

## (1) 波形鋼板ウェブPC橋(中野高架橋 その1工事)の設計概要

オリエンタル建設(株) ○ 山中 圭介  
 阪神高速道路公団 山本 昌孝  
 (株)富士ビー・エス 正会員 鈴木 真  
 大阪工業大学 工学部 正会員 小林 和夫

### 1. はじめに

阪神高速道路北神戸線は、六甲山系北側に位置し、西は第二神明道路、東は中国自動車道に接続する路線である。現在、有馬口JCT以东中国自動車道までの区間の工事が進められており、本文で紹介する中野高架橋はこの区間のほぼ中央に位置し、兵庫県西宮市山口町に建設される橋梁である。

本橋は、本線橋(東行き・西行き)、ランプ橋(西入路・西出路)から構成され、建設コストの縮減を目的として波形鋼板ウェブPC構造が採用されている。波形鋼板ウェブPC構造とは、プレストレストコンクリート橋のウェブを波形形状に加工した鋼板に置き換えたもので、コンクリートと鋼との複合構造である。

本橋の設計上の特徴としては、次の事項が挙げられる。

- ①曲率半径が最少で $R=250\text{m}$ であり、これまで施工された波形鋼板ウェブPC橋では最少の曲率半径である。
- ②波形鋼板とコンクリート上床版との接合部に新接合方式を採用した。
- ③波形鋼板どうしの接合には施工性を考慮し、高力ボルトによる一面摩擦接合を採用した。
- ④横方向の上床版設計にパーシャルプレストレス構造を採用した。
- ⑤ウェブの軸方向剛性が低い構造であることに配慮した下床版定着突起形状とした。
- ⑥複合構造であることを考慮した衝撃係数を用いて照査した。

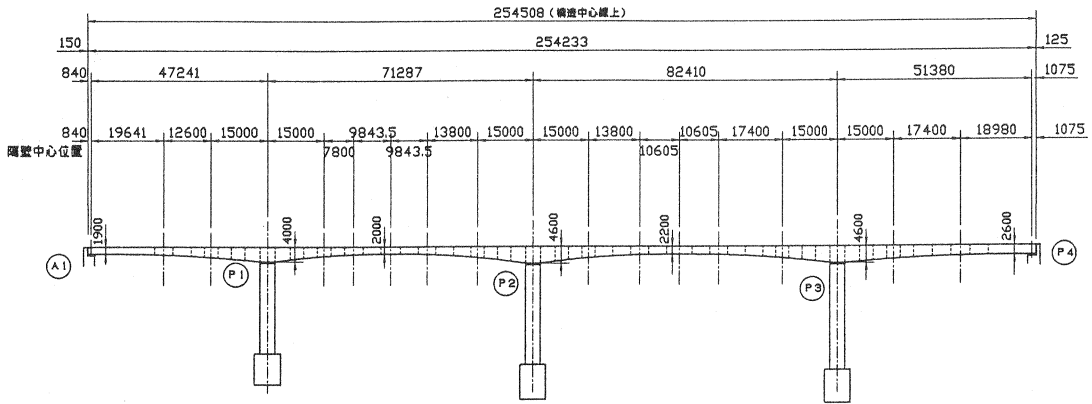
### 2. 設計概要

設計概要を以下に示す。

工事名 : 中野工区PC桁(その1)工事  
 道路規格 : 本線橋 第2種第2級 ( $V=60\text{km/h}$ )、ランプ C規格 ( $V=40\text{km/h}$ )  
 活荷重 : B活荷重  
 構造形式 : 4径間連続波形鋼板ウェブPC箱桁橋  
 橋長 : 本線東行き 253.000m(道路中心線上)、ランプ西入路 218.000m(道路中心線上)  
           本線西行き 253.000m( " )、ランプ西出路 202.000m( " )  
 支間 : 本線東行き 48.009+70.500+81.500+50.800m(道路中心線上)  
           本線西行き 44.011+63.500+85.500+57.800m( " )  
           ランプ西入路 29.250+60.000+85.000+42.149m( " )  
           ランプ西出路 29.251+58.500+75.500+37.201m( " )  
 有効幅員 : 本線橋 8.450m、ランプ 5.700m  
 平面線形 : 本線東行き  $R=440\text{m}$ 、ランプ西入路  $R=\infty$ ,  $R=300\text{m}$ ,  $R=430\text{m}$   
           本線西行き  $R=440\text{m}$ 、ランプ西出路  $R=500\text{m}$ ,  $R=250\text{m}$   
 施工方法 : 4橋ともに片持張出架設工法および側径間固定支保工

