

(148) プレキャストセグメントPC斜張橋 (大芝大橋) の精度管理

広島県農林事務所 小笠原繁也  
 住友建設(株) 広島支店 正会員 井手 慶吾  
 住友建設(株) 広島支店 登田 宏史  
 住友建設(株) 技術・設計部 正会員 ○山本 哲也

1. はじめに

大芝大橋はプレキャストセグメント片持ち張出し架設工法を用いた中央支間210mの3径間連続PC長大斜張橋である。本橋の張出し施工部分(378m)は、ショートライン・マッチキャスト方式にて製作された108個のセグメント(斜材セグメント:L=3m×54個、標準セグメント:L=4m×54個)をエレクションノーズを用いて吊り上げ、架設を行う。プレキャストセグメント工法を用いた場合、通常の片持ち張出し架設工法による斜張橋の管理(施工中および完成時の斜材張力、主桁キャンバー)以外に主桁製作上の管理を行う必要がある。本報告では、主桁製作キャンバーの算定方法と、製作キャンバーを忠実に再現するためのセグメント製作時および架設時の精度管理手法を中心に述べる。

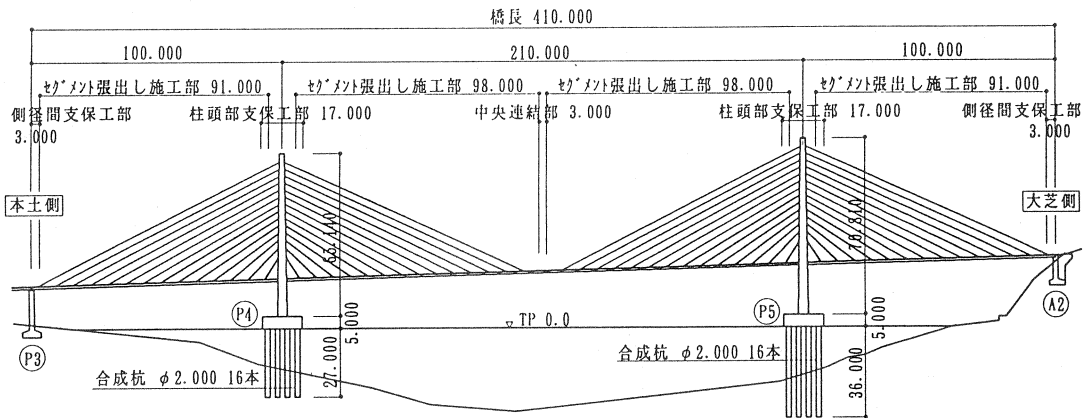


図-1 大芝大橋側面図

2. 主桁製作キャンバーの計算方法

2-1 計算上の主桁製作キャンバーの計算方法

主桁をプレキャストセグメント工法にて製作した場合には、製作時(無応力下)の主桁をマッチキャスト面で接合した場合にできる無応力主桁キャンバーが主桁架設前に存在する。一方、主桁の架設が開始されると、架設段階に応じた荷重、プレストレス力、斜材張力等によるたわみの履歴を架設終了まで受け、橋面工完了以降のクリープ・乾燥収縮終了時に、別途協議して決定された美観上の上げ越しになるようにしなければならない。以上の二点から、プレキャストセグメント工法を

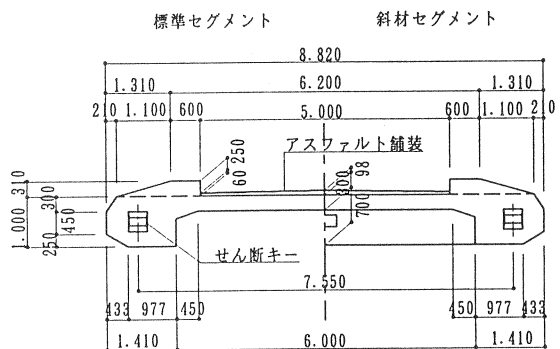


図-2 主桁断面図

用いた場合の主桁製作上の無応力主桁キャンバー、すなわち主桁製作キャンバーは、通常の現場打ち張出し施工の場合に行う、型枠セット高を求める上げ越し計算の手法(主桁コンクリート打設STEPで初めて骨組み部材を設けて、以降のたわみを累計したものの逆符号を型枠セット高とする手法)とは異なり、中央連結部を除く全主桁部材を架設STEPの初めから設けておき(支点条件、斜材の架設は実際にあわせる)、以降のたわみを累計したものの逆符号として与えられることとなる。

