

豊田東 JCT-C ランプ第二橋の設計

ドーピー建設工業 (株) 西日本プロジェクトチーム 正会員 ○秦 隆介
 日本道路公団 中部支社 構造技術課 山田 菊雄
 ドーピー建設工業 (株) 西日本プロジェクトチーム 正会員 和田 教志
 ドーピー建設工業 (株) 西日本プロジェクトチーム 正会員 島田 美里

1. はじめに

豊田東ジャンクション C ランプ第二橋は、第二東名高速道路から東海環状自動車道へ渡る橋長 244.0m の波形鋼板ウェブを有する 2 室 PC3 径間連続ラーメン橋である (図-1)。本橋は主桁自重の軽減、高いせん断座屈耐力を有する波形鋼板ウェブを採用した。コンクリートと波形鋼板の接合方法は、上床版側にツインパーフォンドリブジベル (以下 Twin-PBL ジベル) を、下床版側にシングルパーフォンドリブジベルとスタッドジベルを採用した (図-8)。施工方法は P1 橋脚から移動作業車による張出し施工と A1 側径間、閉合部、P2-A2 径間は支保工施工とした。また、P2 橋脚は鋼管内にコンクリートを充填した門型鋼製ラーメン橋脚で、上下部工が剛結されたラーメン構造形式である (図-2)。

本橋の P2 鋼製橋脚は、鋼製橋脚の図心が下床版から 1.25m、上部工の図心が下床版から 1.88m と骨組み解析においては軸線がずれ、71° の斜角を有して 3 ウェブの波形鋼板と鋼製橋脚が接続する。よって、P2 鋼製橋脚付近については FEM 解析を用いて応力を照査することとした。

本稿は、P2 鋼製橋脚と PC 上部工の接続方法、P2 鋼製橋脚部の地震時 FEM 解析による応力状態および、パーフォンドリブジベル (以下 PBL ジベル) の設計について報告するものである。

2. 橋梁概要

工 事 名：第二東名高速道路 豊田東ジャンクション C ランプ第二橋 (PC 上部工) 工事

構造形式：PC3 径間連続ラーメン橋
 (波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋)

橋 長：244.0m

支 間 長：86.0+94.1+61.9 m

幅 員：全幅 12.860m 有効 11.950m

斜 角：A1、P1、A2 : 90° 00' 00"

P2 : 71° 09' 27"

勾 配：縦断 -2.30~-3.16%、横断 -6.5%

平面線形：R=750.0m

構造一般図を 図-1 に示す。

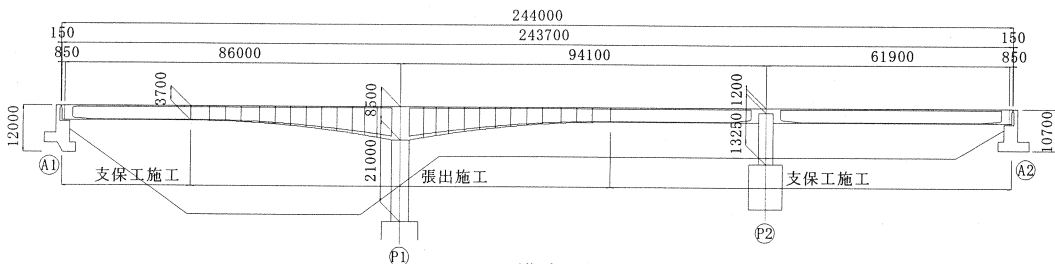
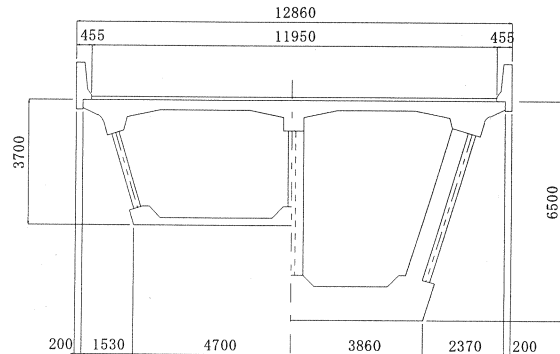


図-1 構造一般図

P2 鋼製橋脚は、図-2 に示すように鋼製橋脚にPC 桁が剛結されている。P2 鋼製橋脚の断面寸法は、橋軸方向に 3.5m、高さ 2.5m $R=0.35m$ である。波形鋼板ウェブは鋼製橋脚と結合する位置まで配置する。将来は、第二東名高速道路の下り線が橋脚の間を通ることとなる。

