

(66) 第二東名高速道路 大平高架橋 ～リブ付き床版の設計～

日本道路公団 静岡建設局 岩立 次郎
 日本道路公団 浜松工事事務所 藤島 幸年
 村エン外建設(株)・川田建設(株)・(株)銭高組 共同企業体 正会員 横山 俊夫
 村エン外建設(株)・川田建設(株)・(株)銭高組 共同企業体 正会員 ○中山 良直

1. はじめに

「大平高架橋」は、第二東名高速道路のうち、浜松工事事務所管内の浜北IC～引佐JCT間、浜松浜北SA付近に位置する橋長833mの13径間連続PC箱桁橋で、橋体をP6橋脚付近で分割し、左右両側橋台からの押出し架設工法で施工する。

第二東名高速道路は、片側3車線（有効幅員16.5m）を標準断面としているため、道示ⅢにしたがってPC床版の設計を行う場合、中間床版支間長・張出床版支間長の標準適用範囲から、2室PC箱桁断面となる。しかし、2室PC箱桁による施工は、

- ①中間ウェブの施工が煩雑である。
- ②ウェブが3本なので、主桁重量が増大する。
- ③押出し施工時の反力が大きく、大規模な押出し装置が必要となる。

等の問題が生じる。これに対して、本橋では長支間床版に「リブ付き床版」で対応することで、1室箱桁断面として計画を行った。

このため、中間床版支間が7.70m、張出床版支間が3.75mとなり、床版支間が道示Ⅲの活荷重算定式の適用範囲外となる。そこで、リブ付き床版の設計においては、輪荷重載荷状態の応力度を解析するため、また、リブ間とリブ近傍での剛性差による荷重伝達の差を評価するために、有限要素法解析（FEM）により、応力度を直接求める手法を採用した。

本文は、大平高架橋リブ付き床版の計画・設計について報告するものである。

2. 橋梁概要

設計条件（上り線）

- 道路規格：第1種1級A規格
- 橋種：プレストレストコンクリート道路橋
- 構造形式：PC13径間連続箱桁橋
- 橋長：833.0m
- 支間長：63.1m+11×64.0m+63.1m
- 有効幅員：16.5m
- 活荷重：B活荷重

上り線の一般図を図-1に示す。

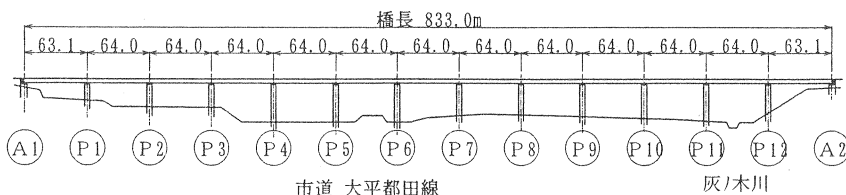
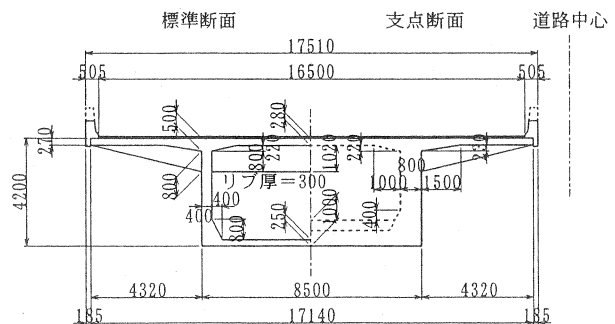


図-1 大平高架橋一般図（上り線）

3. 活荷重載荷ケースの決定

3-1 解析モデル

まず、リブ付き床版の設計に先立ち、どのような載荷状態で断面力が最大になるか、活荷重載荷状況を把握した。

解析モデルは、複数台の実車荷重を載荷できるように、橋軸方向に30m分のロングモデル(図-2)とした。ただし、道示Ⅲの活荷重算定式と比較するために、リブはモデル化していない。(設計計算は、リブもモデル化した)

