

## 鍋田高架橋西工事の3径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計

日本道路公団 中部支社 構造技術課 正会員 池田 博之  
 鍋田高架橋西工事共同企業体 正会員 関井 勝己  
 (株)ピー・エス 大阪支店 正会員 ○伊藤 祐一  
 鍋田高架橋西工事共同企業体 内田 雅人

### 1. はじめに

第二名神高速道路鍋田高架橋 (PC上部工) 西工事における波形鋼板ウェブ橋は、3径間連続ラーメン橋である。波形鋼板はコンクリートと比べて剛性が小さいので、特に架設用外ケーブル(19S15.2)の定着突起の設計にはFEM解析を行い、力の伝達が断面全体にうまく伝達されるように留意した。また、コンクリートと波形鋼板の接合はアングルジベル接合、波形鋼板同士の接合には一面重ね隅肉溶接を採用した。溶接部のスカーラップ形状は、FEM解析と実験により、応力集中の少ない2つの形状を採用した。波形鋼板の設計には設計荷重時、終局荷重時および疲労寿命の検討を行った。本稿では、鍋田高架橋西工事の波形鋼板ウェブ橋の設計概要について報告する。

### 2. 設計概要

工事名 : 第二名神高速道路鍋田高架橋 (PC上部工) 西工事  
 構造形式 : PC 3径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋  
 道路規格 : 第1種2級 (V=100km/h)  
 活荷重 : B活荷重  
 橋長 : L=246.892m (上り線)、243.109m (下り線)  
 桁長 : l=246.592m (上り線)、242.809m (下り線)  
 支間長 : 59.46m+125.969m+59.463m (上り線)、58.54m+124.031m+58.537m (下り線)  
 車道幅員 : W=14.600m  
 施工方法 : 場所打ち張出し架設工法 (柱頭部 21m 区間は固定支保工による場所打ち)

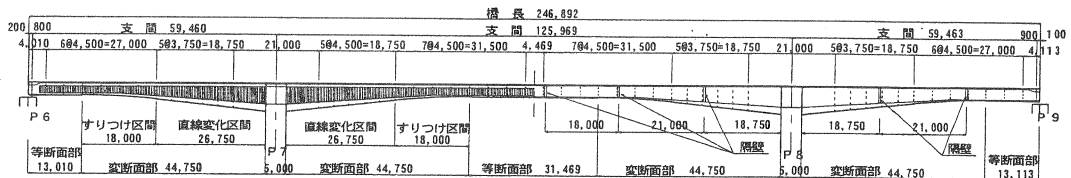


図-1 全体図

### 3. 主要材料

コンクリート : 設計基準強度  $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$   
 鉄筋 : SD345  $\sigma_a=180\text{N/mm}^2$   
 鋼板 : SM490YB  $\tau_a=120\text{N/mm}^2$   
           SM570  $\tau_a=150\text{N/mm}^2$   
 PC鋼材 : SWPR7BL 19S15.2 (外ケーブル)  
           SWPR19 1S21.8 (床版、横桁ケーブル)

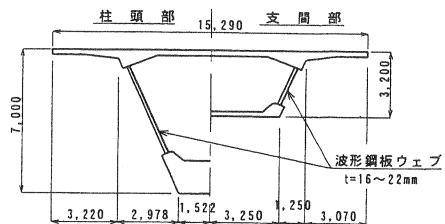


図-2 断面図

#### 4. 主方向の設計

##### (1) 解析モデル

図-3のような解析モデルにより、主方向の解析を行い、外ケーブルは内法により評価した。平面線形は半径1000mであるため、立体FRAME解析により自重および活荷重によるねじりモーメントを算出した。

