

## 武庫川橋における主塔側定着構造について

三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部 正会員 ○桑野 昌晴  
 西日本高速道路(株) 関西支社 建設事業部 福田 雅人  
 西日本高速道路(株) 関西支社 新名神兵庫事務所 上原 浩揮  
 三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部 正会員 諸橋 明

### 1. はじめに

武庫川橋は、新名神高速道路の高槻JCT-神戸JCT間に建設される、橋長442.2m、支間100.0mのPRC5径間連続エクストラードズドバタフライウェブ箱桁橋<sup>1)</sup>である。図-1に全体一般図を示す。本橋の吊構造化に際しては、幅員構成と斜材角度の関係から、断面中央での1面吊り分離定着方式とする必要があった。しかしながら、主塔幅が中央分離帯幅の1.35m以内に制限され、従来の分離定着方式では、主塔内部で斜材を定着する十分な内空幅を確保できなかった。そこで、狭幅なスペースでも設置可能な、1枚鋼板と2本のコンクリート柱からなる、新しい分離定着方式の主塔構造を開発した。本稿では、武庫川橋における新しい主塔側定着構造の概要と、実験での構造成立性の確認について報告する。

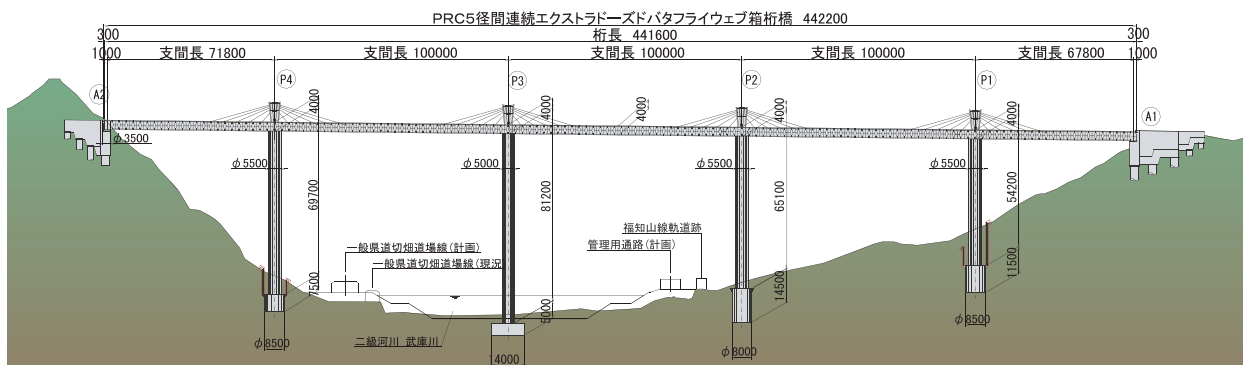


図-1 全体一般図

### 2. 主塔側定着構造の概要

#### 2.1 本構造の開発に至る経緯

本橋は将来、両外側に拡幅の可能性がある暫定幅員で発注されており、上下線一体の主桁断面を有している。よって吊構造化に際して、両側に主塔を設置できないため、断面中央の1面吊り構造とする必要があった

(図-2)。また、斜材は容量19S15.7の並列ケーブルの5段配置であり、15度から45度の急な角度を有している。このため、サドル方式では、斜材ケーブルの最小曲げ半径確保が困難であることから分離定着方式に限定された。しかしながら、主塔幅が中央分離帯幅の1.35m以内に制限されるため、鋼殻やコンクリートから成る従来の中空構造の分離定着方式(写真-1)では、十分な内空幅の確保が困難である。そこで、1枚鋼板と2本のコンクリート柱から構成される新しい分離定着方式の主塔定着構造を開発した。本橋の主塔構造図を図-3に、主塔完成パースを図-4に示す。

