

広幅員一面吊り長大エクストラードズド橋における主桁斜材定着部の設計

大成建設(株)	正会員	博(工)	○細谷	学
西日本高速道路(株)	正会員		大城	壮司
西日本高速道路(株)			前原	直樹
大成建設(株)・(株)ピーエス三菱JV	正会員	工修	水谷	正樹

キーワード：エクストラードズド橋，斜材定着部，鋼殻，波形鋼板ウェブ橋

1. はじめに

新名神高速道路生野大橋は，橋長606m，幅員25.15m（暫定時），35.40m（完成時）のPRC7径間連続波形鋼板ウェブエクストラードズド橋である（図-1）。主塔および主桁斜材定着部（以下，斜材定着部と呼ぶ）が中央分離帯に設置された一面吊り構造であり，斜材（37S15.7mm）は橋軸直角方向に2本が並列に，鉛直方向には9段配置されている（図-2）。主塔側の斜材定着にはサドル構造を採用している。本橋は一面吊り構造のため，斜材張力を導入すると主桁中央の斜材定着部に大きな引張力が集中するため，斜材定着部およびこれが設置される主桁部分は，この大きな引張力に耐えられる構造でなければならない。本橋では種々の検討を行うことにより，斜材定着部に鋼殻構造を採用して比較的小型で簡素な構造を実現することができた。本稿では，斜材定着部の設計について報告する。

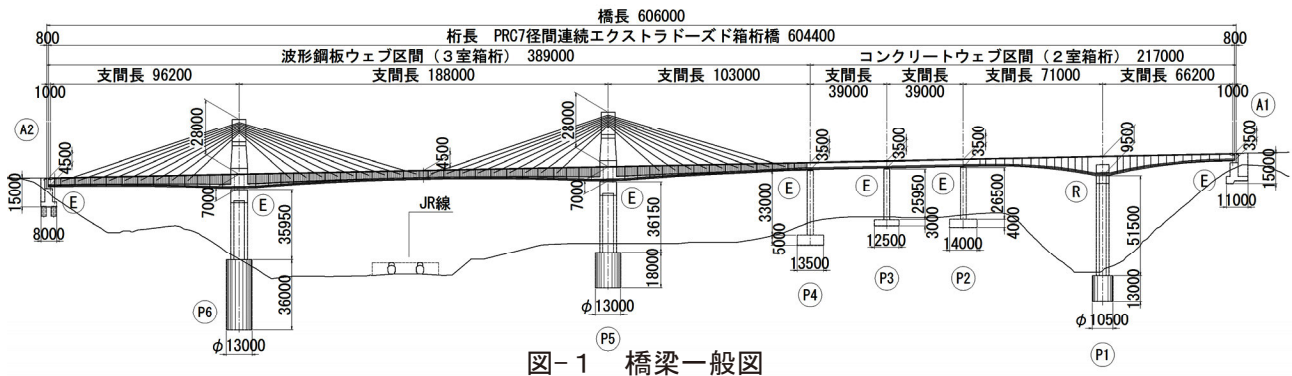


図-1 橋梁一般図

2. 斜材定着部の設計に対する基本的な考え方

PC斜張橋やエクストラードズド橋の斜材定着部や斜材定着横桁には，コンクリート構造を採用することが多く，本橋でも基本設計の段階ではコンクリート構造が採用されていた。しかし，3次元FEM解析により各部材の応力状態を確認したところ，いくつかの部位で $10\text{N}/\text{mm}^2$ を超える引張応力が発生することが確認された。これに対して，形状寸法の変更やPC鋼材の追加などを検討したが，十分な効果が見られなかったため，斜材定着部の構造を初めから見直すこととした。

本橋と構造が似ている豊田アローズブリッジ（広幅員一面吊りで2本の斜材が並列配置されたPC斜張橋）は，斜材張力の主桁への伝達経路が本橋と同様であるが，斜材定着部に図-3のような鋼殻構造を採用することで合理的な構造を実現している¹⁾。ここでは斜材張力は，斜材→定着梁→シャイベ（定着板）→横桁（鉛直力）および上下床版（水平力）と