図-3に計算上の主桁製作キャンバーを求めるにあたり、骨組み計算モデルで用いた、架設段階における構造系の変化の順序を示す。この順序に従って、架設開始から橋面工完了に至るまでの架設時たわみ(弾性変形およびクリープ・乾燥収縮によるもの、X、Y方向)の累計値( $\delta_{EX}$ 、 $\delta_{EY}$ )と、橋面工完了以降のクリープ・乾燥収縮によるたわみ( $\delta_{CX}$ 、 $\delta_{CY}$ )を骨組み解析にて求める。また、クリープ・乾燥収縮終了時の鉛直方向たわみは、美観上の上げ越し分( $\delta_{SY}$ )をキャンバーとして残しておく必要があるため、主桁製作キャンバー( $\delta_{OX}$ 、 $\delta_{OY}$ )は、次式で表される(図-4参照)。

$$\delta_{OX} = -(\delta_{EX} + \delta_{CX})$$

$$\delta_{OY} = -(\delta_{EY} + \delta_{CY}) + \delta_{SY}$$

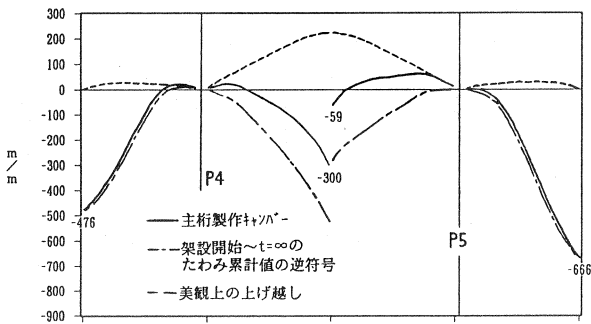


図-4 主桁製作キャンバー

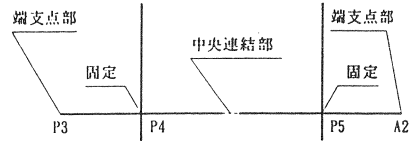
## 2-2 実際の製作キャンバーの設定

### 1) 高さ方向製作キャンバー

主桁セグメントの製作は図-5に示すように、新設セグメント(標準+斜材セグメントの7m区間)の底版をレベルにセットし、基準セグメント(旧斜材セグメント)の柱頭部側を上げ下げすることで、柱頭部側斜材セグメントと標準セグメントの間に角度をもたせる。この作業にてY方向の製作キャンバーをつけることとなるが、以下の理由で実際の製作キャンバーは先に述べた計算上の主桁製作キャンバー(目標キャンバー)とは完全には一致はしない。これは、実施工では、7m毎の角折れラインであることや、基準セグメントの柱頭部側の上げ下げはジャーナルジャッキを用いて人力で行うこと、レベルで管理することから、1mmの精度であることによる。以上のことをふまえ、実際の製作キャンバーの設定方法は、角折れライン上の骨組みモデルにおける斜材定着点が、目標キャンバー上のその点とほぼ一致するように求めることとした。

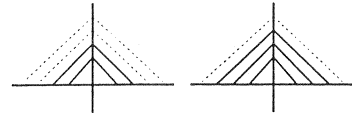
### ①架設開始時モデル

- ・主塔は主桁架設時に既に施工完了している
- ・中央連結部は部材なし



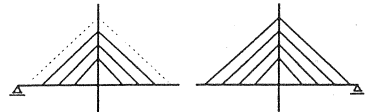
### ②張り出し架設中モデル(架設開始～側径間閉合直前)

- ・主桁セグメントの架設は、重量のみ載荷する。
- ・斜材は初期張力導入時に部材を設ける。



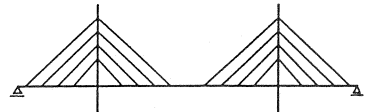
### ③側径間閉合モデル(側径間閉合～中央連結直前)

