

## 外津橋（ほかわづ）の片持架設について

——長大鉄筋コンクリートアーチ橋の施工——

宮 崎 雄 二 郎\*  
五 十 嵐 恒 夫\*\*

### 1. ま え が き

外津橋は一般国道 204 号線が佐賀県東松浦郡鎮西町と玄海町の間にある外津浦の湾口に架る中央径間 170 m の長大鉄筋コンクリートアーチ橋（以下 RC アーチ橋）である。その架設は兩岸から片持架設によって張り出してゆき、中央クラウン部で結合し完成させるという独特な工法がとられている。

RC アーチ橋の施工例は諸外国において、本橋より大きいものが 10 数橋を数える。ただしその施工法の大多数は支保工あるいはセントルにより行われており、片持式に架設された RC アーチ橋の施工例は南アフリカ連邦共和国に 1 橋の他、オーストリアに二、三橋あるのみである。しかし、本橋のようにアーチの片持架設と同時に、橋脚、上床版を施工した例は国内外ともにまったくない。このため本橋の施工にあたっては数多くの未知数を一つ一つ慎重に解決しながら進められ、昭和 48 年 12 月 29 日アーチは無事閉合し、翌 49 年 5 月 1 日一般の交通に解放した。

本報告はこの世界に例を見ない施工法を採用した外津橋の概要を述べ、特にアーチの片持架設について説明せ

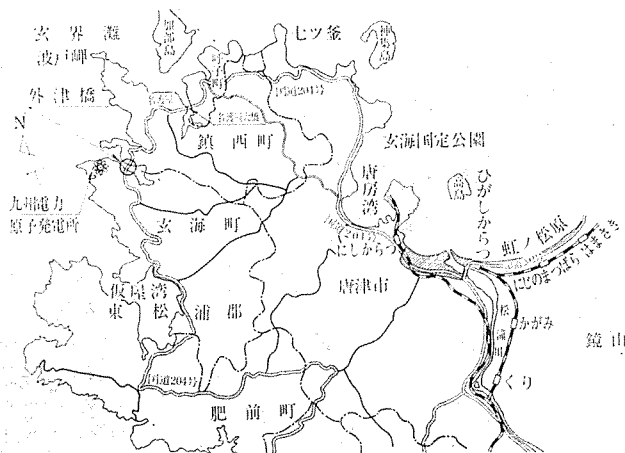


図-1 位 置 図

\* 佐賀県唐津土木事務所工務第二課長  
\*\* 住友建設株式会社九州支店唐津作業所長

んとするものである（文献 1~8）。

### 2. 外津橋の概要

図-2 に一般寸法を示した。

本橋の諸元は次のとおりである。

事業名：橋梁整備事業（公共）

路線名：一般国道 204 号線

工事箇所：佐賀県東松浦郡玄海町外津～鎮西町串

総事業費：5 億 2000 万円

橋 格：一等橋 TL-20

橋 長：252 m（中央スパン 170 m）

幅 員：9.5 m（車道 6.5 m，歩道 1.5 m 両側）

形 式：鉄筋コンクリート 2 ヒンジアーチ橋

架設工法：斜吊 PC 鋼棒使用による片持架設工法

橋面舗装：アスファルト舗装 5 cm 厚

縦断勾配：1.5% 放物線

横断勾配：車道部 2% 放物線，歩道部 2% 直線

計画交通量：自動車 2800 台/日，歩行者 760 人/日  
（昭和 60 年）

設計震度：水平  $K_h=0.15$

反力	橋台	架設時最大水平力 4268 t（常時）
		完成時最大水平力 234 t（地震時）
アーチアバット	架設時アーチ軸力 4918 t	
	完成時アーチ軸力 6618 t	

コンクリート強度：	アーチ	$\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$
		上床版
橋脚	橋台	$\sigma_{ck}=240 \text{ kg/cm}^2$
	アーチング	$\sigma_{ca}=80 \text{ kg/cm}^2$