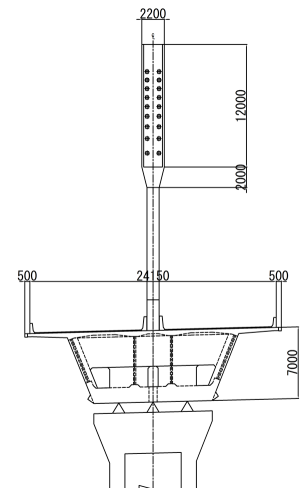


図-2 主桁断面図(P6)

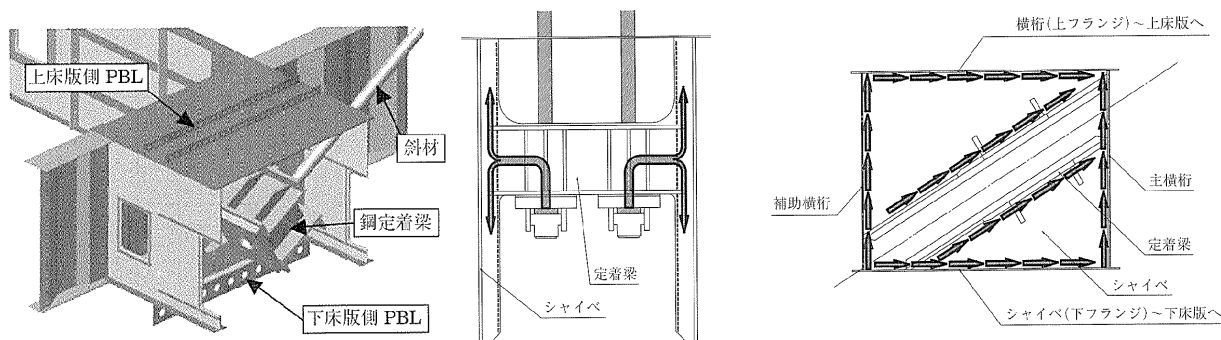


図-3 豊田アローズブリッジにおける斜材定着部および斜材張力の伝達経路¹⁾

いう経路で伝達され、鋼殻と上下床版は孔あき鋼板ジベル（以下、PBLと呼ぶ）で接合されている。本橋もこれと同様の構造を検討することとした。ただし、本橋は豊田アローズブリッジに比べて、斜材1本当りの張力が約60～70%、斜材定着部の設置される中セルのウェブ間隔が72%と若干小規模のため、より小型で簡素な構造を目指した。図-4は本橋における斜材定着部の鋼殻構造のモデル図である（半断面）。前後の横桁（①および②）と縦シャイベ（③）が、豊田アローズブリッジの主横桁および補助横桁、シャイベに概ね該当する。横シャイベ（④）は、ガイドパイプ（⑤）および縦シャイベと接合し、豊田アローズブリッジの定着梁に比較的似た構造ではあるが、ガイドパイプは前後の横桁とも接合しており、この部分

