

プレキャストセグメント工法における 軽量化に関する検討

—第二東名高速道路 山切1号高架橋（PC上部工）工事—

阿部秀徳¹・多田壽²・岡村哲司³・鈴木淳一²・香川直輝⁴

¹正会員 工修 財団法人高速道路技術センター 海外技術調査部

(〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号UBEビル)

²工修 日本道路公団静岡建設局 清水工事事務所 (〒424-0114 静岡県静岡市清水区庵原町219-11)

³日本道路公団静岡建設局 清水工事事務所 (〒424-0114 静岡県静岡市清水区庵原町219-11)

⁴工修 日本道路公団静岡建設局 構造技術課 (〒424-0857 静岡県静岡市葵区御幸町11-30エクセルワート静岡ビル)

近年、多径間にわたるPC箱桁橋の架設方法として、プレキャストセグメントを現地又は工場で作製し架設桁を用いてスパンバイスパン架設で架設を行う工法が確立されている。しかし、スパンバイスパン架設においては、1径間分のセグメントを架設桁にて同時に吊り下げる必要があり、架設桁重量が大きくなる傾向がある。山切1号高架橋では、新提案のリブ・ストラットを有する箱型コア断面セグメント形状を採用することでセグメントの重量を軽減すると共に、架設桁によるカンチレバー架設を採用し、架設桁重量を大幅に軽減し工期短縮並びにコスト縮減を図ることとした。本稿は、山切1号高架橋PC上部工の設計と施工についてその概要を述べることとする。

キーワード: プレキャストセグメント, カンチレバー, リブ, ストラット

1. はじめに

山切1号高架橋は、第二東名高速道路と東名高速道路とを結ぶ清水連絡路の伊佐布IC～尾羽JCTに位置する橋長717m、最大支間長50mのPC15径間連続箱桁橋である。本橋の立地条件は、起伏の激しい地形での施工となるため、経済性および施工性に優れたプレキャストセグメント工法を採用した。その大きな特長は、セグメントの軽量化を図るために主桁の断面形状を工夫したことである。箱型コア断面に張出し床版のリブ・ストラットを有したプレキャストセグメントを最初に架設し、その後で張出し床版を現場打ちする。これにより、架設重量を低減することができ、架設桁の軽量化も図ることができる¹⁾。

もう一つの特長は、架設桁の前方では柱頭部セグメントの架設を、後方では標準部セグメントの張出し架設を同時に施工することで、周辺地盤を傷めることなく全て上方からの施工が可能となる。

本橋は、ショートラインマッチキャスト方式にて製作したセグメントを張出し架設工法により架設し、張出し時の緊張材として内ケーブルを、中央閉合後の後荷重に対しては外ケーブルを使用する内・外ケーブル併用構造を採用している。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁諸元を以下に示す。また、主桁断面図および全体一般図をそれぞれ図-1、図-2に示す。

工事名：第二東名高速道路 山切1号高架橋
(PC上部工) 工事

発注者：日本道路公団 静岡建設局

工事場所：静岡県静岡市清水山切

工期：平成15年7月24日～平成19年2月2日

道路規模：第1種2級B規格 (V=80km/h)

橋長：717m (上り線) 709m (下り線)

