

西平尾高架橋の設計

(株)富士ピー・エス 日本鋼弦コンクリート(株)JV
 日本道路公団中部支社建設第二部構造技術課 課長
 日本道路公団中部支社建設第二部構造技術課
 (株)富士ピー・エス 日本鋼弦コンクリート(株)JV

正会員 ○八木 洋介
 正会員 池田 博之
 五藤 正樹
 正会員 潮田 博孝

1. はじめに

西平尾高架橋は山間部に架橋されるプレキャストセグメント工法による10径間連続PC箱桁橋である。セグメントの製作方法には、既存工場内でのショートラインマッチキャスト方式、架設方法にはスパンバイスパン工法、プレストレスの導入方法には全外ケーブル工法、床版横締めにはプレテンション方式を採用した。セグメント製作を既存のPC工場内とし、一般道を利用して架橋地点までセグメントを運ぶことにより、架橋地点付近に広大なセグメント製作ヤードを必要としなくなる。

上記特徴を生かすため、西平尾高架橋ではセグメントの重量制限、セグメント割付、デビエーターの形状及び配置等の配慮を設計上行った。

ここでは、西平尾高架橋の設計概要について述べることにする。

2. キーワード

設計を進める上のキーワードは、プレキャストセグメント、工場セグメント、プレテンション横締、PC鋼材インデント加工、全外ケーブル方式、スパンバイスパン架設、バナナ変形、一般道輸送である。

3. 構造形式

橋種	プレストレストコンクリート道路橋	
構造形式	PC10 径間連続箱桁橋	
施工工法	プレキャストセグメント工法 (工場セグメント 437個)	
架設工法	スパンバイスパン工法	
橋長	426.000m	
桁長	425.600m	
全幅員	単一断面 22.800m	分離断面 11.300m
有効幅員	10.850m	
支間	上り線 42.800+43.500+2@43.000+3@45.000+2@40.000+37.300 (m)	
	下り線 37.300+40.000+6@45.000+40.000+37.300 (m)	
斜角	90°	
平面線形	上り線 A=1000~R=5000~3500	
	下り線 R=∞~3505~3500	
縦断勾配	上り線 i=2.000 ~ 3.000 %	
	下り線 i=3.000 %	
横断勾配	i=2.500 %	
活荷重	B活荷重	

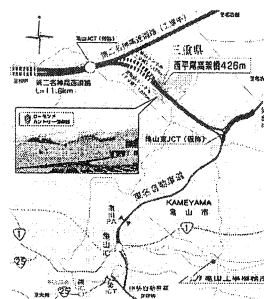


図-1 位置図

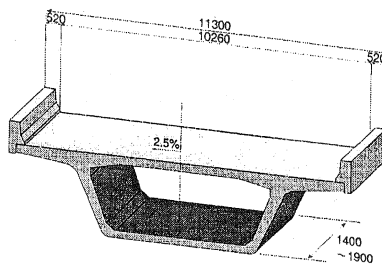


図-2 セグメント

4. 詳細設計

4.1 セグメント割

セグメントの寸法は、一般道輸送の制限から、1セグメント当りの重量が最大30tを超えないものとした。その結果、1セグメント長は1.4~1.9mを採用することで、1径間内のセグメント割を決定した。

セグメント割のなかでは、デビエータを有するセグメント(セグメント長=1.6m)配置を自重モーメント分布から決定し、径間内にバランス良く配置されるようにした。セグメント割を図-3に示す。

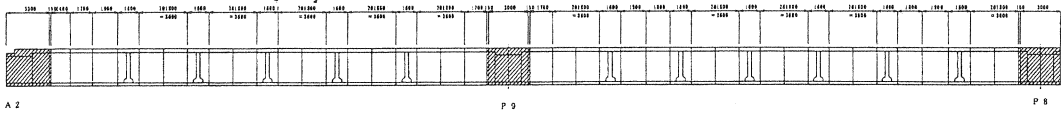


図-3 セグメント割図(抽出スパン)

4.2 全外ケーブル

4.2.1 定着隔壁

全外ケーブル工法を採用することによって、支点横桁を兼ねた定着隔壁には、多数の外ケーブル(西平尾高架橋では最大14本)が定着されることとなる。西平尾高架橋では、隔壁の安全性を確保し、かつプレストレスの伝達が効果的な定着具の配置をするために、AMERICAN SEGMENTAL BRIDGE INSTITUTE (以下ASBIと略す)のセグメント標準図で提案されている定着具の配置(図-4,5)を参考とした。

応力解析の手段としてFEM解析を行い、定着具周辺の局部応力を確認した。局部応力の制限値は主応力で 2.0N/mm^2 程度を目標とした。

FEM解析の結果、定着具の位置をウェブや床版近傍に近づけたことから、プレストレスの主桁への伝達の向上が確認できた。

局部応力解析手順は、①補強プレストレスを未導入の状態②補強鋼材の配置検討③補強プレストレスを導入した状態④局部応力の発生状態の検討⑤ハンチ等の構造ディテールの検討とした。その結果、主応力レベルで目標の 2.0N/mm^2 程度に治めることができた。

