

世界最大支間長を有する波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計 —安威川橋—

三井住友建設(株)	正会員	○増田 徹
西日本高速道路(株)		高橋 章
西日本高速道路(株)		妹尾 佳
三井住友建設(株)	正会員	山中 康司

1. はじめに

新名神高速道路安威川橋は、大阪府茨木市の北部に位置し、一級河川安威川、府道茨木亀岡線を横過する橋梁である。構造形式は、上り線がPRC8径間連続ラーメン混合桁橋(波形鋼板+PRC箱桁)、下り線がPRC5径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋で、上り線は最大支間長179m、最大桁高11.5mを有する、桁橋形式の波形鋼板ウェブ橋としては世界最大規模のものである。本橋のような桁高の高い波形鋼板ウェブ橋において、既往の設計手法が適用できるかどうかの懸念があった。そこで、非線形有限変形FEM解析と縮小モデルを用いたせん断耐力実験を行い、既往の設計手法の適用性を確認した。波形鋼板ウェブ区間は2種類の張出し架設工法によって施工を行う。下り線P2橋脚の張出し施工においてはブロック長を6.4mとする本橋が初めてとなる工法、その他の区間(標準部)はブロック長を4.8mとする波形鋼板より下床版コンクリートを支持する架設工法を採用した。本稿では、とくに桁高が高く、支間長が長いことに対して設計上留意した点と張出し架設工法について述べる。なお、せん断耐力実験に関する報告は第23回のPCシンポジウムで報告済みのため、詳細は割愛する。

2. 橋梁概要

図-1に橋梁一般図、図-2に断面図を示す。

工事名 : 新名神高速道路 安威川橋 (PC上部工) 工事
 路線名 : 高速自動車国道 近畿自動車道 名古屋神戸線
 発注者 : 西日本高速道路株式会社 関西支社

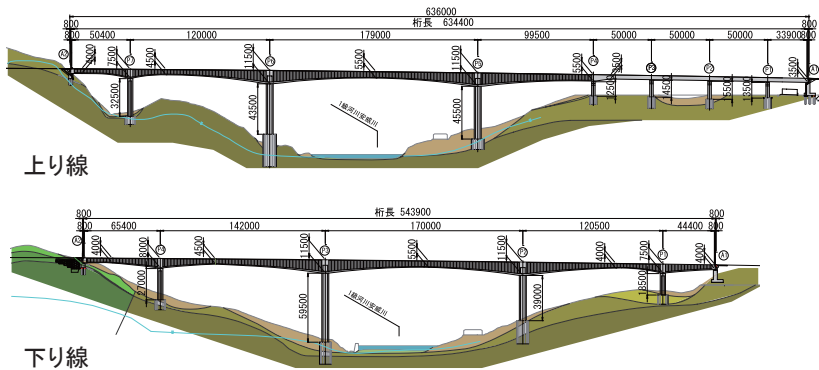


図-1 橋梁一般図

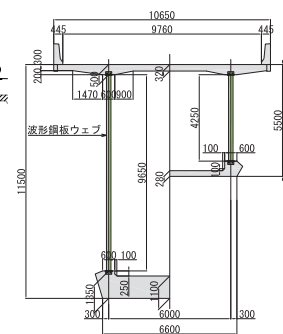


図-2 断面図

3. せん断に対する検討

3. 1 解析結果および実験による知見

本橋のように桁高の高い波形鋼板ウェブ橋の設計に対して、既往の設計手法が適用できるか、非線形有限変形FEM解析とせん断座屈実験による検証にて確認した。

図-3に実験結果と解析結果の比較を示す。実験値の荷重とたわみの関係は、解析結果と比較的一致

している。試験体および本橋の柱頭部近傍はせん断座屈パラメータが1.0程度の非弾性領域に位置している。既往の設計手法を用いた設計上の終局荷重に対し、FEM上の座屈荷重は約1.75倍、実験の座屈荷重は約1.89倍であった。既往の設計手法を適用でき、せん断座屈に対する安全性を実験で確認した。

3. 2 波形鋼板ウェブの設計方法

波形鋼板ウェブ橋は、一般的に断面に生じるせん断力をすべて波形鋼板ウェブで負担するものとして、終局荷重時において局部座屈、全体座屈、連成座屈に対して安全となるように設計している。連成座屈強度は、局部座屈強度と全体座屈強度の累乗和相関式で表わされ、それぞれのせん断座屈強度およびせん断降伏応力度に対して安全となるように設計される。せん断座屈強度は弾性座屈強度とせん断降伏応力度およびそれらを結ぶ非弾性域によって規定されている(図-4)。

