

(77) 重信川高架橋の設計報告

日本道路公団高松建設局構造技術課
 日本道路公団計画部計画調査課
 八千代エンジニアリング(株)関東支店道路部
 (株)ピー・エス大阪支店土木技術部

○長谷 俊彦
 馬場 照幸
 正会員 岡田 稔規
 正会員 吉松 慎哉

1 はじめに

松山自動車道重信川高架橋は、我が国で初めて外ケーブルによるプレキャストセグメント工法を本格的に採用した高速道路橋である。近年建設業における現場作業員の不足及び高齢化が問題となっているが、今後これらがさらに深刻化し、労働力不足やそれに伴う労務費の高騰がますます進むことが予想される。本工法は、PC橋の施工の機械化・省力化が可能で、これらの問題を解決するための有力な工法として期待できるものである。

本稿では重信川高架橋における内外ケーブル併用プレキャストセグメント工法の設計の基本方針及び各種検討項目の概要を紹介する。

2. 重信川高架橋の概要

重信川高架橋は橋長1,901m、標準スパン47mのPC4~6径間連続箱桁橋9連で、陸上部が連続ラーメン形式、河川部が連続桁形式で計画されている。連続ラーメン形式を採用したのは、耐震性の向上と維持管理の軽減を目指したものである。

河川部は橋脚高が低いため反力分散沓を用いた連続桁形式とした。PC鋼材の配置を平準化するために側径間長を中央支間の約80%とした。

本橋は、平成3、4年度に基本計画設計を行い、4、5年度に下部工工事を発注、さらに5年度に上部工工事を発注しその中で詳細設計を行った。平成7年7月現在主桁セグメントを製作中、架設の準備中である。

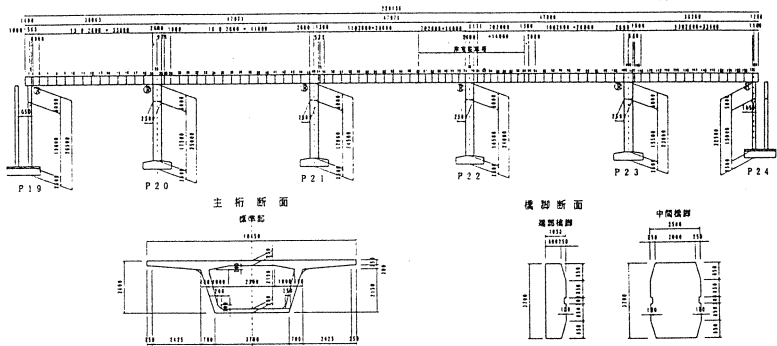


図1 標準部一般図(連続ラーメン)

3 プレキャストセグメント工法について

プレキャストセグメント工法とは、あらかじめ工場あるいは製作ヤードで製作されたコンクリート桁の分割ブロック(セグメントという)を、架設地点に運搬して接合し、プレストレスを与えて一体化するものである。本橋ではセグメント重量を約40tonとして主桁を橋軸方向2.6mごとに分割し、1台の製作台で順次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としている(図2)。主桁桁高は径間により支間長が異なるが製作の効率化をはかり2.6mと統一した。

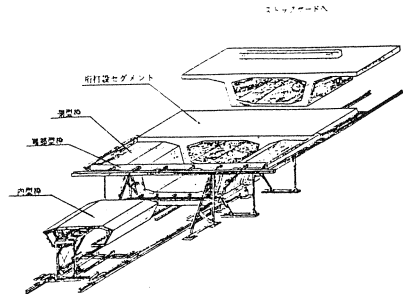


図2 ショートライン製作

また、架設工法はスパンバイスパン架設としている。これは1径間ごとにセグメントを一度につなぎ合わせる工法で、他の工法に比べ施工速度の面で優れている。(図3)プレキャストセグメント工法の特徴をまとめると次のようになる。

- ①上部工施工が製作と架設に完全に分離し、工期が短縮できる。
- ②主桁製作が一定のヤード内で連続的に行えるため、機械化、省力化が可能である。
- ③型枠の転用が可能で、長大橋では経済的となる。
- ④品質管理が集中的に行え、セグメントの品質が向上する。