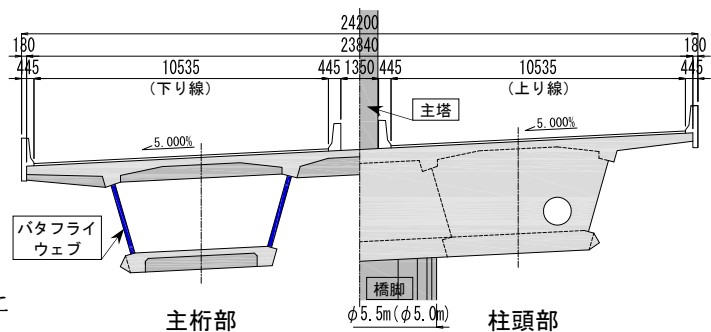


図-2 標準断面および幅員構成図

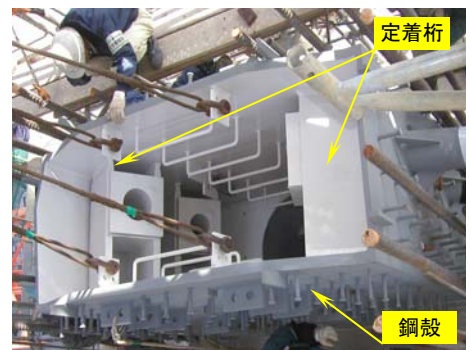


写真-1 従来の分離定着方式の例

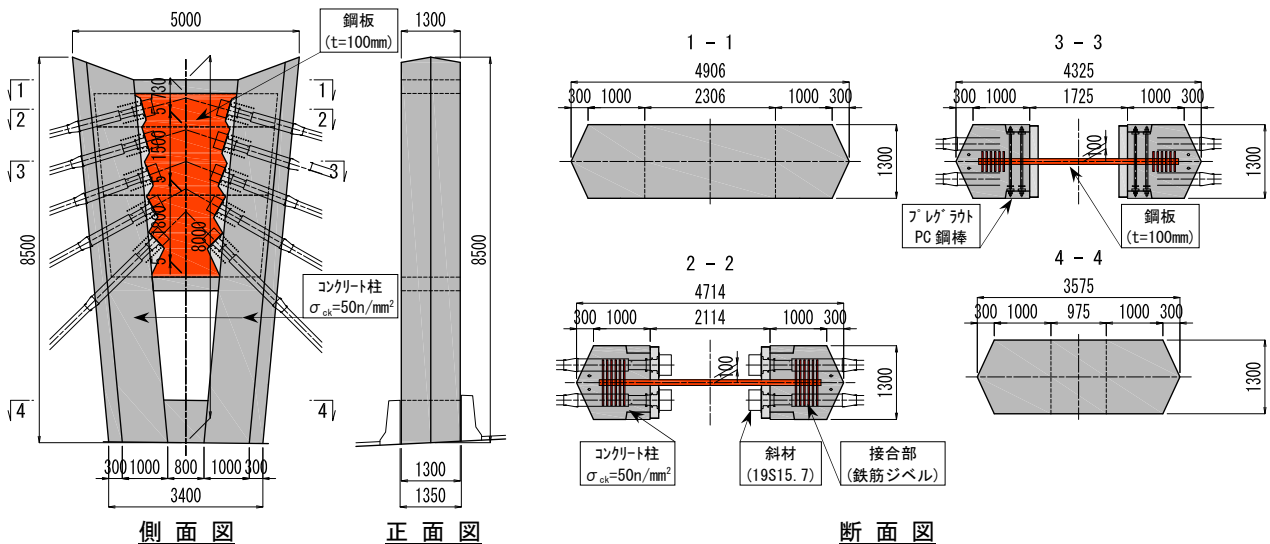


図-3 主塔構造図

## 2.2 新しい主塔構造の概要

従来の分離定着構造は、内部で斜材を定着した中空断面の部材が、斜材張力による水平分力と鉛直分力の両方を支持する構造である(図-5①)。これに対し今回の主塔構造では、斜材が定着される両外側2本のコンクリート柱と、中央に配した1枚の鋼板からなり、並列2本の斜材を鋼板をはさむように定着する構成とした(図-5②)。これにより、斜材定着部は外部に開放され、1.35mと狭幅なスペースに主塔を設置した場合でも、十分な作業空間を確保できる。