航路限界：塑望平均満潮位上高さ 20 m，幅 80 m

橋梁中心道路標高：33.473 m

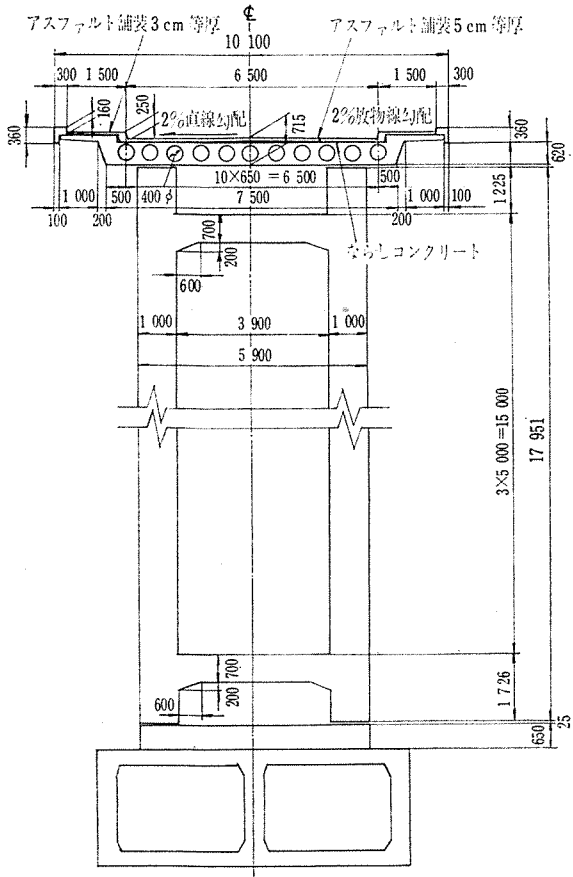
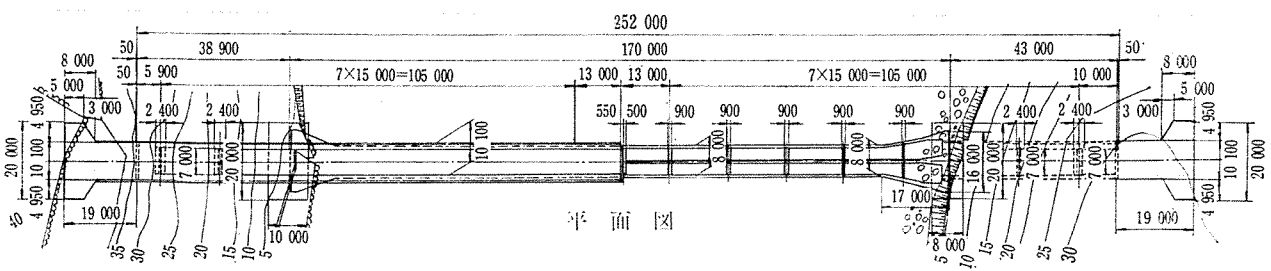
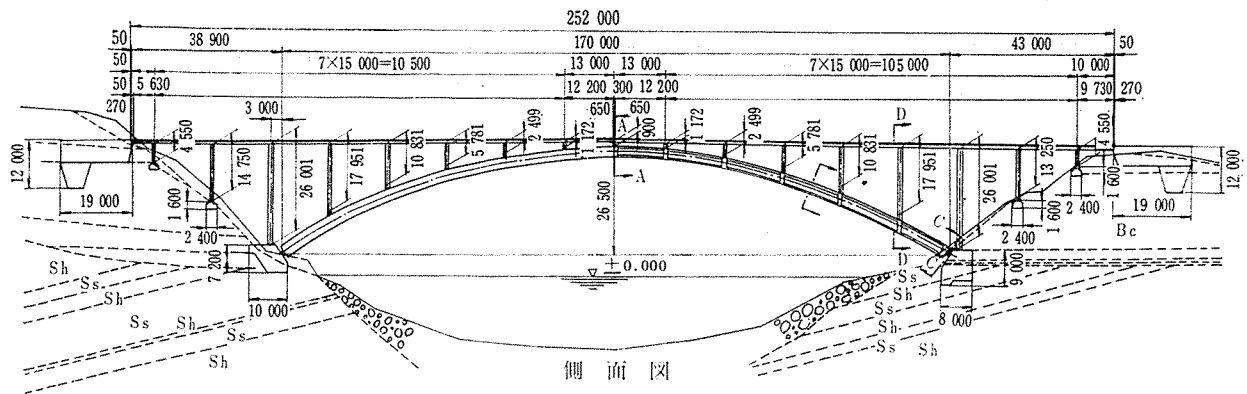
延労働者：35000 人

主要資材：コンクリート 11300 m<sup>3</sup>

PC 鋼棒 260 t（内 190 t 仮鋼棒）

鉄 筋 550 t

工 期：着 工 昭和 47 年 4 月



D-D 断面図  
図-2 一般図

完 成 昭 和 49 年 4 月

施 工 : 住 友 建 設 株 式 有 限 公 司

構造系は 図-3 に示したように、2 ヒンジアーチの上にロッキングピアと、中央クラウン部に伸縮継手を

有し、両側橋台に水平橋軸方向に拘束された 9 径間連続中空床版橋がのった構造である。

アーチリブは 図-4 のように 2 室箱型断面を有する鉄筋コンクリート構造である。このアーチリブは片持架設時のみ P C 鋼棒を使用した一時的プレストレストコンクリート構造物であり、そのコンクリート強度は  $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$  としている。アーチの閉合後は R C アーチとなるためそれほど高い強度は必要ないが、架設時の安定性と完成後のコンクリートのクリープ変形に対処して高い強度を採用している。アーチリブの片持施工と斜吊り、上床版の施工、アーチの閉合、さらに各種 P C 鋼棒の解体等により、コンクリートには大きな変動応力が発生する。この変動応力に対するコンクリートのクリープ性状についてはいまだ明確な解析は充分になされていない。しかし外津橋の場合は実際に現場で使用されるコンクリートの配合に従って各種の供試体を作成し、持続荷重下のクリープ試験のほかに持続荷重の増減を材令ごとに变化させてこの橋特有のクリープ性状を見つけ出しアーチリブの設計、上げ越し量の決定の参考にしてている。

アーチリブ上の橋脚は門型を採用し、その上下端には鋼製支承をそう入し、いわゆるロッキングピアとしている。これは上床版が左右の橋台に拘束されており、温度変化等の伸縮による変動量がアーチ部では非常に大きくなるためである。

上床版は通常の連続中空床版であり、 $\phi 33 \text{ mm}$  P C 鋼棒を使用したプレストレスト コンクリート構造である。施工速度との関係から橋脚頭部で 2 点支持とし、移動支保工材の通過が可能な構造を採用した。

