

茶間川橋の施工

川戸 彰*1・大川 宗男*2・吉井 正明*3・織田 一郎*4

1. はじめに

茶間川橋は、本州四国連絡道路（神戸・鳴門ルート）の明石海峡大橋から約1.5Km地点の淡路島北端に位置する鉄筋コンクリート（RC）固定アーチ橋で、架設工法には斜吊材を用いた張出し架設工法（ピロン工法）が採用されている。わが国の長大支間のRCアーチ橋の張出し架設においては、アーチリング中央部にメラン材という鋼部材を併用し、早期閉合を図るのが一般的であり、本橋のように、アーチリングすべてをピロン工法で施工したのは、わが国初である。

本稿では、茶間川橋の架設計画と施工実績について、アーチリングの張出し架設に関連する内容を中心に報告する。なお、本橋の詳細設計結果および計測計画については、参考文献¹⁾を参照していただきたい。

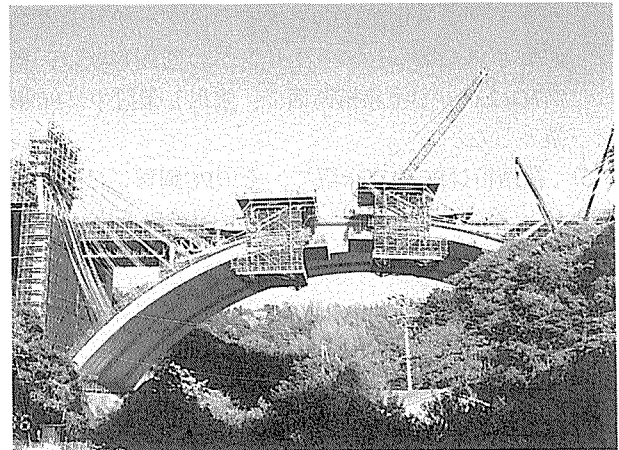


写真-1 アーチリングの張出し架設

表-1 工事概要

工事名	茶間川橋上部工工事
路線名	一般国道28号線(本四道路神戸・鳴門ルート)
工事場所	兵庫県津名郡淡路町岩屋字茶間
工期	平成6年9月1日～平成9年11月30日
活荷重	B活荷重
構造形式	鉄筋コンクリート固定アーチ橋
橋長	148.5m(上り線), 159.0m(下り線)
アーチ支間	95.0m(上り線), 103.0m(下り線)
有効幅員	13.75m(上下線とも3車線)
架設工法	斜吊材を用いた張出し架設工法(ピロン工法)

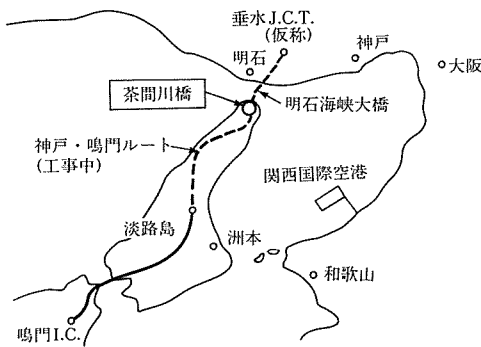


図-1 位置図

2. 工事概要

工事概要および主要数量を表-1および表-2に示す。

表-2 主要数量

種別	使用箇所	単位	数量	適用
コンクリート	アーチリング	m ³	4 677	$\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$
	補剛桁	m ³	3 212	$\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$
	鉛直材他	m ³	2 259	$\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$
鉄筋	アーチリング,補剛桁,鉛直材他	t	1 193	SD345
PC鋼材	アーチリング	t	78	SBPR 930/I 180
	補剛桁(一部転用材)	t	145	SBPR 930/I 180
	斜吊材(一部転用材)	t	280	SBPR 930/I 180
鋼材	斜吊柱(上下線転用)	t	399	SS400

*1 Akira KAWADO 本州四国連絡橋公団 第一建設局 洲本工事事務所 第四工事長

*2 Muneco OHKAWA 本州四国連絡橋公団 第一建設局 洲本工事事務所 第四工事長代理

*3 Masaaki YOSHII 鹿島・安藤特定建設工事 共同企業体 所長

*4 Ichiro ODA 鹿島・安藤特定建設工事 共同企業体

3. 構造概要

本橋の全体一般図を図-2に示す。構造上の特徴は以下のとおりである。

- 1) 茶間川橋は、県道バイパスと本四道路上下線の合計3橋のアーチ橋が並列して建設され、地形条件より、各橋で橋長、アーチ支間が異なるが、景観を考慮してアーチリングの軸線・桁高、鉛直材の位置等を一致させた。
- 2) アーチリングの軸線は $R=63.406\text{m}$ の単円で、スパン・ライズ比が1/3.9と大きく、アーチリングの勾配が急である。アーチリングの断面形状は、桁高 $H=2.0\text{m}$ の3室箱桁断面で、張出し架設中はPC構造とした。
- 3) 補剛桁はPC中空床版で、そのPC鋼材にはアーチリングの架設で使用した斜吊材用のPC鋼棒を転用した。