構造寸法は、横桁厚を2.5m、隔壁とウェブ・床版の付根にハンチを増設、下床版厚を二段階変化(変化差5~10cm)としたものとした。解析モデルと結果を図-6,7に示す。

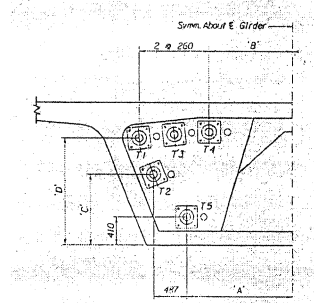


図-4 ASBI配置(1)

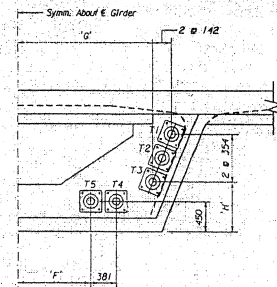


図-5 ASBI配置(2)

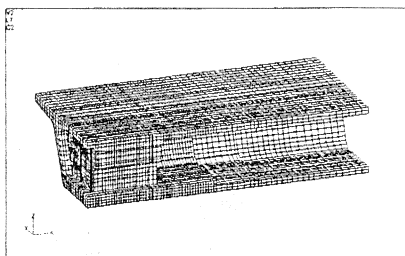


図-6 FEM解析モデル

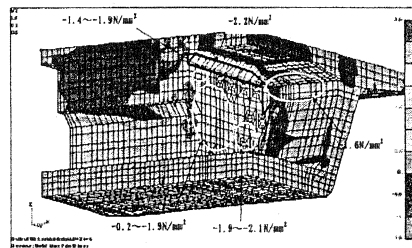


図-7 FEM解析結果

4. 2. 2 デビエーター

西平尾高架橋は、工場でのセグメント製作方法を採用することで、工場から架設地点までの一般道上の運搬が発生する。このため、ひとつのセグメント重量は、30t以下という制約を受けることになる。30tという制約は重量制限にとどまらず、セグメント長やデビエータの重量の制限にまでリンクすることになる。特にセグメント長に関しては、バナナ変形の問題を軽減するためにできるだけ長くしたい。そのためには、安全性を確保した上でのデビエータのコンパクト化・形状効率化をめざしてデビエータの設計を進める必要がある。従来、日本ではサドル形式や隔壁形式が主として採用されていた。西平尾高架橋ではコスト縮減・施工の容易性を追及するためにデビエータの形式決定の比較対照にASBIの提案するデビエーター形状を挙げた。結果は、重量制限からASBIタイプを採用することができなかったが、打設の容易性(部材が厚い)から今後も検討対象に挙げる形式ではないかと考えるのでここに紹介することとする。

解析方法はFEM解析とし、主応力で 2.0N/mm^2 程度を目標とした制限値を設定して解析を進めた。解析モデルを図-8、10に示す。その結果、ASBIモデルではウェブ外側に主引張力(図-9)が発生し、この引張を制限値内に治めるための形状を摸索すると、セグメントの重量制限を越えてしまう結果となった。従来タイプでは、隔壁が上床版まで建ち上がっているためにそこには、同じような主引張力(図-11)は発生していない。従って、西平尾高架橋に限っては、新たなASBI形状の採用は見送ったが、今後、解析方法の見直し(Strut&Tie Model解析の導入)や制限値の見直し等を行っていけば、デビエータ形状の選択肢は増えるのではないかと考える。今後のデビエータ設計にASBIタイプは比較対照に挙げられる構造と考える。

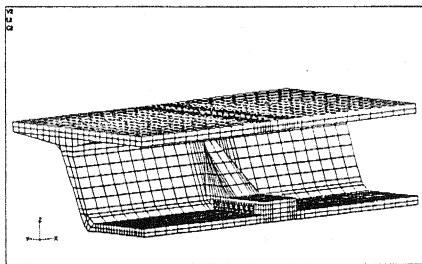


図-8 解析モデル(ASBI)

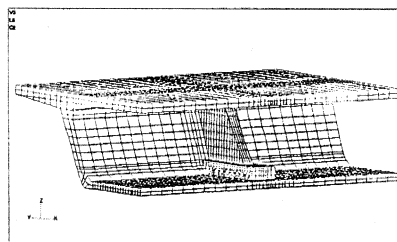


図-10 解析モデル(従来)