本構造の概要を説明する。斜材が定着されたコンクリート柱は、鉛直分力による軸方向の変形と、水平分力による水平方向の変形が作用する。ここで、コンクリート柱に埋込み接合された鋼板は、接合部を介して水平方向に変形するコンクリートに抵抗し、鋼板の左右に作用する水平力を支持・相殺する。鋼板は、鉛直方向に3分割としており、これらはボルトや溶接による連結はおこなわず、むしろ積極的にすき間を5mmあけることで、鉛直力が伝達しない構造としている。これにより、コンクリート柱は鉛直力を、鋼板は水平力を明確に分担して支持する構造となる。本構造の予備設計では、鋼板にすき間を設けた立体FEM解析(図-6)を実施し、荷重伝達機構の整合性や発生応力度などの検証を行うとともに、鋼板の必要板厚を100mmと算定した。

## 3. 構造成立性の確認実験

### 3.1 本構造における課題

本定着構造の鋼板は、後述する鉄筋ジベルによりコンクリートと接合する。この場合、斜材張力はコンクリートと鋼板の接合部界面のせん断力として伝達し、次にそのせん断力が鋼板の両側から鉄筋ジベルを介して鋼板の引張力として作用する機構である。本構造の実現に当たっては、図-7および下記に示すような課題が考えられた。

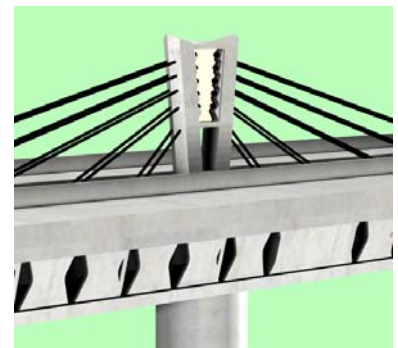


図-4 主塔完成パース

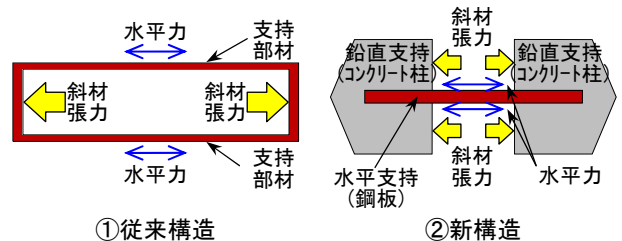


図-5 斜材張力の負担イメージ図

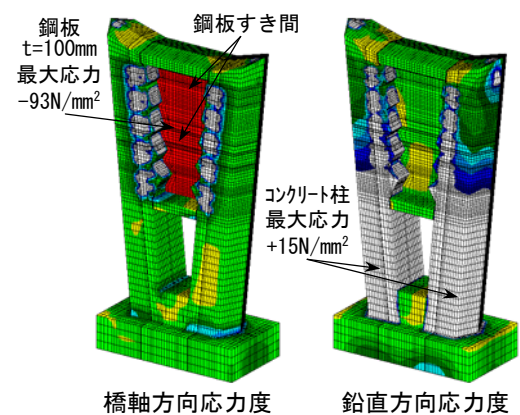


図-6 立体FEM解析(死荷重時)

- ① コンクリートから鋼板へ適切に力を伝達するジベル構造の選定
- ② 斜材張力による偏心モーメントにより、定着部付近のコンクリートが鋼板からはがれる力が作用
- ③ 実構造物の耐力と計算上の耐力の整合性

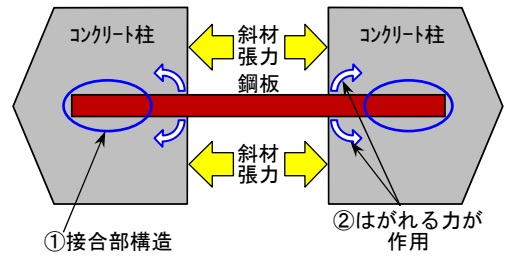


図-7 本主塔構造の課題

①について、通常用いられる接合方法としてPBL接合が挙げられるが、本構造へ適用する場合、鋼板の板厚が

100mmと非常に厚いため、コンクリート打設時におけるジベル孔内へのコンクリート未充填が懸念された。そこで、鋼板のジベル孔に鉄筋を差し込んだ状態で樹脂充填により固定し、ずれ止めを形成した状態でコンクリートを打設する接合方法を用いることとした。この鉄筋ジベルによる接合構造は、PBLなどと構造は類似しているものの、鉄筋の支圧や定着長によりその耐力およびずれ変形が異なると予想されたため、ジベル単体の要素実験により荷重-ずれ変位特性や終局耐力を得ることとした。