4. 架設計画

4.1 概要

張出し架設中のアーチリングに生じる引張応力度に対しては、斜吊材による応力調整およびアーチリング内に配置されたPC鋼棒により抵抗させ、反力を斜吊柱(ピロン)、アンカーブロックおよびグラウンドアンカ

ーにより負担させることとした。張出し架設時の構造系および施工手順を図-3および表-3に示す。

4.2 特殊大型移動作業車

本工事で使用した特殊大型移動作業車(4メインフレーム)は、最大傾斜角55度のアーチリングを自走して移動し、アーチリングの勾配が変化しても、メインフレームを常に水平に保つことができるように、従来の大型移動作業車をアーチ橋用に改造したものである(図-4)。

4.3 アーチリング施工ブロック割

アーチリング施工ブロック割の決定にあたっては、アーチリングの勾配を考慮したうえで、特殊大型移動作業車の部材と施工ブロック先端との取合いから、ブロック長を最大4.5mとし、鉛直材基部およびクラウン部横桁の鉄筋が、施工ブロック端にかからないようにした。

4.4 斜吊材

斜吊材配置

斜吊材にはPC鋼棒(SBPR930/1 180 ϕ 32)を使用し、アーチリングの各施工ブロックごとに吊点を設け、アーチリング先端側の張出し長を短くするため、斜吊材と特殊大型移動作業車を側面的に交差させる配置とした(図-4)。斜吊柱のアーチリング側をフォーステイ、アンカーブロック側をバックステイと呼んでおり、それぞれ9段の斜吊材を配置した。配置本数は、1段あたりフォーステイ、バックステイ合わせて16~40本である。

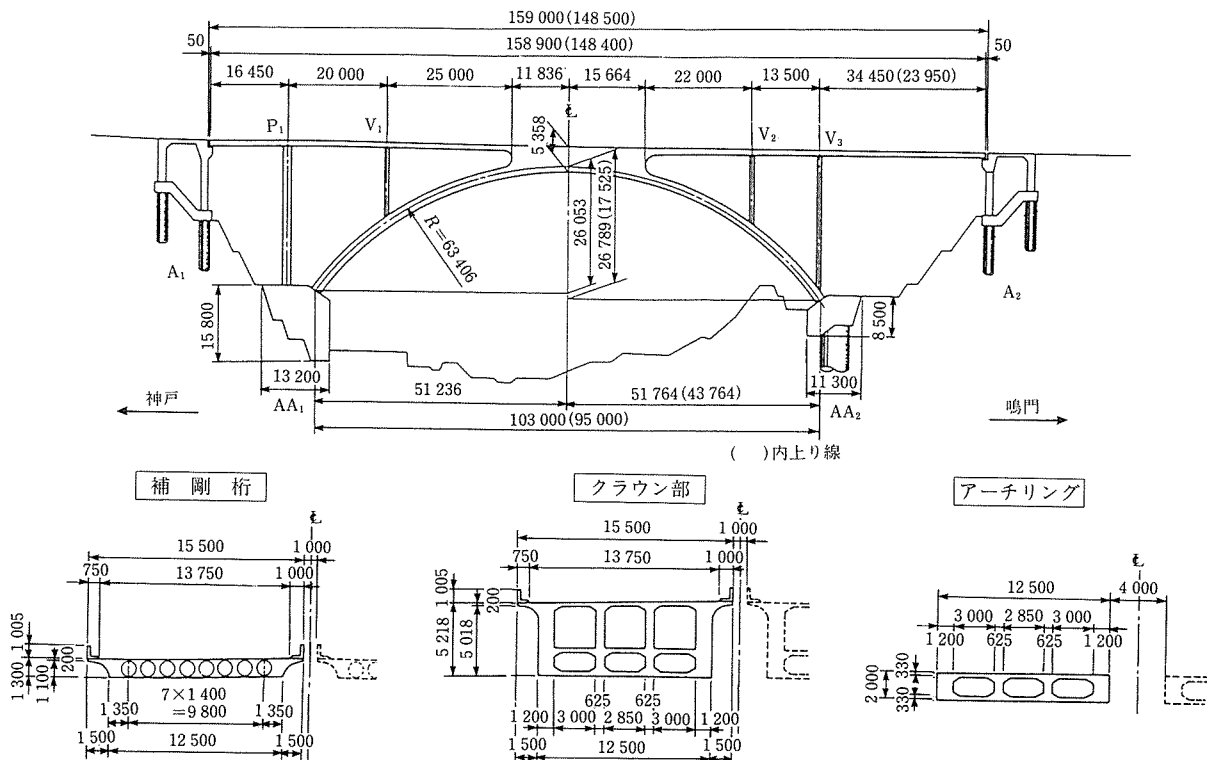
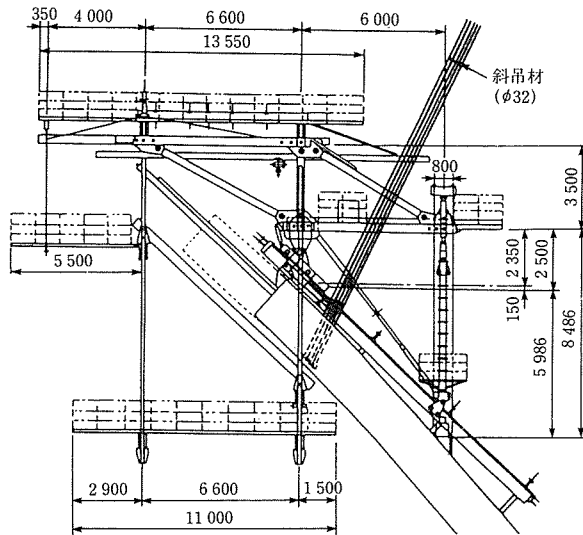
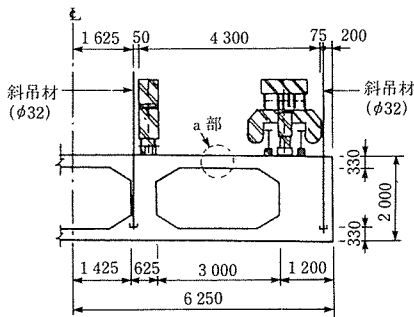