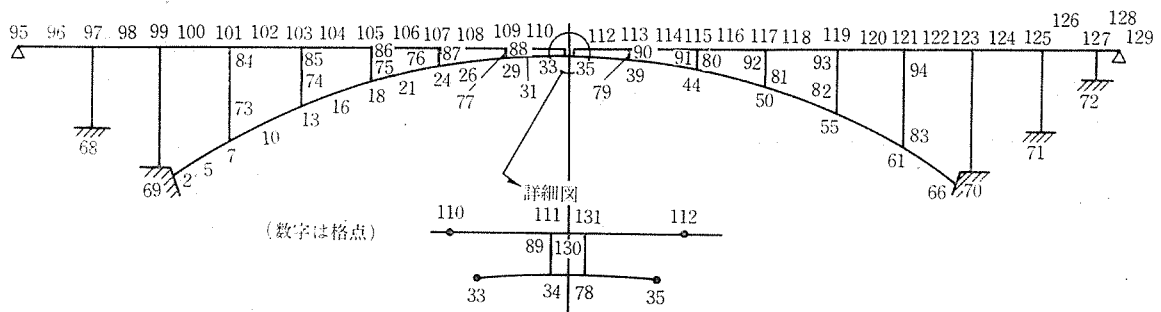


図-3

表-1 アーチリブ コンクリート示方配合表

スランブ の 範 囲 (cm)	空 気 量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水 W	セメント C	細 骨 材 S	粗 骨 材 G	混 和 剤
4±1	3	37	37	148	400	669	1 257	プラストクリート

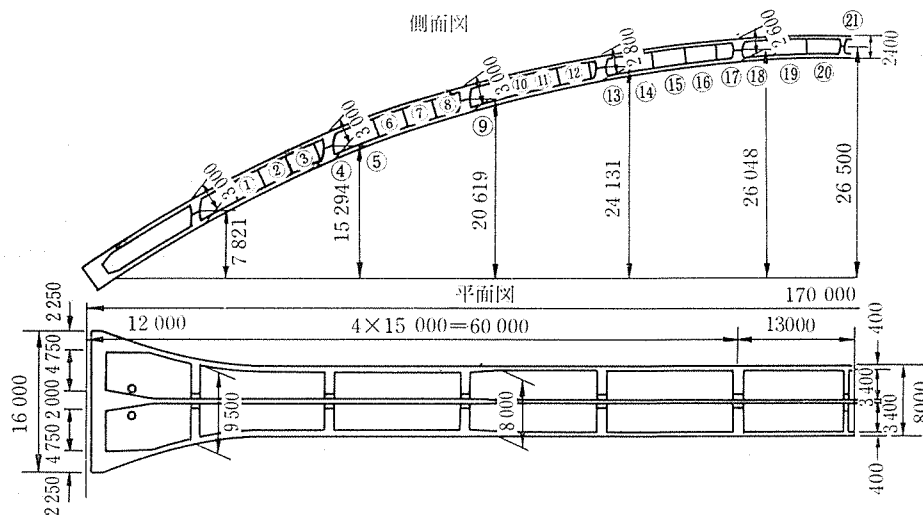


図-4 アーチリブ寸法図

本橋の架設は一時的トラス構造としているため、各種の仮設引張材を使用している。その主要なものは次のとおりであり、すべて  $\phi 33$  mm, 95/125 PC鋼棒をカップラーで継いで使用した。

- ① 上床版アウトケーブル
- ② 斜吊PC鋼棒
- ③ アーチリブアウトケーブル
- ④ その他の仮設鋼棒

これらの各PC鋼棒はアーチの片持架設の進行につれて順次プレストレスを導入し、あるいは自動的に荷重が増加する。この場合、多くのPC鋼棒群の各1本ごとの鋼棒張力はある程度の張力誤差が発生することが考えられた。特に斜吊PC鋼棒は本橋の架設の最大着目鋼材であり、これについてはアーチリブの片持架設の進行と合わせて全数張力管理を行い、さらに1本あたりの最大張力を通常のPC鋼棒許容張力より下げて本数を決定して

いる。

またこのPC鋼棒は海上に約6か月間放置されるため防錆上、および副射熱による温度変化の影響を極力少なくするため、さび止塗装の他に発泡性スチロール材により保護を行っている。この効果は非常に大きく、PC鋼棒の副射熱による長さの変化からくる張力変動および上げ越しへの影響はまったくなかった。

### 3. 施 工

図-6 は本橋の架設要領図、図-7 に施工工程表を示した。

左右岸の架設時約4400tの水平力を受ける橋台、アーチの軸力約6600tを受けるアーチアバットの完成とともにいよいよアーチリブの片持架設工程に入る。これら基礎工の工事と平行し側径間の橋脚も完成し、その上に上床版移動支保工を組み立て、側径間部上床版を施工