- ・端支点設置



### ④仮固定解放前モデル(中央連結後～仮固定解放直前)

- ・中央連結部部材作成



### ⑤完成系モデル(仮固定解放以降)

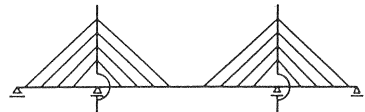


図-3 架設時のモデル変化

2)長さ方向製作キャンパー(セグメント製作長)

本橋は斜張橋であることから、橋軸方向の軸力分布が一様ではない。そのため、計算上の主桁製作キャンパーの計算で得られた $\delta_{ox}$ を用いて新設セグメントの7m部分の製作長を算出すると、毎回製作長を変化させることとなり、作業上非常に煩雑となる。そこで本橋では、4つの張り出し区間(P4, P5側の側径間側および中央径間側)で、7m区間の製作長を平均した製作長で施工した。

表-1に各張り出し区間における、主桁製作上のキャンパー量を示す。表中の $\Delta Y$ および $\alpha$ は図-5参照。図中の主桁製作長における7003.5mmは、縦断勾配2.7%を考慮した図面上の主桁実長である。

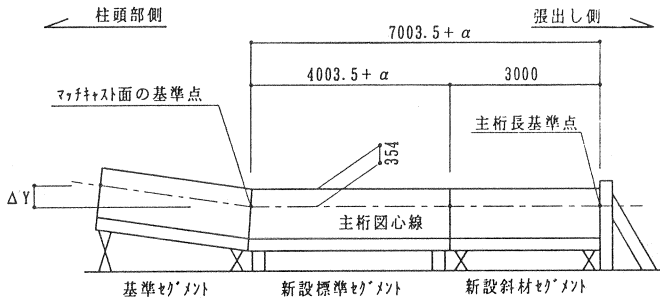


図-5 型枠設置要領

表-1 主桁製作上のキャンパー量

張り出し区間	$\Delta Y$ (mm)		$\alpha$ (mm)
	最大値	最小値	
P4側径間	6	-8	12.5
P4中央径間	0	-7	5.5
P5中央径間	1	-7	5.5
P5側径間	7	-8	12.5

2-3 斜材製作長の計算

斜材製作長を計算するには、各斜材毎に初めてアンカー体が支圧版に定着される時(初期定着時)の斜材張力および定着点座標と、張力調整時のそれらが必要である。初期定着時および張力調整時の主桁側斜材定着点座標は、2-2項で設定した実際の主桁製作キャンパーの上の斜材定着点座標に、その時までの架設時たわみの累計値をたし合わせて求める。そのため、斜材製作長の計算を行う時には、2-2項に示した作業を全て完了しておく必要があった。計算する項目は、初期定着時および張力調整時の、①定着間距離、②張力の導入、調整による斜材自体の弾性伸び、③張力の導入、調整による構造系の変形に伴う見かけ上の伸び、④張力の導入、調整によるサグ変化に伴う伸びであり、最終調整後にアンカー体が主塔コンクリートの必要かぶり(70mm)を確保しているか、初期定着時および張力調整時に、ナット部分が支圧版より内側に入り込むようなことがないかを、主塔側斜材切り欠き深さと最終シム厚を確認しながら斜材製作長を計算した。

3. 主桁製作時の精度管理

3-1 主桁製作時の精度管理

主桁セグメントとしての出来形、架設中及び橋体完成後の橋体としての出来形は、毎回のセグメント型枠の据えつけ精度により決定されるため、厳密な測量を行う必要がある。また、斜材ケーシングパイプは、設置角度の誤差が大きい場合、定着部付近で曲げ応力が発生し、疲労強度が低下する恐れがある。以下に、測量管理項目を示す(図-6参照)。a)平面線形(直線)を保持するために、常に型枠中心が不動ライン上に来るようにセットする。b)製作キャンパー(高さ)の管理としては、斜材セグメントを移動する前にあらかじめ埋め込んでおいた測量ピンの高さの相対関係を把握しておき、基準セグメント位置に設置した後にキャンパー分だけ前後に高さの差をつける。c)セグメントの出来形管理のために、型枠セット時に底版枠は、水平に、かつ毎回同じエレベーションとなるようにセットする。また、計算上の主桁製作長(7003.5mm+ $\alpha$ )に型枠が設置されているかを確認する。d)斜材ケーシングパイプの設置精度を確保するために、斜材セグメントには、計算によって求めた製作上の斜材基準点(主桁図心との交点)を主桁センターライン上に最初に製作したセグメントから累積してマークをしており、この点を基準として、光波測距儀を用いて斜材ケーシ