図-2 全体一般図



側面図



正面図

図-4 特殊大型移動作業車

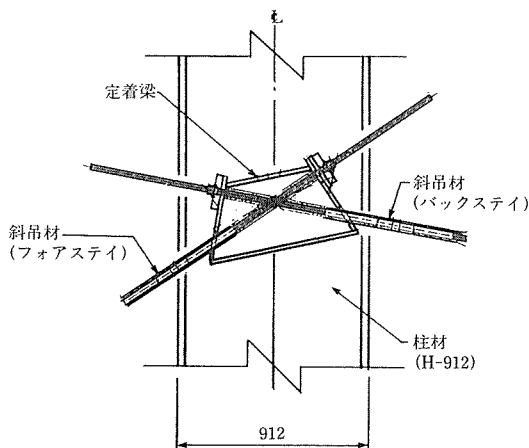


図-5 斜吊材定着部構造図

の内、7、8、9段目のみによりアーチリングを支持する構造系とした。また、アーチリング側へのアンバランスな張出し架設となることから、斜吊柱に作用する水平力ができるだけ小さくなるように、フォアステイとバックステイを対にして応力調整を行うこととした。

4.5 斜吊柱

斜吊柱の主部材はH型鋼（H-912mm）とし、各斜吊材は、鋼板を組合わせた台形断面の梁にフォアステイとバックステイを交差定着させる構造とした（図-5）。左岸斜吊柱はP1橋脚頂部に、右岸斜吊柱はアーチアバット上に鋼管柱（φ762.5mm×6本）を建て、その上に固定する構造とした。

4.6 グラウンドアンカー、ブロック

アンカーブロックは、重力式とすると著しく不経済になることから、グラウンドアンカーにより荷重に抵抗する構造とし、緊張材には、SEEE F230U（ナット定着、二重防食タイプ）を使用した。

5. 施工実績

5.1 概要

アーチリングの施工では、特殊大型移動作業車組立て用のスペースとしてスプリング部14.5mを接地式支保工により構築したのち、張出し架設を開始した。張出し架設では、各ブロックの構築に並行して、斜吊材の架設、応力調整およびグラウンドアンカーの緊張を実施した。中央連結ブロックの施工は、特殊大型移動作業車の解体後、吊支保工により行い、アーチリング閉合後、斜吊材およびグラウンドアンカーの張力を解放した。

なお、本工事は上下線2橋の施工となるため、下り線の張出し架設完了後、スプリング部の接地式支保工（左岸側）、特殊大型移動作業車、斜吊柱、斜吊材（一部）を、上り線の張出し架設に転用した。

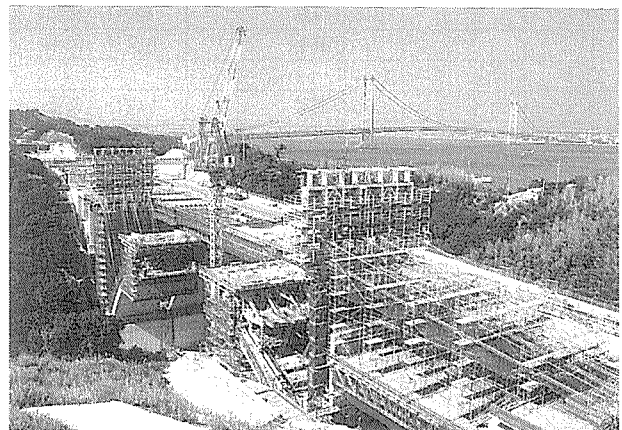


写真-2 工事全景（手前より上り線，下り線，県道バイパス）

5.2 斜吊材

(1) 斜吊材の架設

PC鋼棒の継手には、振動等によるゆるみを考慮し、標準カップラー（L=110mm）よりもねじ込み長の長い特殊カップラー（L=200mm）を使用した。

バックステイについては、斜吊材下部に総足場を設

け(写真-2), クレーンより直接架設を行った。フォアステイについては空中架設となったため, アーチリング構築の施工サイクルに影響を与えないこと, 架設中に斜吊材自身に有害な変形を与えないことがポイントであった。このため, 簡易ケーブルクレーン方式を採用したところ満足できる結果を得た(図-6, 写真-3)。

