

論文・報告

プレキャスト合成アーチ橋の設計と施工

Design and Construction Method of Composite Arch Bridge with Precast Members

野口 堯 史*
Takashi NOGUCHI金田 高 康**
Takayasu KANEDA野田 行 衛***
Yukie NODA谷 野 英 一****
Eiichi YANO新井 達 夫*****
Tatsuo ARAI塚 本 俊 一*****
Shun-ichi TSUKAMOTO

This paper presents the composite arch bridge with precast members constructed in a golf course. The length of this reinforced concrete bridge is 81.0 m, the arch span is 42.0 m and the effective breadth is 3.0 m.

The method of constructing this bridge was the compound construction method of combining the precast members manufactured in a factory and the field construction, and it is the feature that the execution of arch ribs was able to be done without using a carriage for moving works. By this construction method, it was effective for the labor saving in the field workings, for the shortening of construction period and also for the improvement of the quality.

In this paper, the planning, the design and the construction and the execution management are outlined.

Keywords : composite arch bridge, precast member, design, construction.

1. まえがき

本橋は富士国際ゴルフ倶楽部 9 ホール増設事業のうち、コース内を流れる佐の川を越す No.5 ホールのティーからグリーンへの連絡橋である(図-1)。

この周辺は富士箱根伊豆国立公園であり、架設位置付近からは雄大な富士山を仰ぎ見ることができ(写真-1)、きわめて風光明媚なところである。このため周辺との風景を重視し、自然とマッチする橋梁形式として、鉄筋コンクリートアーチ橋が採用された。

本橋は橋長81.0 m(アーチスパン42.0 m)、有効幅員3.0mの橋梁であり、アーチリングの架設には、工期短縮を図ったプレキャスト合成桁を組み合わせた工法を採用(以下プレキャスト合成アーチ工法という)。

本工法は工場製作のプレキャスト部材と現場施工を組み合わせた、いわゆる複合化工法であり、移動作業車による型枠を用いることなく施工できるのが特徴である。

複合化工法は、最近建築の分野でかなり普及が進んでおり、現場作業の省力化や工期短縮を可能にしている。

本稿は、土木分野における複合化工法の新しい試みとして行ったアーチ橋の設計および施工について概略を述べるものである。



図-1 架設位置



写真-1 架設位置付近の風景

*川田建設(株)東京支店工事部長 **川田建設(株)東京支店工事部次長 ***川田建設(株)工事本部開発部技術開発課課長
****川田建設(株)東京支店工事部工事課 *****川田建設(株)工事本部開発部技術開発課 *****川田建設(株)東京支店工事部工事課係長

2. 工事概要

工 事 名：富士国際ゴルフ倶楽部 9 ホール増設
5 ホール連絡橋工事

工事場所：静岡県駿東郡小山町地先

発 注 者：大成建設㈱

型 式：RC固定アーチ

橋 格：2等橋(TL-14, T-20)

橋 長：81 m

桁 長：80.9 m

支 間：アーチスパン42 m, ライズ9.988 m

幅 員：3 m(有効幅員)

下部構造

軀 体：鉄筋コンクリート橋台

基 礎：深礎杭 ϕ 2 m, ϕ 2.5 m

3. 橋梁計画

(1) 地形地質

架設付近の地形は、左岸側はなだらかな傾斜面であるのに対し、右岸側は45°以上の傾斜角を有する急斜面からなっている。

この付近の地質はスコリアといわれる火山砂礫で覆われており、地表面には黒褐色の火山灰が表面を覆い、全体に透水性が大きいのが特徴である。

左岸側はローム混じりのスコリアの下には砂礫層が5 m程度あり、表面から10 m以下には凝灰質礫岩が続き、 N 値は50以上あった。これに対し、右岸側はスコリア質ローム層が主流で、強度にバラツキがあった。

(2) 構造選定

土質条件と作用荷重などを考慮し、基礎には杭基礎を採用した。特にアーチアバットの P_2 と P_3 は大きな水平力を受けるため、 ϕ 2.5 mの杭をそれぞれ2本配置し、その他は ϕ 2 mの杭を1本とした(図-2)。