ングパイプを設置する。目標精度は、設置角度誤差  $0.5^\circ$ 、ずれ  $1\text{cm}$ 以内とした。また、これらの精度管理は、主桁製作期間中に型枠設置部が不等沈下しないことが前提とされるため、型枠設置部として地盤の強固な地山掘削部を選定した。型枠設備について若干の説明を加えると、本橋における主桁コンクリートは、 $\sigma_{ck}=600\text{kgf/cm}^2$ 、水セメント比 29% の高強度コンクリートを使用しており、高い品質管理を要求されていることから、主桁の型枠設備を覆い、天候に左右されない上屋設備を設置した。上屋は軌条上に設置され、前後に移動することができるようになっている<sup>1)</sup>。上屋内には、前後左右に移動可能な天井式クレーン2基を設置した。(写真-1参照)。

### 3-2 仮置き期間中の変形に対する留意点

主桁セグメントは、製作後に長期のもので約5ヶ月間の仮置き期間を経て架設される。この間に仮置き位置の地盤が不等沈下を起し、セグメントに変形が生じることを避けるため、厚さ30cmの基礎コンクリートを打設し、この上にセグメントを仮置きした。また主桁セグメントの床版及び横桁横締め鋼棒の緊張本数は、主桁吊り下げ時及び仮置き後に部材に引張応力が発生しないこと、仮置き期間経過後の主桁架設直前において発生している桁の変形が、隣接するセグメント間で同等となるように決定した。計算の結果、配置されている横締め鋼棒の内、約半数を型枠脱型時に緊張し、残りを架設直前に緊張するようにすれば、せん断キ一間隔の差=0、床版中央部の上下差=1.2mmとなった。実際、セグメント床版中央部の上下差は、最大で2mm程度であり、架設作業は極めて良好であった。

## 4. 主桁架設時の精度管理

### 4-1 主桁の架設

#### 1) 基準セグメントの設置

主桁柱頭部は、エレクションノーズの組立スペースを確保するために、中間支点上横桁部(L=3.0m)、場所打ち主桁部(L=3.5m×2)、基準セグメント(L=3.0m×2)および間詰め部(L=0.5m×2)で構成され、合計 17.0mである。基準セグメントの設置精度は、主桁の出来形形状に大きく関わってくる。そのため、フーチング上に組み立てた強固な鋼製支保工上に基準セグメントを精度よく設置した。基準セグメントは、80t吊りフローティングクレーンにより栈橋より運搬し、支保工上に架設した(写真-2参照)。支保工上での基準セグメントは、水平送り台付きジャーナルジャッキを用いて調整を行い、位置決め完了後にキリンジャッキに盛り替え、支保工および橋体本体と固定した。その後、間詰め部のコンクリートを打設したが、基準セグメント位置のずれは生じなかった。