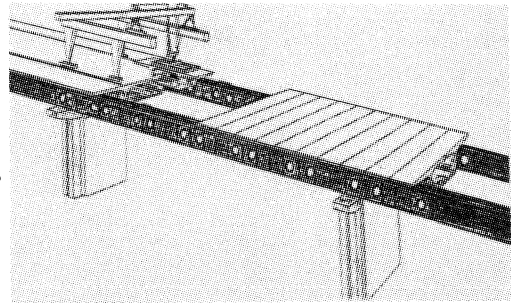


図3 スパンバイスパン架設

4 PC外ケーブルの採用

外ケーブルとはPC鋼材のうち主桁を構成する部材断面の外側に配置されたもので、内ケーブルに比べ一般的に次のような特徴がある。

- ①シース配管等の作業がなく、施工の省力化、工期短縮が可能
- ②ケーブルを部材の外に配置できるため部材厚の減少が可能
- ③ケーブルの交換ができるなど維持管理の改善
- ④コンクリートの摩擦による緊張力の減少量が軽減

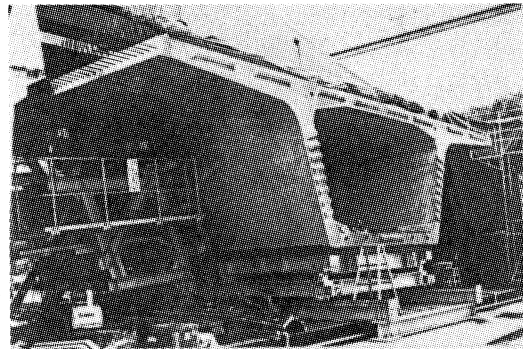


写真1 プレキャストセグメント製作状況

5 主ケーブルの検討

5-1 主ケーブルの選定

主ケーブルは、プレキャストセグメントによるスパン・バイ・スパン架設の特徴を最大限に生かすため内・外ケーブル併用としている。我が国のPC橋においては、主鋼材に外ケーブルを用いた実績が少なく、各橋種における適切な使用ケーブルが必ずしも明確でない。本橋では内外ケーブルを併用したプレキャストセグメント工法の特徴を生かした主ケーブルの選定を検討した。

内ケーブルはSWPR7B 12T15.2と同12T12.7を比較し、部材厚が1cm薄く定着突起がセグメント長2.6mで納まる12T12.7を採用した。

外ケーブルはSWPR7B 19T15.2と同27T15.2を比較し、緊張作業の施工性が良いことと国内外の実績を考慮し、19T15.2を採用した。

5-2 ケーブル配置

製作・架設における省力化を図るため、外ケーブルの使用比率が可能な限り高くなる配置とした。その結果、標準スパンにおける内ケーブルと外ケーブルの比率は26:74となった(図4)。

外ケーブルは偏心量を大きくとるため最大8本の一段配置とし、架設工程から最大2径間に渡る配置とした。また本橋の外ケーブルの定着位置は支点上の剛な隔壁とし、ケーブル偏向部(デビエータ)はウェブ内側に桁と一体化したコンクリートのリブを設けたウェブ・リブ形式とした。外ケーブルの端子点定着部