3. 3 本橋における波形鋼板の設計

本橋の波形鋼板はSM490YとSM570を使用し、経済性を考慮して板厚が薄くなる鋼材を採用している。せん断力の小さい支間中央ではSM490Yを使用し、桁高が上がりせん断力が大きくなる箇所はSM570を使用している。一般に非弾性域を考慮して板厚を決定しているが、降伏先行型になるようにせん断座屈パラメータを1.0以下としている。その結果、桁高H=11.5mとなる柱頭部近傍においてはSM490Yでは板厚t=25mm、SM570では板厚t=42mmとなったため、SM490Yを採用した。

4. 張出し架設工法について

4. 1 工法の採用について

本橋の波形鋼板ウェブ区間は2種類の張出し架設工法によって施工を行う。架設工法ごとのブロック数の比較を、下り線P2張出し部を用いて図-5に示す。標準部はブロック長を一律4.8mとする工法を採用してブロック数を削減し、工程短縮を狙った。これにより、従来工法の20BLに対して16BLへブロック数を削減できた。さらに、工程上クリティカルとなる下り線P2張出しにおいてはさらなる工程短縮を狙い、ブロック長を6.4mとする新工法を採用した。その結果、1張出しあたり20BLから12BLへ大幅なブロック数の削減が可能となった。

4. 2 張出し架設鋼材について

本橋の張出し架設鋼材は12S15.7の高強度PC鋼材を使用している。これは、せん断力が卓越する張出し架設時に裏打ちコンクリートを設置するため、その剛性を見込んで設計した結果必要鋼材量が増加したためである。本橋のように支間長が長くなると、張出し架設鋼材の配置が課題となる。張出し架

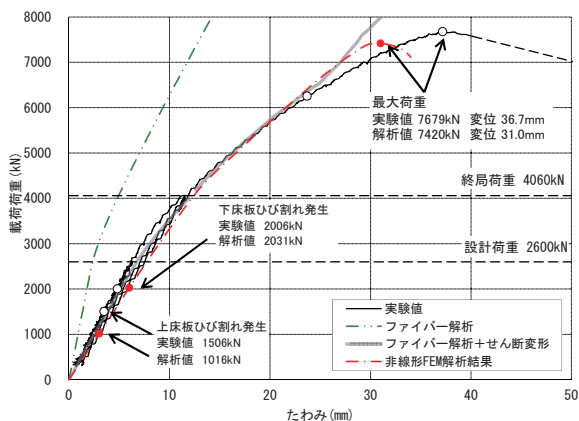


図-3 実験と解析の比較

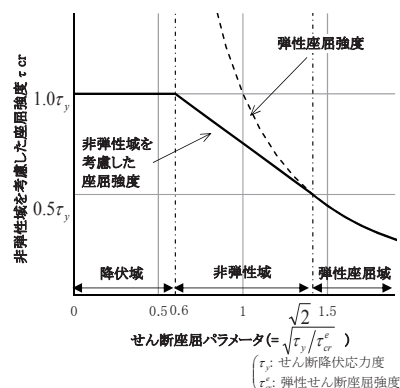


図-4 せん断座屈パラメータ

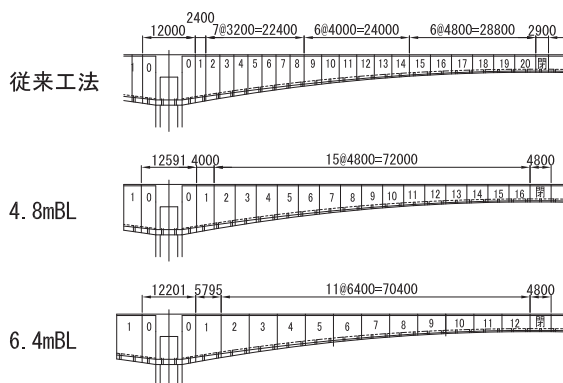


図-5 下り線 P2 張出しブロック数の比較

設鋼材は経済性および維持管理性から上床版内に納めるように計画したが、**図-6**に示すように通常強度PC鋼材(12S15.2)では床版内にケーブルを配置することができなかつたため高強度PC鋼材(12S15.7)を使用し配置本数を低減した。