補剛桁は、ゴルフ場内の給水管、散水管および電線ケーブルなどを通し、美観上外側から見えない構造とするため、2主桁構造とした。

(3) 架設工法選定

アーチ橋においてはアーチリングの架設工法が橋梁全体の施工性や経済性に大きな影響を与えるため、十分な検討が必要であった。

コンクリートアーチ橋の架設工法には、従来ステージング工法、メラン工法、ピロン工法などがあり、最近ではロアリング工法や合成アーチ巻き立て工法などが新しく開発されている。

しかしながら、従来の工法はいずれの場合も移動作業車によるブロック施工が基本となるため、移動作業車の組立、解体などに時間を要し、中小スパンのアーチリングの架設にはあまり有利とはならないのが一般である。

そこで現場施工を極力少なくし、工期短縮を第1の目的としてプレキャスト工法と現場施工を併用した複合化工法「プレキャスト合成アーチ工法」を新しく開発し、採用するものとした。

4. プレキャスト合成アーチ工法

本工法は基本的にはメラン工法を応用したもので、使用される鋼材の下フランジ側にコンクリートを巻き付けた合成桁をブロックごとに架設し、アーチリングを形成する。その後、扇形のプレキャスト板を側面に取り付け、アーチリング内の配筋を行い、コンクリート打設により完成させる工法である(図-2)。

本工法の場合、現場作業はプレキャスト部材の架設とアーチリング内の配筋およびコンクリート打設であり、従来工法のブロック施工に比較して、かなりの工期短縮が可能となる。

なお、ブロック間の接合部はアーチリングの後打ちコンクリート打設時に同時施工した。

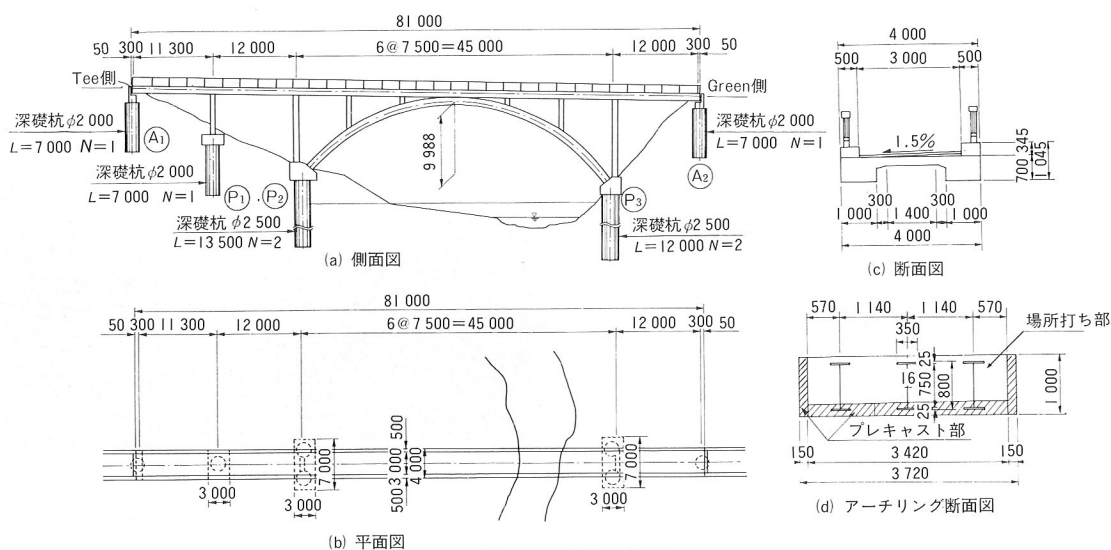


図-2 全体一般図

5. 設計概要

(1) アーチリングの設計

上部工の全体設計のフローチャートを図-3に示す。

アーチリングの設計においては、架設系および完成系を含めて図-4のような四つの段階に分けて考える。このため鋼部材やコンクリート応力は、各段階に発生する応力を順次加算することにより求める。

アーチ構造は作用する荷重が大きくなるに従って軸方向圧縮力も増大し、一種のプレストレスト構造となり、このことがコンクリートアーチの利点となっている。

今回の設計においても、プレキャスト合成部材の下フランジコンクリート応力は架設中に種々変動し、とくにアーチリブ内のコンクリート打設時にスプリング部に引張応力が生じるものの、最終コンクリート打設後には全圧縮状態となった。

架設中および完成系のアーチリングの座屈に対する検討は、「道路橋示方書」に従って照査を行った。

本工法の場合、下フランジコンクリートは架設中の足場や型枠の代用となるだけではなく、合成効果によって鋼桁の剛性が増大することの利点がある。たとえば、架設中の風荷重や地震力の面外荷重に対しては横方向の剛性が大きく、安定性の増大につながるものである。

