

(7) 茶間川橋の設計と施工管理

本州四国連絡橋公団 川戸 彰
 鹿島・安藤 J V 正会員 ○ 織田 一郎

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（図-1）。本橋の構造形式としては、地形条件等から鉄筋コンクリート（RC）固定アーチ橋が（図-2）、アーチリングの架設工法としては、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（図-3、図-4）。わが国の長大支間のRCアーチ橋は、ほとんど本工法あるいはトラス工法を用いて張出し架設されているが、アーチリングの中央部にメラン材と呼ばれる鋼製部材を併用して早期閉合を図るのが一般的であり、本橋のようにメラン材を使用せずアーチリングをすべてピロン工法で施工するのは、わが国初である。

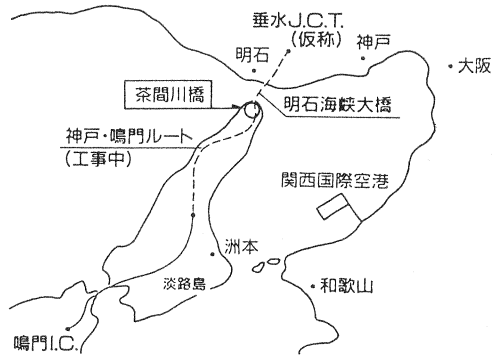


図-1 位置図

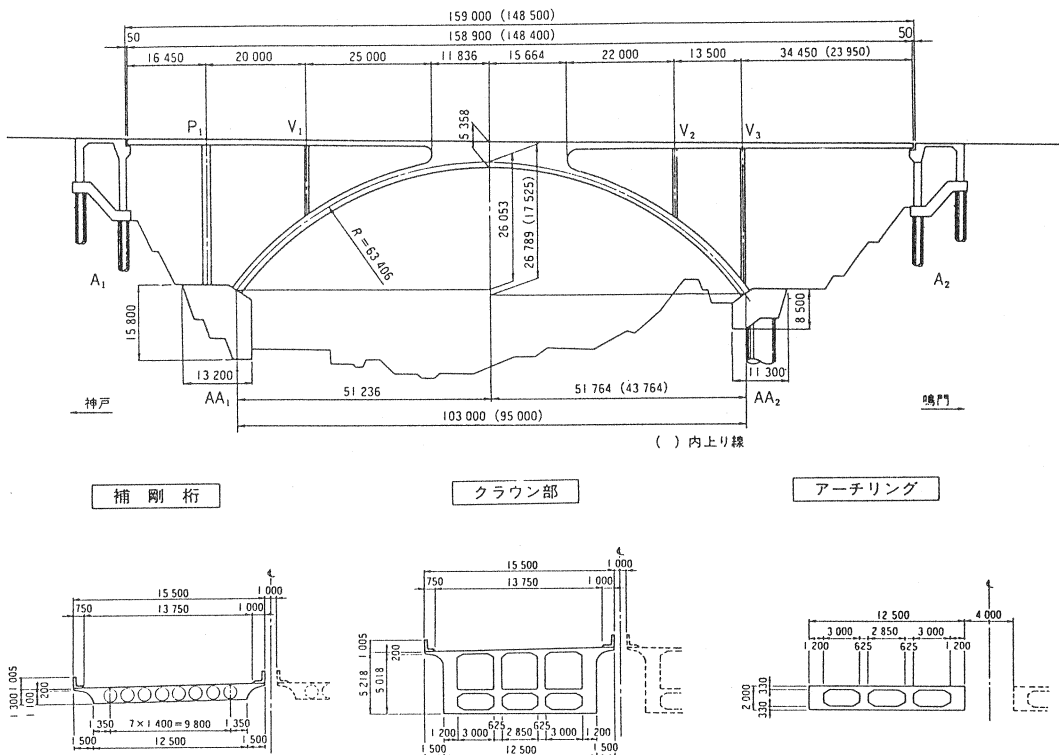


図-2 全体一般図

本工法によりアーチリングを施工する場合の設計・施工管理上のポイントは下記の2項目であった。

① 施工中の安全性の確保

張出し架設中に作用する主な荷重であるアーチリング自重および特殊大型移動作業車(以下、移動作業車)自重等はすべて、斜吊材を介して斜吊柱、アンカーブロックおよびグラウンドアンカーで支持する構造となっているため、斜吊柱の座屈やグラウンドアンカーの引抜き等が生じた場合、架設時の構造系全体の破壊に至る危険性がある。