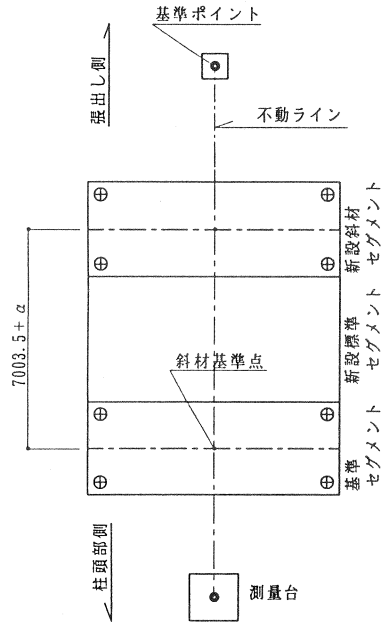


図-6 主桁製作時の管理基準点

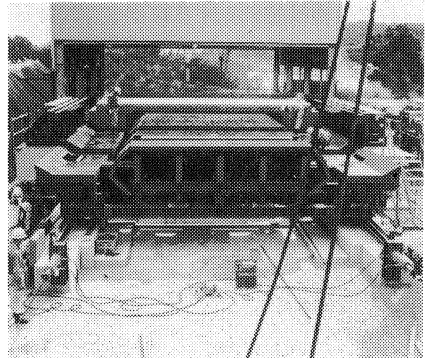


写真-1 型枠設備

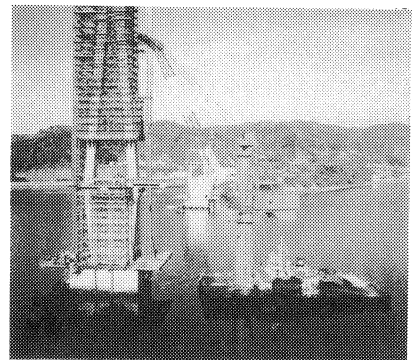


写真-2 基準セグメント設置

## 2) 張出し桁架設

栈橋上からクローラークレーンにて斜材セグメント2ヶ、標準セグメント2ヶを台船上に積み込む。曳船にて台船を架設地点まで曳航し、エレクションノーズにて順次4ヶのセグメントを吊り上げ、架設を行う（写真-3参照）。接合手順は、a)セグメントの方向、高さおよび角度を合わせ、b)カップラーを用いて主鋼棒（φ32mm）を確実に接続し、c)接着剤を新設セグメントのマツキキャスト面に塗布し、d)主桁のエッジ部の主鋼棒（引き寄せ鋼棒、2本×左右）を緊張し、e)標準セグメントでは緊張する床版部分の主鋼棒18本の内10本を、斜材セグメントで緊張する床版部分の主鋼棒16本の内8本を緊張する。エレクションノーズからセグメントを分離させ、接着剤が硬化するまで静置する。これは、接合面での応力分布を長方形分布とすることにより、接着剤が均一な圧力下で硬化することで、接着剤の膜の厚さが上下間で差が生じないように施工するためである。

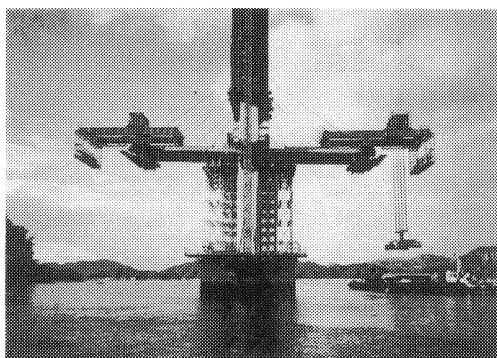


写真-3 主桁架設状況

### 4-2 架設中の主桁のたわみ管理

主桁のたわみ形状管理のための測量は、各斜材系においては、エレクションノーズ移動後の斜材張力調整後に行った。また、側径間閉合以降では、中央連結前、最終張力調整時等、必要に応じて行った。各施工段階の主桁の設計高さは、実際的主桁製作キャンパーにその段階までの架設たわみの累計値をたし合わせることで求めることができる。架設中の測量における測点は、斜材セグメントの前後にあらかじめ主桁製作時に設置しておいた測量ピンとし、その測量結果を主桁底版高に換算した値と、各主塔柱頭部中央に設けた基準点との差から主桁形状の把握を行うこととした。また測量時には各部材の温度測定を行い、設計高を温度補正した値と測量結果とを比較した。なお、中央連結以降の主桁形状管理は、最終の出来形形状を左右するものであることから、斜材基準点位置の橋面高を測量し、本土側水準点を基準とするエレベーション管理を行った。

### 4-3 最終張力調整

最終斜材張力調整量は、現状の斜材張力状態及び主桁たわみの状態を考慮した上で、橋面工完了以降におけるそれらの誤差を最小限に抑えるように決定されるものである。しかし本橋に於いては、架設計算に用いている主桁重量と実施工におけるものとの間に差があった（設計重量に対し、実重量が平均約3%軽い）ため、橋面工完了時の目標とする設計張力を見直すこととした。従って、本橋の最終斜材張力調整量は、目標の主桁キャンパーと新たに設定した目標張力との誤差の収束を行うだけで、主桁及び主塔の応力照査を行って安全性を確認した上で決