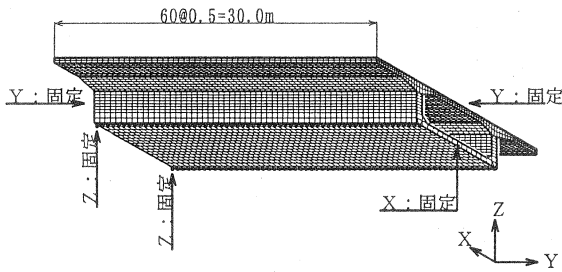


図-2 活荷重載荷モデル

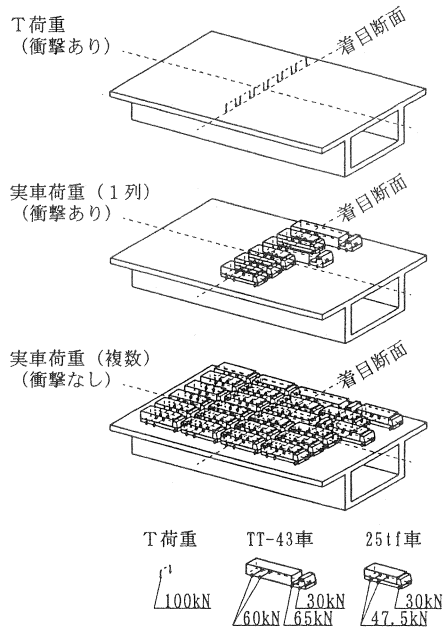


図-3 活荷重載荷ケース

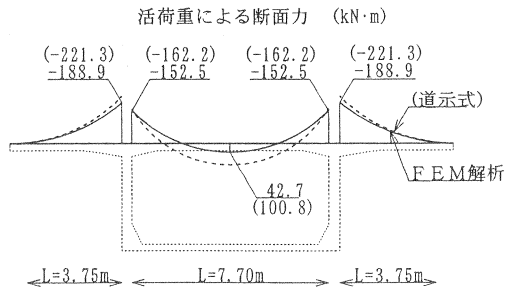
3.2 各載荷ケースによる活荷重断面力

各載荷ケース(図-3のように様々な載荷状況を想定)の解析応力から計算した断面力(衝撃および安全率1.1倍を考慮)と、道示Ⅲの活荷重算定式による断面力を整理すると表-1のとおりであり、活荷重断面力は、全着目断面ともT荷重載荷時に最大となった。なお、連続版支間を9.0mに変えて同様の解析を行ったところ、橋軸方向に離れた位置に載荷した輪荷重の影響が着目断面に及ぶため、実車荷重載荷時の断面力の方が大きかった。

表-1 各載荷ケースによる活荷重断面力

床版 着目位置	荷重 ケース	断面力(kN・m)		比率
		FEM	道示式	
連続版 支間曲げ L=7.70m	T荷重	42.7	100.8	0.42
	実車1列	42.4		
	実車複数	35.0		
連続版 支点曲げ L=7.70m	T荷重	-152.5	-162.2	0.94
	実車1列	-146.6		
	実車複数	-124.1		
片持版 支点曲げ L=3.75m	T荷重	-188.9	-221.3	0.85
	実車1列	-187.0		
	実車複数	-153.8		

表中の□は、最大値を示す



連続版支間が8.0m程度以下、片持版支間が4.0m程度以下の場合、T荷重載荷時の断面力が最大となることが判明したので、リブ付き床版の設計においては、活荷重はT荷重のみを考慮し、次頁に示すように橋軸方向6.0mの1.5パネル分(拘束条件による対称性で12.0mの長さを評価)のショートモデルを採用することとした。

4. リブ付き床版の設計

4-1 解析モデル

リブ付き床版設計用の解析モデルは、図-3のように、1.5パネル分のショートモデルで、小口断面の橋軸方向、構造中心切断面の橋軸直角方向を拘束するとともに、ウェブ直下で線支持する構造とした。

載荷荷重は、図-4に示すように、死荷重、プレストレス、活荷重とした。各荷重の載荷要領を以下に示す。

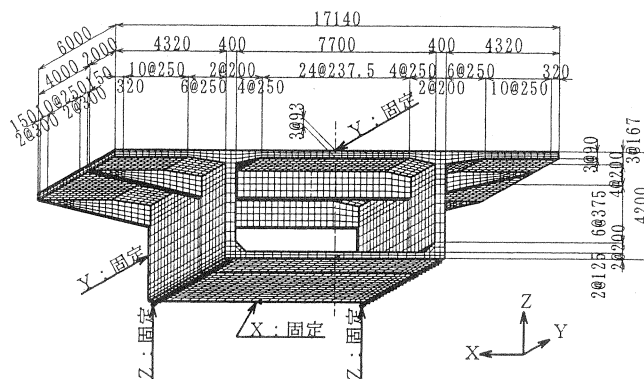


図-3 床版設計用モデル

・死荷重

主桁自重：単位荷重 24.5kN/m^3 を考慮した。

橋面荷重：壁高欄荷重 (12kN/m)

