

床版に横リブを有する波形鋼板ウェブ PC 橋の設計

— 第二名神高速道路 杉谷川橋上部工事 —

鹿島建設(株) 土木設計本部 正会員 ○白浜 寛
 日本道路公団 関西支社 大津工事事務所 渡邊 喜義
 日本道路公団 関西支社 大津工事事務所 村上 友伯
 鹿島・日本ピーエスJV 正会員 織田 一郎

1. はじめに

杉谷川橋は現在工事が進められている第二名神高速道路（近畿自動車道名古屋神戸線）の大津ジャンクションから東へ向かう路線中の橋梁であり、滋賀県甲賀郡に位置する。

本橋は全外ケーブル方式の波形鋼板ウェブ PC 橋であり、張出し架設用外ケーブルの偏向と定着部の補強を目的として床版の各ブロックに横リブを設けている。

本文はこの床版に横リブを有する波形鋼板ウェブ PC 橋の設計について報告するものである。

2. 工事概要

本橋の構造一般図を図-1、主要材料数量を表-1に示す。

- ・企業者 : 日本道路公団関西支社
- ・工事場所 : 滋賀県甲賀郡
- ・工期 : 平成14年12月19日～平成17年3月7日
- ・道路規格 : 第1種1級A規格
- ・構造形式 : PC6 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁梁橋
- ・橋長 : 453.000 m
- ・幅員 : 総幅員 12.500 m (暫定2車線)
- ・平面線形 : R=4000 m ~ A=1400 m

表-1 主要材料数量

項目	仕様	単位	数量	摘要
コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	m ³	4890	主桁
P C 鋼材	SD345	t	1118	主桁、地覆
	19S15.2	t	220	外ケーブル
	1S21.8	t	24	床版
波形鋼板	1S28.6	t	6	横桁
	SM490YB	t	341	

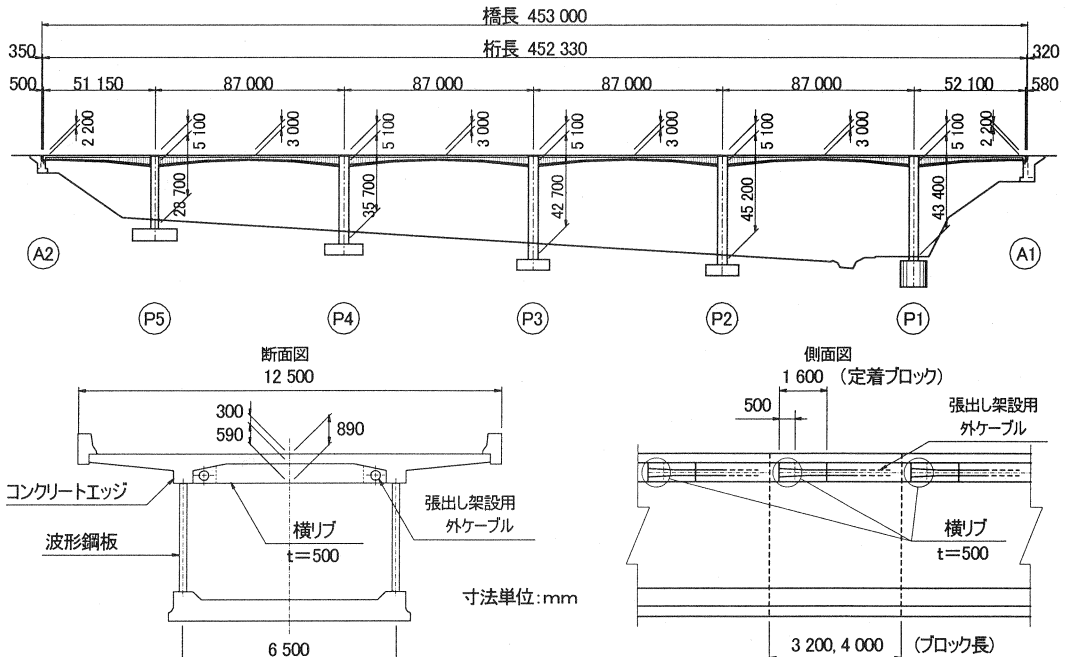


図-1 構造一般図

3. 設計

3.1 床版の設計方針

横リブを考慮した床版の設計法は道路橋示方書 (以下、道示) の適用外であり、その設計法はまだ確立されていない。簡易法としては床版をウェブと横リブで固定された四辺固定版として設計することも考えられるが、本橋の床版はコンクリート (横リブ) と波形鋼板 (ウェブ) の2種類の部材で支持されており、両者の剛度の違いを考慮することができない。この影響を把握するために3次元 FEM 解析を実施し、床版の設計に反映させた。