側面型枠の代用となるプレキャスト側板は、後打ちコンクリートと一体とするため、フック筋を多数取り付けしたが、今回の設計では安全性を考慮して抵抗断面に算定しなかった。

(2) プレキャスト部材

本工法は現場施工とを併用する工法であるため、どこまでをプレキャスト化するかという問題があり、部材の運搬、架設の容易さ、架設時発生応力などの要素を考えて部材形状および寸法を決定する必要があった。

	構 造 系	抵 抗 断 面	計 算 方 法
架 設 系	プレキャスト部材の架設 (プレキャスト部材自重)	SS41 $(\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2)$	●コンクリートを鋼部材に換算する。 $E_s/E_c = 6$ (注)打継ぎ部は鋼桁のみが抵抗断面となる。
	アーチリング場所打ち コンクリート重量		●既設コンクリート断面 E_c, A_c を使用する。 (注)3回に分けて施工する。
	支柱・補剛桁打設時	$(\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2)$	●鋼部材を鉄筋に換算したRC部材として計算する。
	完成系 設計荷重時		●RC部材として計算する。 ●クリープ計算 (鋼桁影響含まず)

図-4 プレキャスト合成アーチの計算

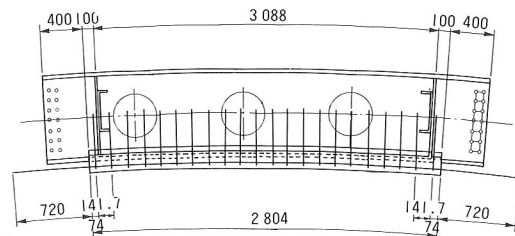


図-5 プレキャスト合成部材

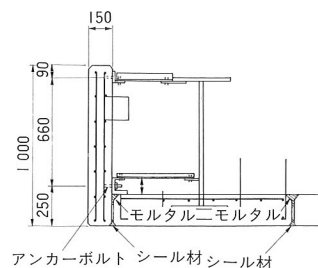


図-6 プレキャスト合成部材と側板の取り付け

本橋においては、アーチリングを等断面とし、ケーブルエクシジョンの能力や運送制限などを考慮して、1部材長を4.5 m、最大重量を3.5 t以下にした。このため、アーチリングのブロック数は11ブロック(3×11=33ピース)とし、スプリング部で部材長を調節した(図-5)。

プレキャスト側板についても同様な部材長とし、鋼桁と連結する構造とした。部材厚は製作および運搬時の振動などを考慮し150 mmとした。なお、プレキャスト部材のコンクリートはすべて設計基準強度 $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$ のものを使用し、不慮の荷重によるひび割れなどに対処するものとした(図-6)。

本工法は、プレキャスト合成部材を横方向に3本並列する構造であるが、その連続性が問題となる。そこで、

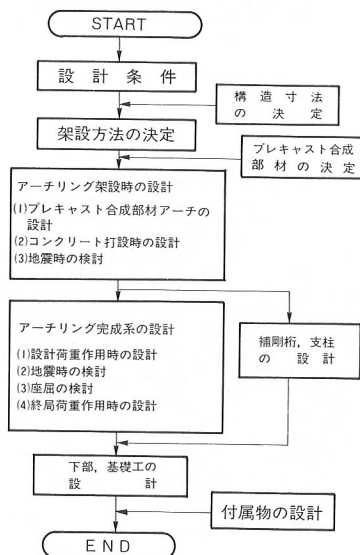


図-3 全体設計フローチャート

下フランジコンクリート上端を切り欠き、架設後モルタルを充填し、部材間の接合面上には横方向鉄筋を配置し、連続性を確保する構造とした(図-6)。

6. 施 工

(1) 深礎工

土質条件およびアーチ構造特有の反力を考慮して、基礎構造は杭基礎とした。

架設地点は急峻な地形であり、地質も砂礫、岩が混入するため、機械による掘削は不可能であることから深礎工法を採用するものとした。

従来の深礎工法は、ライナープレート方式によるものが一般的であるが、アーチ反力を常に受けることから裏込め材が不要である当社開発のSK式深礎を用いた。

SK式深礎工法は図-7に示すように型枠を筒状に伸ばしながら掘削し(写真-2)、配筋を行い、コンクリート打設時に再び円筒型枠を引き上げながら施工する(写真-3)工法であり、次のような有利性がある。

