

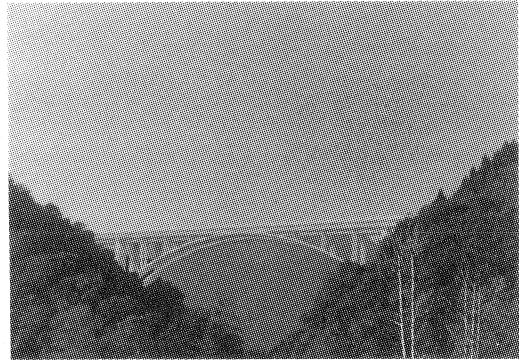
(2) 天子川橋の架設工法と設計

大成建設(株)	土木設計部	○岡田 浩樹
同上	四国支店	中原 二郎
同上	土木設計部	堀口 政一
同上	土木設計部	Chin Long CHUAH

1. はじめに

天子川橋は、日本道路公団高松建設局管内の松山自動車道において現在架設中の橋梁であり、また、その架設位置が国道11号名所の「桜三里」に近いことから、日本道路公団が松山自動車道のシンボルとして広くアピールしている「伊予桜五橋」のうちの一橋でもある。

本橋の構造形式は、国内施工実績が3橋と非常に数少ないPC補剛桁を有する逆ランガー固定アーチ構造であり、橋長176m、全幅員11.45m、アーチ支間116m、アーチライズ22.5m(スパン・ライズ比1/5)の規模を有している。



写真一 完成予想写真

架設工法としては、側径間部のみを地上からの支保工上で施工し、急峻なV字谷を跨ぐ中央径間部は、トラバラーと自走式のアーチリブ支保工とにより、アーチリブ、補剛桁、鉛直材及び仮設斜材(PC鋼より線)の4つの部材でトラスを形成しながら両側から順次張出し施工する工法(トラス式分離張出し工法)を初めて採用している。

本稿では、天子川橋の設計を中心に、本橋で採用された架設工法の概要について述べる。

2. 工事概要

- 1) 工事名 松山自動車道 天子川橋工事
- 2) 発注者 日本道路公団 高松建設局
- 3) 施工者 大成建設(株)
- 4) 工事場所 愛媛県周桑郡丹原町大字鞍瀬～来見
STA. 126+15.0～STA. 127+91.0
- 5) 工期 平成3年6月1日～平成5年11月16日(900日間)
(上記工期は、土工、下部工を含む全体工期である)
- 6) 橋種 プレストレストコンクリート橋
- 7) 構造形式 PC補剛桁を有するRC逆ランガー固定アーチ構造
- 8) 等級 1等橋
- 9) 道路規格 第1種3級-A規格
- 10) 施工方法 トラス式分離張出し工法
- 11) 橋長 176.000m
- 12) 桁長 175.900m
- 13) 支間長 26.5m+122.0m+26.5m
116.0m(アーチ支間)
- 14) 幅員 総幅員 10.45m
有効幅員 9.00m
- 15) 斜角 $84^{\circ} 59' 04''$ (A1表示)
- 16) 横断勾配 3.0%
- 17) 縦断勾配 4.0%
- 18) 線型要素 曲線半径 R=995m
- 19) 主要材料 表一に示す。

表一 主要材料

種別	仕様	単位	数量
下部工	コンクリート	$\sigma_{ck}=240\text{kg/cm}^2$	8,992.4
		$\sigma_{ck}=150\text{kg/cm}^2$	166.0
工	鉄筋	SD345	294.725
	コンクリート	$\sigma_{ck}=240\text{kg/cm}^2$	592.2
上部工		$\sigma_{ck}=400\text{kg/cm}^2$	1,813.2
	鉄筋	SD345	367.672
工	PC鋼材引張	SBPR 930/1180 $\phi 32$	37,035.8
		12S12.4A	18,148.4
		1S21.8	11,411.7
		7S15.2B	8,609.5
		12S15.2B	14,802.6