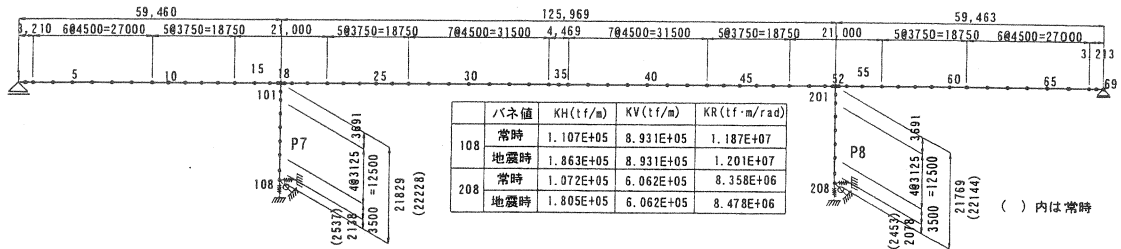


図-3 FRAME解析モデル

##### (2) 断面定数

###### a) 曲げおよび軸剛性

波形鋼板を無視した上下床版のみで断面定数を算定した。また、柱頭部には道路橋示方書(コンクリート編)<sup>1)</sup>に準拠し剛域を設けた。

###### b) ねじり剛性

ねじり剛性は上平ら<sup>2)</sup>が提案した修正係数を使って算出した。

##### (3) そり応力の計算

波形鋼板ウェブはコンクリート床版と比べて剛性が小さく、箱断面が変形しやすい。また、波形鋼板ウェブはアコーディオン効果があり軸剛性がない。そのため、波形鋼板ウェブはそりには抵抗せず、その分コンクリート床版がそり応力を受け持つ。また、それに伴いそりねじりによるせん断力が発生するため、波形鋼板のせん断応力が増加する。

立体FRAME解析で求めたねじりモーメントによりずり荷重を求め、構築したBEAMアナロジーモデルにより、そりモーメントを求め、コンクリート床版に発生するそり応力(下床版に最大1.4N/mm<sup>2</sup>の引張)と波形鋼板に発生するそりねじりによるせん断応力(波形鋼板に最大5.5N/mm<sup>2</sup>)を求めた。中央径間には、下床版に発生する引張応力に対して、19S15.2を2本追加した。

BEAMアナロジーモデルを図-4,5に示す。

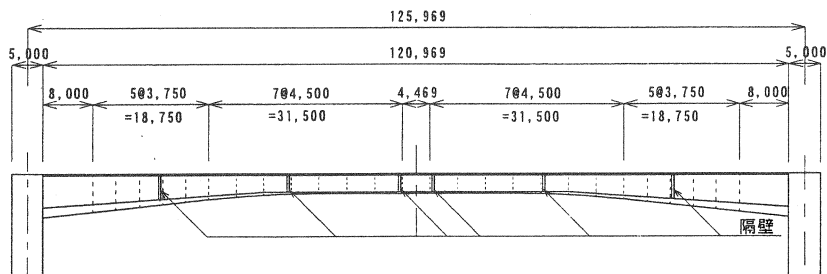


図-4 BEAMアナロジーモデル

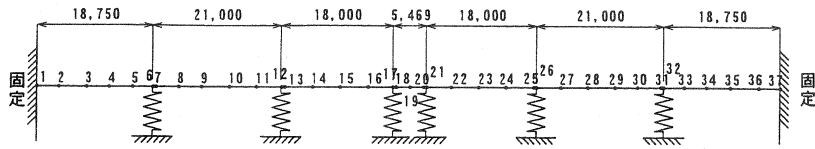


図-5 BEAMアナロジースケルトン図

(4) 終局荷重時に対する曲げの検討

本橋では、構造形式やスパンは異なるがコンクリートウェブ部をモデルにファイバーモデルによる非線形解析<sup>3)</sup>を行い、その結果を参考にした。また、隣接橋梁(弥富高架橋、鍋田高架橋)の事例や文献<sup>4)</sup>をも参考にして、外ケーブルの増加張力を  $200\text{N}/\text{mm}^2$  を見込んだ。