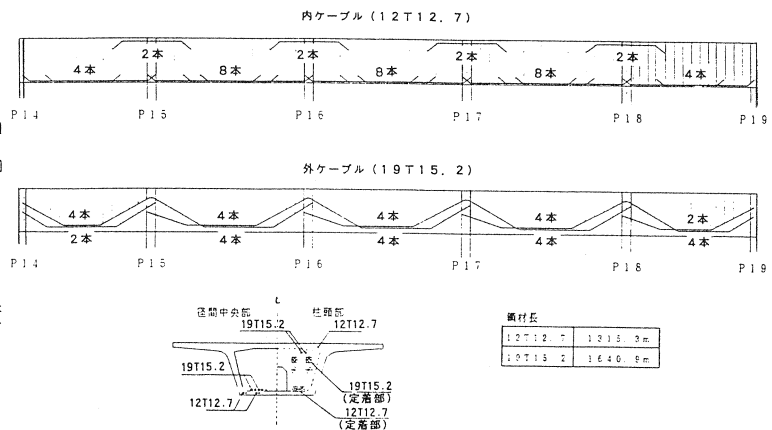


図4 ケーブル配置概念図

とデビエータについては、立体FEM解析を行い適切な補強を施した。

内ケーブルは上下床版のみに直線配置することで偏心量を大きくするとともにウェブ内での鋼材の曲げ上げなどをなくし、セグメント製作時の省力化が図れる形状とした。定着部は標準形状のセグメントを増やすため、デビエータを設置するセグメントに定着突起を設けることとした。

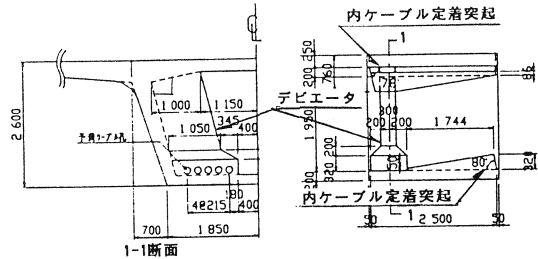


図5 デビエータ・内ケーブル定着突起

6 終局荷重時(曲げ破壊時)の外ケーブルの増加応力度

外ケーブルは曲げ破壊時の増加応力度の算定に際し、コンクリート断面との間に平面保持の仮定が成立しないため、付着のある内ケーブルと同様の扱いができない。現段階では計算上の便宜及び安全設計の観点から、外ケーブルの曲げ破壊時の増加応力度を見込まない設計(鋼材の終局耐力を有効プレストレス力と同じとする)が提案されている。しかし架設現場での省力化や工期短縮を目指して外ケーブルの比率を大きくした場合、曲げ破壊時の照査で鋼材量が決定され、設計荷重時の鋼材量を上回る場合が生じる。

海外の曲げ破壊時におけるアンボンドPC橋梁の基準類では、Dutch Code(5kgf/mm²)とGerman Code(58kgf/mm²)を除けば有効プレストレス力に対する増加応力度が10~20kgf/mm²の範囲に分布しており、外ケーブルについての国内外の実験結果でもPC鋼材応力度はほとんど降伏に近い値を示している(表1)。

表1 曲げ破壊時の鋼材増加応力度一覧

実験および諸外国の基準			支間長		増加応力度(kgf/mm ²)	
					支間中央	中間支点
実験	テキサス大学 ファガソン研究室	内外ケーブル プレキャストセグメント 実橋の1/4連続箱桁モデル	307.62	連続箱桁	24.5~42.0	10.5~14.0
	重信川高架橋	内外ケーブル プレキャストセグメント 実橋の1/3連続箱桁モデル	2015.7	連続箱桁	50(単径間ケーブル) 35(連続ケーブル)	
外国の基準	米国(AASHTO)アンボンド規定準用		47.0	単純桁	10.7	
	オランダ(Dutch Code)アンボンド規定準用		47.0	単純桁	5.0	
	英国(BS8110)アンボンド規定準用		47.0	単純桁	14.4	
	独国(DIN4227)アンボンド規定準用		47.0	単純桁	57.7	
実橋	バンコクSESプロジェクト(AASHTO準用) 実橋載荷試験		45.0	単純桁	26.0*	26.0*
			25.0		10.0**	

* AASHTOの規定値を立体FEM解析で変更
**終局荷重の7%増の載荷で健全確認

本橋ではこれらを参考に、米国のAASHTOの規定と同程度の10kgf/mm²を採用した。この値については破壊試験などで厳密解を確認した実績が少ないので、平成7年3月に1/3模型による確認試験を行い、単径間ケーブルで最大50kgf/mm²という結果を得た。この試験の詳しい記述については、本論文集「内外ケーブル併用プレキャストセグメント橋の模型試験」を参照されたい。

7 床版横締め

床版横締め方式としてプレテンション方式とポストテンション方式があるが、両者を比較した結果、部材断面が小さくて施工性・耐久性に優れたプレテンション方式を採用した。(表2)