有効幅員：10.75m

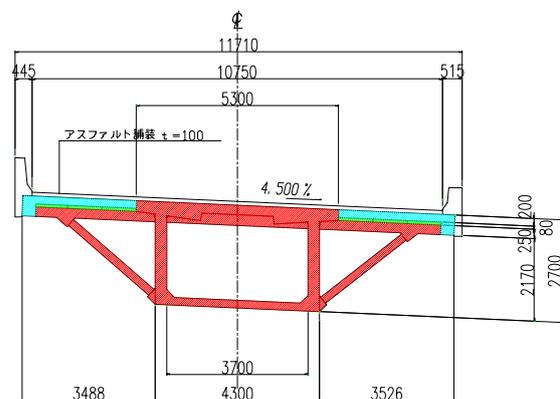


図-1 主桁断面図

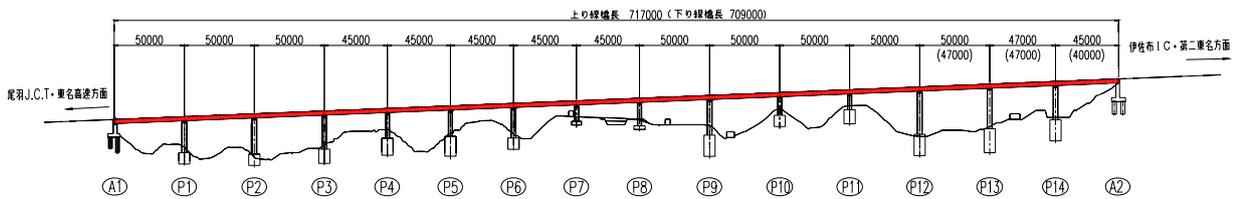


図-2 全体一般図

3. 計画

(1) セグメントの形状

本橋梁は起伏の激しい地形での架設であるが、A2橋台背面にヤードが確保できることからプレキャストセグメント工法の採用を検討した。

セグメントの形状は、(2)に示す検討の結果最も軽量化を図ることが可能な、箱形状のコア断面に張出し床版のリブを付け、それをストラットで支える形状とした。張出し床版部については、隣接ブロックとのリブの間にPC版を配置し、その上にコンクリートを打設することで一体化を図っている。

(2) リブ・ストラット構造

セグメント形状の決定の際には、古川高架橋のようにコア断面にリブ構造を用いた形状²⁾とリブ・ストラット構造を用いた形式の比較を行った。各構造の断面図及び側面図を図-3、図-4に、主な数量比較を表-1に示す。

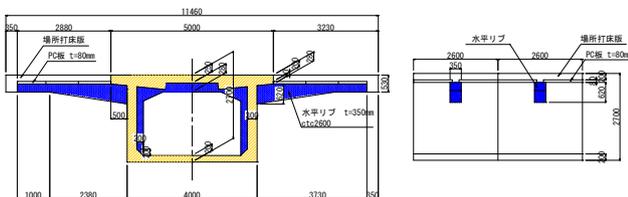


図-3 リブ構造の断面図

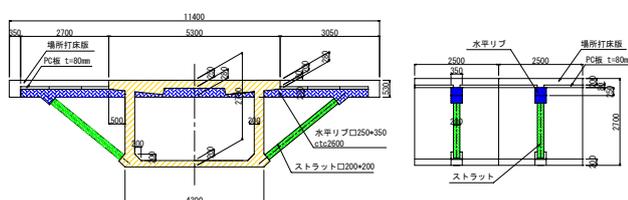


図-4 リブ・ストラット構造の断面図

リブ構造では、リブのみで張出し床版部の荷重をすべて受け持つため、リブ横締めPC鋼材が必要となり、コア断面の内部にもウェブの剛性を上げるための縦リブが必要となる。それに対し、リブ・ストラット構造ではストラットでリブを支えることにより、張出し先端部の荷重をストラットで支える構造

となるためリブの負担が軽くなり、リブをRC構造とすることが可能となった。また、リブ・ストラット構造ではリブ先端の応力を1/3程度に軽減できるため、横締めPC鋼材の重量は38%に抑える事ができた。

表-1 曲げ応力度結果

		リブ構造	リブ・ストラット構造	比率
コンクリート 【単位:m ³ 】	主桁セグメン	50N/mm ²	267	223
	ストラット	50N/mm ²	—	6
	PC版	50N/mm ²	22	22
	床版	36N/mm ²	79	94
	合計		368	349
PC鋼材 【単位:KN】	床版横締め	1S21.8	0.22	0.13
	リブ横締め	1S28.6	0.12	—
	合計		0.34	0.13

(3) 架設工法

今回採用した、カンチレバー架設の架設工法概念図を図-5に、従来のスパンバイスパン架設とカンチレバー架設の比較を表-2に示す。施工ステップとしては以下の①～④の作業を同時に行うことが可能となり、従来の固定支保工架設に比べて大幅な工期短縮が図られている。