(5) 波形鋼板の設計

a) せん断応力度の照査

せん断応力度の照査は、せん断力とねじりによるせん断力を考慮して設計荷重時と終局荷重時について行った。但し、終局荷重時のせん断力は既往の研究成果<sup>5)6)</sup>を参考にして、桁高変化の影響を考慮し、波形鋼板ウェブが負担するせん断力を低減した。

また、架設用外ケーブルの緊張により、波形鋼板のブロック先端付近に  $10\text{N}/\text{mm}^2$  程度のせん断応力が発生することがFEM解析の結果で解っていたので、その分をも考慮した。

b) 合成応力度の照査

橋軸直角方向の曲げと主方向のせん断力が同時に作用する部材であるため、それらを考慮した合成応力度の照査を行った。

c) せん断座屈に対する照査

せん断座屈には局部座屈、全体座屈と連成座屈の3種類が考えられる<sup>7)</sup>。これら3種類について弾性座屈強度算出式、非弾性を考慮した座屈強度算出式<sup>8)</sup>で照査し、かつ、海外(フランス)における座屈強度算出式においても検討を行った。

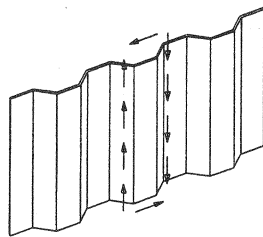


図-6 局部座屈

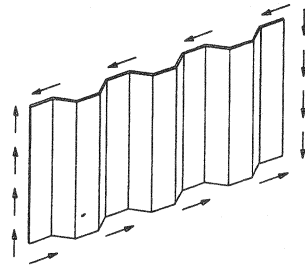


図-7 全体座屈

5. 波形鋼板とコンクリート床版の接合

波形鋼板とコンクリート床版の接合にはスタッドジベル接合(新開橋、銀山御幸橋)、埋め込み接合(本谷橋)、アングルジベル接合などがある。本橋ではアングルジベル接合を採用した。

アングルジベルの設計は、海外(フランス)での計算例と昭和55年度道路橋示方書(鋼橋編)<sup>9)</sup>における設計方法の両方を満足させるようにした。また、U字鉄筋や貫通鉄筋は橋軸直角方向の曲げに抵抗するものとして設計した。