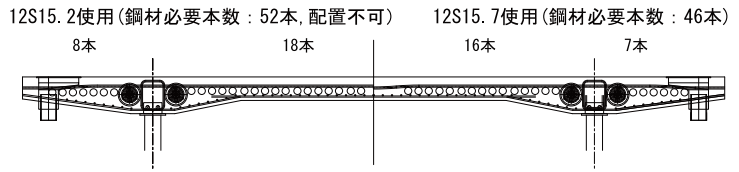


図-6 内ケーブル配置

4. 3 標準ブロックの施工方法

上床版コンクリートは移動作業車から支持し、下床版コンクリートは波形鋼板を用いて支持する工法とした。移動作業車が下床版コンクリートの荷重を受け持たないため、移動作業車の必要能力を抑えることができ、ブロック長を一律4.8mとすることで急速施工を実現している。

下床版コンクリートは波形鋼板に設置しているブラケットから支持されるが、ブラケットの設置位置はFEM解析によって下フランジから1.5mの位置に決定した。ブラケットは波形鋼板ウェブをボルト接合するボルト孔に取り付ける。

4. 4 ブロック長を6.4mとする急速施工の施工方法

下り線P2張出し部での施工ステップを**図-7**に示す。先行架設した波形鋼板に移動作業車を載せ、作業車から直下吊りするかたちでブロック長 6.4m ずつの上下床版コンクリートを打設して張出し架設を進めるものである。本工法は、本橋で初めて採用される工法である。作業車の構造が簡素化されるため作業車の大型化が図れ、ブロック長を6.4m まで伸ばすことでブロック数の削減に寄与する。4.8m BLと比較して4ブロックの削減となるため大幅な工期短縮が可能と判断し、工程上クリティカルとなる下り線 P2 張出し部に採用した。

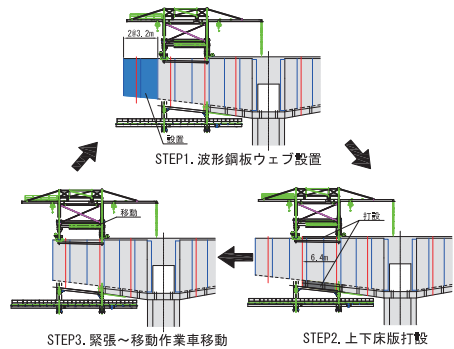


図-7 新工法施工ステップ図

新工法の採用にあたり、張出し架設内ケーブル(12S15.7)の定着本数が1ウェブあたり中間床版側に2本必要となる箇所がある(**図-8**)。内ケーブルの定着体を配置する必要があるため、中間床版の断面形状を変えることで対応した。

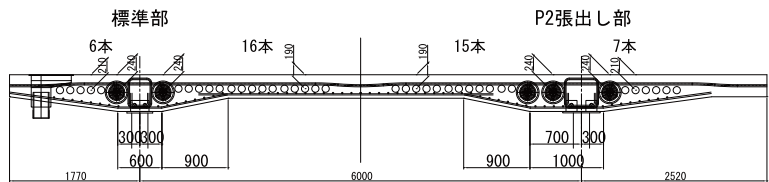


図-8 下り線 P2 張出し部とその他区間の床版の比較

また、床版に高強度PC鋼材を集中的に配置するため、この部分の切り出しモデルによるFEM解析を行った。表面の応力の確認および定着部前面に発生する引張力に対して鉄筋で補強を行った。波形鋼板ウェブのフランジについては、移動作業車の前輪をフランジ上に載せるため、フランジにレールとしての機能を持たせると共に、移動作業車の荷重やコンクリート打設時の荷重に抵抗できるようフランジ寸法を決定した。

5. 設計上の留意点に関する検討

5. 1 ねじりモーメントに対する検討

本橋は、ウェブ間隔と比較して波形鋼板高が高く、L活荷重など偏載荷に伴うねじりモーメントにより発生するそり応力の発生が懸念される。これに抵抗するためには隔壁の設置が有効であり、FEM解析によって隔壁設置数の検討と、ねじりに対する安全性の検証を行った。支間長179mの片側張出し分を

モデル化し、断面にL荷重を載荷した。隔壁の設置数は隔壁を設置しない場合(case1)と、設置数を3箇所(case2)および4箇所(case3)とする場合を比較した(図-9)。