遮音壁荷重 (13kN/m)

を張出床版先端に載荷した。

・活荷重

活荷重は、解析モデルの境界面上（リブ間またはリブ直上）に載荷する。T荷重は 100kN なので、載荷荷重は $1/2$ の 50kN となる。活荷重による応力度は、解析結果に割増係数と安全率（1.1倍）を乗じた値を用いた。

・プレストレス

床版横締P.C鋼材は、プレグラウトタイプの1S28.6（有効緊張力を 500kN と想定）を用いる。プレストレスは、設計計算より、P.C鋼材を 80cm 間隔で配置する必要があるので、

橋軸方向 1m あたり 625kN ($=500 \times 1.00\text{m} / 0.80\text{m}$) を考慮した。なお、合成応力度を算出する際のプレストレスによる応力度は、設計断面毎に張力ロスの精密解との誤差分を補正した。

載荷方法は、P.C鋼材の配置形状を、要素内で簡略化（鋼材配置高さ：Yu一定）し、解析モデルの節点に振り分けた水平方向節点集中荷重として載荷した。

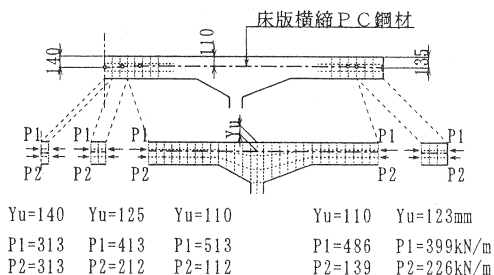
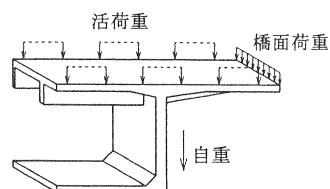


図-4 各荷重載荷図

4-2 床版リブ配置間隔

本橋は押し出し施工による架設であり、1径間 64.0m を4ブロックに分割して施工（1ブロック長= 16.0m ）する。リブ間隔は側枠の転用を考慮し、製作ブロック内で割り付くように 4.0m ピッチとした。

計算結果によると、リブ間とリブ直上における橋軸直角方向の床版上縁応力度がほぼ等しいので、リブが床版全面に有効に機能していることが確認できる。

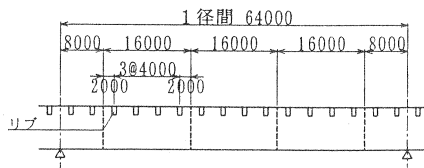


図-5 床版リブ配置図

4-3 張出床版リブの形状

張出床版付根におけるリブの高さと厚さは、中間床版部で決定されるP C鋼材配置間隔と、張出床版付根で必要となるP C鋼材間隔がほぼ一致するように張出床版のリブ剛性を決定すると、最適P C鋼材量となり経済的である。

張出床版にリブを設置する場合の、リブ寸法（張出床版付根厚を50cmとし、リブの厚さを30cmに固定した場合のリブの高さ： h ）とP C鋼材間隔の関係は図-6のとおりである。したがって、リブ寸法は、P C鋼材量が中間床版部と張出床版付根で同程度となるよう、厚さ30cm×高さ80cmとした。

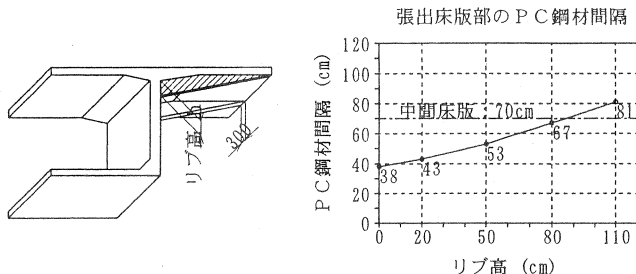


図-6 張出床版部の P C 鋼材間隔

4-4 ウェブ補強リブの形状

張出リブを設置することによって、ウェブには張出床版からの曲げモーメントが伝達されるとともに、張出リブ下面から圧縮力が伝達されるため、ウェブ内側に局部的に大きな引張応力が発生する（図-7）。そのために、ウェブ内側に局部引張応力を発生させないように、箱桁内部にウェブ補強用のリブを設置する必要がある。