- ① 掘削孔全体にコンクリートが充填され、グラウトが不要であり、杭の横方向抵抗力を確実に発揮することができる。
- ② 円筒型枠を順次降下させながら掘削を行うため、土砂(特にスコリア)の崩壊がない。
- ③ 掘削孔内での土留め枠の組立作業がなく、掘削を優先して行うことができるので作業効率がよい。
- ④ コンクリート打設とともに円筒型枠を引き上げる

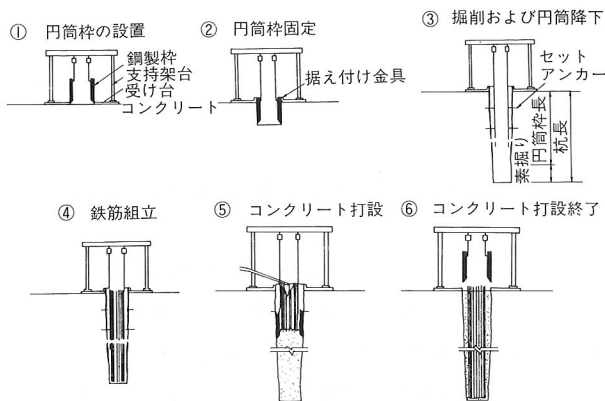


図-7 施工概要図

表-1 施工数量

場所	杭径 $\phi 2.0\text{m}$		杭径 $\phi 2.5\text{m}$	
	杭 長	本 数	杭 長	本 数
A ₁ 橋台	7.0m	1本	—	—
P ₁ 橋脚	9.5m	1本	—	—
P ₂ 橋脚	—	—	13.5m	2本
P ₃ 橋脚	—	—	12.0m	2本
A ₂ 橋台	7.0m	1本	—	—

ことから回収も容易であり、しかも経済的である。
本橋における深礎杭の施工数量を表-1に示し、図-8に作業手順のフローを示す。

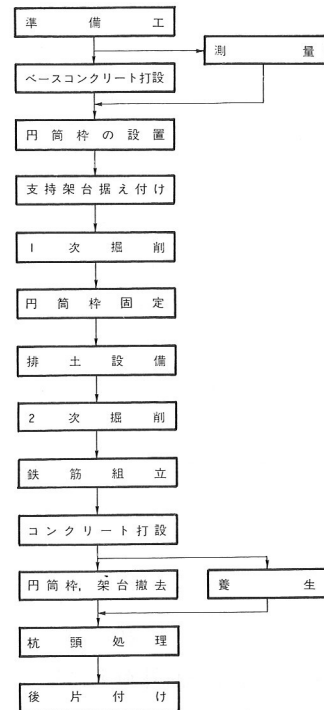


図-8 作業手順フロー図

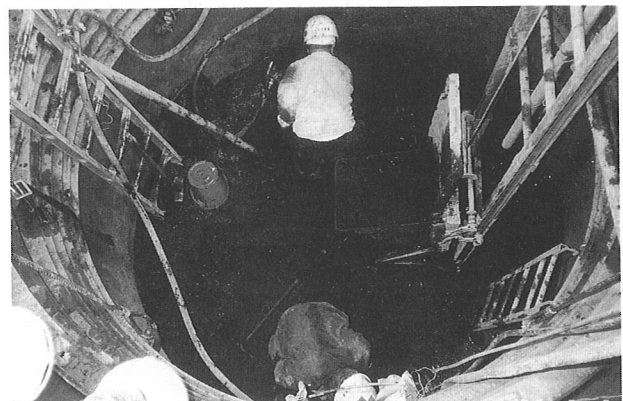


写真-2 深礎杭の掘削

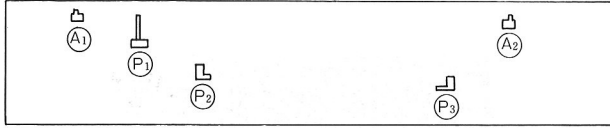


写真-3 コンクリート打設

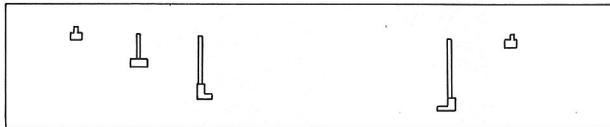
(2) アーチリングの施工

上部工の施工は両側径間を先行して行い、ラーメン構造とした状態でアーチリングの斜吊り架設を行った(図-9参照)。この方法は、工期的に有利であるばかりでなく、架設中の水平力に対しても安定している。また既