3. P2 鋼製橋脚

3.1 PC 上部工との接続方法の検討

上部工の鋼製橋脚付け根部ではレベル2 地震時に非常に大きな正負の曲げモーメントが発生する。負の曲げモーメントに対しては、P2 鋼製橋脚の上側 1.2m を、上部工上床版部が通過する形式となるため、外ケーブルおよび橋軸方向鉄筋が連続しており、引張鋼材が切れることがない。一方、正の曲げモーメントに対しては上部工の下面と P2 鋼製橋脚の下面が一致しており、主桁下床版に入る鉄筋は P2 鋼製橋脚で分かれて、引張鋼材が連続しない。そこで、引張鋼材の連続化の方法として以下の提案を行った。

- ① P2 鋼製橋脚に D25 鉄筋が通る穴 ($\phi 60$) を空け、鉄筋を鋼製橋脚にとおす。
- ② P2 鋼製橋脚に鉄筋を溶接する。
- ③ P2 鋼製橋脚を貫通する PC 鋼材を配置して、地震時下縁側に発生する引張力を制御する。
- ④ P2 鋼製橋脚下側に縦リブ・横リブを設けたプレートを取り付け下床板の鉄筋の引張力を横リブより下側プレートに伝達し、P2 鋼製橋脚に伝える。

上記4 種の方法のうち、製作が可能であり、上部工の応力に問題を与えず、施工性の良い、図-3 に示す④案リブによる接合方法を採用した。リブの板厚は、地震時に必要な鉄筋と同等の面積とした。縦リブ、横リブは鉄筋の引張力を下プレートに伝達するとともに、P2 鋼製橋脚架設時、コンクリートの打設前の補強リブとして作用する。

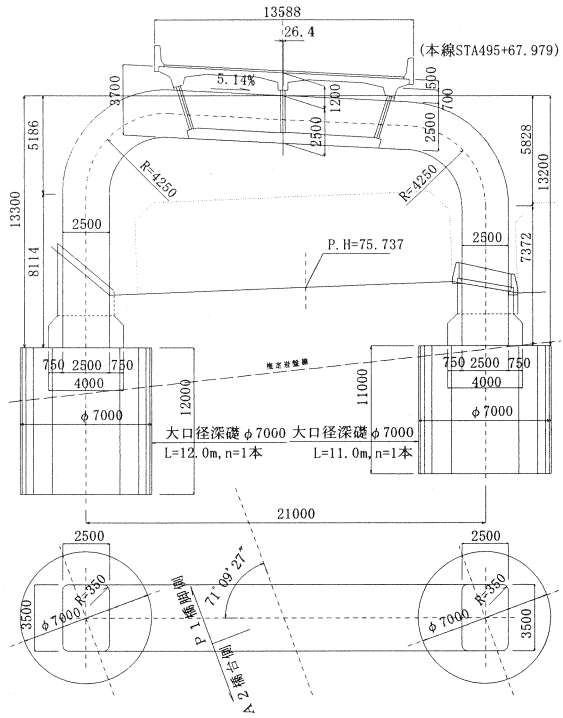


図-2 P2 鋼製橋脚

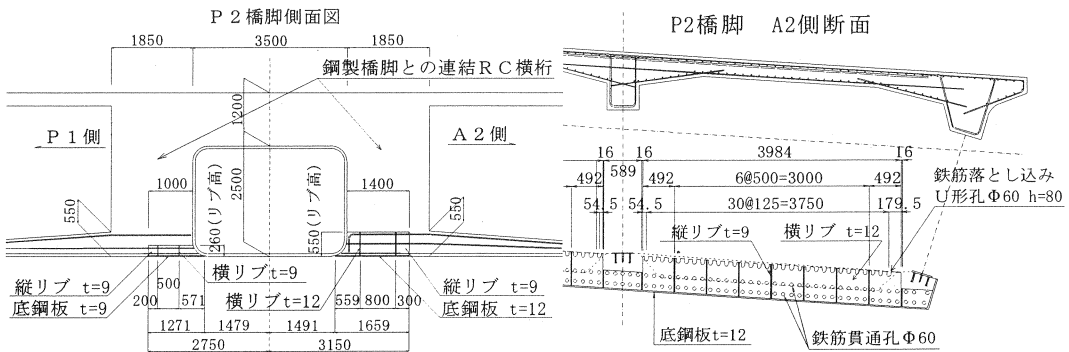


図-3 P2 鋼製橋脚リブ構造

3.2 P2 鋼製橋脚の FEM 解析

FEM 解析においては、立体骨組み解析では局所的な応力の算出が難しいと考えられるため、左右橋脚の R 部の始点と終点と梁部に着目して、FEM 解析により応力を照査した。荷重状態は設計荷重時とレベル 2 地震荷重時—タイプ II で行った。