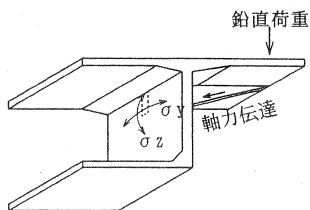


図-7 ウェブ局部応力の発生機構

ウェブの補強方法としては、上床版全体を剛にしてウェブへの曲げを発生させないようにする方法（タイプ-1、2）や、ウェブを直接的に補強する方法（タイプ-3、4）があるので、箱桁内に設置するリブ形状を図-8に示すように4タイプ提案し、ウェブに発生する引張応力の改善効果を比較した。

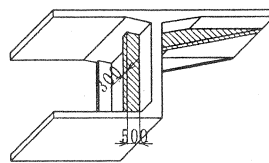
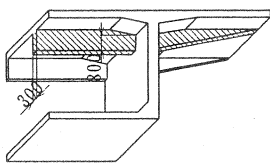
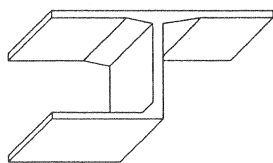
リブなし

タイプ-1

タイプ-3

～中間床版（等高）～

～ウェブ内側～



張出部リブのみ

タイプ-2

タイプ-4

～中間床版（ハツ有）～

～中間床版+ウェブ内側～

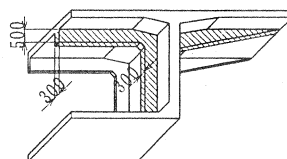
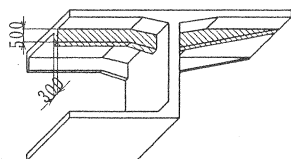
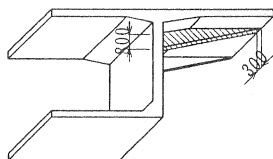


図-8 ウェブ補強リブの形状比較

表-2に示すように、ウェブにリブを設置する方法(タイプ-3, 4)の場合、ウェブの引張応力は改善されるが、ウェブに設置したリブの内側に大きな引張応力が発生(ひびわれが発生)するので、耐久性上好ましくない。したがって、ウェブの曲げ引張応力を改善でき、かつ、配筋や型枠組立の施工性に優れたリブ形状であるタイプ-1(中間床版リブ形式)を採用した。

表-2 ウェブの曲げ引張応力度 (N/mm²)

	横縮 間隔 (cm)	曲げ引張応力度						
		鉛直方向					橋軸	
		自重	橋面	プレ	活荷重	合計	合計	
リブなし	40	-0.62	-1.76	0.60	-3.02	-4.80	-1.31	
張出リブのみ	80	-1.23	-1.91	0.71	-3.76	-6.19	-4.06	
補強 タイプ	タイプ-1	80	-0.06	-1.00	1.67	-2.06	-1.45	-1.42
	タイプ-2	80	-0.64	-1.66	1.21	-3.14	-4.23	-2.85
	タイプ-3	80	-0.42	-0.72	0.37	-1.52	-2.29	-1.41
	タイプ-4	80	-0.31	-0.64	0.67	-1.37	-1.65	-1.12

□表示は、曲げ引張の制限値を超過

タイプ-1, 2は、いずれも中間床版にリブを設けたタイプであるが、リブの形状により、ウェブの鉛直方向曲げ応力度に大きな差が生じている。これは、上床版4.0mあたりの剛性(リブを含んだT形断面)を比較すると、図-9に示すように、リブなしに比べてタイプ-2は4.2倍であるが、タイプ-1は18.6倍に向上する。そのために、上床版の変形が小さく抑えられ、結果としてウェブに伝達される曲げ(変形・断面力)が小さくなっていると考えられる。

橋軸方向4mあたりの剛性を用いて、平面骨組解析によって、張出床版先端に集中荷重を作用させた場合にウェブに発生する断面力を求めたところ、剛性の違いによって断面力が1.5倍異なる結果が得られ、FEM解析の妥当性が確認できた。

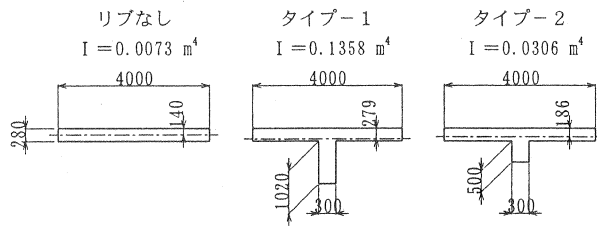


図-9 上床版の剛性

5. リブ付き床版の設計結果

床版は、引張応力度の制限 ($\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$) を以下のように設定して設計した。

