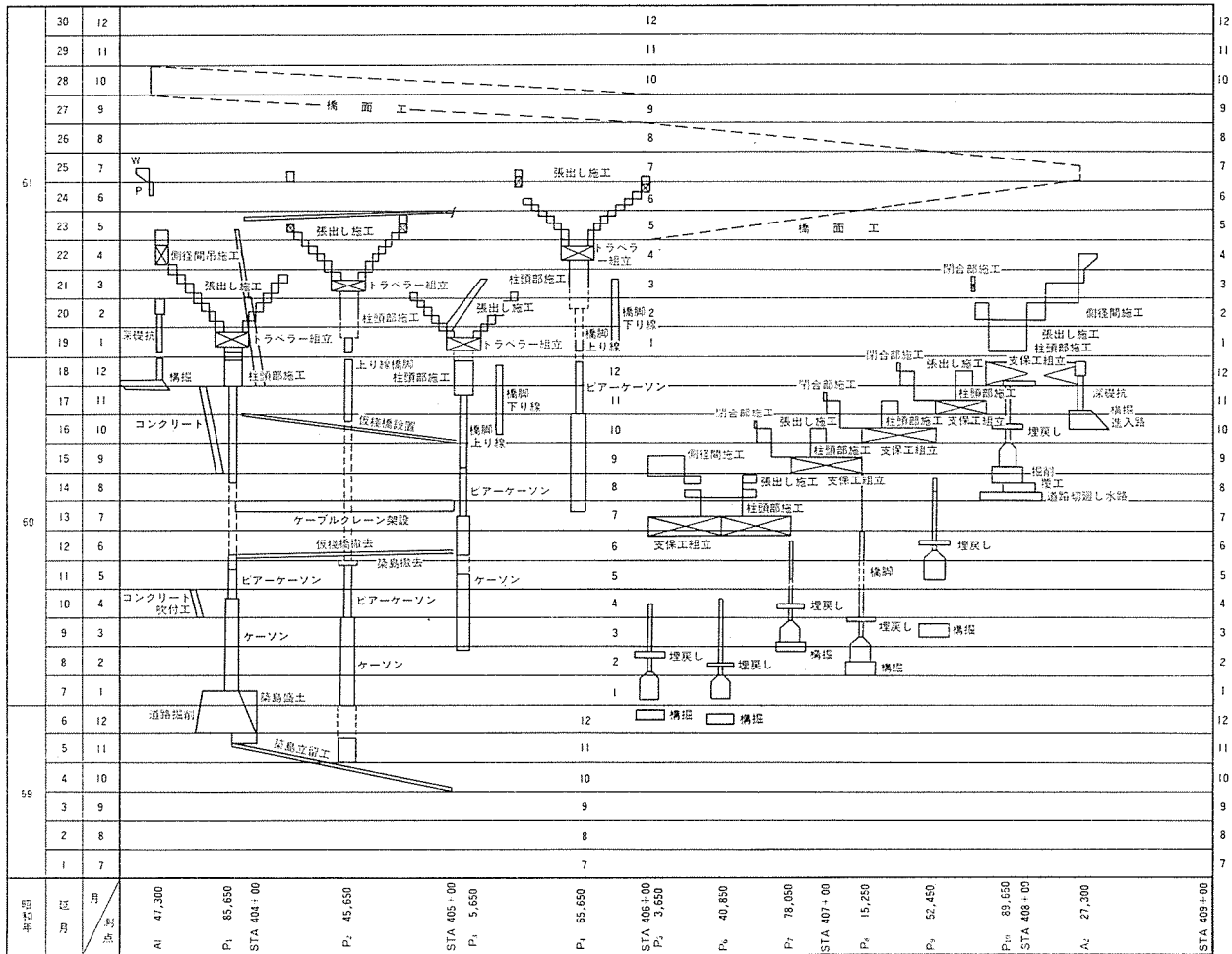
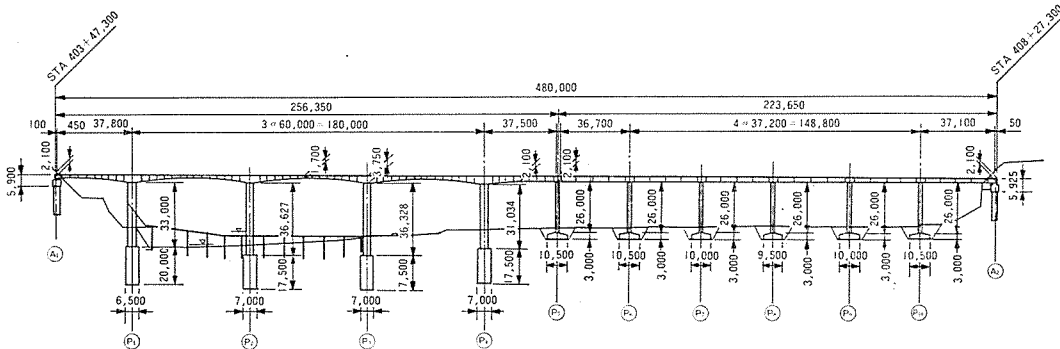