② アーチリングの品質の確保

コンクリート打設や移動作業車の前進等の荷重増加に伴ってアーチリングの応力度、変位は逐次変化するため、これらを正確に把握し、アーチリングに有害な影響を与えないように応力度を制御したうえで、所定の施工精度を確保する必要がある。

このため、設計では上記の内容を念頭において各施工段階の照査を行うとともに、施工管理では計測により設計計算の妥当性を確認しながら張出し架設を進めた。以下に、その概要を報告する。(なお設計の詳細についてはP C技術協会誌平成8年9,10月号を参照していただきたい。)

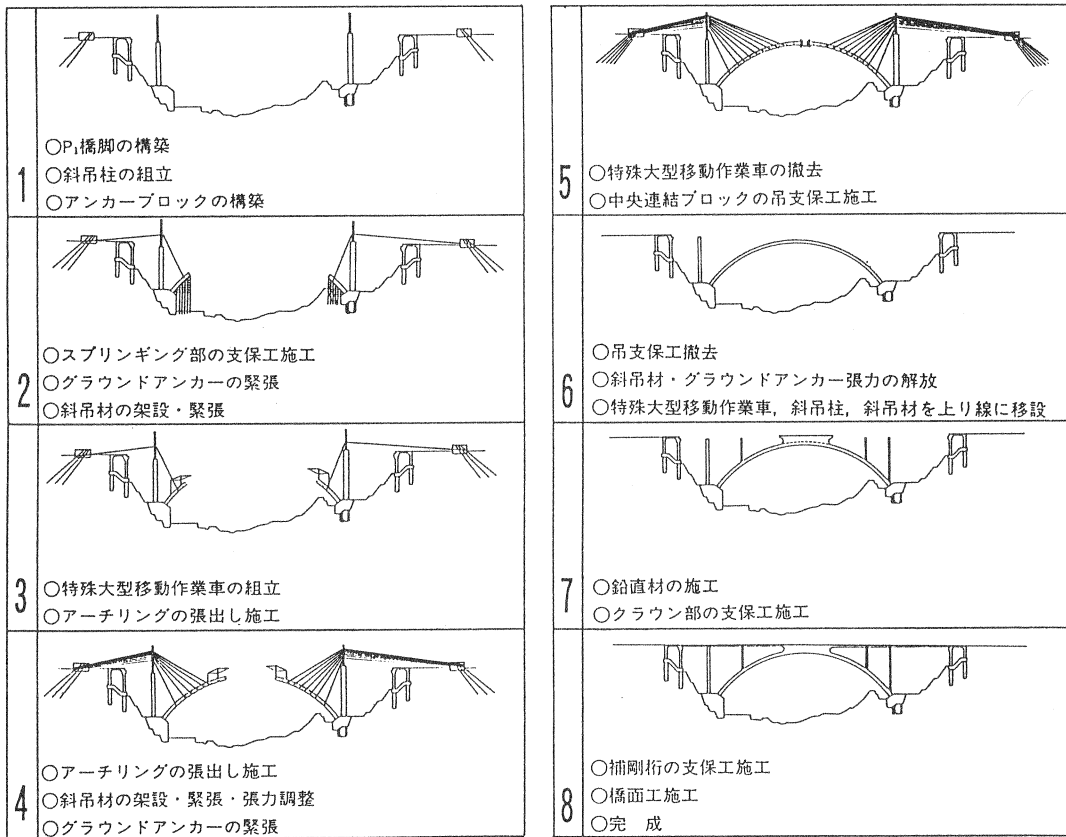


図-3 施工手順図

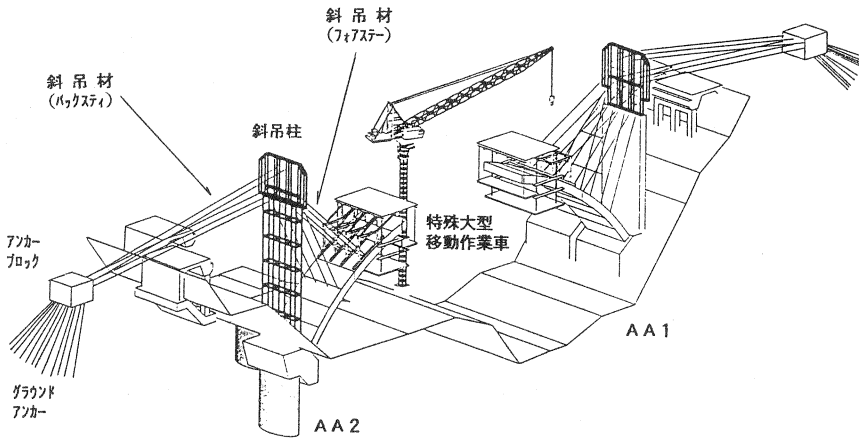


図-4 施工概念図

2. アーチリング架設時の設計

(1) 概要

設計にあたっては、張出し架設時の施工手順にしたがった逐次構造解析により各部材の断面力を算出し、斜吊柱、斜吊材およびアーチリングの応力度を照査するとともに、各施工段階についてアンカーブロックおよびグラウンドアンカーが十分な安全率を有することを確認した。