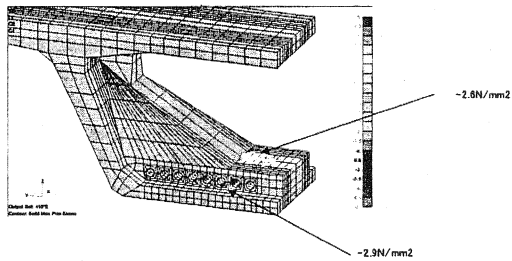


図-9 FEM解析結果(ASBI)

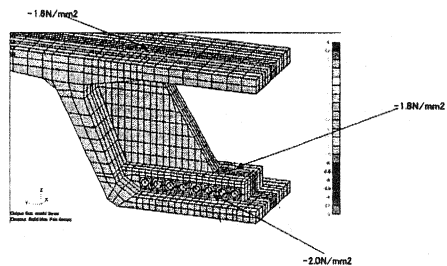


図-11 FEM解析結果(従来)

4. 3 プレテンション横締め

床版横締めはプレテンション方式によるプレストレス導入を行った。使用鋼材は1S21.8 (19本より3層)とし、表面はインデント加工とした。プレストレスの計算に使用した無効長は、90D (D:PC鋼材径)とした。従来のプレテンション工法に使用している鋼材との比較を図-12に示す。

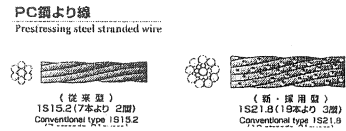


図-12 PC鋼より線

5. バナナ変形

提案式

低温時の打設(冬期)

$$\Delta = \alpha * T_{max} * W^2 * (7.5L - 106) / L^3$$

高温時の打設(夏期)

$$\Delta = \alpha * T_{max} * W^2 * (5.2L - 88) / L^3$$

α : 線膨張係数 6×10^{-6}
 W: セグメントの幅(張り出し床版先端と先端の距離) (in)
 L: セグメントの長さ (in)
 T_{max} : 最大温度差(マッチキヤット面とアーフェイス面の温度差) (°F)
 提案値 = $10^{\circ}F$

計算結果一覧表

セグメント長	1500				1900				3000			
打設時期	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏
α	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006	0.000006
T_{max} (°F)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
W(in)	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2	427.2
(mm)	10850	10850	10850	10850	10850	10850	10850	10850	10850	10850	10850	10850
L(in)	59.1	59.1	74.8	74.8	74.8	74.8	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1
(mm)	1500	1500	1900	1900	1900	1900	3000	3000	3000	3000	3000	3000
L/W	1/7	1/7	1/6	1/6	1/6	1/6	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
Δ (in)	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(mm)	0.7	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
スパン内セグメント数	20	20	20	20	20	20	15	15	15	15	15	15
$\Sigma \Delta$ (in)	0.8	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
(mm)	14.6	9.5	9.7	6.4	3.2	3.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1

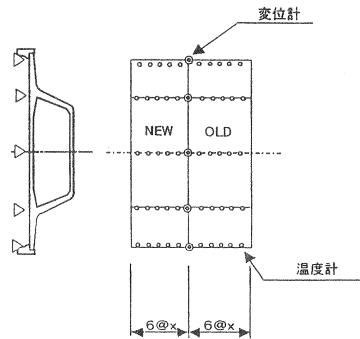


図-13 計測位置図

バナナ変形については、PCI ジャーナルに掲載された提案式(左記)により計算を行い、現場で計測を行った。計測結果については機会があれば別途報告したいと考える。

6. おわりに

西平尾高架橋は、国内では初めての全断面工場製セグメントの採用となった。そのため各種の制約条件を解決しながらの詳細設計となった。セグメント重量制限・セグメント長・デビエータの配置等の決定に関係する複合的な問題は、過去の経験のみでは解決が困難な場合もあり、国外資料・定量的な FEM 解析を十分に検討することによって解決した。

現在、セグメントを製作中であるが、施工が無事終了した時には施工報告も行いたいと考えている。

この論文が、今後の工場製セグメントの設計に少しでも役立てば幸いである。また、本業務に対してご指導ご鞭撻いただきました皆様方に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森山・辻・高橋・八木: 鍋田高架橋の設計, プレストレスト・コンクリート VOL41, No2, P48~55, 1999
- 2) 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準 (案) 平成8年3月
社団法人 プレストレストコンクリート技術協会
- 3) PC 橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル (案) 平成13年2月
財団法人 高速道路技術センター
- 4) Carin Roberts・John Breen・Michael Kreger, Temperature Induced Deformations in Match Cast Segments, PCI JOURNAL July-August 1995 P62-71
- 5) Recommended Practice for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges April 2000
AMERICAN SEGMENTAL BRIDGE INSTITUTE
- 5) Segmental Box Girder Standards
AMERICAN SEGMENTAL BRIDGE INSTITUTE
- 6) AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS 2000 AASHTO
- 7) EXTERNAL PRESTRESSING SETRA