隔壁なしの場合では面外方向への変形が見られ、波形鋼板に曲げ応力が発生したが、隔壁を設置することによって変形・応力が抑制されることを確認した。そり応力は、隔壁の有無や設置数による差はほとんどなく、応力値も $0.2\text{N/mm}^2 \sim 0.4\text{N/mm}^2$ と小さかった。以上より、自重が低減される3箇所設置(case2)を採用した(図-10)。

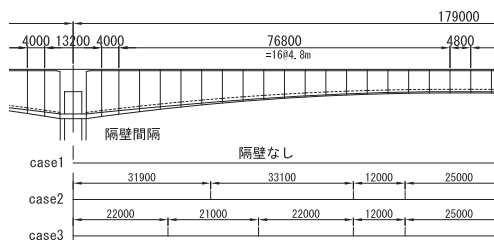


図-9 検討ケース

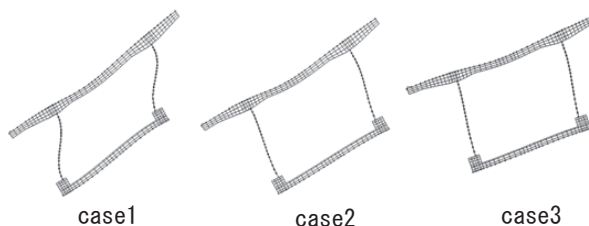


図-10 断面変形状態(L荷重)

5. 2 張出し施工時の横倒れ座屈

桁高が高く、張出し長が長い本橋のような橋梁において、張出し架設時に面外方向への横倒れ変形が懸念される。そこで、中間隔壁施工前の状態での横倒れ座屈に対して、非線形有限変形FEM解析を用いて安全性を確認した。

最大張出し長となる上り線P6R側をモデル化し、ウェブ厚、鋼材の種類は実橋に合わせてモデル化した(図-11)。初期荷重

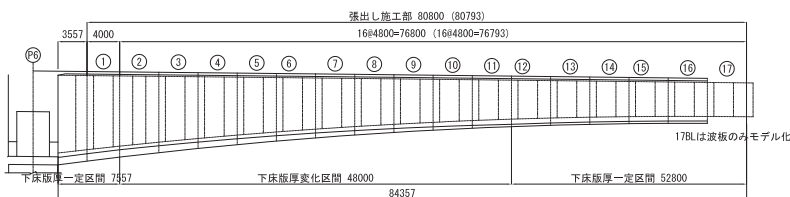


図-11 検討モデル(側面図)

表-1 荷重条件

荷重種別	載荷値	備考
①自重		物体力として載荷
②プレストレス	2150kN/箇所	集中荷重として、各ブロック小口に載荷
③ワーゲン荷重	1350kN	16BL先端床版に面荷重として載荷
④風荷重	1.6kN/m ²	面荷重として載荷

として、自重、張出し架設鋼材のプレストレス、移動作業車荷重、風荷重を載荷している(STEP1)(表-1)。その初期荷重に対して、鉛直荷重を漸増載荷させた場合と橋軸直角荷重を漸増載荷させた場合の2ケ

ース(STEP2)を考慮し、横倒れ座屈の安全性を確認した(表-2)。

表-2 荷重ステップ

解析ケース	載荷STEP1	載荷STEP2
case1	①+②+③+④	①+③
case2	①+②+③+④	④

解析の結果、横倒れ座屈は発生せず、鉛直荷重に対しては自重+移動作業車荷重の約4.4倍、橋軸直角荷重に対しては設計風速の約8.8倍となる風速約350m/sの荷重載荷時に波形鋼板が降伏した。隔壁がない状態においても、張出し施工時の荷重に対して充分安全であることを確認した。

6. おわりに

支間長・桁高共に、完成すれば世界最大規模の波形鋼板ウェブ箱桁橋となる本橋の設計に際し、施工時および供用時の安全性に留意して設計を行った。また施工においては、新工法の採用によって新たな可能性と、施工時の選択の幅を広げることができたと考えている。本報告が今後、同様な橋梁の設計・施工の役に立てば幸いである。

参考文献

- 1) 内堀裕之、高橋章、橋豊、山中康司：桁高の高い波形鋼板ウェブ橋のせん断座屈耐力の検証、プレストレストコンクリート工学会、第23回シンポジウム論文集、2014.10
- 2) 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