- ① n+1橋脚の架設桁先端で柱頭部セグメントの施工を行う。
- ② n橋脚部で標準部セグメントの張出架設を行う。
- ③ n-1～2橋脚間でリブ間にPC版を敷設する。
- ④ n-2～3橋脚間で後打ち床版のコンクリートを打設する。

今回採用したカンチレバー架設の最大の特徴は、吊上げ重量が1ブロック分の約2.5KNで済むことであり、架設桁の総重量が約40%軽減された。

さらに今回は、セグメントの運搬を1次緊張が終

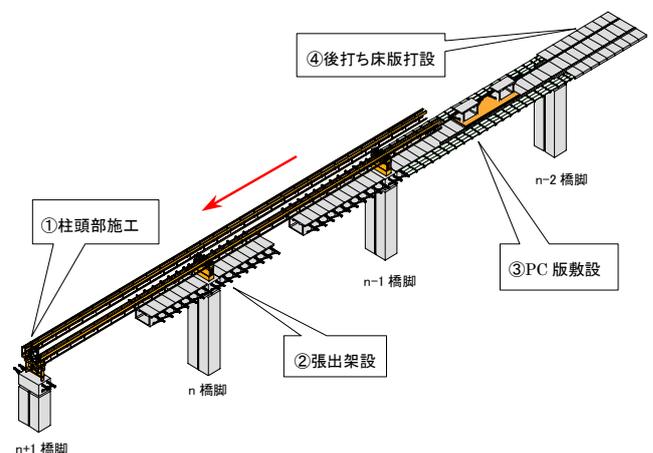


図-5 架設工法概念図

了した既設コアセグメント上面とし、柱頭部セグメントを架設桁を用いて橋脚部に据付けることで、すべての上部作業を橋面上で行う事が可能となった。これにより、本橋梁のように急峻な山間部での施工においても、地形の改変を伴わずに架設を行う事ができる。

表-2 プレキャストセグメントの架設方法の比較

項目	スパンバイスパン工法	カンチレバー工法
標準スパン	50m	
セグメント重量	2.5KN/個	
架設桁	長さ:120m 総重量:約80KN 吊上げ重量:2.5KN×20個=50KN	長さ:120m 総重量:約50KN 吊上げ重量:2.5KN×1個=2.5KN
1径間の架設サイクル	15日	
全架設工程(※)	810日	780日

※固定支保工架設の場合は1,020日

4. 設計

(1) セグメントの構造

本橋では、コアセグメント部は柱頭部も含めすべて50N/mm²のコンクリートを用いてプレキャスト化した。柱頭部セグメントは外ケーブルの定着部となるため、厚さ2.7mの横桁が必要となる。セグメントを運搬可能な重量に抑えるため、外周のみをプレキャスト化した2セグメントからなる構造とした。横桁内部は後で現場打ちコンクリート(36 N/mm²)を充填する。

(2) 主方向の検討

架設ステップを図-6に示す。基本サイクルとしては、セグメントの架設→1次緊張(19S15.2を6本)→PC板架設→床版コンクリート打設→2次緊張(19S15.2を2本)となる。