図-7 実 施 工 程

搬を行い、8・9月も作業を行った。P<sub>3</sub>橋脚は3月より着手し、送電線のかさ上げ作業と併行して作業を行い、11月末に上り線が上部工に引渡しとなった。第2渇水期にはいって河川内のP<sub>1</sub>橋脚が12月中旬に、翌3月にP<sub>2</sub>橋脚が引渡しとなった。トラベラーは4基使用し、P<sub>3</sub>橋脚からP<sub>2</sub>橋脚へ、P<sub>1</sub>橋脚からP<sub>4</sub>橋脚へ運用了。トラベラー施工は、P<sub>3</sub>橋脚の1月にはじまりP<sub>4</sub>橋脚の6月までの6か月間であった。

3.2 柱頭部の施工

柱頭部はブラケット支保工によって施工した。資材の吊上げにはすべて油圧式トラッククレーンを使用した。

吊足場はレッカーによる一括振込み(写真-2)を行った。橋脚施工時にあらかじめ埋め込んだVP管にPC鋼棒(φ26)を通し、山留材によって組み立てられた張出しブラケットを放射状に固定した(写真-3)。PC鋼棒は2回に分けて緊張し、円形中空橋脚にバランスよくプレストレスがはいるように配慮した。吊足場設置とPC鋼棒の緊張による張出しブラケットの固定は、時間短縮に効を奏し、吊足場の振込みからブラケットの固定完了まで3日であった。柱頭部の支保工解体(写真-4)は、型枠の脱型と同時にトラベラーの組立が始まるため、上下作業とならない範囲で安全に留意して取り組んだ。柱

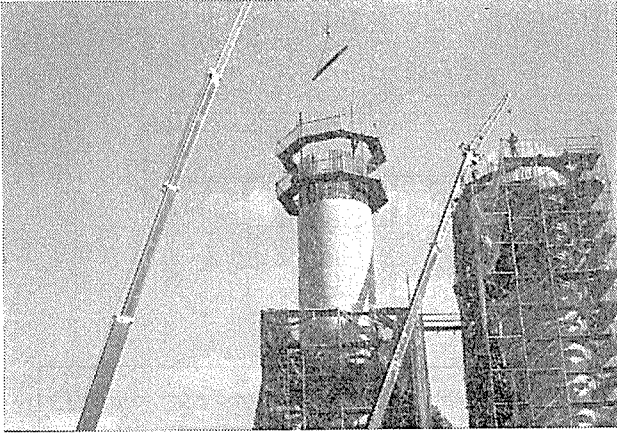


写真-2 吊足場のセット



写真-4 柱頭部支保工の解体 (P<sub>4</sub>)