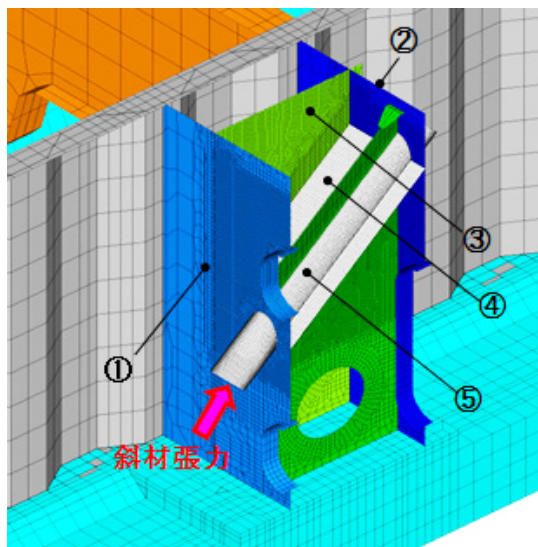


図-4 斜材定着部鋼殻構造のモデル図

が豊田アローズブリッジの構造と異なる。本橋では、支圧板で受けた斜材張力が直接ガイドパイプに伝達され、支圧板→ガイドパイプ→横シャイベ→縦シャイベ→（鉛直力：横桁→波形鋼板ウェブ／水平力：上下フランジ→上下床版）という伝達経路を想定している。しかし、実際には鋼殻全体が、ひとつの塊として斜材張力を支持し、波形鋼板ウェブ、ダイヤフラムおよび上下床版に伝達している状態に近いと考えられる。なお、後述するように、鋼殻と上下床版との接合には、豊田アローズブリッジと同様にPBLを採用した。

3. 基本構造の検討

斜材定着部の鋼殻構造を写真-1に示す。移動作業車の揚重能力およびハンドリングを考慮して、鋼殻は上下に2分割とし、現地で高力ボルトで接合する構造とした。図-1に示すように、斜材定着部は36箇所あり、斜材角度や桁高がそれぞれ異なるため、全箇所について設計を行った。検討に用いた斜材張力は、架設時の許容応力度の割増しを考慮した場合、より厳しい状態となる設計荷重時の6200kN/本（=0.6Pu）とした。斜材定着部の設計フローを図-5に示す。ここではガイドパイプに伝達された斜材張力が横シャイベに100%伝達されると見なして設計を行ったが、実際には前後の横桁も斜材張力を分担していると思われるため、後述する3次元FEM解析によりこの影響を確認した。各部材の設計概要を表-1に示す。



写真-1 斜材定着部の構造

斜材定着部の設計フローを図-5に示す。ここではガイドパイプに伝達された斜材張力が横シャイベに100%伝達されると見なして設計を行ったが、実際には前後の横桁も斜材張力を分担していると思われるため、後述する3次元FEM解析によりこの影響を確認した。各部材の設計概要を表-1に示す。

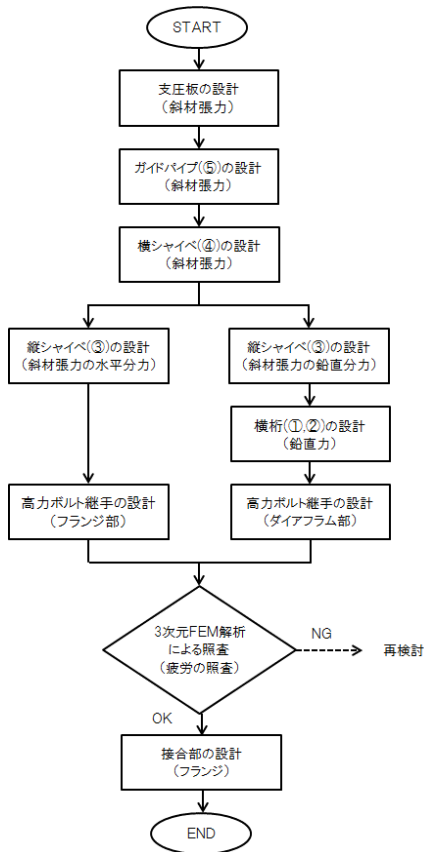


図-5 設計フロー

検討の結果、支圧板は SM400 で板厚は 60mm、これ以外の部材は SM490Y で、板厚は 32mm (ガイドパイプ), 40mm (横シャイベ), 24mm (縦シャイベ), 25mm (前後の横桁) となった。