コア断面および張出し床版に着目した曲げ応力度結果を表-3に示す。

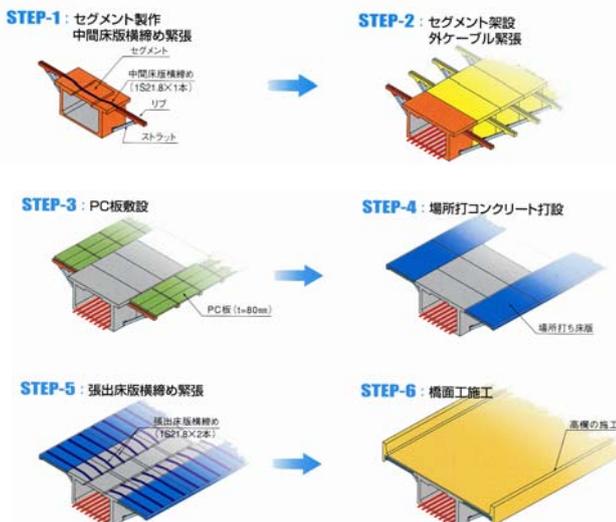


図-6 リブ・ストラット構造の断面図

表-3 曲げ応力度結果

	コアセグメント部			場所打ち床版部		
	上縁	下縁	許容値	上縁	下縁	許容値
架設完了時	14.3	3.9	0< σ <20	3.9	-0.1	-2.25< σ <20
橋面工完了時	15.1	4.6		2.6	0.8	0< σ <20
死荷重時	12.6	2.8		5.1	0.6	0< σ <20
設計荷重時(max)	11.7	0.3	-1.3< σ <20	6.2	2.2	-1.8< σ <20
" (min)	16.5	1.9		4.3	-0.1	
設max+温度(+)	11.8	0.8		6.3	2.7	
設max+温度(-)	16.3	2.4		4.3	0.4	-2.0< σ <20
設min+温度(+)	11.7	-0.3		6.2	1.7	
設min+温度(-)	16.1	1.5		4.2	-0.6	

(3) 横方向の設計

本橋は、ストラットに支持された床版を有するPC箱桁橋であり、リブおよびストラットの影響による応力伝達や局所的な応力解析を行なう必要がある。このため、ソリッドモデルによるFEM解析を行なった。本橋においては、PRC構造を採用し各部位の引張応力度制御方法を表-4のようにしている。また、抵抗断面が架設時(コア断面)と完成時(全断面)で異なるため、架設ステップ毎の応力度を足し合わせた。

検討の結果、各部位の引張応力度は表-4の制御方法の許容値を満足した。なお、床版横締め鋼材については、張出し床版横締め鋼材で不足するプレストレス分をセグメント横締め鋼材として配置する。設計荷重時における曲げ応力度結果を図-7に示す。この結果、張出し床版横締め(1S21.8×2本)に加え、セグメント横締め(1S21.8×1本)を配置した。

表-4 各部位の引張応力度制御方法

部位	荷重状態	制御方法
上床版	死荷重時(施工時含む)	フルプレストレス
	設計荷重時	ひび割れ発生限界
	衝突、風	ひび割れ幅制御
PC板	張出し床版打設時	フルプレストレス
	設計荷重時	ひび割れ発生限界
水平リブ		ひび割れ幅制御
ストラット		フルプレストレス
ウェブ・下床版	死荷重時(施工時含む)	ひび割れ発生限界
	設計荷重時	ひび割れ発生限界
	衝突、風	ひび割れ幅制御

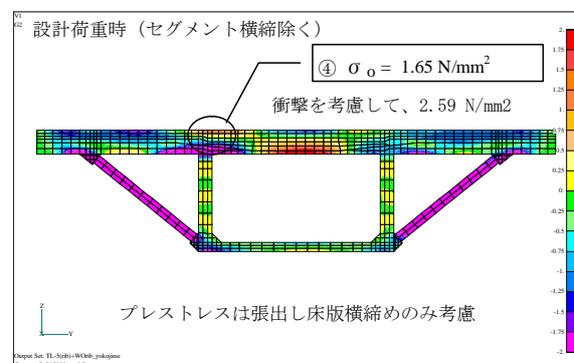


図-7 曲げ応力度

(4) 架設時の検討

セグメントは張出し架設時に引寄せ鋼棒（SBPR930/1180 φ32）を上床版上側に2本，下床版上側に2本の計4本を配置し緊張する．セグメントに軸圧縮応力 0.53N/mm^2 を与えることで，**図-8**に示すように架設時のセグメント継ぎ目に引張応力は発生しない．

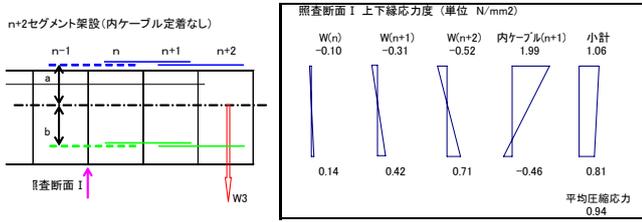


図-8 架設時セグメント継ぎ目照査結果

(5) 柱頭部温度解析

本橋では，柱頭部の施工を隔壁を有する柱頭部セグメントの製作・設置，目地コンクリート（調整コンクリート）の打設，横桁充填コンクリートの打設というステップで行なうため，それぞれの施工ステップによって発生する温度応力および補強量の検討を行なった．温度解析の結果を**図-9**に示す．