(2) 斜吊柱の設計

斜吊柱は、H型鋼を主部材とした鋼構造物である。

特に柱部材の許容軸圧縮応力度の設定にあたっては、斜吊柱の全体座屈に対する安全性を確保することに留意し、表-1に示す検討に基づいて、斜吊材による水平方向への変位の拘束効果を評価したうえで有効座屈長を算出した。

(3) グラウンドアンカー、アンカーブロックの設計

重要構造物としての安全性確保のため、設計の基本方針を以下のとおりとした(図-5)。

- ① 緊張材としては、再緊張および自由長部の防食を考慮し、SEEE F230Uを使用した。
- ② 定着長の決定にあたっては、事前に試験アンカーにより地山とアンカー体との付着強度を確認し、永久アンカーとしての安全率を採用した。
- ③ グラウンドアンカー張力の水平成分は、斜吊材張力の水平成分を常に上回るようにし、全作用力を考慮したアンカーブロック底面での滑動に対する安全率を1.5以上とした。
- ④ グラウンドアンカーの緊張は、張出し架設の進捗に伴う斜吊材張力の増加に合わせて、18本のグラウンドアンカーを4段階に分けて順次緊張し、アンカーブロック底面での地盤反力度が許容値(60tf/m²)を満足するようにした。

表-1 斜吊柱の座屈モード

構造のモデル化			
座屈荷重の比較			
座屈モードの比較	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 回転 : 自由 水平変位 : 自由 有効座屈長 = $\beta L = 2.1L$ </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> 回転 : 自由 水平変位 : 固定 有効座屈長 = $\beta L = 0.8L$ </td> </tr> </table>	回転 : 自由 水平変位 : 自由 有効座屈長 = $\beta L = 2.1L$	回転 : 自由 水平変位 : 固定 有効座屈長 = $\beta L = 0.8L$
回転 : 自由 水平変位 : 自由 有効座屈長 = $\beta L = 2.1L$	回転 : 自由 水平変位 : 固定 有効座屈長 = $\beta L = 0.8L$		
備考	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">—</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">採用</td> </tr> </table>	—	採用
—	採用		

(4) 斜吊材の設計

下り線で使用した斜吊材(SBPR 930/1180 ϕ 32mm)はアーチリング閉合後に撤去し、上り線の斜吊材あるいは補剛桁のPC鋼棒に転用する計画であるため、以下に示すように、その仕様および張力の目標値を設定した。

- ① 防錆およびグラウトとの付着を考慮し、有機ジンクリッチプライマーによる塗装を行うこととした。
- ② 直射日光の影響による温度変化を軽減するため、断熱材($t=10\text{mm}$)により被覆を行うこととした。
- ③ 張出し架設中の荷重によって降伏させないことを条件に、許容張力($0.85P_y=64.9\text{tf}$)から、風荷重、温度変化、緊張誤差等の影響を差し引いて、張力の目標値を設定した。

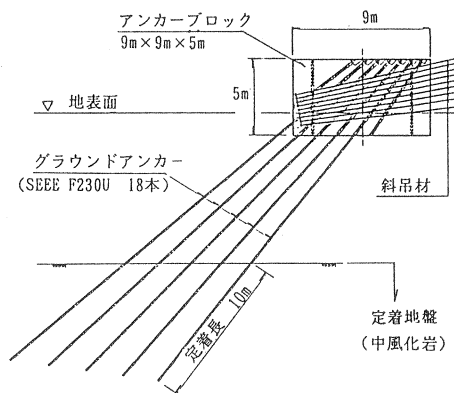


図-5 グラウンドアンカー配置図

(5) アーチリングの設計

張出し架設中の荷重に対しては、斜吊材による応力調整、およびアーチリング上フランジ内に配置されたPC鋼棒により抵抗させることとした。アーチリングの曲げ引張応力度については、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編の許容曲げ引張応力度(-25kgf/cm^2)から、温度変化、斜吊材の緊張誤差等の影響を差し引いて、目標値をスプリングングで -5kgf/cm^2 、一般部で -10kgf/cm^2 とした。