3. 架設工法

3.1 概要

構造概要図を図一1に示す。以下に、橋体各部の構造及び施工方法についての概要を記す。

(1) 下部工

本橋梁は、下り線先行施工の暫定路線区間内にあるが、下部工については、上下線一体として施工する。橋台の形式としては、当初、バックステイより伝達される架設時水平力に抵抗する基礎構造として、アースアンカーにより地盤に定着させる構造も検討されたが、地質調査結果等を踏まえ、上下線一体型の重力式橋台を採用した。

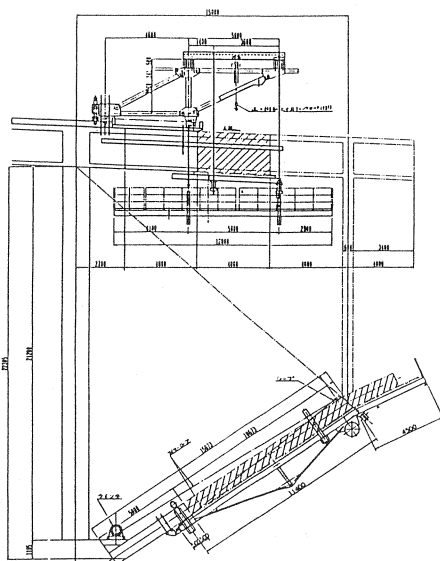
(2) 上部工

1) 補剛桁

側径間部及びエンドポスト柱頭部は、エンドポスト施工後に場所打ち施工を行い、中央径間部は、トラベラーにより張り出し施工を行う。張り出しブロック長は、標準部が4.0m(1BL~12BL)、その他は3.5m、3.3mである。使用トラベラーは、標準の中型トラベラー(曲げ耐力:200tm)で、A1側、A2側計2基を使用する。

2) アーチリブ

スプリング部の場所打ち施工後(打設長5m)、自走式支保工を使用して、アーチリブを順次張り出し施工する。A1側、A2側をそれぞれ4ブロックずつに分割しており、各ブロック長は、直線区間約10m、鉛直材下端位置で折れてさらに3m、合計約13mである。アーチリブのコンクリートを打設する際には、自走式支保工は、根元をアンカーにて固定し、先端を仮設斜吊りケーブルで吊ることにより支持させておく。コンクリートの養生後、斜吊りケーブルをアーチリブに盛り替えて、自走式支保工を次ブロックへ移動させる。図一2にトラベラー及び自走式支保工の概念図を示す。