②については、鋼板に貫通孔をあけてPC鋼棒を配置し、これを緊張することでコンクリートの鋼板からはがれを抑えることとした。

③については、①や②の対策も包括した実物大断面の切出しモデルによる荷重載荷実験を行い、解析で得られる耐力や現象との整合性確認を行った。

### 3.2 鉄筋ジベル接合の要素実験

図-8に要素実験供試体図を示す。本実験の供試体は、D25のジベル鉄筋を固定した厚肉鋼板の両側にコンクリートを打設し、鋼板にジベル鉄筋を埋め込んで作成した。ここで、本構造では、定着部近傍に鉄筋ジベルを配置することから、定着長が100mmと250mmの2種類の鉄筋ジベルを用いる必要があった。したがって、供試体は各定着長のものを2基ずつ、計4基作成し、定着長の違いによる影響も考慮できるようにした。実験では、厚肉鋼板に鉛直荷重を与えて鉄筋ジベルにせん断力を作用させ、荷重によるずれ変位の特性と終局時荷重を測定した。

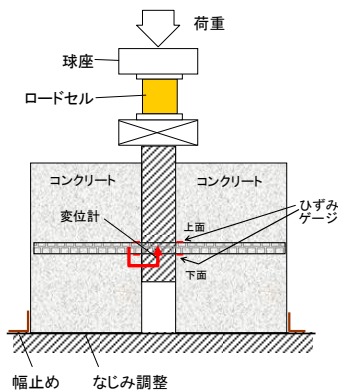


図-8 要素実験供試体



写真-2 要素実験状況

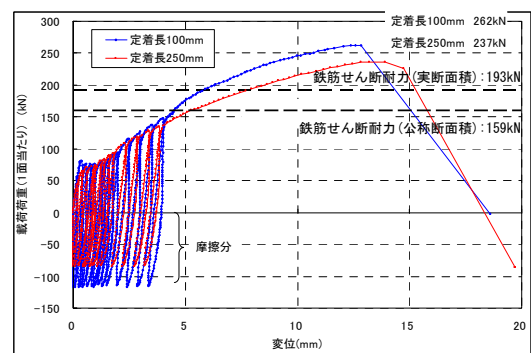


図-9 荷重-ずれ変位特性と終局耐力

実験状況を写真-2に、実験で得られた荷重-ずれ変位特性と終局耐力の結果を図-9に示す。なお図-9の測定値は、コンクリートと鋼板の摩擦による影響を考慮している。本実験より、鉄筋ジベルの終局耐力は、計算で求められる耐力を十分に満足することを確認した。また、定着長が100mmの場合と250mmの場合で、荷重-ずれ変位特性や終局耐力はほぼ同等であり、定着長による差は見られないことが分かった。

### 3.3 実物大切出しモデルによる載荷実験

#### (1) 立体FEMによる事前解析

実験に先立って、立体FEM解析により供試体に作用する応力度の検

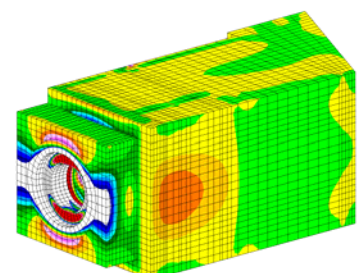


図-10 FEM解析結果

討を行った(図-10)。なお、実供試体の挙動を忠実に再現するため、コンクリートと鋼板の界面は接触状態(圧縮→伝達 引張→変形)で評価した。このFEM解析の結果からは、特に有害な応力は認められなかった。

(2) 実物大実験について

実物大実験供試体図を図-11に示す。本供試体は、主塔構造の一部を切り出して、載荷試験に適するように縮尺1/1で再構成した。供試体の鉄筋ジベル配置個数は片側48個であり、実構造での最小配置個数よりもさらに少ない個数とするなど、再構成および載荷荷重等の設定にあたっては、より不利な条件を付与することとした。