(6) 応力調整の検討

応力調整の方法は、以下に述べる考え方にしたがって検討した(表-2)。コンクリート打設あるいは移動作業車の前進によって最も上縁引張の応力度が厳しくなる位置に着目し、上縁引張の応力度を目標値以内にするため、最上段の斜吊材を緊張する。このとき、スプリングングの下縁引張の応力度が目標値を超過するようであれば、最下段の斜吊材の張力を緩めたり、解放したりすることで対処する。また、斜吊柱に作用する水平方向の偏荷重ができるだけ小さくなるように、斜吊材のフォアステイの張力に合わせてバックステイの張力を調整する。

表-2 応力調整の方法

	荷重曲げモーメント図	応力度 (kgf/cm^2)	
		σ_0	σ_u
応力調整		①	$\sigma_0 = 31$ $\sigma_u = -5$
		②	$\sigma_0 = 13$ $\sigma_u = 45$
コンクリート打設		①	$\sigma_0 = 8$ $\sigma_u = 19$
		②	$\sigma_0 = -10$ $\sigma_u = 70$

検討の結果、応力調整の回数は平均約4回/本(延べ約1900回)となった。

3. アーチリング架設時の施工管理

(1) 概要

施工管理にあたっては、施工中の安全性確保の観点から、アンカーブロックの水平変位およびグラウンドアンカー張力の推移を常に監視することとした。またアーチリングの品質確保の観点から、斜吊材に所定の精度で緊張力を導入し、各施工段階におけるアーチリングの変位、各部材の応力度等の計測値によって設計計算の妥当性を確認することとした。

(2) 斜吊材緊張管理

斜吊材は1段あたりフォアステイ、バックステイ合わせて16~40本配置されており、4本同時(フォアステイ・バックステイ同時、左右対称)に緊張を行ったため、1段あたり4~10回の緊張作業が必要となった。各斜吊材の緊張力は、以下の方法により管理した。

- ① 緊張力を正確に把握するため、各ジャッキに圧力センサーを取り付け、計測された圧力をパーソナルコンピュータに転送し、予め実施したキャリブレーション結果に基づいて緊張力を自動的に補正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。
- 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、すべての斜吊材の緊張が終了した時点で、各斜吊材に等しく所定の緊張力が導入されるように、緊張順序に応じた緊張力を算出した。
- ③ 緊張作業では、一次緊張で緊張順序に応じた緊張力を各斜吊材に導入し、二次緊張で各斜吊材の張力の確認を行うこととした。

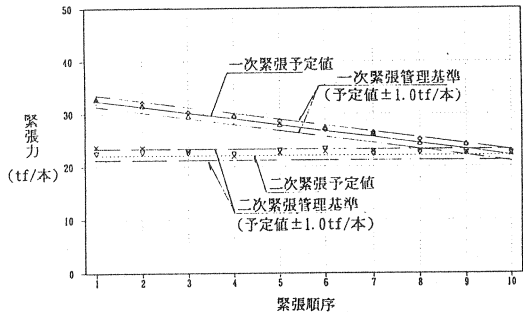


図-6 緊張管理結果

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 $\pm 1.0\text{tf/本}$ に対し、緊張力のバラツキは最大 $\pm 3\text{tf/本}$ 程度であったので、張力の微調整を実施した(図-6)。なお、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一カ所で集中的に管理した結果、施工サイクル中の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。

(3) アーチリング上越し管理

コンクリート打設や斜吊材の緊張、移動作業車の前進等に伴うアーチリングの高さの推移は概ね予定値どおりであった(図-7)。アーチリング閉合直前に実施した移動作業車の撤去では、予定よりもアーチリングの上がり量が小さいことが確認されたが、結果的には所定の施工精度を満足することができた。

なおRCアーチ橋の場合、斜吊材の緊張は応力調整が主目的で、たわみの調整には期待しないのが一般的である。

(4) 計測管理

計測項目および計測機器は表-3に示すとおりとし、2時間ごとに自動計測を行った。計測値の検討にあたっては、安全管理値および管理基準値を設けた。それぞれの位置付けは下記のとおりとした。

- ① 安全管理値は、各部の設計上の許容値に基づいて設定する。計測値はこの値を絶対に越えてはならないこととする。
- ② 管理基準値は、斜吊材の緊張誤差や計測誤差等から予想される計測値のバラツキの範囲に基づいて設定する。計測値がこの範囲内であれば、実構造物は設計計算どおりに挙動していると判断し、越えた場合には何らかの対策を行うこととする。