なお, 斜吊橋の緊張後, 微風により振動が発生したため, 斜吊材相互をφ9mmのロープで固縛し, 振止めを行った。

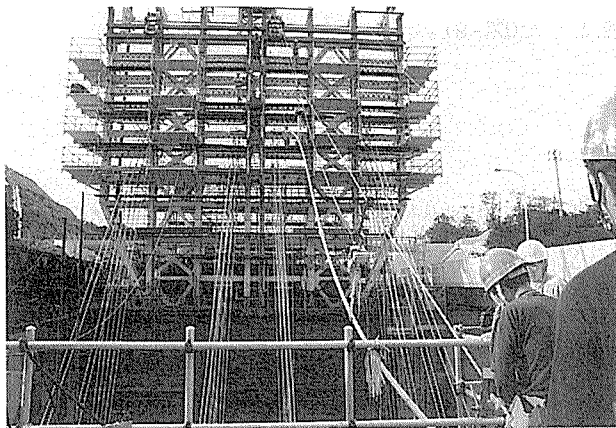
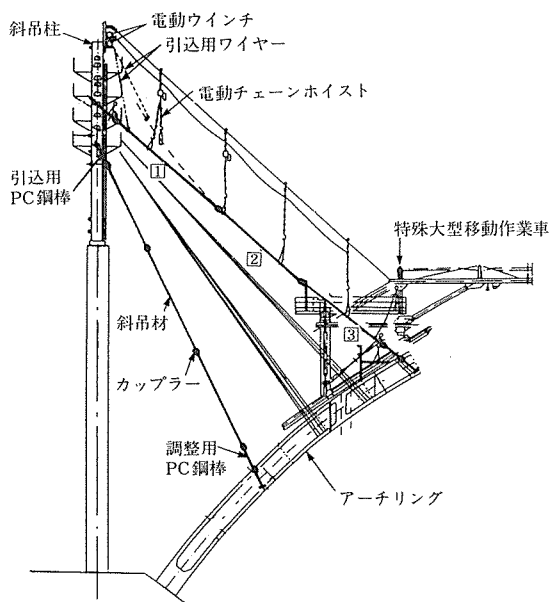


写真-3 斜吊材(フォアステイ)架設



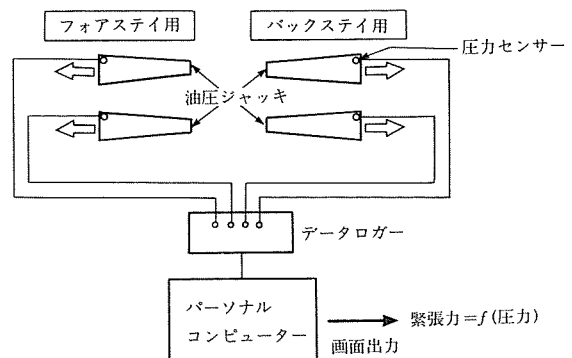
作業手順

- ① 特殊大型移動作業車の作業床上で, ①本目の斜吊材の先端に, 引込用ワイヤーを取り付ける。
- ② 斜材柱側の電動ウインチを巻き上げて, ②本目, ③本目の斜吊材を, 順次接続する。
- ③ 電動チェーンホイストを巻き下げて, アーチリング側の調整用PC鋼棒と, 接続する。
- ④ 電動チェーンホイストにより斜吊材の形状を調整しながら, 斜吊材側の引込用PC鋼棒と接続する。

図-6 斜吊材(フォアステイ)架設方法

(2) 応力調整

緊張箇所は斜吊柱の斜吊材定着部とし, アーチリングおよび斜吊柱に偏荷重を与えないように, 油圧ジャッキ4台(フォアステイ, バックステイ, 左右対称)により同時緊張を実施した。緊張管理にあたっては, 高い精度で緊張力を管理する必要から, 各ジャッキに取り付けた圧力センサーの計測値をパーソナルコンピューターに転送し, 緊張力をリアルタイムで画面表示するというシステムを使用した(図-7)。作業手順は以下のとおりとした。



f() : キャリブレーション結果に基づく関数

図-7 緊張力計測システム

- 1) 斜吊材架設後, 作業用足場を盛替え, 3tf/本程度の緊張力でたるみ取りを行う。
 - 2) 緊張作業中のアーチリングおよび斜吊柱の弾性変形を考慮し, 緊張順序に応じた緊張力を各斜吊材に導入する(一次緊張)。
 - 3) 各斜吊材の張力の確認を行う(二次緊張)。
- 二次緊張における張力の確認の結果では, 緊張力の管理基準±1.0tf/本に対し, 緊張力のバラツキは最大±3tf/本程度であったので, 張力の微調整を実施した(図-8)。

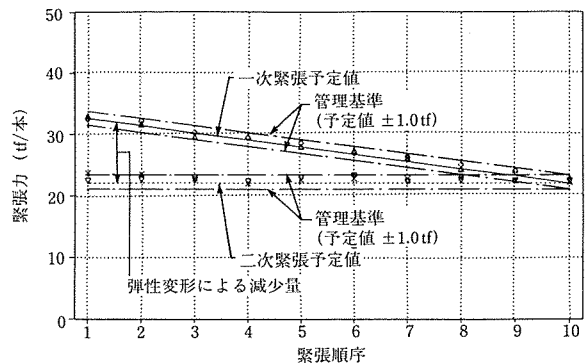


図-8 斜吊材緊張管理結果(下り線STEP59 BL9)