設計手順は以下のとおりである。

- ①道示に準拠した通常の方法で、ウェブ間隔 6.0m (道示式の適用範囲内) の床版の設計を行い、基準となる数量を把握する。
- ②ウェブ間隔 6.0m および道示式の適用範囲外であるウェブ間隔 6.25m, 6.5m, 6.75m (全4ケース) について、3次元 FEM 解析 (シェル要素) により横リブを考慮した床版の設計を行い、コスト比較により最適なウェブ間隔を選定する。
- ③3次元 FEM 解析 (ソリッド要素) により床版応力度の照査を行う。

3.2 3次元 FEM 解析 (シェル要素) による床版の設計

以下の要領にて設計曲げモーメントを算出し、床版の設計を行った。

(1) 検討断面

桁高の違いおよび横リブの有無に着目して

図-2に示す3断面について検討した。

(2) 解析方法

図-3に示すとおり、ウェブ下端を単純支持した3次元 FEM モデル (シェル要素・部分モデル) の中央断面にT荷重を載荷して、床版の曲げモーメントを算出した。T荷重の載荷パターンは図-4に示す Case1 および Case2 の2ケースとした。

(3) 設計曲げモーメントの割増し

道示による床版の設計曲げモーメントは理論値に対して 10~20%の余裕量を見込んでいるため、上記 FEM 解析による計算結果に対しても 20%の余裕を考慮した。

(4) 設計曲げモーメントの比較結果

下式により算出した床版の設計曲げモーメントと道示に準拠して算出した設計曲げモーメントとの比較を次頁の表-2に示す。なお、全4ケースとも同様の傾向が見られたので、代表してウェブ間隔 6.0m および 6.5m の2ケースを示す。

$$M_d = M_{fem} \times (1 + i) \times \alpha$$

M_d : 設計曲げモーメント

M_{fem} : FEM 解析により算出した曲げモーメント

i : 衝撃係数 $i=20/(50+L)$ L : 支間長 (m)

α : 割増係数 $\alpha=1.2$ (解析値対し 20%の余裕を考慮)

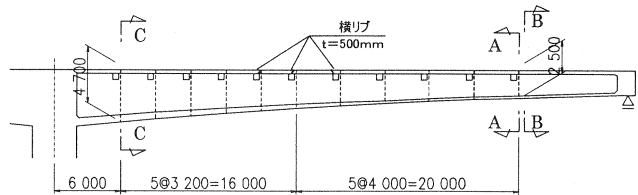


図-2 検討断面 単位:mm

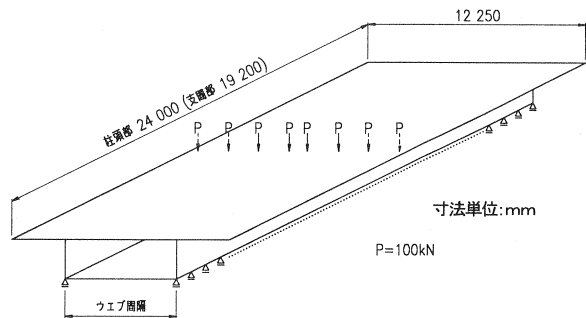


図-3 解析モデル概念図 (シェル要素・部分モデル)