本線東行きについて、図-1に一般図を示す。

側面図



断面図

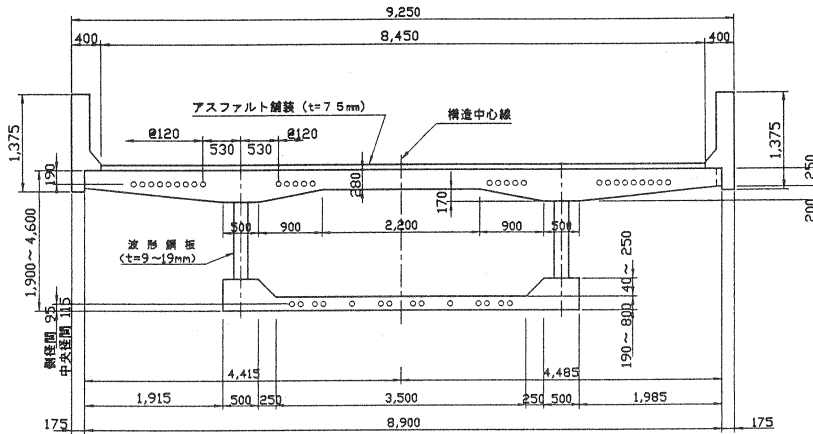


図-1 本線東行き一般図

### 3. 主要材料

- コンクリート : 設計基準強度  $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
- 鉄筋 : SD345 許容引張応力度  $\sigma_{sa}=180\text{N/mm}^2$
- 鋼板 : SMA490CW (耐候性鋼板) 許容せん断応力度  $\tau_a=120\text{N/mm}^2$
- P C 鋼材 : P C 鋼より線 SWPR7BL 12S12.7 (内ケーブル)  
 SWPR7BL 19S15.2 (外ケーブル)  
 SWPR19L 1S21.8 (床版・横桁)

### 4. 主方向の設計

#### (1) 骨組解析モデル

本橋では、図-2に示すように外ケーブルを弦部材として直接評価した骨組モデルにより解析を行った。この方法の場合、桁の変形に弦部材の変形が追従するため、コンクリート部材のクリープ・乾燥収縮の影響および作用荷重による影響を弦部材の張力変化として直接解析することができる<sup>2)</sup>。また、本橋は分散支承

を用いた連続桁であり、支承をバネ部材としてモデル化するとともに張出架設時は剛部材との二重部材とすることにより仮固定を評価している。

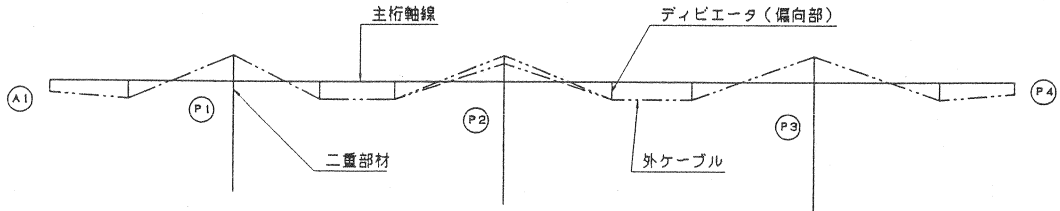


図-2 解析モデル図

なお、ねじりモーメントの算出は面外骨組解析により別途行うこととし、クリープによるねじりモーメントはDishingerの簡略式を用いて算出した。

## (2) 断面定数

### a) 曲げおよび軸剛性：

〔波形断面部〕ウェブに波形鋼板を用いた橋梁では、アコーディオン効果により軸力に対してウェブが抵抗しないと考えるとよく、波形鋼板を無視した上下床版のみで断面定数を算出した。また、コンクリート部材に伝達される曲げ応力度分布は平面保持の法則に従っていると仮定している<sup>1)</sup>。