導入直後：許容引張応力度 $\sigma_{ca} = -1.80 \text{ N/mm}^2$

死荷重時：引張応力発生限界 $\sigma_{ca} = 0.00 \text{ ''}$

活荷重時：ひび割れ発生限界 $\sigma_{ca} = -2.36 \text{ ''}$ (部材厚 0.5m の場合)

風荷重時：ひび割れ幅限界 $W_a = 0.005 \text{ C}$

床版横縮PC鋼材は、1S28.6(プレグラウトタイプ)を4.0m間隔で設置したリブの間に5本配置(平均間隔:80cm)することとした。(図-10)

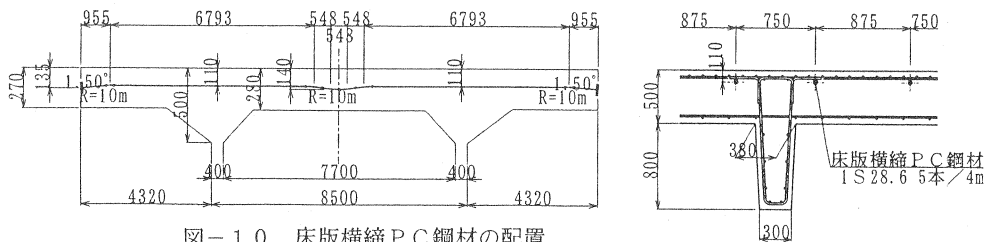


図-10 床版横縮PC鋼材の配置

リブ間とリブ上断面の合成応力度を図-11に示す。各荷重状態とも、制限値を満足している。

リブはRC構造として解析しており、リブ下面に発生する引張応力度に制限を設けていないが、上床版の横締PC鋼材のプレストレスにより、ひび割れを発生させるほどの引張応力は生じない。

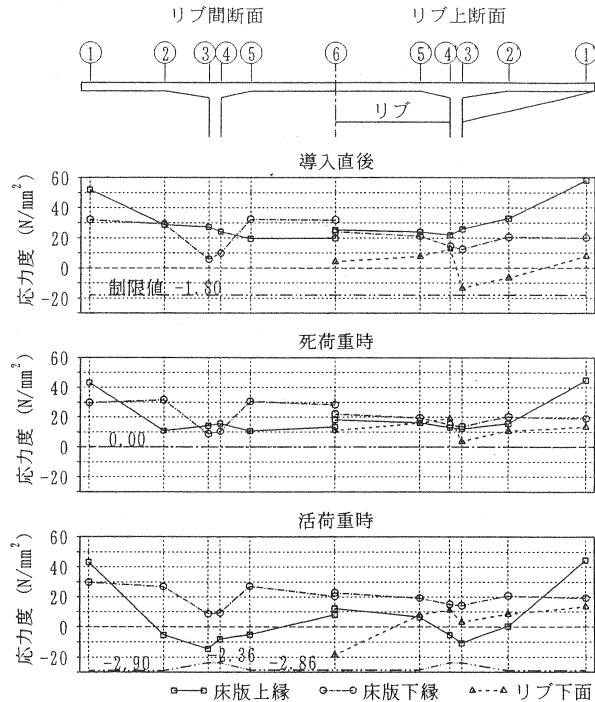


図-11 上床版の合成応力度

6. リブ付き床版の効果

リブ付き床版を採用することで、以下の効果が認められた。

①横方向(床版)の設計として

張出床版付根厚を5cm薄く(55→50cm)、また、床版横締PC鋼材量を3割(62.5→80cm間隔)減らすことができた。

②主方向(橋軸方向)の設計として

主桁断面積が5%減少し、主桁自重による断面力を低減できた上に、主方向プレストレスによる応力導入を効果的に行えるようになった。

これにより、上部工橋体費が、コンクリートおよびPC鋼材量の減少により約3%経済的になった。

7. おわりに

本橋は、平成12年7月20日現在で、全54ブロック中の第3ブロックを施工中である。箱桁内型枠の単純化と鉄筋組立ての省力化を図り、全体工期の短縮・経済性の向上を目指すには、リブのプレキャスト化が考えられる。そのためは、プレキャスト化したリブと場所打ち部との鉄筋の連続性や、コンクリートの一体性に対するの工夫と確認実験を行う必要がある。

最後に、本橋の設計・施工に際し、多大なご指導を頂いた「ストラット・リブに支持された床版を有するPC橋の設計施工に関する技術検討」委員会(委員長:日本大学 山崎淳先生)の委員の方々、および関係各位にこの場を借りて感謝の意を表する次第である。