設計荷重時 右柱 R 始点部に着目した FEM 解析結果を図-5 に示す。同じ検討位置での骨組み解析による応力度では、 196N/mm^2 に対して FEM 解析では 137N/mm^2 となった。地震荷重時 (レベル 2 タイプ II) において、骨組み解析による応力度では、 447N/mm^2 に対して、右柱 R 終点での FEM 解析では 419N/mm^2 となった。以上より、FEM 解析による応力は、設計時において約 70%、地震時において 90% となり安全性が確認できた。

図-6 に上記地震時の変形を示す。この変形図より左右柱の変形に大きな差がないことより、P2 鋼製橋脚の斜角、上部工の平面線形による影響は大きくなかったと考えられる。

図-7 に設計荷重時の波形鋼板に作用するせん断応力を示す。この応力分布より P2 鋼製橋脚近傍ではせん断応力が減少している。これは P2 鋼製橋脚横に、外ケーブルの定着と P2 上部工と P2 鋼製橋脚を一体化するための RC の横桁を設けたことによる (図-3)。横桁近くでのせん断応力の減少は、P1 橋脚の裏打ちコンクリートの波形鋼板ウェブにおいても確認できた。

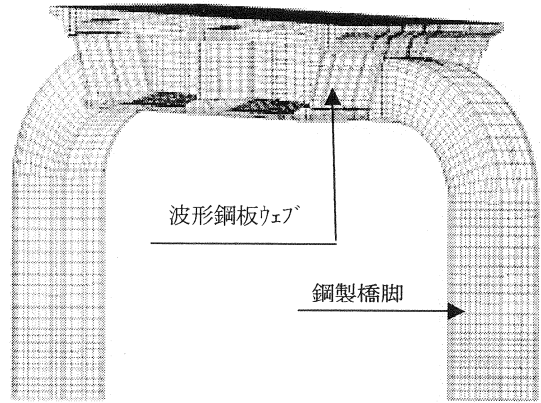


図-4 P2 鋼製橋脚の FEM 解析モデル

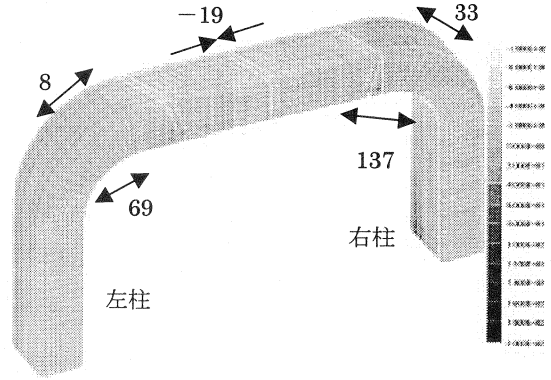


図-5 設計時 鋼製橋脚 主応力度 (N/mm^2)

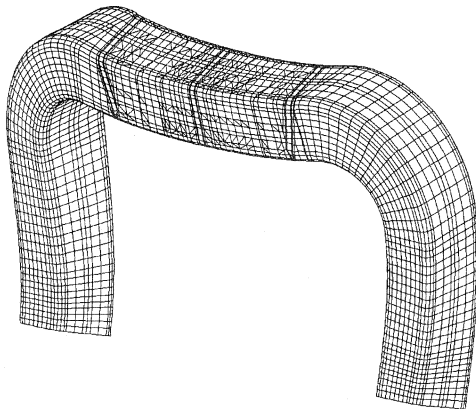


図-6 地震時 鋼製橋脚の変形

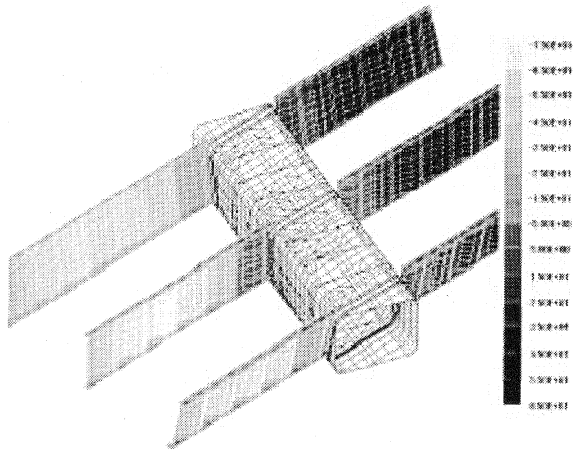


図-7 波形鋼板 せん断応力度 (N/mm^2)