〔柱頭横桁部〕コンクリートウェブを考慮して断面定数を算出した。

### b) ねじり剛性：上平らが提案した算出式にしたがって修正係数を用いたねじり剛性を算出した<sup>3)</sup>。

## (3) そり応力の計算

波形鋼板ウェブPC箱桁橋では、コンクリートウェブによるPC箱桁橋に比べてウェブの横方向剛性が若干低下し、箱断面の変形が生じやすくなる。そこで、断面変形により発生するずり荷重によるそり応力度のレベルをBEAMアナロジーで解析し、隔壁間隔を決定した上で平面曲線の影響を考慮するためにFEM解析により詳細な検討を行った。

BEAMアナロジーは中間隔壁を弾性バネと仮定し、ずり問題を弾性支承上のはりと同様とみなし断面変形に伴うそり応力を算出する手法である<sup>4) 5)</sup>。検討の結果、当初設計で決められた横桁数を増加させることで、そり応力を適度に抑制する効果が得られた。

次に、FEM解析モデルとしてはP2-P3の1径間を取り出し、3次元シェル要素を用いてそり応力を算出した。本橋は張出架設で施工するため施工中と完成時でそり応力の状態が変化する。そこで、その影響を検証するために自重によるそり応力の算出は、施工段階を考慮した上でDishingerの簡略式によりクリープの影響も考慮するものとした。活荷重は半載荷（車線の半分に主荷重を載荷）および全載荷の2ケースとし、骨組解析により算出した合成応力度値にFEM解析結果を加算したところ、活荷重半載荷時より全載荷時の方が応力度が厳しかった。これらのうち、引張応力度に対しては主鋼材の追加を行った。

## (4) 終局荷重作用時の曲げに対する検討

本橋では過去の事例を参考にし、外ケーブル張力増加を  $100\text{N}/\text{mm}^2$  見込むものとして鉄筋量を算出した<sup>2)</sup>。

（5）波形鋼板の設計

a) 平均せん断応力度の照査<sup>1)</sup>

平均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および終局荷重時について行った。

b) 合成応力度の照査

橋軸直角方向の曲げモーメントおよび主方向の曲げに伴うせん断力が作用する部材として、波形鋼板の照査を行った。

c) 座屈に対する照査<sup>1)</sup>

波形鋼板の座屈モードには以下の3つがある。

- ①局部座屈：図-3に示すような波形鋼板ウェブ1パネルが座屈する現象
- ②全体座屈：図-4に示すような波形鋼板全体が座屈する現象
- ③連成座屈：上記①②が互いに影響して起こる現象

この3つについて非弾性域を考慮した座屈強度を求め、せん断応力度の制限値とした。

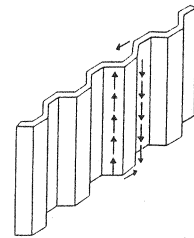


図-3 局部座屈概念図

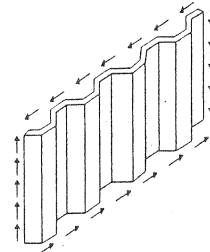


図-4 全体座屈概念図

5. 波形鋼板とコンクリート床版の接合

上床版側については、従来の接合方式の利点を取り入れながら、新たに本橋独自の構造を採用した。

上床版側の接合部構造を図-5に示す。これは波形鋼板にC T形鋼を溶接し、C T形鋼のフランジ部に孔をあけ、そこに貫通横鉄筋を配置し、さらにC T形鋼の両側へスタッドジベルを溶植するものである。この接合方法は、C T形鋼にあけられた孔に充填したコンクリートによるコンクリートジベルとスタッドジベルにより水平せん断力に抵抗し、かつスタッドジベルが接合部に発生する横方向の曲げモーメントに抵抗するものと考えられる<sup>9)</sup>。

下床版側の接合部構造を図-6に示す。これは波形鋼板に孔をあけ、そこに貫通横鉄筋を配置し、さらに波形鋼板の縁端部に橋軸方向に2本の接合棒鋼を溶接し、コンクリート床版に埋め込むものである。この接合方法は、コンクリートに埋め込まれた波形鋼板の斜め方向パネルがずれ止めブロックとして有効に働くとともに、接合棒鋼の付着により水平せん断力に抵抗させるという考え方と、波形鋼板にあけられた孔に充填したコンクリートが一種のコンクリートジベルとして水平せん断力に抵抗し、ずれ止めの役割を果たすものと考えられる<sup>1) 6) 7)</sup>。