◇工事報告◇

なお、1サイクルの工程の中で、平均3段の斜吊材の応力調整が必要であったが、上記の緊張力計測システムを使用し、各ジャッキの緊張力を1カ所で集中的に管理した結果、限られた時間内で緊張作業を能率的に実施することができた。

斜吊材の転用

架設中の曲げ変形の影響が大きいと考えられる定着部の斜吊材は転用しないこととした。下り線の張出し架設終了後、解体した斜吊材を作業ヤードに運搬し、仕分け・点検を実施したところ、塑性曲げを生じたものはなかった。また、引張試験を実施した結果、弾性係数、破断強度等の低下は見られなかった。

5.3 アンカーブロック

他工事との関係で、アンカーブロックの支持地盤が、埋戻し土になる場合については、コンクリート($\sigma_{ck} = 180\text{kgf/cm}^2$)により支持地盤を置き換えた。

張出し架設終了後、アンカーブロック(9m×9m×5m)を、大型油圧ブレイカーを用いて撤去したが、内部に鋼材が密に配置されていて解体が困難であること、騒音、粉塵等環境に悪影響を与えることが難点であった。同種工事では、アンカーブロックを容易に撤去できるように工夫する必要があると考えられる。

5.4 アーチリングの構築

(1) 型 枠

隣接する県道バイパス茶間川橋がアーチリングを曲線で施工していること、アーチリングの曲率が大きいこ

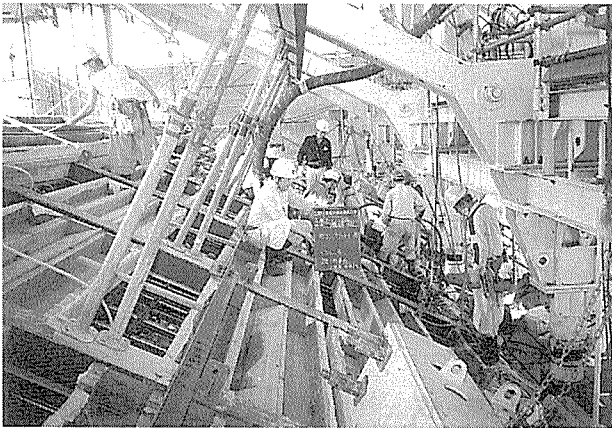
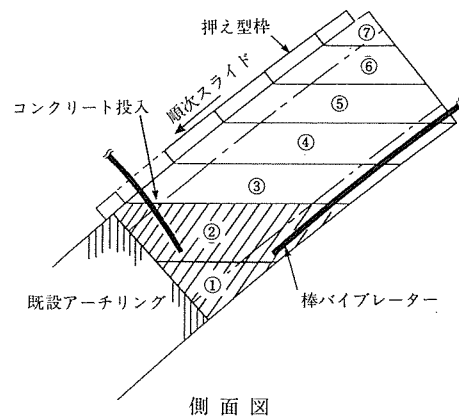


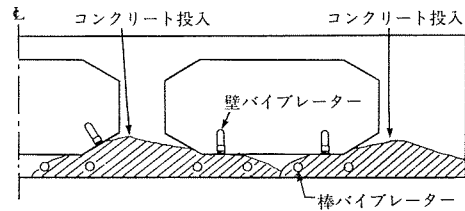
写真-4 押え型枠

とを考慮して、アーチリングの型枠には、R加工した曲線型枠を使用した。それぞれの型枠の要求品質および施工条件と構造を表-4に示す。

アーチリングの勾配が約10度以上の施工ブロックでは、押え型枠を使用した。押え型枠は、R加工したH-200を橋軸方向に設置し、そのフランジをガイドとして自由にスライドできる構造とした(写真-4)。コンクリート打設時には、投入・締めめのスペースとして上面数ヶ所をあけておき、押え型枠1枚分の打設が終了したら次の押え型枠をスライドさせてキャンバーで固定する方法とした(図-9)。



側面図



断面図

図-9 アーチリングコンクリート打設方法

内型枠は、下スラブの鉄筋組立て後、断面を縮小して移動可能なボックス型枠とした(図-10)。下スラブ上面には、気泡防止のための穴($\phi 5\text{mm}$, 縦横10cmピッチ)と、コンクリート充填確認用の点検口(1ボックスにつき4カ所)を設けた。

表-4 型枠の要求品質および施工条件と構造

部 位	要求品質および施工条件	型枠構造と特徴
外型枠 〔ウェブ外面 下スラブ下面〕	<ul style="list-style-type: none"> ● 転用回数が多い(上下線で20ブロック)。 ● コンクリートの仕上がりが良い。 ● 型枠表面に錆が発生しない。 ● 桁高が変化しない一定断面である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ステンレス型枠 ● 特殊大型移動作業車とともに移動
押え型枠 〔上スラブ上面〕	<ul style="list-style-type: none"> ● 空気アバタが少なく、美観、耐久性が良い。 ● コンクリートの打込みが容易。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 余剰水と気泡を排出可能な繊維型枠(900×1800) ● コンクリートを打込みながら、移動、セット
内型枠 〔ウェブ内面 上スラブ下面 下スラブ上面〕	<ul style="list-style-type: none"> ● 転用回数が多い(上下線で20ブロック)。 ● 脱型、移動が容易。 ● 桁高が変化しない、一定断面である。 ● 内空高さが低く(1.34m)、組立、解体が困難。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ステンレス型枠 ● 縮小、拡大が可能な移動式型枠