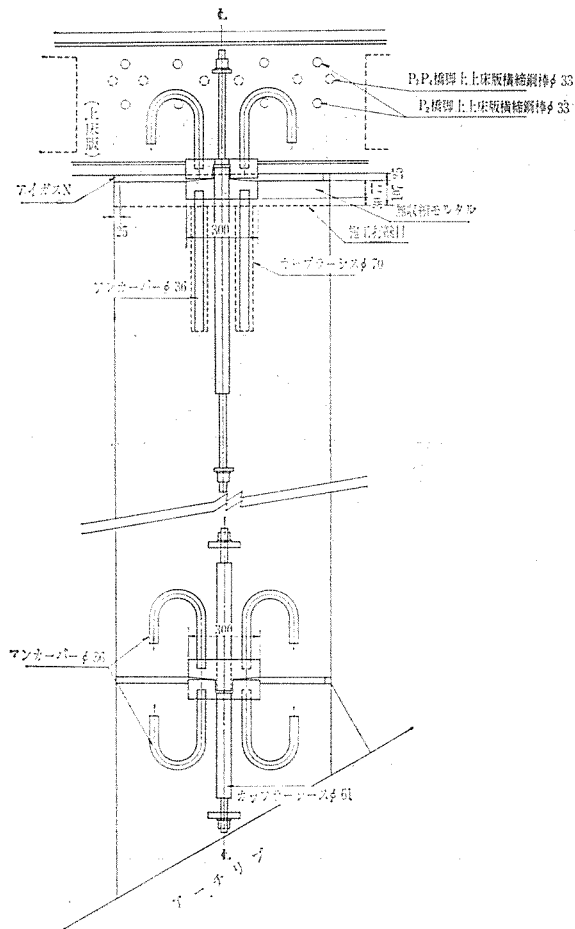


図-5 橋脚上下端シュー

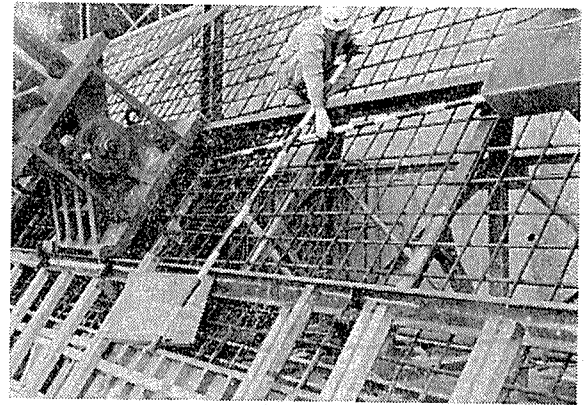


写真-2 アーチスプリング部支承の配置

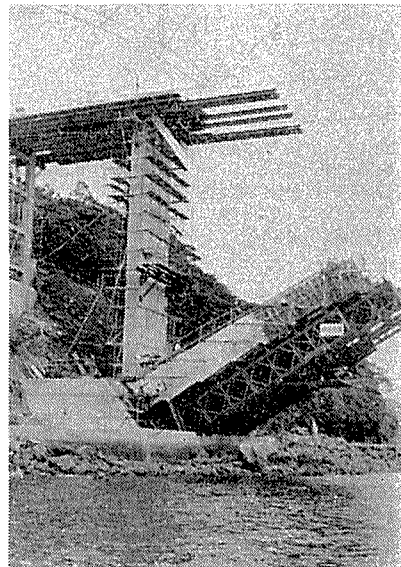


写真-3 斜吊支保工

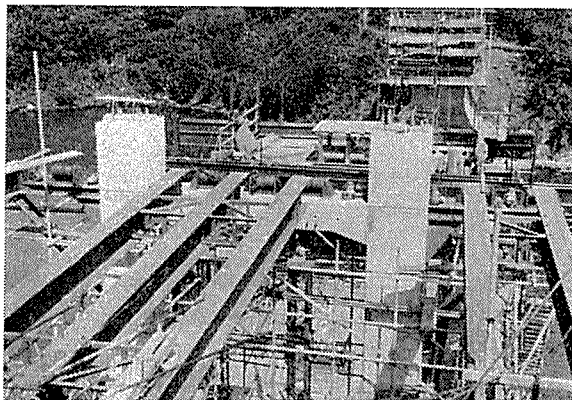


写真-1 上床版移動支保工

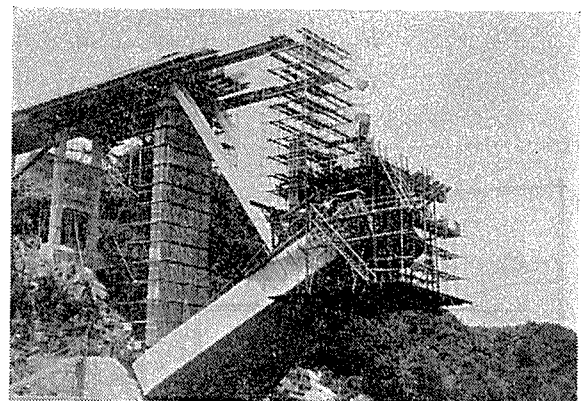
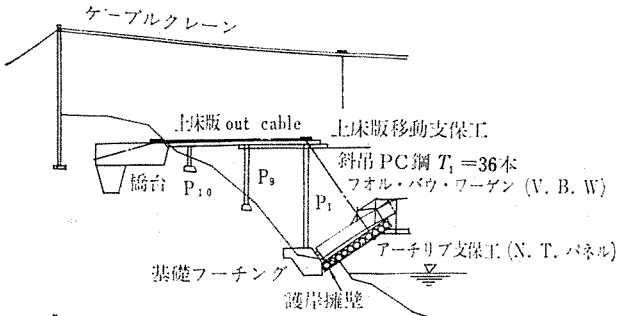


写真-4 架設作業車

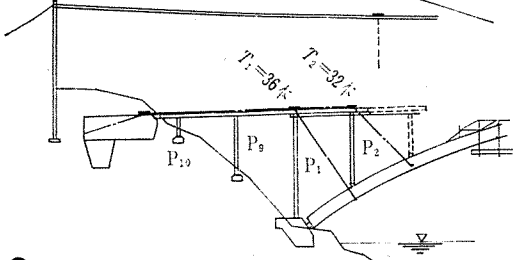
する。上床版移動支保工は写真-1のように橋脚上部の横桁およびブラケットを利用し、ローラーとジャッキで型わくの調整、前進が可能な構造である。

P<sub>1</sub> 橋脚の立上りと平行してアーチ軸力を受ける4基の大型シューを設置後、P<sub>1</sub> 上の上床版の施工終了と同時にアーチリブの斜吊支保工を組立てる。アーチリブのスプリング部は横方向の安定性上幅を16mと拡幅しており、この部分を架設作業車で施工することは困難だからである。