写真-3 柱頭部ブラケットの取付け (P<sub>3</sub>)

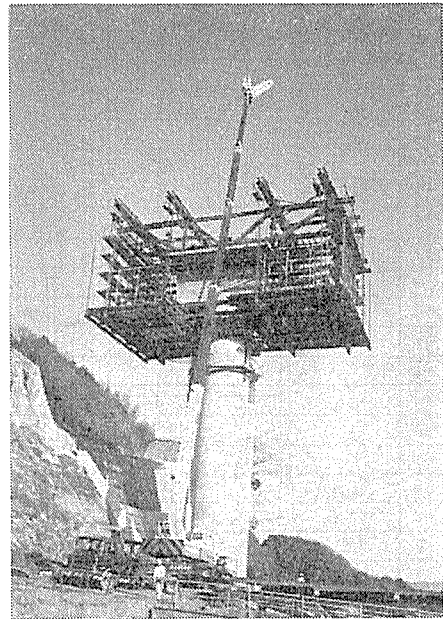


写真-5 双子型トラベラーの組立 (P<sub>1</sub>)

頭部は丸い橋脚と矩形の横桁が接する取合せとなり、配筋、特にスターラップと横桁鉄筋の組立に時間を要した。桁高 3.75 m のスターラップ筋を逆台形断面に合わせて角度をもたせて組み立てるため、円形に立ち上がる D 51, D 32 の橋脚鉄筋が直角・水平を基本とする横桁筋を阻害したためである。

### 3.3 トラベラー施工

移動作業車(トラベラー)をブロック長 9.0 m (P<sub>1</sub>, P<sub>4</sub> 橋脚の場合)の柱頭部上で組み立てるため、双子型トラベラーを使用した(写真-5)。対称施工の第1ブロックを張り出した後に2つに分離し、個々の作業車として張り出す構造となっている。双子型トラベラーの組立と分離に要する日数は、個々にトラベラー2基を組み立てる日数よりも短く、今回は組立8日間、分離4日間の合計12日間であった。

トラベラーによる作業工程は7日サイクルであった(写真-6)。

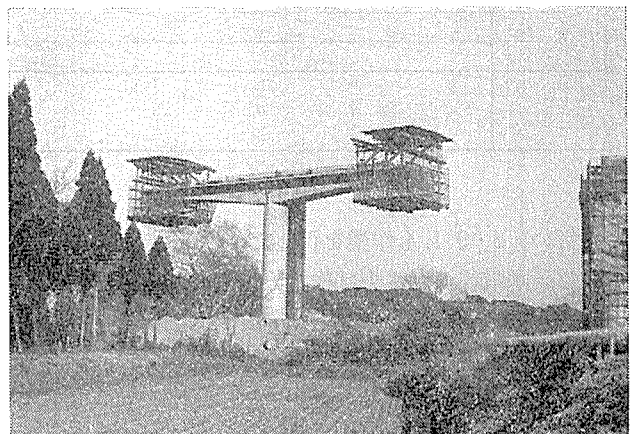


写真-6 張出し施工中 (P<sub>2</sub>)

- 第1日目 主ケーブルの緊張、脱型、トラベラー移動
- 第2日目 型枠セット、下床版・スターラップ配筋
- 第3日目 シース組立、内型枠組立
- 第4日目 上床版配筋、コンクリート打設準備



- 第5日目 コンクリート打設・養生
- 第6日目 養生・主ケーブルの挿入
- 第7日目 (鉛直鋼棒), 床版横締め緊張

第6日目の主ケーブルの挿入は、コンクリート打設時にシース内に仮挿入された黒ポリホース(φ54)を抜き取った後に、ウィンチによって行った。主ケーブルは工場で定尺長に切断されたものを、仮置き小屋より橋面上へ振り上げ、PC鋼より線(1T 12.4) 12本を1束としてガイドロープによって引き込んだ。シースは後挿入を考慮して厚肉の2000番シース(φ70)を使用した。対称施工(同時張出し)のためトラベラー2基で毎週7.8mの進捗度であった。