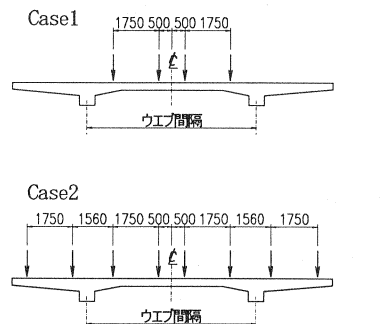


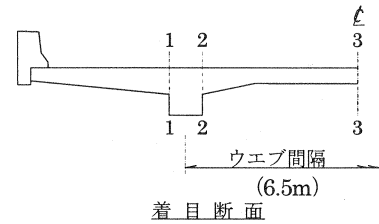
図-4 T 荷重載荷位置 単位:mm

表-2 活荷重による床版横方向の設計曲げモーメントの比較

着目断面			ウェブ間隔 6.0m			ウェブ間隔 6.5m			備考
			1-1	2-2	3-3	1-1	2-2	3-3	
検討断面A 桁高2.5m 横リブ@4.0m	①	Md (kN・m/m)	-88.45	-76.36	23.48	-72.63	-81.97	24.94	
	②	道示式 (kN・m/m)	-117.05	-110.22	76.18	-100.61	-121.01	83.89	
	比率	①/②	0.76	0.69	0.31	0.72	0.68	0.30	FEMによる低減
検討断面B 桁高2.5m 横リブ無	③	Md (kN・m/m)	-91.14	-85.69	33.04	-75.86	-94.90	36.67	
	④	道示式 (kN・m/m)	-117.05	-110.22	76.18	-100.61	-121.01	83.89	
	比率	③/④	0.78	0.78	0.43	0.75	0.78	0.44	FEMによる低減
比率①/③ (横リブ有/横リブ無)			0.97	0.89	0.71	0.96	0.86	0.68	横リブによる低減
検討断面C 桁高4.7m 横リブ@3.2m	⑤	Md (kN・m/m)	-87.65	-70.56	19.85	-72.17	-74.85	21.02	
	⑥	道示式 (kN・m/m)	-117.05	-110.22	76.18	-100.61	-121.01	83.89	
	比率	⑤/⑥	0.75	0.64	0.26	0.72	0.62	0.25	FEMによる低減

表-2 より、横リブのあるモデルでは、FEM 解析による設計曲げモーメントは道示式に対して支点部 (1-1, 2-2) で30%程度、支間部 (3-3) で70%程度低減されている。このうち、横リブの効果により設計曲げモーメントは、支点部 (2-2) で10%程度、支間部 (3-3) で30%程度低減されていることが分かる。

FEM 解析によって得られた設計曲げモーメントを用いて床版横方向の設計を行った。同時に主方向の概略検討も実施し、床版横締ならびに主桁のコンクリート・型枠の数量を算出してコスト比較 (ウェブ間隔: 6.0m, 6.25m, 6.5m, 6.75m) を行った結果、ウェブ間隔 6.5 m が最も経済的であることが分かった。床版横締の数量は約 37 t (ウェブ間隔 6.0m, 道示式による設計曲げモーメントを適用) に対して、約 24 t (ウェブ間隔 6.5m, FEM 解析に基づく設計曲げモーメントを適用) に減少した。



3.3 3次元 FEM 解析(ソリッド要素)による応力度照査

(1) 検討内容

実橋を忠実にモデル化した FEM 解析 (ソリッド要素) により床版応力度を照査すると共に、前項での設計結果 (シェル要素, ウェブ間隔 6.5 m) と比較した。

(2) 解析概要

1) 解析手法

3次元 FEM 解析 (ソリッド要素, シェル要素および梁要素)

2) 解析モデル

応力度を算出する部分をソリッド要素 (コンクリート) およびシェル要素 (波形鋼板ウェブ) で、それ以外の部分を梁要素でモデル化した全体系モデルとした (図-5)。

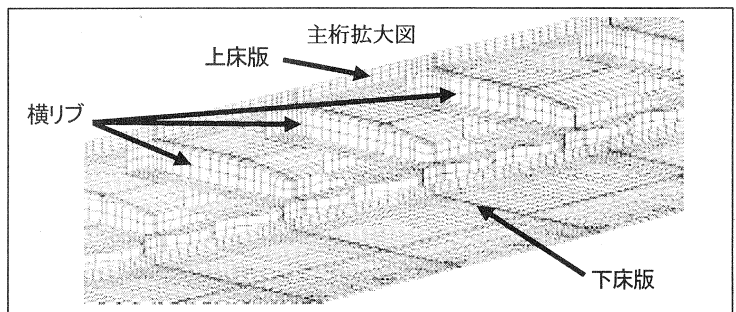
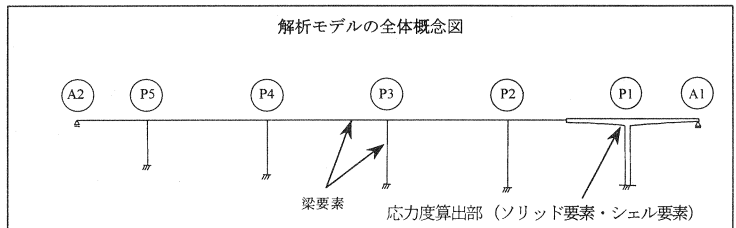