図一2 トラベラー、自走式支保工

3) 鉛直材

鉛直材のコンクリート打設は、アーチリブ施工後に、2柱同時に行うものとする。鉛直材と補剛桁との接合部については、P1、P8が剛結、その他は滑りゴム支承としている。

4) 仮設バックステイケーブル

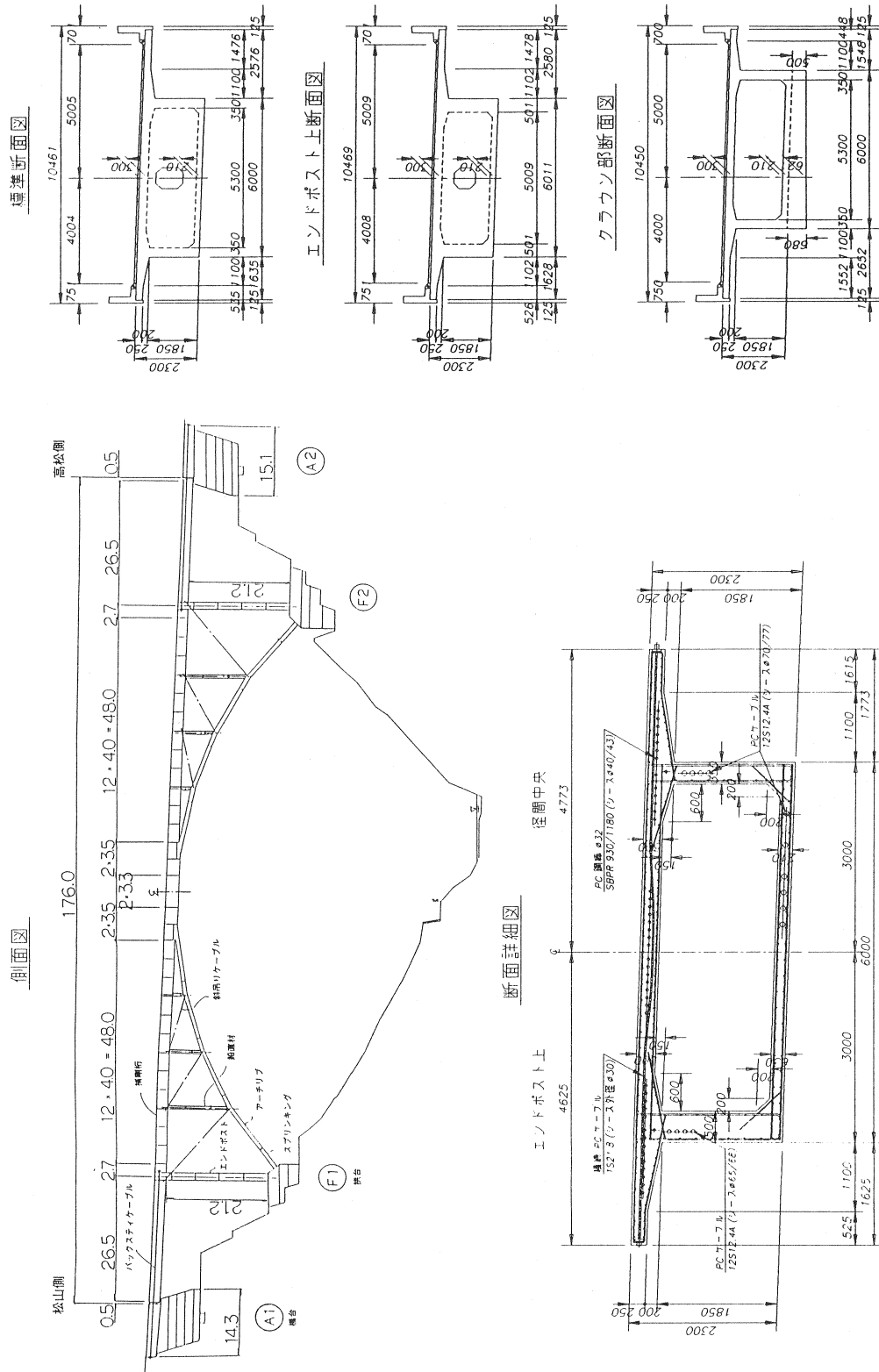
バックステイケーブルは、張り出し施工時に生じる水平反力を、上下線一体型の重力式橋台に伝達する役割を担う重要な仮設部材であり、側径間補剛桁内のアウトサイドに配置する。緊張は、側径間場所打ち部施工後に行い、導入張力はA1側、A2側ともに約3000tfとする。

5) 仮設斜吊りケーブル

本橋の特色の1つである斜材は、各フレーム施工時に補剛桁、鉛直材及びアーチリブとともにトラスを形成し、架設時における安定な構造を保持するとともに、張り出し施工時に補剛桁に発生する負の曲げモーメントに対する鋼材の不足を補うという役目も担っている。斜材の張力調整は各斜材につき1次、2次、3次の3回ずつ行う。また、直射日光等による急激な温度変化を防ぐため、ケーブルは発砲スチロールにより被覆する。

(3) 計測工

本橋では、施工状況を迅速に把握し、これに対応するために、橋体各部に計測機器を取り付け、種々の施工管理項目についての測定を実施する。計器はすべてパソコンに接続し、機能的な集中管理を行



図一 1 構造概要図

う。計測項目は、①仮設斜吊りケーブルの張力及び温度②仮設バックステイケーブルの張力及び温度③橋台、拱台の変位及び傾斜角④橋体各部のコンクリート応力度⑤補剛桁のレベル等である。

3.2 従来工法との比較

(1) 従来工法

先述した様に、逆ランガーRCアーチ橋の国内施工実績は3橋あるが、その架設工法は、いずれもが補剛桁及びアーチリブを一体として施工する機能を持つ大型特殊トラベラーを用いたものである。また、仮設の斜吊り材としては、PC鋼棒を順次継手で接続して使用している。