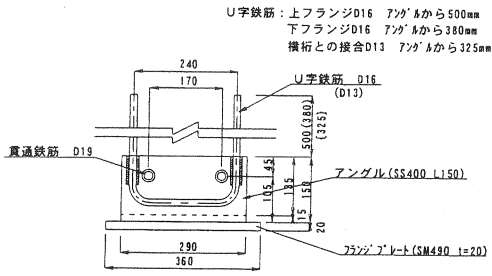


図-8 アンクルジベル詳細図

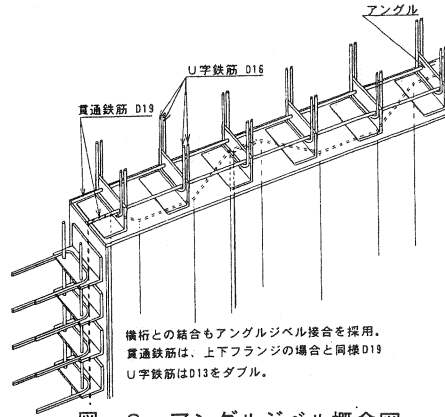


図-9 アンクルジベル概念図

### 6. 波形鋼板とフランジプレートとの溶接部の計算

溶接部は設計水平せん断力とねじりによるせん断力および横方向曲げによるせん断力を考慮した。

$$\tau_{ws} + \tau_{wt} \leq \tau_a$$

$\tau_{ws}$  : 設計水平せん断力によるせん断応力度

$\tau_{wt}$  : ねじりモーメントによるせん断応力度

$\tau_a$  : 溶接部の許容せん断応力度

横方向曲げに対しては<sup>10)</sup>

$$\tau = M \times y / I$$

$\tau$  : 溶接部に生じるせん断応力度

$M$  : 継ぎ手に作用する曲げモーメント

$I$  : のど厚を接合面に展開した断面のその中立軸まわりの断面二次モーメント

$y$  : 展開図形の中立軸から応力度を算出する位置までの距離

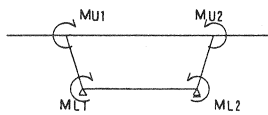


図-10 横方向曲げモーメント

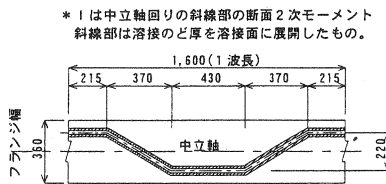


図-11 フランジとウェブの溶接部

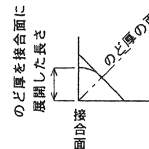


図-12 溶接部の断面図

合成応力度の照査

$$(\tau_b / \tau_a)^2 + (\tau_s / \tau_a)^2 \leq 1.0$$

$\tau_b$  : 軸方向力又は曲げモーメントによるせん断応力度あるいは両者の和

$\tau_s$  : せん断力によるせん断応力度

$\tau_a$  : 許容せん断応力度

## 7. 波形鋼板の接合部の設計

### (1) 突き合わせ溶接部

柱頭部付近 21m は、オールステージングによる施工であるため、波形鋼板ウェブは地上での突き合わせ溶接とした。せん断力に対しては実溶接長で抵抗するものとし、溶接部は母材と同等として設計した。

### (2) 一面重ね隅肉溶接部

柱頭部付近以外の張出し架設により施工するところの波形鋼板相互の溶接は、一面重ね隅肉溶接とした。せん断力に対しては、スカーラップによる切り欠き部を除いた鋼板の面積で抵抗するものとした。一面重ね隅肉溶接の溶接のど厚は重ねられる 2 枚の鉄板の薄い方の板厚の 1/2 とした。

## 8. スカーラップ形状

一面重ね隅肉溶接部のスカーラップ形状は、FEM解析、せん断試験および疲労試験を行い、スカーラップ近傍の現場溶接部に応力集中が少なく、かつ、施工性の良い 2 種類の形状を採用した。

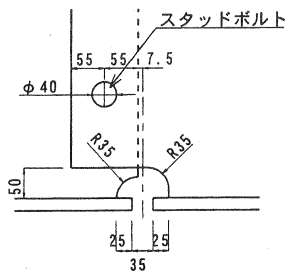


図-13 Aタイプ

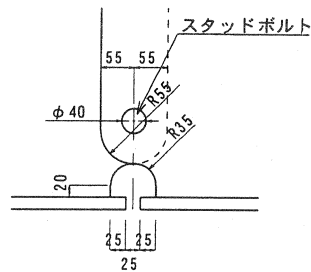


図-14 Bタイプ

## 9. 波形鋼板現場溶接部の疲労寿命の検討

JSSC-E 等級において疲労寿命を 100 年確保するように設計した<sup>11)</sup>。

$$(\Delta \sigma)^m \times N < C_0$$

ここに、 $\Delta \sigma$  :  $\alpha \times \Delta \tau$

$\alpha$  : 応力集中係数 (前谷橋の実験結果を参考にした。3.62)

$\Delta \tau$  : T 荷重 (衝撃係数を考慮、床組の係数は考慮せず) 1 台による波形鋼板のせん断応力振幅 (コンクリート床版の負担分を考慮)、Mpa

$m$  : 3

$N$  : 100 年間に大型車両が通る台数 (23,000 台/日  $\times$  365 日  $\times$  100 年)

$C_0$  :  $2 \times 10^6 \times (\Delta \sigma f)^m$

$\Delta \sigma f$  :  $2 \times 10^6$  回基本許容応力範囲 (E 等級 : 80Mpa)