4. 3次元FEM解析による詳細な検討

3章で設計された構造に対して、応力集中や想定していない力の流れによって過大な応力が発生しないことを確認するために、3次元FEM解析を実施した。図-6に解析モデルを示す。斜材角度の影響を考慮するため、斜材角度が最大および最小となる最上段斜材と最下段斜材の2箇所を検討した。モデル化は鋼殻だけでなく、実際に斜材が導入される状態を模擬して、外側セルに配置するダイヤフラム (図-6のオレンジ色部分)、次ブロックの下床版と波形鋼板ウェブもモデル化した。これにより、波形鋼板ウェブと鋼殻との接合部やダイヤフラムの応力状態も確認できた。使用した要素は、鋼板部分はシェル、上下床版のコンクリート部分はソリッドとした。解析モデルは斜材緊張時を模擬したが、斜材張力は、3章と同じ設計荷重時の6,200kNとした。鋼殻と上下床版との接合は剛結とした。解析の結果、基本的には3章の構造で問題ないが、図-7に示す3箇所については応力集中により、約210N/mm² (①)、約360N/mm² (②)、約230N/mm² (③) の大きな引張応力が確認されたため、①は縦シャイベの形状変更、②はリブの追加、③の開口部のダブリング補強で対応した。

表-1 各部材の設計概要

<p>①支圧板 アンカーヘッドから作用する支圧力に対して照査</p>	<p>②ガイドパイプ 斜材張力によりガイドパイプに作用する圧縮力に対して照査</p>
<p>③横シャイベ ガイドパイプから伝達されたせん断力に対して照査</p>	<p>④縦シャイベ 横シャイベから伝達されたせん断力の水平分力に対して照査</p>
<p>⑤縦シャイベ (鉛直力) 横シャイベから伝達されたせん断力の鉛直分力に対して照査</p>	<p>⑥横桁 縦シャイベから伝達されたせん断力の鉛直分力に対して照査</p>

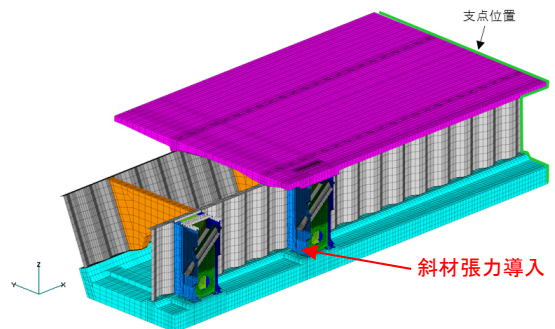


図-6 FEM解析モデル図

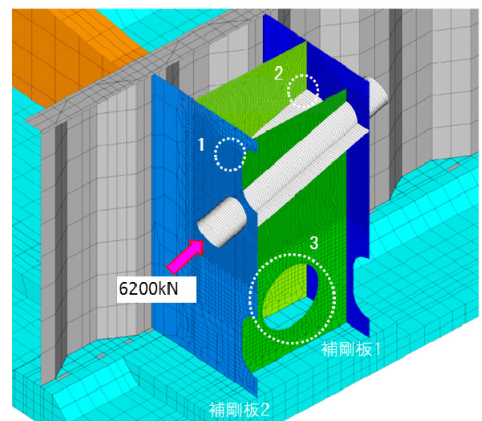


図-7 大きな応力集中の発生箇所

5. 上下床版との接合部に対する検討

鋼殻と上下床版コンクリートとの接合部は、当初はスタッドジベルで検討したが現実的な配置が困難であり、結果的にPBLを採用した。PBLに生じる力は、図-6の解析モデルで剛結にした部分を図-8のように水平および鉛直方向のバネ要素に置換し、そこに発生する力を算出した。PBLのばね値は図-9により $1.5 \times 10^6 \text{ kN/m/個}$ とした²⁾。PBLは、橋軸方向および橋軸直角方向に作用する水平せん断力に対して設計要領第二集に従って設計した。PBLに作用する水平せん断力がPBLの耐力以下であることを照査するとともに、鉛直方向の引張力が作用する箇所では合成せん断力に対しても照査を行った。ただし、PBLは水平せん断力にのみ抵抗するものとし、鉛直方向の引張力に対しては別にアンカーボルトを設置して抵抗させた。これは、この部分は重要部位であることから安全側に対応したためである。結果的に決定したPBLの諸元は、材質SM490Y、板厚16mm、ジベル孔径55mm、孔ピッチ115mmである。PBLが設置される上下床版コンクリート部は、別途FEM解析を行い、床版の増厚および補強鉄筋の配置で対応した。