本工法にあっては、以下の様な問題点があると考えられる。

- ①補剛桁の施工とアーチリブの施工とを分離して行うことができない。そのために、工程が相互に拘束される。
- ②アーチリブ施工時の重量もトラベラーを介して補剛桁に伝達される。そのために、施工途中の補剛桁に大きな荷重が作用する。
- ③仮設の斜吊り材としてPC鋼棒を使用しているため、継手による延長が必要となる。そのために、継手の作業手間に多くの時間を要する。また、通常、PC鋼棒の配置や継手作業のために、アーチリブ上における足場の組立て、解体の作業が必要となる。

(2) 新工法(トラス式分離張出し工法)

本橋においては、上記の問題点を改善するべく以下の工法を採用した。

- I) PC補剛桁のみを標準型トラベラーで施工
- II) アーチリブ、鉛直材は、仮設斜吊りケーブルを利用した自走式支保工で施工

本工法と従来工法とを比較した施工手順図を図-3に示す。本工法の採用にあたり、以下の様な効果が期待できる。

- ①補剛桁、アーチリブの施工を各々独立して行うことができる。従って、工程に自由度が生じ、全体として工期短縮が図れる。
- ②アーチリブ施工時の重量は斜吊り材を介して鉛直材上支点部に伝達される。また、補剛桁の施工は一般に使用される標準型トラベラーで行うため、その損料を自走式支保工の新規製作費用と合計しても全体的には大幅なコストダウンとなる。同時に、補剛桁内のPC鋼材量も減らすことができる。
- ③仮設の斜吊り材としてPC鋼より線を使用しているため、斜材の長さの管理や、中間での継手作業が不要となる。そのため、足場の設置、解体の作業が全く不要となり経済的であるとともに、継手部における斜材の抜け落ちの可能性がなくなり作業が安全に進められる。

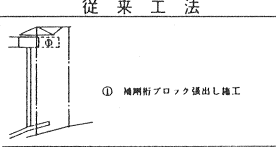
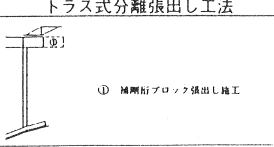
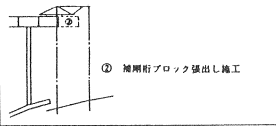
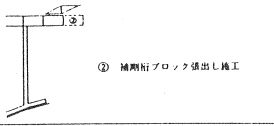
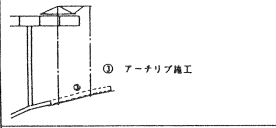
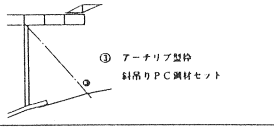
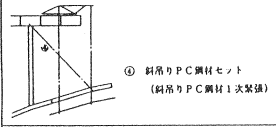
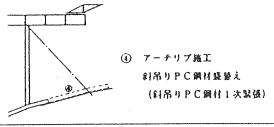
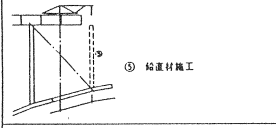
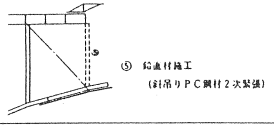
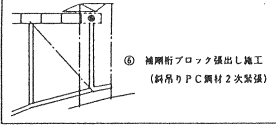
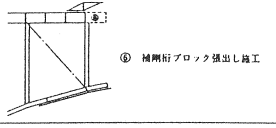
従来工法	トラス式分離張出し工法
 <p>① 補剛桁ブロック張出し施工</p>	 <p>① 補剛桁ブロック張出し施工</p>
 <p>② 補剛桁ブロック張出し施工</p>	 <p>② 補剛桁ブロック張出し施工</p>
 <p>③ アーチリブ施工</p>	 <p>③ アーチリブ型枠 斜吊りPC鋼材セット</p>
 <p>④ 斜吊りPC鋼材セット (斜吊りPC鋼材1次緊張)</p>	 <p>④ アーチリブ施工 斜吊りPC鋼材設置 (斜吊りPC鋼材1次緊張)</p>
 <p>⑤ 鉛直材施工</p>	 <p>⑤ 鉛直材施工 (斜吊りPC鋼材2次緊張)</p>
 <p>⑥ 補剛桁ブロック張出し施工 (斜吊りPC鋼材2次緊張)</p>	 <p>⑥ 補剛桁ブロック張出し施工</p>