補強鉄筋の算出は，**図-10**のように横桁充填コンクリートの硬化熱により発生する引張応力および硬化後に残留する引張応力に対して行なった．

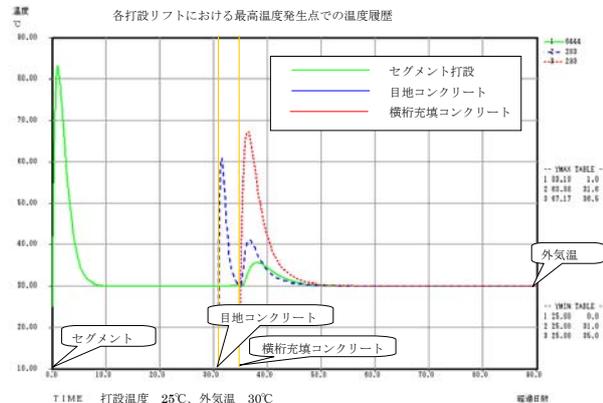


図-9 柱頭部温度解析結果

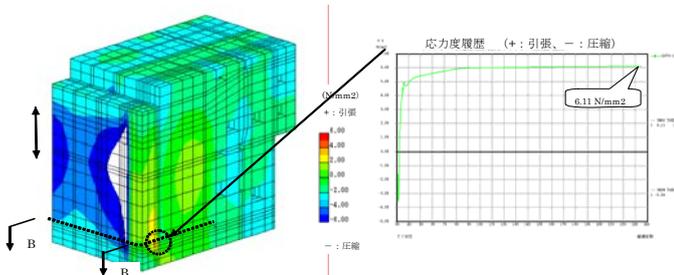


図-10 補強鉄筋量の算出

5. 施工

(1) セグメント製作

セグメントの製作は，主桁を2.0m～2.5mごとに分割し，既設のセグメントを型枠代わりに新規セグメントを製作するショートラインマッチキャスト方式で行う（**図-11**）．製作ヤードはA2橋台背面の土工区間約200mに，標準部製作台2基，柱頭部・端支部製作台を1基設けている．1セグメントの重量は約2.5kNで，合計631個製作する．

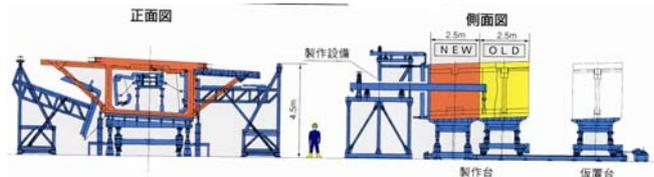


図-11 型枠設備

セグメントの製作手順は，まず製作済みのセグメント(OLD)をセットして，これに合わせて新規セグメント(NEW)の底版型枠・小口型枠および側面型枠をセットする．その次に，あらかじめ別の鉄筋編成台で組み立てておいた鉄筋かごを型枠内に吊り込んで固定する（**写真-1**）．

コンクリート（ 50N/mm^2 ）はポンプにて打設している．翌日に小口・側枠を脱型し，OLD側に移動しセットする．

製作サイクルは1つの製作台で標準部が1日/個，デビエーター部が2日/個となっている．製作順序は，張出し架設と同様に1ブロックから順次最終ブロックまで行う．

柱頭部セグメントについては，重量の関係上，橋軸直角方向に2分割している．



写真-1

ストラット部材は現場内の別ヤードで製作している。コンクリートには剥落防止を目的として、繊維（ポリプロピレン）を4.5kg/m³で混入量で投入している。ストラットは製作後、順次セグメント製作ヤードまで運搬、鉄筋編成台にセットし、鉄筋かごと一緒に型枠設備内に吊り込む。

OLDセグメントは、仮置き台にてリブ上の床版横締め鋼材（プレグラウト1S21.8）を緊張した後、ストックヤードまで門型クレーンにて運搬する。ストックヤード（写真-2）には最大で40個のセグメントを仮置きすることができる。