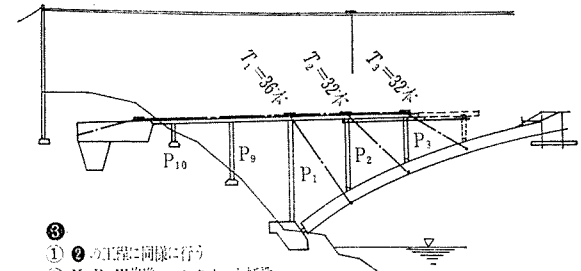
斜吊支保工はPC桁の架設等に使用される大型のパネルガーダーをアーチアバットに仮固定して片持式に張出し、T<sub>1</sub> PC鋼棒を利用して所定の高さにセットする。この場合特に注意を払ったのは斜吊支保工のコンクリート打設時の変位量である。T<sub>1</sub> PC鋼棒に作用する力の差が1本あたり約60tもあるため、PC鋼棒の重量によるたわみと吊支保工の変位に対して鋼棒の伸びも考慮



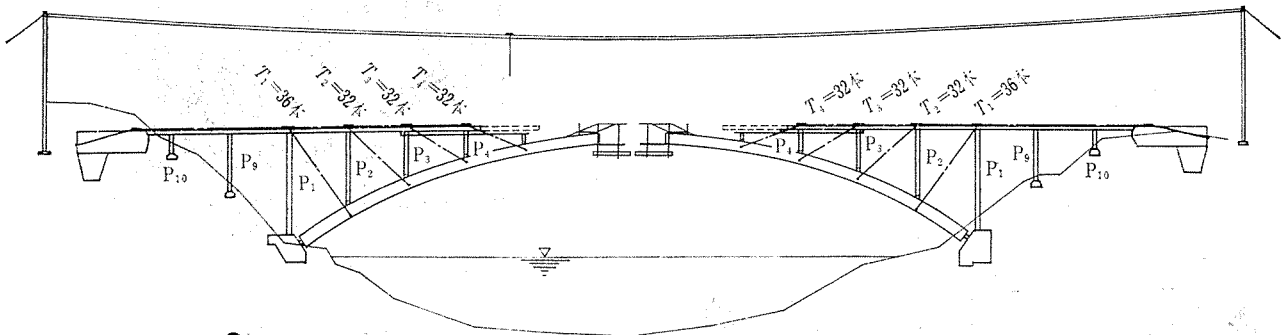
- ① 橋台、基礎ワーキング、橋脚ワーキング撤去 工を吊り下げる
- ② 橋脚間部橋台、ワーキング打設および橋脚打設 ⑧ アーチリブ支保工区間打設
- ③ 橋台P<sub>10</sub>橋脚間に上床版打設用移動支保工設置 ⑨ アーチリブ out cable 72本配置
- ④ 上床版移動支保工を前進させ橋脚間部を完成 ⑩ アーチリブ支保工 (NTパネル) 撤去
- ⑤ 上床版 out cable 76本設置 ⑪ デイビダーク式フォルパウワーゲンをアーチリブに設置
- ⑥ アーチリブ管 (1.65x) 管) 設置
- ⑦ 斜吊 PC 鋼 T<sub>1</sub> (36 本) にてアーチリブ支保



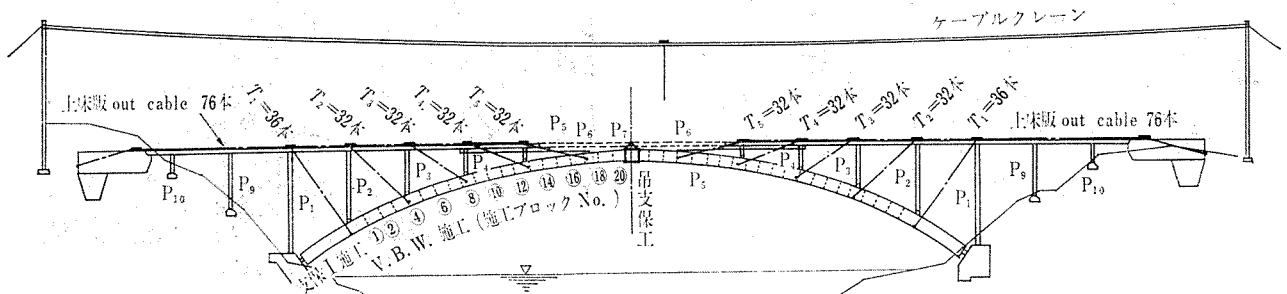
- ① アーチリブを支持棒りとして V. B. W 進工
- ② アーチリブ前進と同時に P<sub>2</sub> 橋脚打設
- ③ 上床版移動支保工前進させ P<sub>1</sub>~P<sub>9</sub> 間上床版打設
- ④ アーチリブ施工ブロック No. 5 を打設完了後 V. B. W 前進
- ⑤ ④ の時点で斜吊 P. C 鋼 T<sub>2</sub> 32 本設置
- ⑥ 上床版 out cable も同時に設置
- ⑦ V. B. W 前進後上床版 out cable 橋台後部で緊張



- ① ② の工程と同様に行う
- ② V. B. W 前進、コンクリート打設 アーチリブ out cable 緊張定着
- ③ 斜吊 PC 鋼 T<sub>3</sub> (32 本) 設置
- ④ アーチリブ施工現場橋脚、上床版を施工
- ⑤ 上床版既設 PC 鋼架緊張定着
- ⑥ 上床版 out cable 設置