4. パーフォンドリブの設計

上下床版と波形鋼板の接合を PBL ジベルにより行う。PBL ジベル構造を図-8 に示す。PBL ジベルの設計は、接合部に生じる曲げモーメントによる水平せん断力（ずれせん断力）と橋軸直角方向の首振りモーメントに対して行った。

本橋は、上床版と波形鋼板の接合に PBL ジベルを 2 枚並列させた Twin-PBL ジベル構造を用いている。終局荷重時の PBL ジベル孔 1 個当たりのせん断耐力については、土木学会（案）式

により算出するが、本橋の PBL ジベルは、床版部よりかぶりの少ないウェブ部に配置するため（図-9）、押抜き実験を行い、せん断耐力の確認を行った。Twin-PBL ジベルの押し抜き実験より 1 枚の PBL ジベルに比べ耐力低下が確認されたことから、せん断耐力 qu に耐力低下係数 α を乗じるものとした。以下に計算式を示す。

$$qu = (1.85 \cdot A - 106.1) \cdot \alpha \quad (1)$$

$$A = \left\{ \frac{\pi \cdot (d^2 - \phi_{st}^2)}{4} \cdot f'_{cu} + \frac{\pi \cdot \phi_{st}^2}{4} \cdot f_{st} \right\} \cdot \frac{1}{1000} \quad (2)$$

ここに、 qu : 終局荷重時の PBL ジベル孔 1 個当たりのせん断耐力

f'_{cu} : コンクリートの設計圧縮強度

d : 孔径 (mm)

ϕ_{st} : 貫通鉄筋の鉄筋径 (mm)

f_{st} : 貫通鉄筋の引張強度 (= 490N/mm²)

α : 耐力低下係数

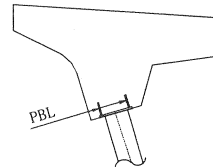


図-9 PBL ジベル配置

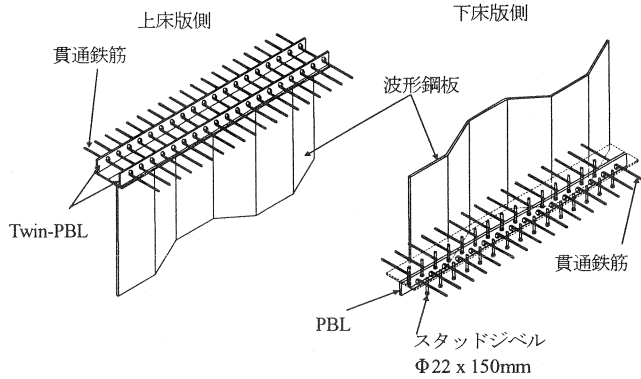


図-8 PBL ジベル構造

5. おわりに

本橋は、P2 橋脚にコンクリートを充填した円形の鋼製橋脚に PC 上部工を剛結した特異な構造である。また、上部構造には軽量化を目的として波形鋼板ウェブを採用している。以下に検討結果をまとめる。

- ① PC 上部工と P2 鋼製橋脚の接合には、上部工の鉄筋を鋼製橋脚に取り付けた鋼板と縦・横リブにより接合する構造とした。
- ② P2 鋼製橋脚は、FEM 解析により十分な安全性が確認できた。
- ③ 波形鋼板のせん断応力はコンクリート横桁部で応力度が緩和された。
- ④ Twin-PBL ジベルの設計においては、押抜きせん断実験の結果をふまえて、せん断耐力を土木学会(案)の式から算出される耐力に低減係数を乗じて求めた。

第二東名高速道路 豊田東ジャンクション C ランプ第二橋 (PC 上部工) 工事は平成 16 年秋の工事竣工を目指し工事を進めている。本稿報告が今後の設計に何らかの参考資料となれば幸いである。

参考文献 1) 忽那、蝦名、武部ほか：「波形鋼板ウェブ PC 橋の外ケーブル定着を考慮した断面における接合方法のせん断耐力の研究」 第 12 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、2003.10. - 投稿中

- 2) 土木学会 新形式の鋼・コンクリート複合橋梁調査研究小委員会孔あき鋼板ジベルWG：孔あき鋼板ジベル設計マニュアル (案) 2001.11