## 10. 架設ケーブル定着突起の設計

本橋は将来の維持管理や取り替えも考慮して、主方向は全外ケーブル構造とした。外ケーブルはコンクリート部材から突起した定着部に定着されるため、局部的に大きな曲げが作用する。また、波形鋼板ウェブ橋であるためウェブの剛性が小さく、外ケーブルは 19S15.2 と大容量であるので、FEM 解析により検討した。

その結果以下のような形状とした。

- ① 構造上無理が無いように、毎ブロックに架設用外ケーブル (19S15.2) を 1 ウェブに 1 個定着とした。
- ② 水平リブと鉛直リブで定着部近傍の断面を補強することで、波形鋼板ウェブに発生する応力や変形を半減させ、かつ、下床版への力の流れを良くした。

- ③ 鉛直リブと定着突起の隅各部にハンチを設け、その位置に集中する引張応力を減少させた。
- ④ 定着突起をブロックの先端近くにする事で、定着位置を極力上床版に近づけ、ケーブルの上床版からの偏心量を少なくし、局部曲げや定着部前面の引張応力を減少させた。

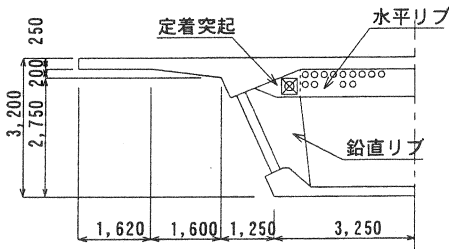


図-15 断面図

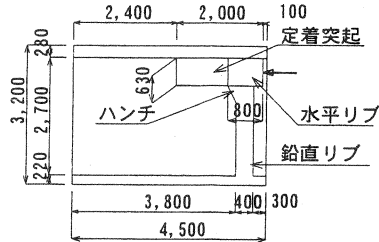


図-16 側面図

### 1.1. おわりに

本橋は全外ケーブル構造の波形鋼板ウェブ橋であり、また、コンクリートと波形鋼板の接合構造、波形鋼板同士の接合構造等についても、今まで国内において事例の少ない構造である。そのため、FEM解析、実験、海外の計算例を研究しながら、設計してきたが、以下の点について確認できた。

- ① 張出し架設ケーブルを大容量外ケーブルにすると柔らかい波形鋼板ウェブに比較的大きな応力や変形が発生するので、水平リブや鉛直リブで補強することが好ましい。
- ② 波形鋼板相互の接合部については、FEM解析やせん断試験、疲労試験でその安全性が十分確かめられた。また、採用した2つのスカーラップ形状は応力集中の少なく、施工性も良い形状である。
- ③ 毎ブロック2ケーブル定着(片ウェブに1ケーブル定着)は構造的にも無理がなく、同じブロックを毎回製作するために施工上も良いと言える。

今後、波形鋼板ウェブ橋のよりシンプルな構造と設計法を目指し、さらなる改良に寄与したい。

### 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅲコンクリート橋編，1996.12
- 2) 上平，立神，本田，園田：波形鋼板を有するPC箱桁橋のせん断およびねじり特性に関する研究，プレストレストコンクリート，Vol.40, No.3, pp16~25, 1998.6
- 3) 池田，関井，伊藤，西永：全外ケーブル・プレキャストセグメント橋の非線形解析，第11回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2001.11 (投稿中)
- 4) プレストレストコンクリート技術協会：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)，1996.3
- 5) 水口，芦塚，佐藤，桜田：本谷橋(波形鋼板ウェブPC変断面箱桁橋)のたわみに関する検討，第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，1999.10
- 6) 水口，芦塚，大浦，日高：波形鋼板ウェブPC橋のせん断力分担率と床版の付加曲げについて，第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，1999.10
- 7) 関井，大浦，依田：波形鋼板ウェブのせん断座屈強度に関する一考察，土木学会第48回年次学術講演会，1993.9
- 8) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会：波形鋼板ウェブPC橋，計画マニュアル(案)，1998.12
- 9) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，1980.2
- 10) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，1996.12
- 11) (社)日本鋼構造協会：鋼構造の疲労設計指針・同解説，1993.3