写真-2

(2) 柱頭部の施工

本橋においては、柱頭部セグメントが張出し架設の基準セグメントとなるため、高い架設精度が求められる。柱頭部セグメントを、写真-3のように架設桁上のクレーンで先端まで運搬し、支承の据付の完了した橋脚上にセットする。張出し架設時における桁の仮固定は、施工の合理化を図るために、柱頭部の前面をジャッキで支持する構造としている。セットの最終調整は、このジャッキを上下左右に動か



写真-3

して行く。測量はセグメント製作時に側面に基準墨を出しておき、この墨と橋脚のマッチ墨が一致するように行う。

セグメントセット後に目地を施工し、さらに柱頭部内部に充填コンクリートを打設して柱頭部を構築する。目地・充填コンクリート打設時には、セットがずれないようにPC鋼棒とサポートで固定をしておく。

(3) セグメントの張出し架設

セグメントは門型クレーンにて運搬台車に移動後、2個1組（左右張出し分）で橋面上を運搬する。台車が架設桁の最後尾に到達後、写真-4のように架設桁上の2基のクレーンにてそれぞれのセグメントを運搬していく。

架設位置まで運搬した後、セグメントを降下させ、既設桁との間隔を15cm程度まで近づけたところでエポキシ樹脂系接着剤を塗布する。この際、内ケーブルのシース付近には、ウレタンバンドを使用し、接合時の接着剤の回り込みを防止する。

セグメントの接合は、レバーブロックを用いてセグメントどうしをマッチ墨で合わせながら引き寄せる。その次に、引寄せ鋼棒（SBPR930/1180 φ32）



写真-4



写真-5

を写真-5のように上床版上側に2本，下床版上側に2本の計4本を配置し接合した。

本橋では，張出し架設部において2ブロック毎で上床版に内ケーブル（12S15.2B）を配置・緊張している。緊張ブロック架設後，張出し先端に緊張足場を設置し，ケーブル挿入・緊張作業を行う。

内ケーブルのグラウト作業については，グラウトの充填性を確認できるように，充填確認用孔付シースおよびセンサー付きカプラーを設置している。前者はファイバースコープ等により目視で確認する方法，後者はMSセンサー（写真-6）を接続して電圧降下を測定する方法である。いずれもグラウト後に充填性が良好であることを確認することができた。



写真-6

(4) 外ケーブル緊張

中央閉合目地（ $50\text{N}/\text{mm}^2$ ・膨張材入りのセグメントと同強度）を打設して桁を閉合後，外ケーブル（19S15.2×6本）を緊張する。

なお，本橋では，外ケーブルの防錆対策として，透明保護管を用いたグラウト方式を採用している。グラウト作業においては，写真-7のようにその



写真-7

充填状況が目視で簡単に確認できる。

6. おわりに

PC 箱桁橋におけるプレキャストセグメント工法の新しい形式として，リブ・ストラット構造の採用を検討した。これにより，橋体重量及び PC 鋼材量を低減できると共に，セグメント重量を約 2.5KN まで軽量化することが可能となった。さらに，カンチレバー架設の採用により，架設桁重量を大幅に軽減する事が可能となり工期の短縮が図られる。本橋梁では，橋体コンクリート及び PC 鋼材量の低減及び，支承サイズの縮小等の効果が得られたことでコスト縮減を図っている。

本工事は，セグメント製作は平成 16 年 7 月より，架設は同年 10 月より着手しており，2 月末現在，製作は 631 個中 136 個，架設は P11 橋脚の張出し架設まで進んでいる（写真-8）。同様な条件の場合には，本工法は合理的・経済的な工法であると思われる。



写真-8

参考文献

- 1) 中積，青木，杉村，春日：プレキャストカンチレバー工法の計画－第二東名高速道路 山切 1 号高架橋－；PC 技術協会第13回シンポジウム論文集，2004
- 2) 池田，水口，春日，室田：古川高架橋の設計と施工(上)；橋梁と基礎，Vol. 35, No.2, 2001.