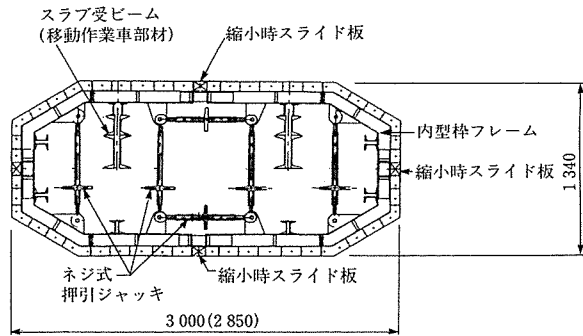


図-10 内型枠構造図

(2) コンクリート

アーチリングのコンクリートはアーチリング下部の作業ヤードまたは、隣接する県道バイパス茶間川橋よりコンクリートポンプ車1台で圧送して打設した。打設量は1回あたり56~63m³である。アーチリングは全断面が型枠で閉塞されているうえ、鉄筋、PC鋼棒が密に配置されており、コンクリート打設は非常に困難であった。コンクリート打設の施工条件と、実施した対策および留意点をまとめると表-5のようになる。なお、コンクリート打設の手間と労力および仕上がりを考えると、今後は高流動コンクリートの使用が望ましい。

(3) ジャッキ台座

アーチリング上面には、特殊大型移動作業車の脚部を水平面で支持するためのコンクリートの突起（ジャッキ台座）を設けた（図-11）。張出し架設では、アーチ

リングに埋め込まれる鉄筋部分を硬質ウレタンにより箱抜きしておき、アーチリングのコンクリート打設後にジャッキ台座を施工することにより、本体構築の施工サイクルに影響を与えないようにした。張出し架設終了後、不要となったジャッキ台座の撤去と補修を行ったが、これらの手間を解消して省力化を図るためには、特殊大型移動作業車本体を、斜面上に直接据え付けられるように改造するか、メインフレームをアーチリングの下面に配置する形式に変更するのが望ましいと考えられる。後者の場合は、アーチリング上面の障害物が少ないことから、斜吊材をさらにアーチリングの先端側に配置し、アーチリング内のPC鋼棒、斜吊材を削減できる可能性がある。

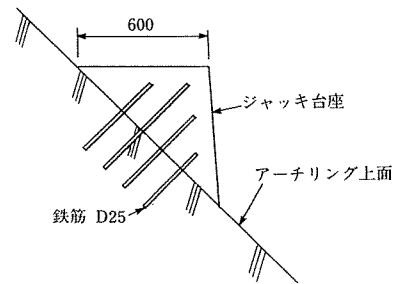


図-11 ジャッキ台座

(4) 施工サイクル

張出し架設におけるアーチリング1ブロックあたりの

表-5 コンクリートの施工条件と対策および留意点

施工条件	対策および留意点
<ul style="list-style-type: none"> ● 全断面が型枠で閉塞されている。 ● スラブ厚が薄い(t=330mm)。 ● スラブ内の鉄筋(D32@80, 170)、PC鋼棒(φ32@250)が過密。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 流動化剤を使用して、スランブを15cmとした。ベーススランブに応じて添加量を調節し、添加後のスランブロスを最小にするため、打設直前に添加した。 ● 下スラブの締固めを確実にするため、妻枠にバイブレーター差込み用の穴を設け、棒バイブレーターにより締固めを行った。 ● 押え型枠および内型枠には、壁バイブレーターを使用し、木槌等で充填を確認しながら打設した。 ● 押え型枠の構造をスライド式とし、打設時間の短縮を図った。
<ul style="list-style-type: none"> ● σ_{ck}=400kgf/cm² ● 早強セメント使用。 ● スランブ 8cm。 	
<ul style="list-style-type: none"> ● 運搬時間が長い(約50分)。 	

表-6 施工サイクル

工種	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
コンクリート打設	1.0	■														
養生	2.0		■													
PC緊張	0.5			■												
移動作業車移動	2.5				■											
底版型枠セット	1.0							■								
底版鉄筋組立	2.0								■							
内型枠移動	2.0									■						
斜吊材、アンカー埋込み	2.0										■					
上床鉄筋組立	1.5												■			
PC組立	1.0													■		
押え型枠組立	1.5														■	
水洗い、打設準備	0.5															■

◇工事報告◇

標準的な施工サイクルの実績を表-6に示す。最も日数を要したのが下り線の1BLおよび2BLの21日、最短は12日で、平均は下り線15.9日、上り線13.6日、全体14.9日であった。このように上り線においては下り線よりも平均で2,3日短縮することができたのは、作業手順、作業方法の改善による各工種単位での短縮と、繰返し作業による作業員の熟練が大きな要因であると考えられる。