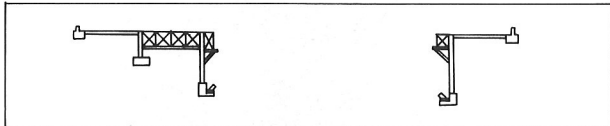
①深礎杭、フーチング、P₁橋脚施工



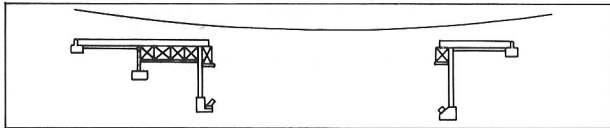
②P₂・P₃支柱、ケーブルクレーン組立



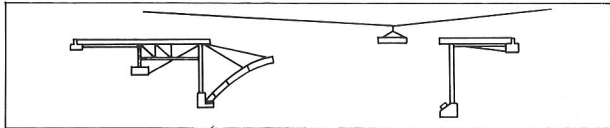
③アンカーフレームセット、床版支保工組立



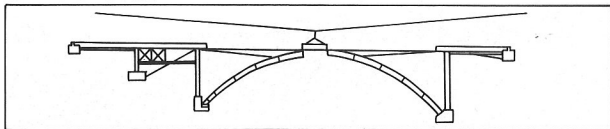
④P₃フーチングコンクリート打設、床版コンクリート打設



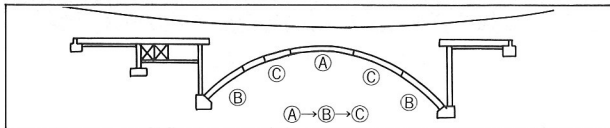
⑤斜吊り架設



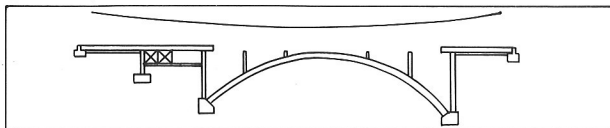
⑥アーチリング閉合



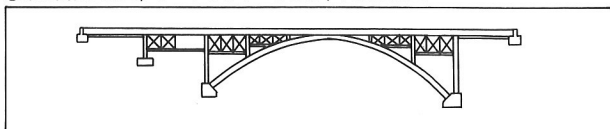
⑦P₂フーチングコンクリート打設、アーチ部コンクリート打設



⑧アーチ支柱部施工



⑨床版支保工組立、ケーブルクレーン解体、床版部施工



⑩支保工解体、橋面工

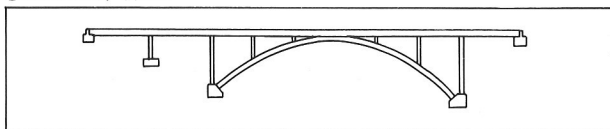


図-9 全体施工順序図

設の橋面上が使用できるため、施工上きわめて有利であった。なお、桁とアバットとはPC鋼棒で仮結合した。

a) 斜吊り架設

本工法においては、プレキャスト部材を連結しながらアーチを閉合するため、アーチスパンの決定には細心の注意を払う必要があった。このため、アーチの第1節となるアンカーフレームのセットの際には、工場の仮組検査時に用いたものと同じスチールテープでスパンを決定し、アンカーフレームの微調整をしてから架設を行った。

斜吊り架設の全体システム図を図-10に示す。

本橋においては、施工性を考慮して、まずP₂側5ブロック、次にP₃側の5ブロック、そして最後に閉合ブロックという工程で架設を行った。

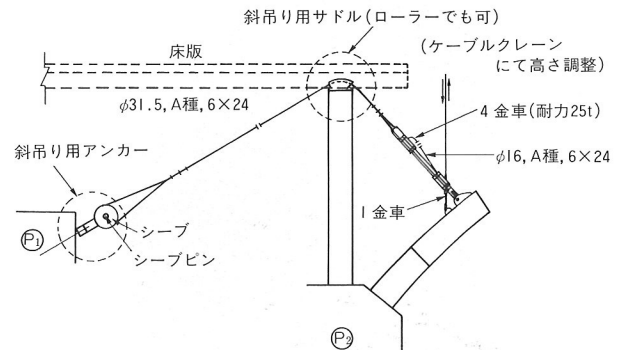


図-10 斜吊り架設システム図

斜吊り架設は、仮置ヤードのプレキャスト合成部材(写真-4)をケーブルクレーンにて吊り上げて架設位置まで運搬し、仮締めボルトとドリフトピンで仮添接して一時的に張出し状態とした(写真-5)。