8 接合キーの設計

8-1 接合キーの種類

現在一般的に用いられる接合キーには、コンクリートシングルタイプ、コンクリートマルチタイプ、鋼製タイプの3種がある。本橋では、セグメントの施工性・経済性に優れたコンクリートマルチタイプ(無

表2 プレテンション方式とポストテンション方式の比較

項目	プレテンション方式	ポストテンション方式
構	プレストレスの有効性 緊張力 15tf/本(1T15.2) ctc. 145mm	プレストレス曲げモーメントに合わせて配置 緊張力 35~50tf/本 ctc. 300~450mm
	床版先端部のそり量の影響	プレストレスが軸力配置に近いのでそりは小さくなるが、セグメント製作時に影響を及ぼす
造	架設時の応力	架設時には応力的に不利（曲げモーメントが逆転するの）
	工 程	P C鋼材の配線・緊張及び緊張端の処理がセグメント製作工程に追加される
施	養 生	プレストレスの導入時強度 ($\sigma=350\text{kgf/cm}^2$) 確保のため蒸気養生が必要
	配 線	直線配置
工	緊 張	プレストレスを均一に導入できる
	運 搬	運搬時の変動荷重に対してひび割れの発生を抑制できる
性	グラウト	不 要
	経 済 性	大 差 無 し
総 合 評 価	◎	○

筋構造)を採用した。(図6)

8-2 接合キーの設計方法

設計荷重時及び終局荷重時のコンクリートのせん断耐力については、コンクリート道路橋設計便覧及び「F I P - X I thのVirlogeux博士の発表論文」の両方を満足するよう設計する。セグメント継ぎ目部の許容応力度は、道路橋示方書の規定を基本とした。すなわち、設計荷重時に引張応力度を生じず、過載荷重時に継ぎ目部にひび割れが生じないものとした。

接合キーの形状については、コンクリート道路橋設計便覧、F I P - X I th (同上) 及びAASHTOの規定をもとに設計した。

9 柱頭部の剛結

本橋では、セグメント比率を高めるため柱頭部もプレキャストセグメント構造とし、P C鋼材を用いた剛結構造としている。曲げに対しては鉛直縮めP C鋼材を配置し、せん断に対してはアンカーバーで抵抗する構造とした(図7)。曲げ破壊耐力の検討については地震荷重を含むすべての組み合わせについて行った。地震時の挙動に関しては、代表橋梁について弾塑性解析を行い安全性を確認した。

10 おわりに

重信川高架橋では内外ケーブル併用プレキャストセグメント工法、スパンバイスパン架設等、道路橋としては我が国で初めての試みを数多く取り入れている。本橋で検討を行った項目が一般化されるには設計の簡略化・基準化が必要であるが、今後本橋での経験が、第二東名を含めこれからの橋梁の設計に十分生かされることを期待する。

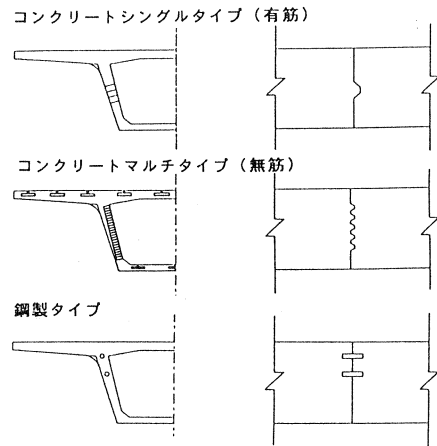


図6 接合キーの種類

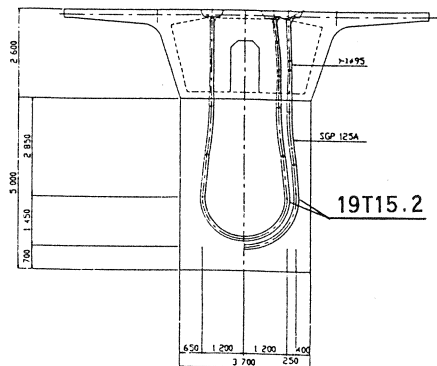


図7 柱頭部の剛結