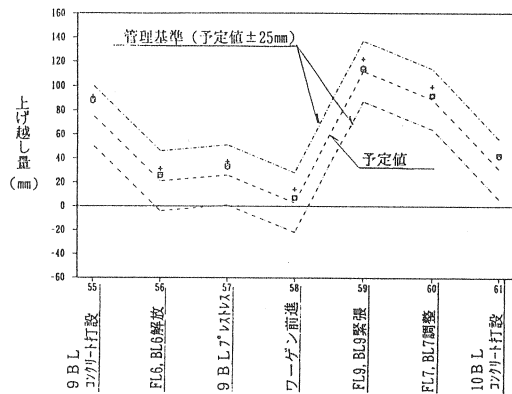


図-7 アーチリングの高さの推移

斜吊材張力、アーチリング応力度等の推移は概ね設計値どおりであった(図-8)。但し、閉合間近の9ブロック施工の頃から、斜吊材の張力について管理基準下限値を若干下回る値が計測された。この原因としては、設計計算ではコンクリート打設時の荷重に鉄筋やPC鋼棒の重量を含めているのに対し、実施工では斜吊材の緊張作業と平行して鉄筋やPC鋼棒の重量が載荷されることが推定された。本橋の場合、アーチリング応力度等に与える影響は軽微であったが、張出し長が長くなるにつれてこの影響は大きくなると考えられる。

グラウンドアンカーについては、温度変化やアンカーブロックの移動が原因と推定される張力の増減が見受けられたため、安全管理値の上下限値を満足するように、再緊張や張力の緩和を実施した(図-9)。アンカーブロックの移動量およびグラウンドアンカー張力の増加量は支持地盤を弾性体としてとらえることによりある程度説明できると考えられる。したがって、同種工事の場合、支持地盤によっては検討を行う必要があると考えられる。

表-3 計測項目および計測機器

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	ワイヤー式変位計	4台
斜吊材張力	センターホール型荷重計	32台
アーチリング応力度	有効応力計	20台
斜吊柱応力度	ひずみゲージ	8枚
斜吊柱傾斜	据置型傾斜計	5台
温度	熱電対	16台

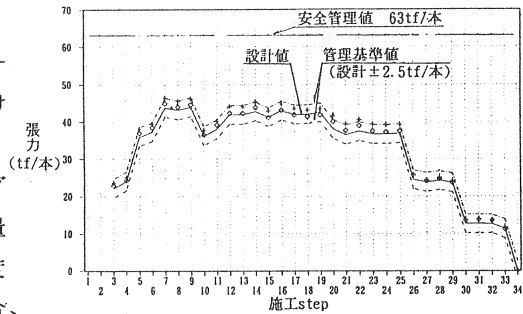


図-8 斜吊材張力の推移

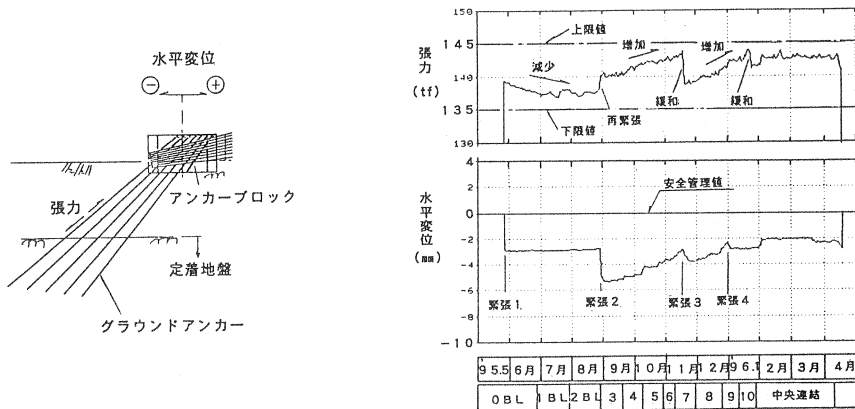


図-9 グラウンドアンカー張力、アンカーブロック水平変位の経時変化

4. おわりに

下り線のアーチリングの張出し架設は、所定の品質を満足したうえで、平成8年4月に無事完了した。

平成8年7月現在、茶間川橋上部工工事では、平成9年11月の竣工を目指し、下り線クラウン部の施工を進めるとともに、上り線アーチリングを張出し架設中である。上り線の張出し架設では、下り線の施工管理の実績を踏まえ、上越し量の補正や計測機器配置の変更等を行っている。

今後、本工事で得たデータの整理・分析を進め、同種工事の設計・施工に反映していきたいと考えている。