5.5 情報化施工

(1) 概要

計測項目を表-7に示す。施工中の安全性確保の観点からは、グラウンドアンカー張力・アンカーブロック水平変位および斜吊柱応力度・傾斜の推移を常に監視し、アーチリングの品質確保の観点からは、各施工段階ごとに斜吊材張力やアーチリング応力度に着目して設計計算の妥当性を確認した。なお、計測結果の検討にあたっては、温度の影響や局部応力の影響等を補正したうえで設計値との比較を行った。

表-7 計測項目および計測機器

計測対象	計測項目	計測機器	数量
グラウンドアンカー	張力	センターホール型荷重計	10台
アンカーブロック	水平変位 傾斜・沈下	ワイヤー式変位計 レベル	4台 -
斜吊柱	応力度 傾斜 温度	ひずみゲージ 傾斜計 熱電対	8枚 5台 4台
斜吊材	張力 温度	センターホール型荷重計 熱電対	36台 4台
アーチリング	応力度 温度	コンクリート有効応力計 熱電対	32台 8台

(2) グラウンドアンカー張力の管理

グラウンドアンカーの緊張は、張出し架設の進捗に合わせて、18本のグラウンドアンカーを4グループに分けて実施した(図-12)。下り線の張出し架設におけるグラウンドアンカー張力およびアンカーブロック水平変位の経時変化の代表例を図-13に示す。アンカーブロックは、各グループのグラウンドアンカーを緊張するたびにグラウンドアンカー側に変位し、張出し架設の進捗に伴って少しずつもとの位置に戻るといった挙動を示した。グラウンドアンカーの張力は、当初減少した後、アンカーブロックの変位に伴って増加したため、安全管理値の上下限値を満足するように、他のグループのグラウンドアンカー緊張作業の際に再緊張や張力緩和を実施した。

下り線の施工後、グラウンドアンカー張力変化の要因として、緊張材のリラクゼーションおよびアンカーブロック支持地盤の変形を考慮して計測結果を解析した。グラウンドアンカー緊張材の見かけのリラクゼーション率は、張出し架設前に実施したクリープ試験結果より2%とし、アンカーブロック支持地盤の変形に伴うグラウンドアンカーの張力変化は、2次元FEM解析により計

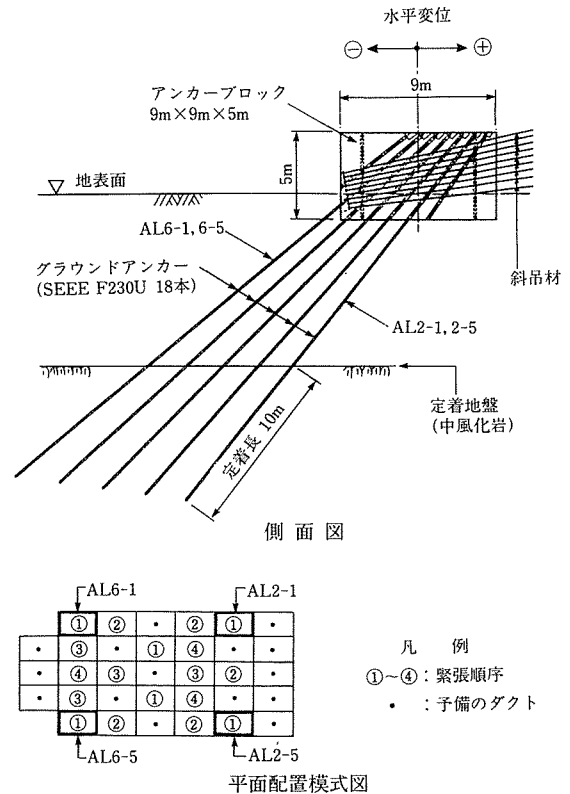


図-12 グラウンドアンカー配置図(下り線 左岸側)

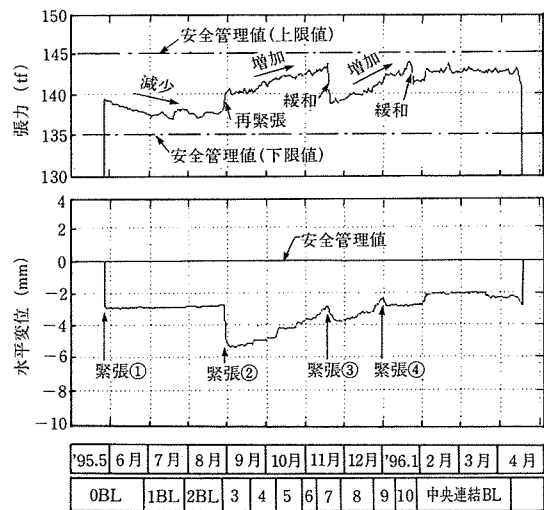


図-13 グラウンドアンカー張力(AL6-1)、アンカーブロック水平変位経時変化図

算した(図-14)。その結果、図-15に示すとおり、グラウンドアンカーの張力変化を定量的に説明できることがわかった。上り線では、その成果に基づいてグラウンドアンカーの張力変化を予測し、再緊張や張力緩和の実施時期、調整量を検討する際の資料とした。