1ブロック(合成部材3本)の張出し架設を完了し、横桁・対傾構の取り付けを終えた後、先端の張出しブロックに斜吊りワイヤをセットした。高さ調整は、ケーブルクレーンにより行い、ワイヤの伸びなどを考慮して、計画



写真-4 プレキャスト合成部材

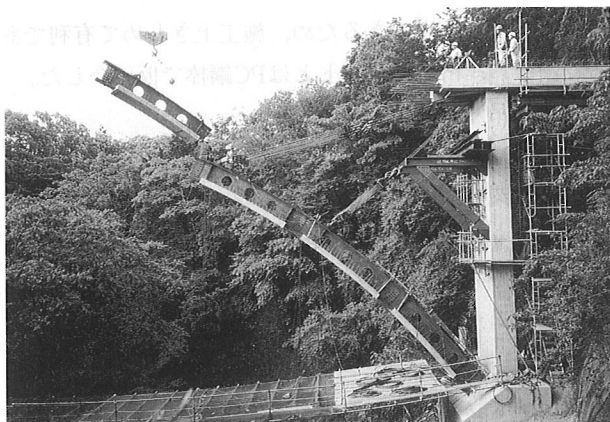


写真-5 斜吊り架設



写真-6 斜吊り架設完了

値より若干上げ越しして定着した。また、高さ調整時には合成部材のコンクリート応力の管理も行った。応力管理に関しては後述する。

アーチリングの閉合後、ケーブルクレーンで斜吊り設備の解体を行い、添接部を高力ボルト(F10T)で本締めして合成部材の架設を完了した(写真-6)。

本橋ではアーチリングの閉合の際の誤差を調整できるように、アンカーフレームをジャッキで移動可能な構造としたが、調整作業をすることもなく斜吊り架設はきわめて順調に行われた。また、プレキャスト合成部材は型枠としての役目と、架設時作業用足場の役目を果たし、本工事でも特に足場を設けることなく安全かつ迅速に架設工程を終えることができた。

b) 側板取り付け

アーチ側面の形枠の役割をするプレキャスト側板の取り付け作業も、合成部材の架設と同様にケーブルクレーンにて行った。

プレキャスト側板は、鋼アーチ部材にボルト締めして固定される(写真-7)。

側板の取り付けに当たり(写真-8)、合成部材の下フランジコンクリートの出来などの影響で、側板間の高さに誤差が生じること考えられたので、現場にて高さ調整が可能な構造とした。

取り付け作業は、合成部材架設の場合と同様、足場を設けることなく、順調に進めることができ、わずか2日で架設が完了した。

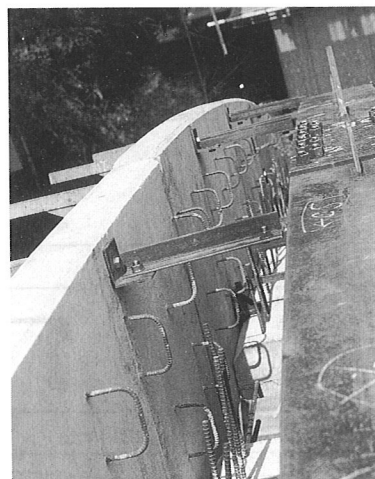


写真-7 鋼アーチ部材と側板の固定



写真-8 側板取り付け

c) アーチ部施工

P₂側アーチアバットは、アンカーフレームの調整機能があったため、切り欠き部を設けていたが、アーチ部施工に先立ってコンクリートを打設し、両スプリング部を完全固定とした。

また、プレキャスト部材間には、10 mm前後のすき間が存在するため、生コン打設時に漏れることのないようモルタルで埋めてから、鉄筋・型枠工を行った。

アーチ部のコンクリート打設は、プレキャスト合成部材の部材応力度やアーチ軸線の弾性変形などを検討し、図-9の⑦に示すように、アーチを5分割して、最初に頂部、次に両端部、そして最後に中間部と3回に分けてポンプ車により行った(写真-9)。