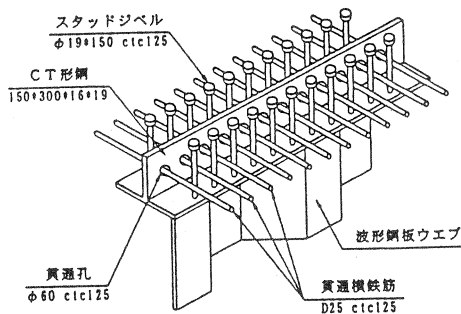


図-5 波形鋼板と上床版の接合部構造

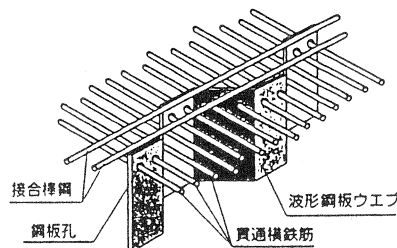


図-6 波形鋼板と下床版の接合部構造

## 6. 波形鋼板どうしの接合

波形鋼板どうしの接合方法の実績は、高力ボルト接合と現場溶接接合に大別される。高力ボルト接合は1面摩擦で重ね継手によるものとフランジ継手によるものがある。一方、現場溶接接合には全断面溶込み溶接によるものと隅肉溶接によるものがある。本橋では、張出架設施工をおこなうため、一括施工等に比べて接合部の施工にかかる延べ日数が多く必要となる。そこで、施工性を考慮して管理が比較的容易な図-7に示す高力ボルトによる1面摩擦接合を採用している。

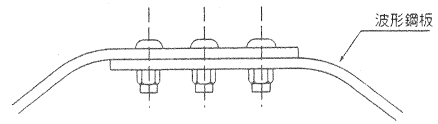


図-7 高力ボルトによる1面摩擦接合

## 7. 横方向の設計

従来のPC箱桁橋では、上床版をフルプレストレスで設計することが多かったが、近年、コスト縮減の観点からパーシャルプレストレス構造（以下、PPC構造とする）が採用されることが増えてきた。これまで波形鋼板ウェブPC橋においてPPC構造が採用された実績はないが、本橋では、実物大の試験体により、上記5.の接合方法とあわせて橋軸直角方向の性状を確認し、引張応力の発生は許容するがひび割れを許容しないレベルでのPPC構造を採用した<sup>10)</sup>。

## 8. 下床版定着突起部の形状

波形鋼板ウェブPC箱桁橋は、ウェブにコンクリートを用いた通常のPC箱桁橋に比べ、下床版定着突起部の応力集中が大きくなる傾向が見られる。そこで、FEM解析を行い下床版定着突起形状を決定した。通常のPC箱桁橋においてウェブ付近に内ケーブルを定着させる場合は、左右の突起を独立させた形状とすることが多い。しかし、本橋ではFEM解析を行った結果、図-8に示す下床版突起図のハッチング部のコンクリートを加えた突起形状とした。これは、波形鋼板ウェブPC橋では軸方向剛性が小さいためであり、剛性を上げる目的で左右の突起をつなげることとした。

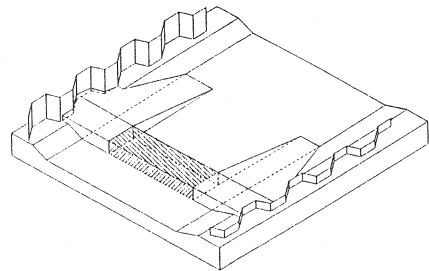


図-8 下床版突起図

## 9. 衝撃について

活荷重による衝撃については、これまで国内で実績のある同構造の橋梁と同じく、道路橋示方書I 2.1.4.（以下、道示とする）のPC橋の衝撃係数にて設計するとともに、本橋について検討された衝撃係数<sup>8)</sup>を用いて照査を行った。本橋の衝撃係数は、支間の長い中央径間部では道示のPC橋の規定値よりも小さな値を示したが、一方、支間の短い側径間部において走行速度等の条件により道示のPC橋の規定値よりも若干大きな値を示した。したがって、この値によって照査を行い、安全性を確認した。