図-3 施工手順比較図

4. 設計

4.1 設計条件

表一2に設計条件を示す。

4.2 設計概要

本橋の場合、架設時と完成時とでは構造系が大きく異なる上に、仮設材が架設構造系において非常に重要な役割を担っている。このため、各施工段階を考慮した架設時の設計及び完成系の検討を併行して行い、トライアルを繰り返して、最終の部材断面及び仮設材を決定した(図一4)。構造解析は、主に平面骨組解析により行っているが、斜吊りケーブル定着端部(アーチリブ側)については、平面FEM解析により検討を加え対処している。また、コンクリートのクリープ・乾燥収縮に対する解析方法としては、各施工ブロックのコンクリート材令を考慮した厳密解を求めている。

4.3 PC鋼材決定フロー

架設時に生じる補剛桁の引張応力度は、頻繁に交番する曲げモーメントの影響を受け、各施工段階毎に上下縁で逆転していると言っても過言ではない。従って、PC鋼材は、トライアルを重ねて決定した。

(1) カンチレバー鋼棒本数の決定

架設時及び完成時に生じる負の曲げモーメントに対して配置する。エンドポスト及び鉛直材上断面に配置されるカンチレバー鋼棒本数は、各フレーム内の最大張出し時における負の曲げモーメントに対して決定される。

(2) 斜材本数の決定

斜材断面は、架設時に生じる最大張力により決定される。3次調整張力量は、フレーム完成後の張出し施工により鉛直材上に生じる負の曲げモーメントに対して決定されるが、鉛直材間における引張応力に対しては、斜材調整張力で対処できないため、中央径間部(腹部内凹心位置)にスパンケーブルを配置し、架設時における軸圧縮力の不足を補う。

(3) バックステイクケーブル本数の決定

架設時に生じる最大水平力(最大張出し時+地震荷重)に対して、それを上回る張力から本数を決定する。

(4) 連結ケーブルの決定

中央閉合後、バックステイクケーブル解放時にアーチクラウン部に発生する正の曲げモーメントに対して、及び斜材撤去時にアーチクラウン部に発生する負の曲げモーメントに対して配置する。

(5) スパンケーブルの決定

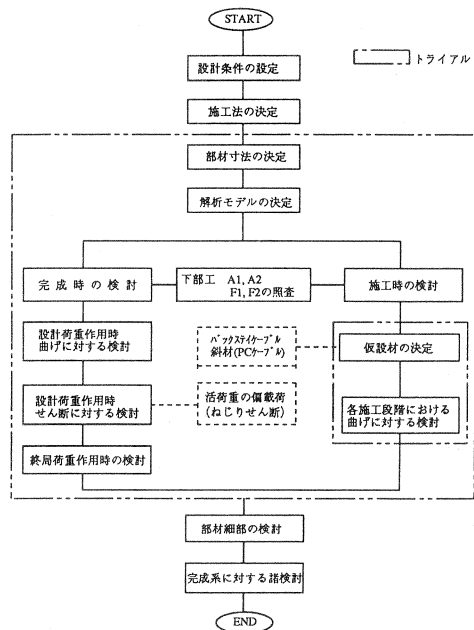
設計荷重作用時に発生する正の曲げモーメント及び支点近傍に生じるせん断力(側径間)の低減を目的とする。