写真-9 コンクリート打設



写真-10 アーチ部型枠(底版)

なお、プレキャスト合成部材間の接合部とスプリング部の打ち継ぎ部には、型枠を取り付けた(写真-10)。

d) 目地工

プレキャスト部材間の面取り部は、接着材としてプライマーを塗付し、シール材で埋めるものとした。シールは、現物のコンクリート色にできるだけ近似しているものを選定した。

e) アーチリング実施工程

図-11に本橋でのアーチリング施工の実施工程を示す。

元来アーチリングの施工には多大な労力と工期を必要とされてきた。しかし本工事ににおいては、約2カ月弱で

	0	10	20	30	40	50	(日)
架設準備工	■						
斜吊り架設工		■	■				
斜吊り設備解体			■				
HTB工			■				
側板架設工				■			
側板調整工				■			
P ₂ フォーミング工				■			
鉄筋・型枠工					■	■	
コンクリート打設工						■	
目地工							(7日程度)

図-11 実施工程

アーチリングの施工を終了させることができ、架設と鉄筋配置、コンクリート打設に要した日数は実質的には、1カ月程度であった。このことから、本工法がアーチリング施工の工期短縮の目的を果たしたと言えるであろう。

7. 施工管理

斜吊り架設中には、スプリング部付近やエンドポスト、さらに深礎杭にまで大きな応力の変化が生じる可能性があったので、施工管理上、応力測定をしながら作業を進める必要があった。

またアーチ橋の構造特性上、アーチアバットに大きな水平力が作用するので、その変位にも注目した。

(1) 施工管理項目

以下に、本橋における管理項目とその概要について述べる。

a) 深礎杭ひずみ測定

両アーチアバットの深礎杭(4本)のひずみ測定を行った。このとき、計算上曲げ応力が最大となる深さ4mの地点にひずみゲージをセットした。

b) エンドポストひずみ測定

両エンドポストの下端50cmの断面に埋め込みゲージをセットして、全工程におけるひずみを計測した。

c) アーチリングひずみ測定

プレキャスト合成部材の鋼アーチ部材および下フランジコンクリート(P₂側第1ブロック)のひずみに注目し、特に斜吊り架設時には、ケーブルクレーンによる上げ越し作業の際、下フランジコンクリートに多大な引張応力が出ていないか監視し、作業をリアルタイムにストップできるようにコンピュータ管理を行った。

また、アーチリングの1/4点にもひずみゲージをセットした。

d) アーチアバット傾斜測定

P₂・P₃両アーチアバット側面に傾斜計を取り付け、X-Y平面の傾斜(回転)を起こしていないか測定した。

e) 変位測定

アーチアバットの水平変位と、斜め吊り架設時のエンドポスト倒れの測定を行った。

f) コンクリート弾性係数測定

ひずみ測定個所のコンクリート弾性係数の測定を行った。

(2) ひずみ計測システムの概要

ひずみ計測システムは、ひずみゲージ、チャンネルボックス、ひずみ計測器、マイクロコンピュータから構成されており、コンクリートおよび鋼アーチ部材のひずみを常時計測できるものである。データの吸い上げから解析、保存までをコンピュータにより瞬時に処理できるの