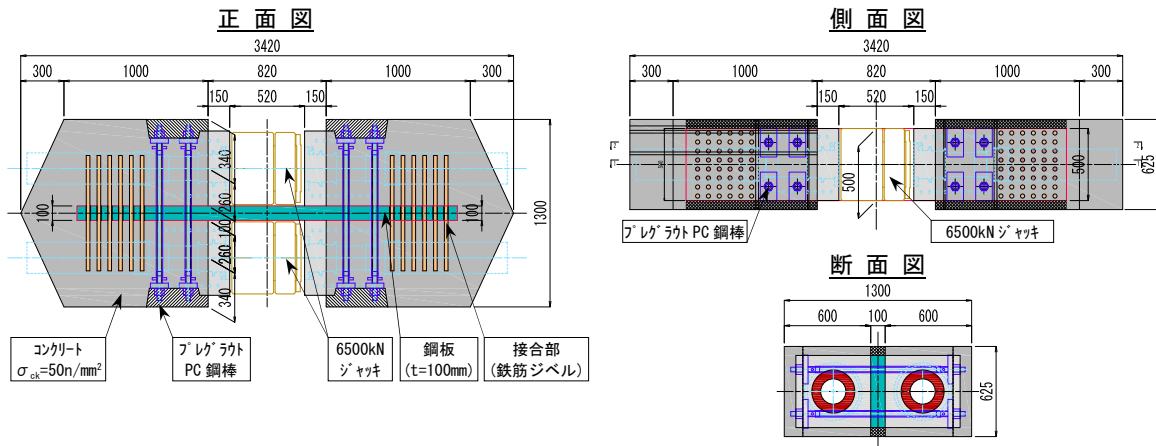


図-11 実物大実験供試体

実験は、図-12に示す荷重載荷パターンのように静的単調載荷とし、供用限界状態の0.6Pu相当まで単調に載荷した後、1時間荷重を保持して試験体に変状がないことを確認した。次に、終局限界状態のPyまで載荷してひび割れ等を確認後、5分放置して終局まで載荷した。

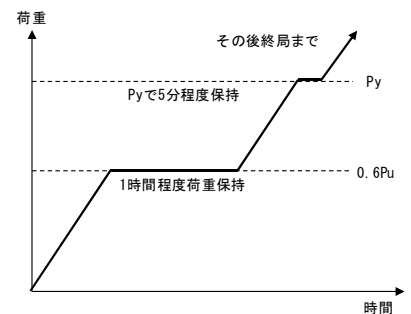


図-12 荷重載荷パターン

図-13に実物大実験の結果を示す。本実験では、終局限界状態のPyを超え、Pu相当の荷重まで載荷したが、供試体の破壊には至らず、鉄筋ジベル個数が実構造の配置個数以下であっても、十分に耐力を有していることが確認された。ここで、計算値①は要素実験で得られた荷重-変位曲線で得られた結果を元に算定したケース、計算値②は変化点Aでのせん断力を鉄筋の降伏強度で規定したケース、計算値③はジベルの群効果を考慮したケースである。荷重の小さい領域では計算値③とほぼ一致した挙動を示し、その後、Pyでジベルの塑性化にともなう剛性の低下が発生し、計算値②と一致した挙動を示していた。

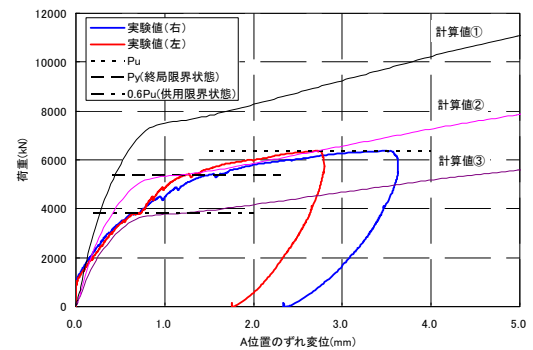


図-13 実物大実験の結果

4. まとめ

今回の新しい主塔構造は、鉄筋ジベルの要素実験や実物大実験により、その構造成立性が確認された。本構造は、武庫川橋の主塔構造に採用しており、狭幅なスペースでの主塔設置を実現している。

本構造が主塔構造の新しい選択肢の一つとして、今後の橋梁技術発展の一助となれば幸いである。

参考文献

1) 水野, 福田, 上原, 諸橋: 武庫川橋の計画: 第21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, pp. 13-16, 2012. 10