## 10. おわりに

波形鋼板ウェブPC橋の特徴としては、主桁自重の10~30%を占めるウェブのコンクリートを軽量化波形鋼板に置き換えることにより、自重を軽減できる。また下部構造をよりスレンダーにすることができる。コンクリートウェブが不要になることにより施工の合理化、工期短縮およびコストの低減が可能となる、などが言われている。本橋の設計においては、種々の検討を行った結果として以下の点を確認することができた。

- ① 波形鋼板ウェブの横方向剛性が小さいため断面変形が生じやすくなる。曲線橋ではその影響がさらに大きくなり、適切な横桁配置とそり応力に対する照査が必要になる。
- ② 本橋で採用した波形鋼板と上床版コンクリートとの新接合構造は、十分な性能を有していると思われる<sup>11)</sup>。
- ③ ウェブにコンクリートを用いた通常のPC箱桁橋に比べ、下床版定着突起部の応力集中が大きくなるので注意が必要である。
- ④ 本橋における衝撃係数は、支間の短い側径間部において、道示のPC橋の規定値を若干超える場合があったが、その他の径間では道示のPC橋の規定値よりも小さな値となった。

なお、本橋は平成13年度末の完成を目指し、現在張出施工中である。その状況を写真-1に示す。

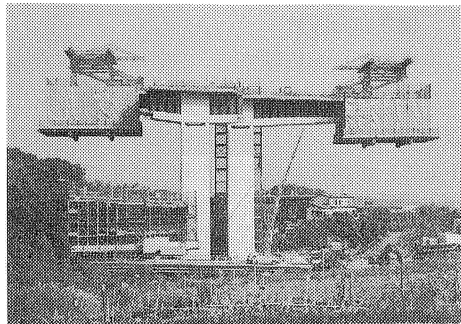
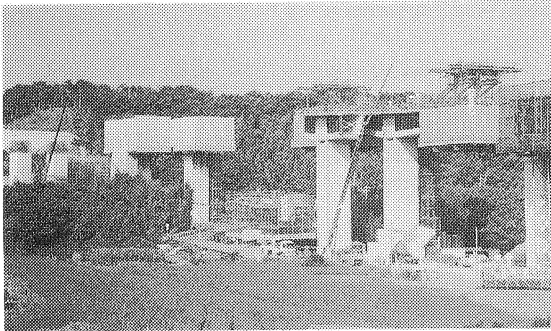


写真-1 施工状況（平成12年7月撮影）

#### 参考文献

- 1) 波形鋼板ウェブPC橋 計画マニュアル（案）， 波形鋼板ウェブ合成構造研究会，1998.12
- 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規準（案），プレストレストコンクリート技術協会，1996.3
- 3) 上平，立神，本田，園田：波形鋼板を有するPC箱桁橋のせん断及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，pp.16～25，1998.6
- 4) 坂井，長井：鋼箱桁橋の中間ダイヤフラム設計法に関する一試案，土木学会論文報告集，第261号，pp.21～，1977.5
- 5) 野田：コンクリート箱桁橋の断面変形実用計算法について，プレストレストコンクリート，研究報告，Vol.34，No.3，pp.65～，1992.5
- 6) 山口（恒），山口（隆），池田：波形鋼板ウェブ構造のせん断挙動について，土木学会，第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp77～82，1995.11
- 7) 中島，依田，大浦，佐藤，武村：波形鋼板ウェブとコンクリートフランジとの接合部の構造に関する実験的研究，土木学会，第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp173～177，1995.11
- 8) 川谷，下村，前中，西村，井口，正司：波形鋼板ウェブを有するPC箱桁橋の衝撃係数，土木学会第55回年次学術講演会，2000.9（投稿中）
- 9) 蔵本，小林（寛），正司，小林（和），栗田：波形鋼板とコンクリート床版の接合部せん断耐力に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会，2000.9（投稿中）
- 10) 山中，井口，小林（寛），水田，小林（和）：中野高架橋実物大試験体の横方向の静的載荷実験，土木学会第55回年次学術講演会，2000.9（投稿中）
- 11) 松本，小林，正司，栗田：波形鋼板ウェブPC橋（中野高架橋）波形鋼板と床版接合部のせん断実験，第10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，2000.10（投稿中）