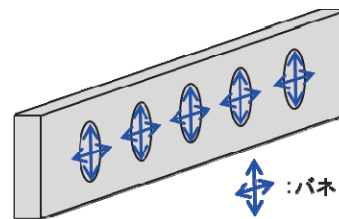


図-8 PBL のモデル化

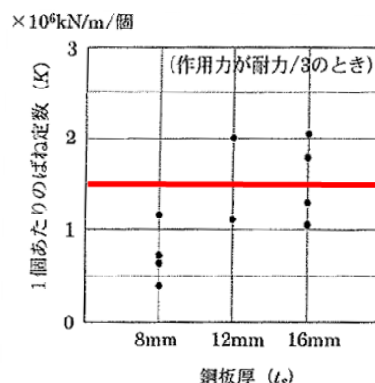


図-9 PBL のばね定数²⁾

6. 疲労に対する検討

本橋の鋼殻構造は、基本的には鋼板同士を溶接して構成しており、隅肉溶接を基本とし、応力の厳しい箇所は開先溶接とした。溶接部の疲労に対しては、FEM解析により照査を行った。図-6の解析モデルを用いて、斜材ケーブルの変動応力の制限値 (50 N/mm^2) に相当する斜材張力を鋼殻に作用させ、各部材に局所的に発生する引張応力が当該部材の継手等級より決まる打ち切り限界を下回っていることを確認することとした。結果として、打ち切り限界の最小値が 32 N/mm^2 であるのに対して、最大でも 10.9 N/mm^2 の引張応力しか生じない (図-10) ことから、疲労に対して問題ないことを確認した。

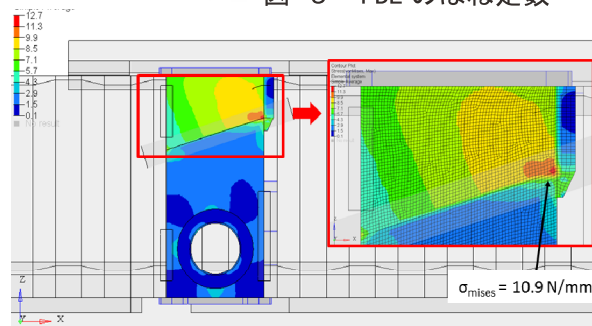


図-10 発生応力度が最大となる箇所

7. おわりに

本稿では、斜材定着部の鋼殻の検討について報告したが、同様の検討の一助になれば幸いである。なお、斜材張力が、斜材定着部およびダイヤフラムからどのように主桁に伝達されるかについては、別途、FEM解析により確認を行っている³⁾。本稿の執筆時点では、斜材9段のうち6段までが緊張済みで、ここまで順調に施工を続けている。本年の秋頃には斜材緊張が完了している予定である。

参考文献

- 1) 寺田典生, 上東泰, 山本徹, 奥山元: 第二東名高速道路 矢作川橋の設計, プレストレストコンクリート, Vol. 46, No. 5, p. 14~22, 2004年9月
- 2) (社)プレストレスト技術協会, 複合橋設計施工基準 (PC技術基準シリーズ), 2005年12月
- 3) 新庄皓平, 細谷学, 福田雅人, 高次渉: 広幅員一面吊り長大エクストラード橋の斜材張力の主桁伝達に関する検討, プレストレストコンクリート工学会, 第24回シンポジウム論文集, p. 603-606, 2015年10月