4.4 構造寸法

(1) 補剛桁

表一2 設計条件

項目	内容
活荷重	TL-20, TT-43
衝撃係数	主桁: $l = 10 / (25 + L)$ 床版: $l = 20 / (50 + L)$
設計水平震度	完成時: $K_h = 0.17$ 架設時: $K_h = 0.10$
風荷重	活荷重載荷時: 300 kgf/m^2 活荷重無載荷時: 150 kgf/m^2
温度変化	コンクリート: $\pm 10^\circ\text{C}$ 斜材: $\pm 10^\circ\text{C}$
温度差	上床版: $+5^\circ\text{C}$
クリープ・乾燥収縮	導示による 主方向は、部材材令差を考慮して厳密解を求める
支点沈下	F1側: 水平 2mm, 鉛直 3mm F2側: 水平 5mm, 鉛直 15mm



図一4 詳細設計フロー

補剛桁は1室箱桁のPC部材で、施工性、景観性より等桁高とした。断面構成は、桁高2.3m、上床版厚300mm、下床版厚210mm、ウェブ厚350mm(標準部)とした。クラウン部においては、アーチリブが補剛桁と接合して一体となり、桁高2.89mのBOXを形成している。また、本橋においては、補剛桁の平面線形は単曲線(R=995m)であり、それに対してアーチリブの平面線形は直線となっているため、張出し床版長が漸次変化している。

(2) アーチリブ

アーチリブは、架設時における自重の軽減を図るため、幅6m、厚さ80cmとした。また、美観性を考慮してリブ折れ点部下面にハンチを設け、柔かなイメージを与えている。

(3) 鉛直材

鉛直材は1本当たりの寸法が幅1.5m、厚さ60cmの2本柱方式とした。

4.5 斜材調整張力

斜材の張力調整は各斜材につき1次、2次、3次の3回ずつ行うが、以下に、各調整張力の導入時期及び導入目的について述べる。なお、斜材の許容応力度は、風荷重、斜材自重、温度荷重及び引張誤差の影響を考慮して0.50Pu(架設常時)とする。

(1) 1次調整張力

アーチリブ型枠セット時に導入する。アーチリブ打設重量による斜吊りケーブルの伸び分を補正し、アーチリブ打設後に軸線が正規の形状となる様に張力を決定する。

表-3 3次調整張力量

	本数	3次調整張力量 (tf)	
		A1側	A2側
第1斜材	8	128	96
第2斜材	12	300	252
第3斜材	14	406	378

(2) 2次調整張力

鉛直材打設後に導入する。鉛直材打設重量による斜吊りケーブルの伸び分とアーチリブのたわみ分を補正する。即ち、補剛桁の格点に着目し、鉛直材天端と前の格点との相対変位が生じない様にする。

(3) 3次調整張力

フレーム完成後に導入する。補剛桁の曲げ応力度が、各施工段階で許容値を満足する様に決定する。表-3に各斜材の3次調整張力量を、図-5に3次調整張力による曲げモーメント図を示す。

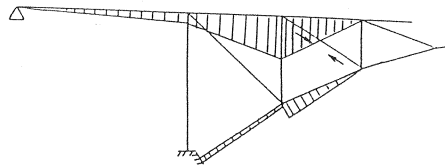


図-5 3次調整張力による曲げモーメント図

5. おわりに

以上、天子川橋について、設計を主体にその大要を報告したが、本橋は、上部工の施工が始まったばかりであり、現在鋭意施工中である。今後共、皆様の御指導、御助力を頂きながら、来年秋の竣工に向け、関係者一同気を引き締めて取り組む所存である。

また、施工を主体とした報告は、データの集積を待って別途行う予定であるが、本稿が、今後施工される逆ランガーRCアーチ橋の設計及び施工の一助となれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工に当たり、現在もなお多大な御指導、御尽力を頂いている関係各位、特に日本道路公団高松建設局ならびに西条工事事務所の方々に対し、誌上をお借りして深く感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) 高田、石川、高山、安田、桑名：上越新幹線 赤谷川橋梁の設計、橋梁と基礎、1978.9
- 2) 石川、高山、安田、桑名：赤谷川橋梁の施工、橋梁と基礎、1979.7
- 3) 安藤、山田、醒井、国広：中谷川橋の設計と施工、プレストレストコンクリート、Vol.30、No.6、Nov.1988