張出し施工時、特にトラベラーの組みばらしの際に、橋面上を交差して通過する送電線は大きな障害となった。レッカー作業の障害ばかりでなく、稼働中のトラベラーに誘導電流を発生させるなど、通常の安全管理の及ばない面にも配慮する必要があった。

### 3.4 吊支保工

設計時の検討に従い中央閉合部、側径間部とも吊支保工タイプで施工した。吊施工では荷重の一部を橋体に分担させるので、張出し先端部の鉛直変位と水平変位が打設荷重によって発生することになる。鉛直変位は高さ管理にとり入れて調整できるが、水平変位については杓まわりの型枠や、桁遊間の調整量を狂わず場合があるので配慮が必要であった。本橋の場合には吊支保工材でその移動を拘束することを考え、支保工材縦梁をプレストレスの導入で橋体に圧着させた。

吊支保工の解体時には仮棧橋を利用することができず橋面よりの作業となった(写真-7)。トラッククレーン

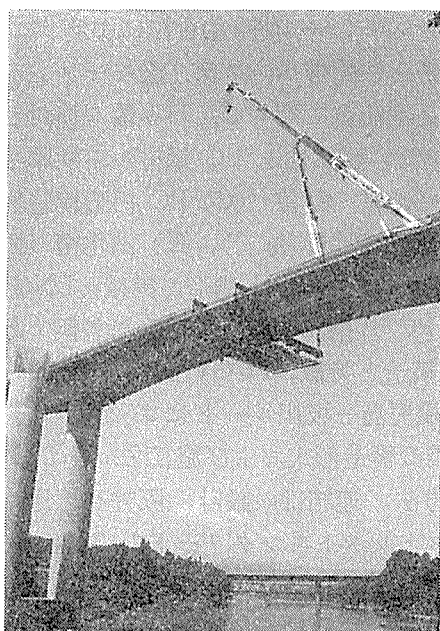


写真-7 吊支保工の解体 (P<sub>2</sub>~P<sub>1</sub>間)

2台の相吊りで枕梁を水面までおろし、それを1台のトラッククレーンで吊り上げた。

### 3.4 上げ越し管理

上げ越し計算は、PCカンチレバー橋設計施工プログラムにより行った。プログラムでは次の事項を考慮して上げ越し計算を行ったが、コンクリート打設時のトラベラー自身の変形量や型枠のなじみ量は、現場測定にて得ることとした。

- ① 桁の自重による変形(橋面工も含む)
- ② トラベラー、作業荷重による変形
- ③ プレストレスによる変形
- ④ プレストレスの減少による変形
- ⑤ クリープ・乾燥収縮による変形
- ⑥ 構造系の変化による変形

以上6項目の大型コンピューターによる計算値は、詳細設計完了時にマイクロコンピューターのデータとして、フロッピーディスクに収納されており、現場管理のうえで着目したい荷重パターンたわみをただちに得られる。また計算値と実測値との対比も同一画面上でできるようにできている。

現場における上げ越し管理の精度向上のため、P<sub>3</sub>橋脚張出し施工時に、①トラベラーと型枠支持材の変形量、②コンクリート打設前、打設中、打設後、プレストレス導入前後、トラベラー移動前後における標高を測定した。さらに、朝昼夕の時間的な桁の変形を追跡し図-8のフローチャートに示すように、上げ越し計算値の修正の有無を判定した。