- ① アーチリブは架設時に PC 構造、完成時に RC 構造となり、上床版は PC 連続ボックススラブ構造である
- ② アーチリブおよび上床版に PC 鋼架を out cable として用い、吊材材として PC 鋼架を用いる (架設用取組鋼架)
- ③ アーチリブは架設作業車 (フォルパウワーゲン) 施工とし、上床版は移動支保工施工とする (V. B. W 施工ブロック 3.5m)
- ④ 斜吊 PC 鋼架 (T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub>) は緊張管理は行わず、上床版 out cable は橋台後部で緊張定着する
- ⑤ 上床版既設 PC 鋼架は支点 (架設現場) より 4 m crown 側の横断位置で緊張定着する
- ⑥ PC 鋼架はすべて SBPC # 33 95/120 を用いる



- ① ②③ の工程と同様の施工法を行う
- ② 斜吊 PC 鋼架 T<sub>4</sub> (32 本) 設置
- ③ 斜吊 PC 鋼架 T<sub>5</sub> (32 本) 設置
- ④ アーチリブ施工ブロック No. ⑩ までワーゲン施工を行う
- ⑤ P<sub>2</sub> 橋脚、P<sub>1</sub>~P<sub>9</sub> 間上床版まで打設

- ① アーチクラウン部 2.496 m を残し V. B. W 撤去
- ② アーチクラウン部吊支保工施工を行う
- ③ 橋脚部 P<sub>9</sub>~P<sub>10</sub> 橋脚、P<sub>9</sub>~P<sub>10</sub> 間上床版施工
- ④ 既設鋼架 (斜吊 PC 鋼架) 上床版 アーチリブ out cable) 撤去
- ⑤ 上床版移動支保工、作業車撤去
- ⑥ 橋脚工施工
- ⑦ 橋脚完成