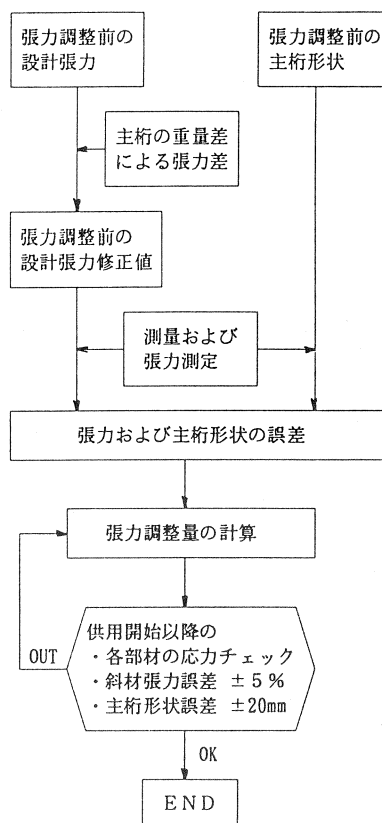


図-7 最終張力調整算出フロー図

定した。最終斜材張力調整量の決定フローを図-7に示す。最終斜材張力調整後の斜材張力の目標値に対する誤差は全ての斜材において5%以内と良好であった。図-8に最終張力調整後における主桁たわみ形状の測定結果を示す。図は、縦断勾配2.7%に対するキャンバー量を示している。この図からも、精度よく最終張力調整が行われたことが理解できる。

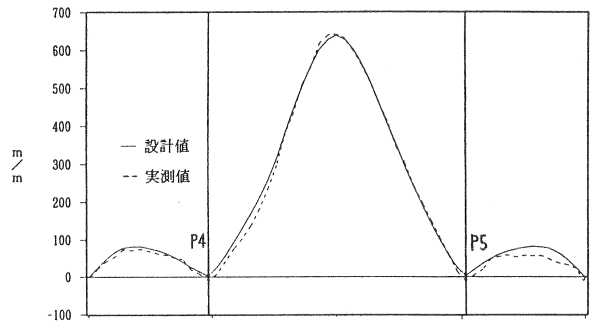


図-8 主桁たわみ形状(最終張力調整後)

## 5. おわりに

大芝大橋は、瀬戸内海の海峡の景観に調和したスレンダーな斜張橋であり、本年10月末の開通(予定)以降は、地元安芸津町のランドマークとしての機能を十分に発揮することを確信している。また、本橋と同種の工事が今後増大してくることが予想されるが、本報告がその参考になれば幸いである。

最後に、本橋の施工にあたり、大芝架橋技術検討委員会委員長であられた現九州共立大学 渡辺 明先生や、委員の広島大学 田澤榮一先生をはじめ、諸先生方には終始懇切に御指導を頂き、心より感謝しております。

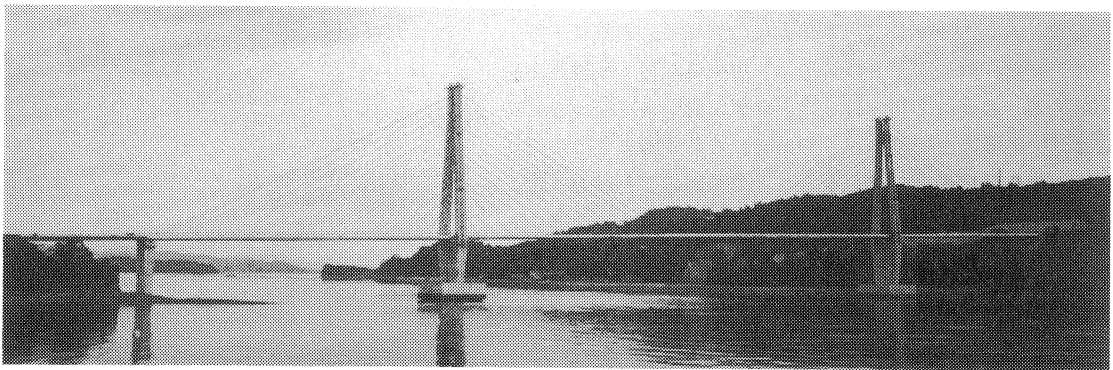


写真-4 大芝大橋全景

## 6. 参考文献

- 1) 岩崎, 井手, 佐藤, 石井: 大芝大橋の施工, 第6回P C技術協会シンポジウム論文集, 1996.10