(3) 斜吊柱応力度、傾斜の管理

張出し架設中は、斜吊柱基部の応力度の計測結果に基づいて、各施工段階ごとに安全性の確認を行った(図

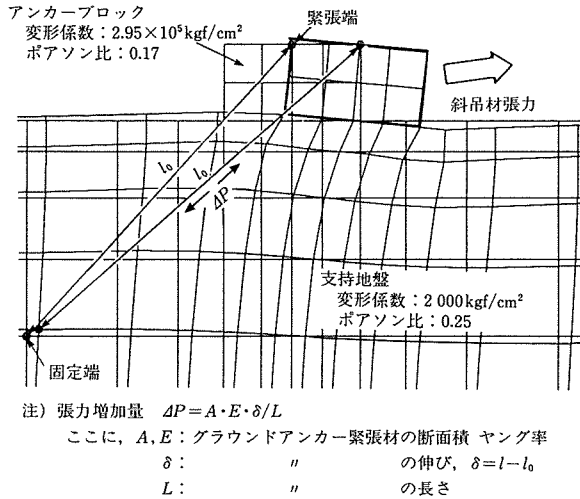
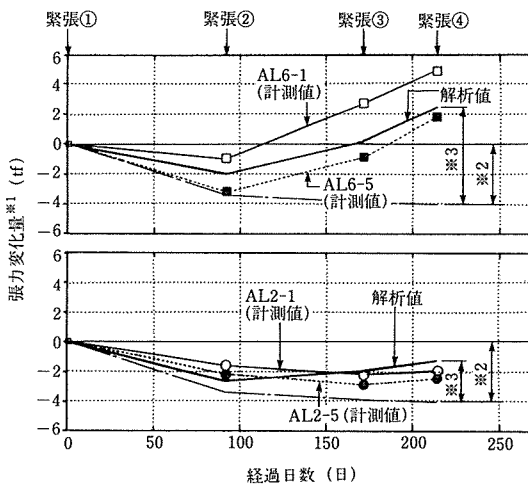
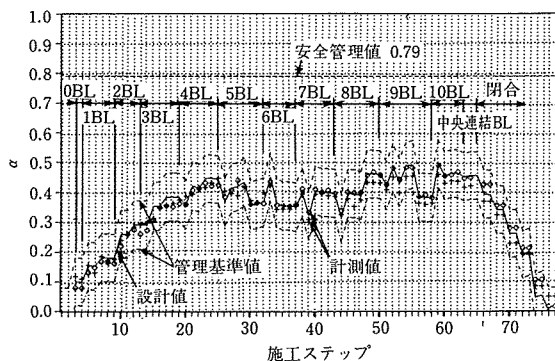


図-14 アンカーブロック支持地盤の変形に伴う張力増加(概念図)



- 注) ※1：初期張力を基準とした変化量。ただし、緊張・再緊張・緩和の影響を除く。
※2：レラクセーションによる減少量、見かけのレラクセーション率2% (クリープ試験より)。
※3：アンカーブロック支持地盤の変化による増加量(2次元FEM解析より)。

図-15 グラウンドアンカー張力変化の検討結果



- 注) $\sigma = f(\sigma_c, \sigma_b)$ 、 σ_c ：軸圧縮応力度、 σ_b ：曲げ応力度

図-16 斜吊柱応力度照査結果(下り線 左岸側斜吊柱)

-16)。また、斜吊柱に作用する曲げモーメントが大きく変化する施工段階では、傾斜の計測により斜吊柱の曲げ変形の状況を把握しながら慎重に作業を進めた。アーチリング閉合後に実施した斜吊材の張力解放では、総足場により支持されるバックステイと異なり、フォアステイは中間部に支点を持たないため、たるみ付けをした状態でも、1tf/本程度の張力が残り、斜吊柱に過大な水平力が作用することが予想された。このため、バックステイのうち、4本の張力を解放せずに残り、斜吊柱に作用する水平力を調整しながら、斜吊材の張力解放および解体を実施した。

(4) 斜吊材張力、アーチリング応力度の管理

斜吊材張力、アーチリング応力度の推移はおおむね設計値どおりであった。代表例として、下り線左岸側1段目の斜吊材張力の推移を図-17に示す。

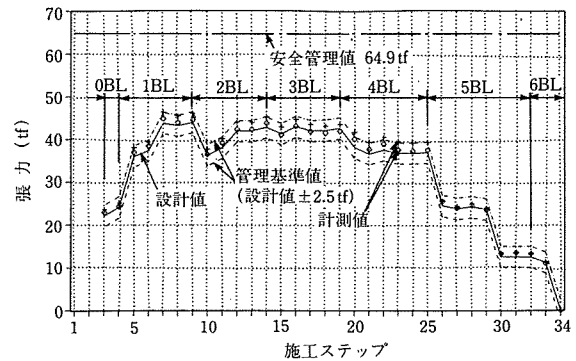


図-17 斜吊材張力の推移(下り線 FL1)

6. おわりに

本工事では、平成9年5月現在、下り線については橋体完成、上り線については鉛直材の施工を完了し、クラウン部および補剛桁の施工に着手しており、11月の竣工を目指し、工事は最終段階にさしかかっている。

本稿が今後、同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 川戸、大川、和田、吉井：茶間川橋の設計、プレストレストコンクリート、Vol.38, No.5, Sept., pp. 58～68, 1996.

【1997年5月9日受付】