図-6 架設要領図

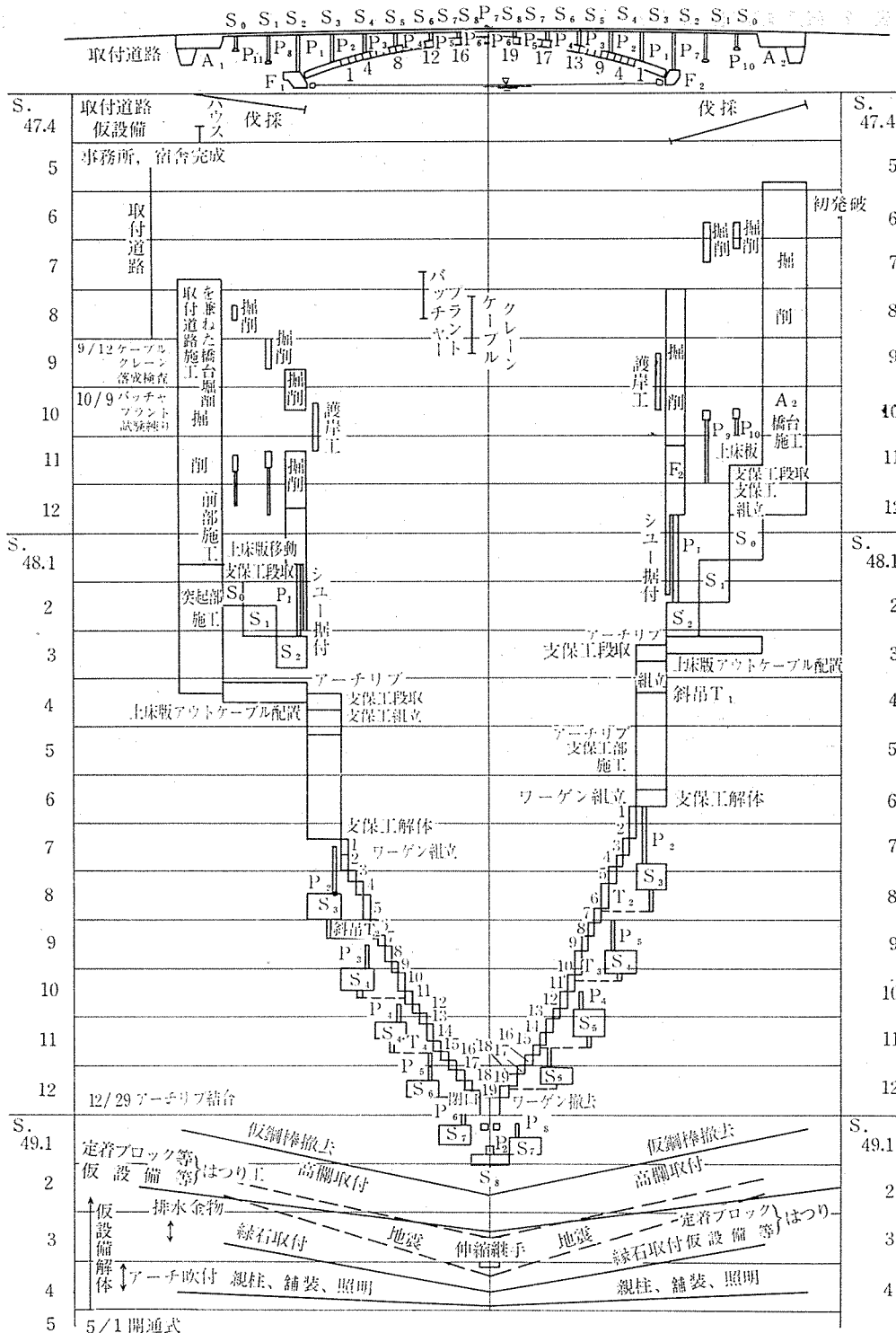


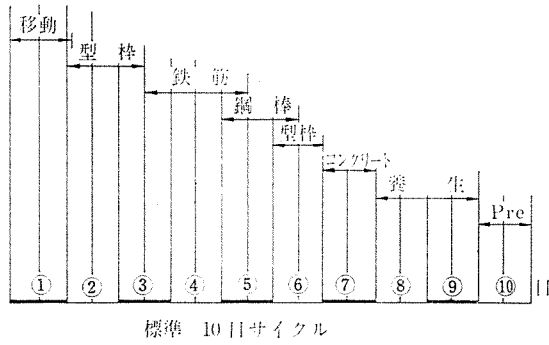
図-7 施工工程表

して計算しなければならないからである。

パネルガーダー上のコンクリート打設の終了後、パネルガーダーを解体する。この場合  $T_1$  PC鋼棒はコンクリート下面に定着され、さらにカップラーでPC鋼棒をつなぎ、パネルガーダーを吊る構造を採用し、下側のPC鋼棒応力を解放すれば自動的に支保工からコンクリートへ $T_1$ の張力は伝達される。

パネルガーダーの撤去後、先端に架設作業車を組立てる。架設作業車は斜面施工用の特殊な装置を保有し、油圧の力で上昇させ、かつ常時水平になる構造としている。架設作業車内の作業は一般のディビダーク方式による片持式橋梁架設工法とまったく同一である。しかし斜め位置での作業からくる問題点は多い。例えばコンクリート表面型わくの必要性、コンクリート打設方法、各

表一2 架設作業車標準工程表



種材の仮置、架設作業車の後退防止用安全装置等である。これらについては架設作業車の製作工場で仮組立をしたときに各種のテストを行い、実用に供している。

架設作業車は表一2のような標準工程にて前進させ、次の P<sub>3</sub> 橋脚の先⑦区割に進めながら同時に上床版 P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> および (T<sub>2</sub>) 斜吊 PC 鋼棒を張りわたす。張力を調整する。

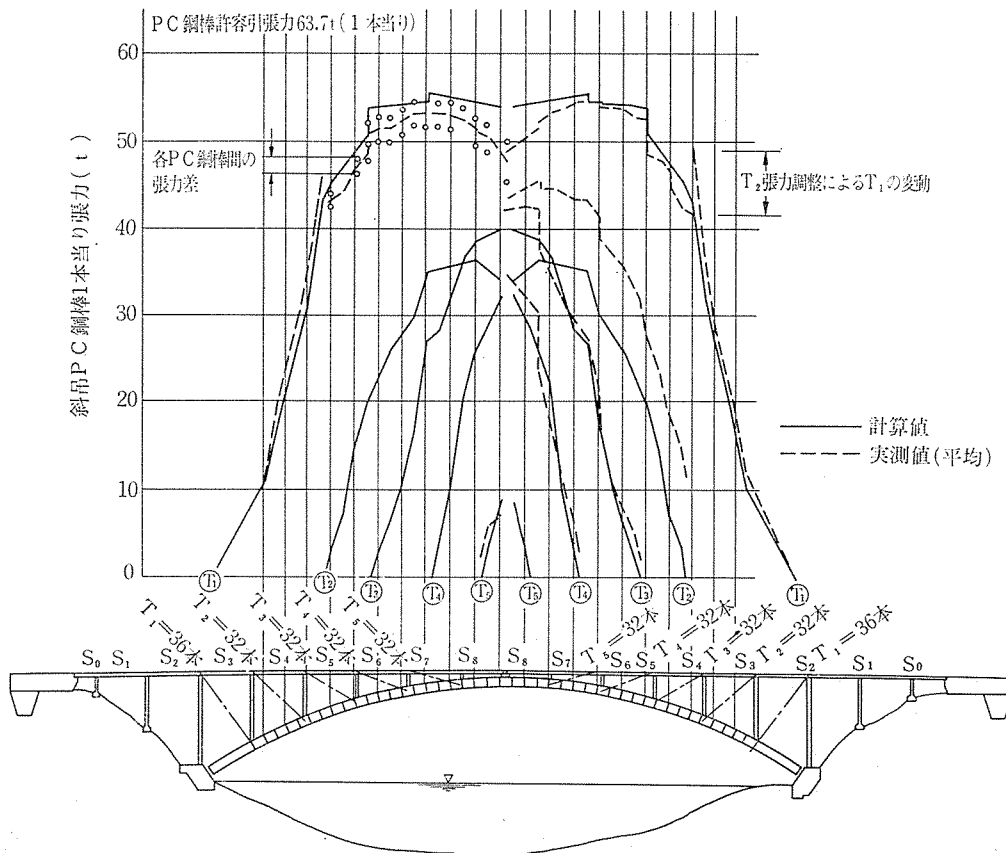
この時点からアーチは一時的に不静構造となり、片持張出が大きくなるにつれて不静定次数は増大する。したがって、全体のたわみ管理、寸法管理には充分注意しなければならない。アーチの軸線に関しては設計の段階で中央クラウン部で ±150 mm の施工誤差内であれば、各種部材の断面力はすべて許容値内にあるように断面諸

値を決定しているが、上げ越し値の変化によっては橋脚の高さを変化させて、上床版の路面の計画高を最終的に当初の計画高と一致させなければならない。このため、アーチの軸線についても極力当初の計画軸線と一致するよう努めた。