で、現存の応力状態を把握することが可能であり、リアルタイムに指示が出せるシステムになっている。

図-12にひずみ計測システムの概要図を示す。

(3) ひずみ計測結果

斜吊り架設時におけるプレキャスト合成部材下フランジコンクリートのひずみ測定結果を図-13に示す。

第1ブロックが計画値の高さであった第1回目のひずみデータを初期値として、以後の計測を行った。

上げ越し作業時の部材応力度を検討した結果、架設初期(1~2 BL)に10mm以上の上げ越しを行うと、コンクリートにひび割れが発生する可能性があることがわかつ

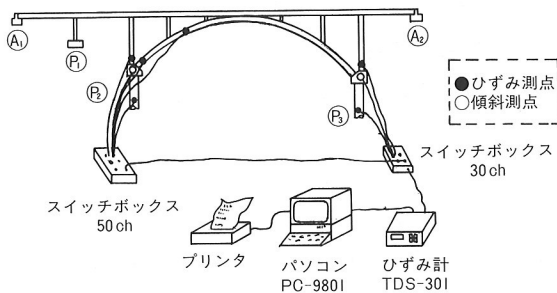


図-12 ひずみ計測システム概要図

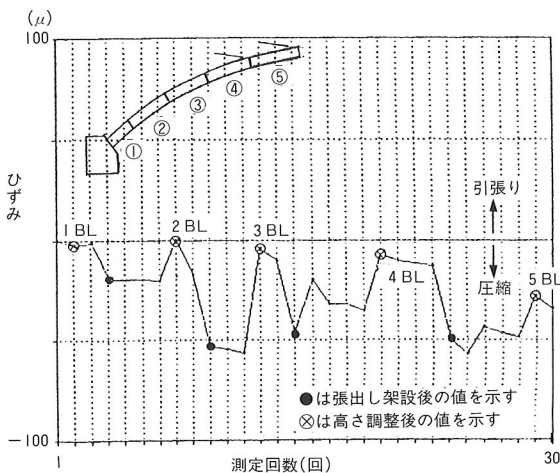


図-13 下フランジコンクリートひずみ測定結果

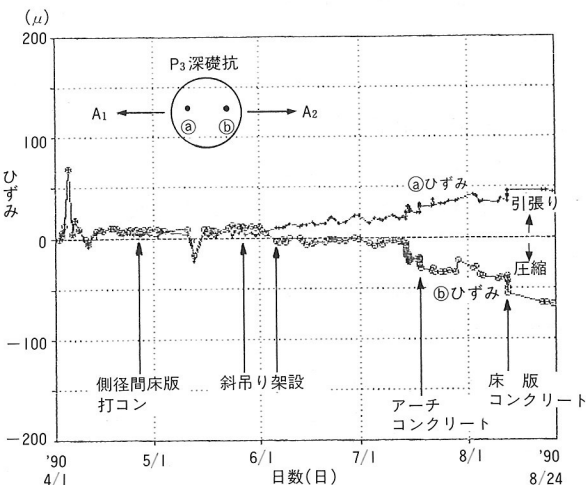


図-14 深礎杭ひずみ計測結果

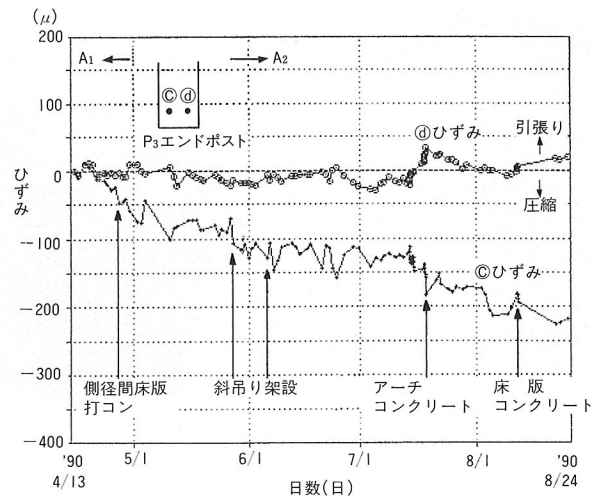


図-15 エンドポストひずみ計測結果

た。そこで、高さ調整作業時は常に応力の変動を見て、大きな引張応力が生じるようならば、作業をストップできる態勢を取った。

実際には、引張応力が生じることはほとんどなく、架設を順調に終えることができた。

深礎杭とエンドポストのひずみ計測結果を図-14, 15に示す。

8. あとがき

今回、本橋の計画から上下部工の設計・施工までのすべてを実施する機会を得たが、今後の課題としては次のような点が挙げられる。

- ① プレキャスト合成桁間の継手部の処理
- ② SK深礎工法の簡略化

近年の極端な建設ブームを反映して各施工現場は人手不足の影響を受け、工程管理や原価管理に苦慮しているのが現状である。また、元来、建設業がかかえている作業員の高齢化や若年者の不足の問題はきわめて重大な課題であるにもかかわらず、決定的な解決策が見つからないままであり、建設業の将来を暗くしている部分と言えるよう。

このような情勢の中で、プレキャスト化や作業のロボット化などはさらに研究されていかなければならず、今回実施した施工法もその試みの一つであり、本工法が何らかの参考になれば幸いである。

最後に、大成建設㈱の八木所長、小林氏、武藤氏には大変有益なご助言をいただき、ここに感謝する次第であります。