図-5 3次元 FEM 解析(ソリッド要素)

(3) 解析方法

以下の2段階に分けて解析を行った。

1) 死荷重時の解析

応力度算出部のみの解析モデルを用い、境界面に主方向の検針(骨組み解析)で得られた死荷重時(クリープ終了時)断面力を外力として作用させた。

2) 活荷重時の解析

前項“3次元FEM解析(シェル要素)”と同様に、T荷重(衝撃含む)が床版上に2パターン(Case1, Case2) 載荷された場合の応力度を算出し、“1) 死荷重時の解析”により得られた応力度に加算した。

(4) 照査結果および考察

1) 床版の橋軸直角方向応力度照査

床版の橋軸直角方向応力度の照査結果の例を表-3に示す。本表は3次元FEM解析(ソリッド要素)により得られた床版の上面・下面の応力度と、前項での床版横方向の設計による応力度を比較したものである。

両者の応力度は制限値を満足しており、シェル要素の方が若干安全側の値を示している。

設計曲げモーメントを簡易的なFEM解析(シェル要素)により適切に評価すれば、道示に準拠した通常の骨組み解析により、横リブを考慮した床版の設計が可能といえる。

2) 床版の橋軸方向必要鉄筋量

以下の3ケースの方法により床版の橋軸方向必要鉄筋量を算出した結果を比較し、表-4に示す。

- ・道示に基づく設計(横リブの影響は無視)
- ・3次元FEM解析(シェル要素)
- ・3次元FEM解析(ソリッド要素)

但し、FEMについては解析値に対して20%の余裕を考慮している。

本橋の設計では、安全側の値となるシェル要素による3次元FEM解析の結果を用いた。

床版の橋軸方向必要鉄筋量はFEM解析(ソリッド要素)の結果が最小となっているが、これは本モデルのみ外ケーブルによるプレストレスト力を考慮しているためと考えられる。

本橋では通常の床版橋軸方向は鉄筋コンクリート部材として設計されることを考慮し、シェル要素による結果を採用したが、今後は、橋軸方向のプレストレスト力の効果を適切に評価することにより、更に合理的な設計が可能になると思われる。

4. おわりに

以上、床版に横リブを有する波形鋼板ウェブPC橋の設計について報告を行った。本文が同種構造形式の設計の一助になれば幸いである。

表-3 床版の橋軸直角方向応力度
(桁高 2.5m, 横リブ間隔 4.0m)

死荷重時応力度比較 (N/mm²)

	1-1		2-2		3-3	
	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
3次元FEM(ソリッド要素)	1.58	1.06	1.57	0.62	1.84	1.98
設計結果(シェル要素)	0.93	1.21	1.48	0.66	1.25	2.27
制限値	0.00 ≤ σ _c ≤ 14.00					

活荷重時応力度比較 (N/mm²)

	1-1		2-2		3-3	
	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
3次元FEM(ソリッド要素)	-0.12	2.75	-0.04	2.23	-	-
設計結果(シェル要素)	-0.81	2.95	-0.49	2.63	-	-
制限値	-2.05※ ≤ σ _c ≤ 14.00					

※: 曲げひび割れ発生限界

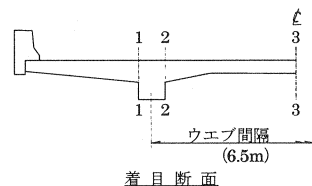


表-4 床版の橋軸方向必要鉄筋量
(桁高 2.5m, 横リブ間隔 4.0m)

床版 下筋

	道路橋示方書	3次元FEM解析(シェル要素)	3次元FEM解析(ソリッド要素)
必要鉄筋量 (cm ² /m)	17.592	16.902	14.028
配置鉄筋量 (cm ² /m)	22.920	22.920	15.890
	D19@125	D19@125	D16@125