アーチの軸線の測量は精密な 5 秒読みのトランシットを使用し、すでに完成した上床版上から角度を測定し、かつ、各橋脚からの距離と組合わせて算出している。この場合、アーチの張出しが大きくなるにつれて誤差が累積される可能性があったので、P<sub>1</sub> 橋脚のアーチ側に長尺の高さ標示ゲージを取りつけて各施工区間ごとの所定高さをレベルにて測定し、前記のトランシットによる方法と照合しチェックしている。

その他両側のアーチの閉合時の誤差を少なくするため当時、日本でようやく開発され一般に使用されはじめた光波による測距儀を現場に常備して、アーチの中間距離を ±10 mm 以内の誤差にて測定しアーチ全体の施工誤差を極力発生さないようにしている。

T<sub>2</sub> PC 鋼棒の張力調整は以上の考え方から特に慎重を期し、設計計算当時は無張力の状態から出発予定であったが、無張力で斜め方向に直線状に配置することは困難であるため初期張力を 1 本あたり 10 t 導入した。その結果 T<sub>1</sub> PC 鋼棒の張力に変化が出たが、T<sub>1</sub> PC



図一8 斜吊 PC 鋼棒張力管理図

鋼棒は多少張力が増大傾向にあったため、これをいくらか減ずる効果が出た。

架設作業車は⑦→⑩に進め、その間に  $P_3$  の立上り、 $P_2-P_3$  間上床版の終了を待って  $T_3$  PC鋼棒の張りわたしを行う。

以下全作業はすべて当初に計画した順序を忠実に守り、アーチを閉合させるが、橋脚はロッキングピアーのため橋脚の立上り工程での安定性を確実にするため、すでに完成した橋脚との間に  $H-200 \times 200$  を利用して橋脚転倒防止工を実施した。

架設作業車が前進上昇するにつれ、上床版移動支保工部材、斜吊PC鋼棒、アーチリブアウトケーブル等の立体的配置が変化する。このため本橋の場合は詳細設計の段階でこれら各種補助架設材の設計をあらかじめ実施し、これが立体的に配置されたときに、いずれの施工段階でも競合しないよういわゆる建築限界を設けている。非常に高所のせまい作業場ではこの方法は事前に安全作業の進め方を知る上に非常に有効であった。

アーチ中央部約 50 m は、上床版  $2 \times 2$  径間を残して架設作業車のみにて片持施工し、閉合させた。クラウン部は当初架設作業車を解体し、吊支保工施工の予定であったが、架設作業車を補強して最終 ⑳㉑㉒の3区間を同時に施工した。したがって、アーチリブ左右の軸線誤差は上方向に約 50 mm、相互間誤差はほとんど見られなかった。

その後各斜吊PC鋼棒、上床版アウトケーブル、アーチリブアウトケーブルの応力解法、解体撤去作業に入ったが、その施工順序はあらかじめ計算され、安全性の確保されたプログラムにしたがって各PC鋼棒をジャッキを使用しながら段階的にゆるめた。特に斜吊PC鋼棒はアーチ全体の変形を左右対称にしなければならないので留意した。

本アーチ橋は直接的な応力調整を実施せず、各PC鋼棒の解体に合わせて、中央部上床版のコンクリート重

量を作用させることによりアーチの軸線を調整している。

上床版の完成、各種付帯設備、および斜吊PC鋼棒の上床版上にある定着体等のはつり等の施工を実施し本橋の施工は終了した。

### あとがき

わが国最初の長大RC橋を、しかも片持式に張出施工するという未だ経験のまったくない架橋工法を採用し、無事故でこれを完成させ得たのは多くの方々のお指導、御援助によるところが非常に大きい。

設計当時は建設省道路局、同土木研究所、日本道路公団、首都高速道路公団の御専門の方々の検討をお願いした。また工事中に現場までわざわざおいで下さり各種のアドバイスを与えて下さった各大学の先生方ならびに設計を相当した(株)千代田コンサルタントに誌上より厚く御礼申し上げます。

なお、本橋の工事記録映画が製作されており、詳細は土木学会誌 1974 年 9 月号をご参照下さい。

### 参 考 文 献

- 1) Brücke über don Rio Parná in Fozdo Iguacú, Brasilien, Beton und Stahlbetonbau, 1966.6
- 2) Spann betar bogen brücke mit 305 m Spann weite, Der Bauingenier, 1967.9
- 3) 宮崎外：津橋の設計および施工計画について、コンクリートジャーナル Vol. 11, No. 3. March, 1973
- 4) 井上、宮崎：外津橋の架橋、道路、1974-2
- 5) La Construzio dell arco del ponte Van Staden's in Sud Africa, "L'Industlia Italiana del Cemewento", Anno XII 12-1971 Dr-Ing Mario d'Aragona
- 6) PC長大橋の設計と施工、住友建設長大橋技術研究会編理工図書
- 7) 椋本、吉田：日の影線網ノ瀬拱橋工事について、土木学会誌、第23巻第9号、昭和12年9月
- 8) 宮崎、五十嵐：外津橋の設計・施工、橋梁と基礎 74-7, 74-8

1974. 8・20・受付

## 転勤(または転居)御通知のお願い

御勤務箇所(会誌発送、その他の通信宛先)の変更の御通知をお願い致します。

会誌発送その他の場合、勤務箇所の連絡先が変更になっていて、御知らせがないため郵便物の差戻しをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく、当協会としても二重の手数と郵送料とを要することになりますので、変更の場合はハガキで結構ですからただちに御一報下さるよう御願い致します。御転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されないで御入手になれない場合等は、当方として責任を負いかねますから御了承願います。