現場実測値と計算値との比較によって、アンバランスモーメント作用時(片側ブロック打設終了後)の橋脚の

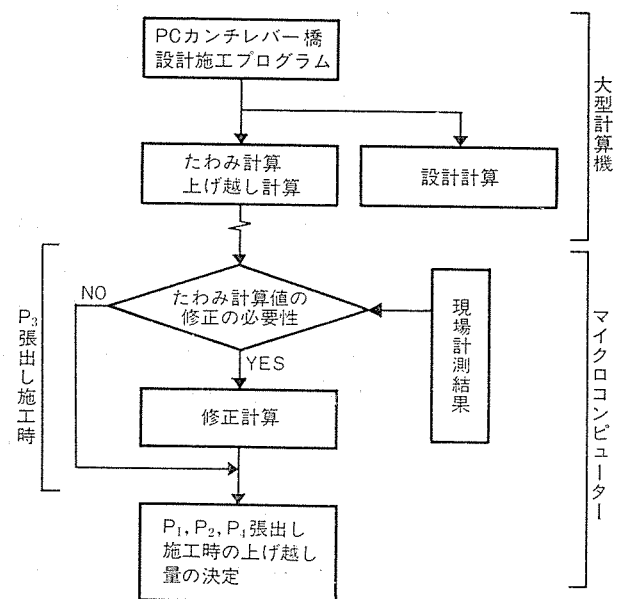


図-8 上げ越し量決定のフローチャート



#### ◇工事報告◇

回転変形が計算値よりも大きかったことから、実挙動に合致する橋脚の剛性を逆算し、その値によってたわみ計算値および上げ越し量の修正を行った。主桁の剛性についても計算仮定値とわずかに差異が生じたが、これについてはそのままの値を用いることとした。このように大型計算機で算出された上げ越し量を実務に合致するように修正し、上げ越し管理を行った。

#### 4. あとがき

球磨川第三橋は、無事故で竣工をむかえることができた。上部工・下部工を一つの共同企業体で施工したこと、急流河川の湧水期施工という制約、PC鋼材の変更、

新しいPC鋼棒定着具の採用という特色に、無事故という項目を加えることができた。この仕事で得られたものを、次の仕事に生かすべく、また、いたらなかったことの反省をこめて報告させていただいた。

最後に、お世話になった日本道路公団の職員の方々、(株)白石、川田建設(株)共同企業体の各氏の暖かい御協力に感謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 森本ほか：FCC工法によるPC橋梁の設計支援システム，川田技報，Vol. 6，1987年1月

【昭和62年1月27日受付】

---

#### ◀刊行物案内▶

### 最近のプレストレストコンクリート建造物の設計，施工と30年の歩み

(第14回PC技術講習会テキスト)

体 裁：A4判 192頁

定 価：3500円

送 料：450円

内 容：(A) PPCの勧め——設計計算法，PPC適用例（箱断面橋，屋根梁，沈埋トンネル）。(B) アンボンドPCフラットスラブについて——荷重釣合法によるPC鋼材の配置，設計荷重，架構応力の計算，柱列帯と柱間帯へのスラブ梁モーメントの配分，必要PC鋼材量と引張補強筋の配置，長期荷重に対するたわみ量の検討と最小スラブ厚さ，柱周パンチングシアに対する検討，耐火性とPC鋼材かぶり厚さ，アンボンドPCフラットスラブの曲げ破壊時の性質，結言。(C) PC円形建造物の現況——I) 序論，II) 水槽（PCタンクの分類，設計，施工），III) 消化槽（概要，設計，施工），IV) LNG・LPG貯槽（低温液化ガス用PC構造の実績，LNG地上式貯槽のPC防波堤，LPG地上式貯槽のPC外槽，LPG半地下式貯槽のPC外槽），V) 原子炉格納容器（概説，PCCVの構造と特徴，PCCVの構造形式の選定，PCCVの設計・品質保証）。(D) 本四連絡橋児島一坂出ルートにおけるPC橋について——児島一坂出ルートの概要，PC橋の構造形式および施工法。(E) PCげた橋の新しい連続化工法——連結部の接続方法，連結部の設計，阪神高速道路堺線における試験工事の施工報告。(F) プレストレストコンクリートの30年——PCの沿革（橋梁，建築，容器類，海洋建造物，その他），PC工場製品の沿革，PC橋の塩害対策。