

1. 長大橋の合理的な構造形式 — ラチストラス橋勢（紀勢宮川橋） —

技術委員会 設計小委員会

1. はじめに

紀勢宮川橋は、近畿自動車道紀勢線のうち三重県多気郡大台町から度会郡大宮町にかけて一級河川宮川を渡る橋長 537m、最大支間 90m の中間支点剛結 7 径間連続鋼ラチストラス橋であり、構造部材の 96%（部材数ベース）が形鋼で構成されている合理化トラスである。構造的な特徴としては、格間長を小さくしたダブルワーレントラス形状（＝ラチストラス形状）としていること、格間長を小さくしたことにより上弦材にて直接床版を支持することが可能となり、その結果として床組構造を省略していること、主部材に H 形鋼を使用していること、耐震性向上のため 7 径間 8 つの橋脚のうち中央部の 4 橋脚部で上部工トラスと下部工橋脚とが剛結されていることなどが挙げられる。また、これらの構造的な特徴と格間長が小さいことにより得られた高剛性を利用した張り出し架設によって、従来形式のトラスからの大幅なコストダウンが可能となり、経済性に優れた形式となっている。

2. 橋梁諸元および工事概要

以下に工事概要を記す。また、図-1 に紀勢宮川橋の一般図を示す。

橋 梁 名：紀勢宮川橋（きせいみやがわきょう）

工 事 名：近畿自動車道（紀勢線）宮川橋（鋼上部工）工事

橋梁形式：鋼 7 径間連続ラチストラス橋（上路橋、一部橋脚と剛結）

橋 長：537.0 m

支 間 長：56.25 + 81.5 + 90.0 + 90.0 + 90.0 + 70.0 + 57.75 (m)

総 幅 員：10.400 m（拡幅部：14.400 m）

有効幅員：9.000 m（拡幅部：13.000 m）

主構間隔：5.8 m（主構高 = 7.0 m）

縦断勾配：2.437% ↘ ↙ 2.400%

横断勾配：2.5%一定

平面線形：クロソイド (A=700) ~円 (R=2000) ~クロソイド (A=700) ~直線

床版形式：場所打ち PC 床版

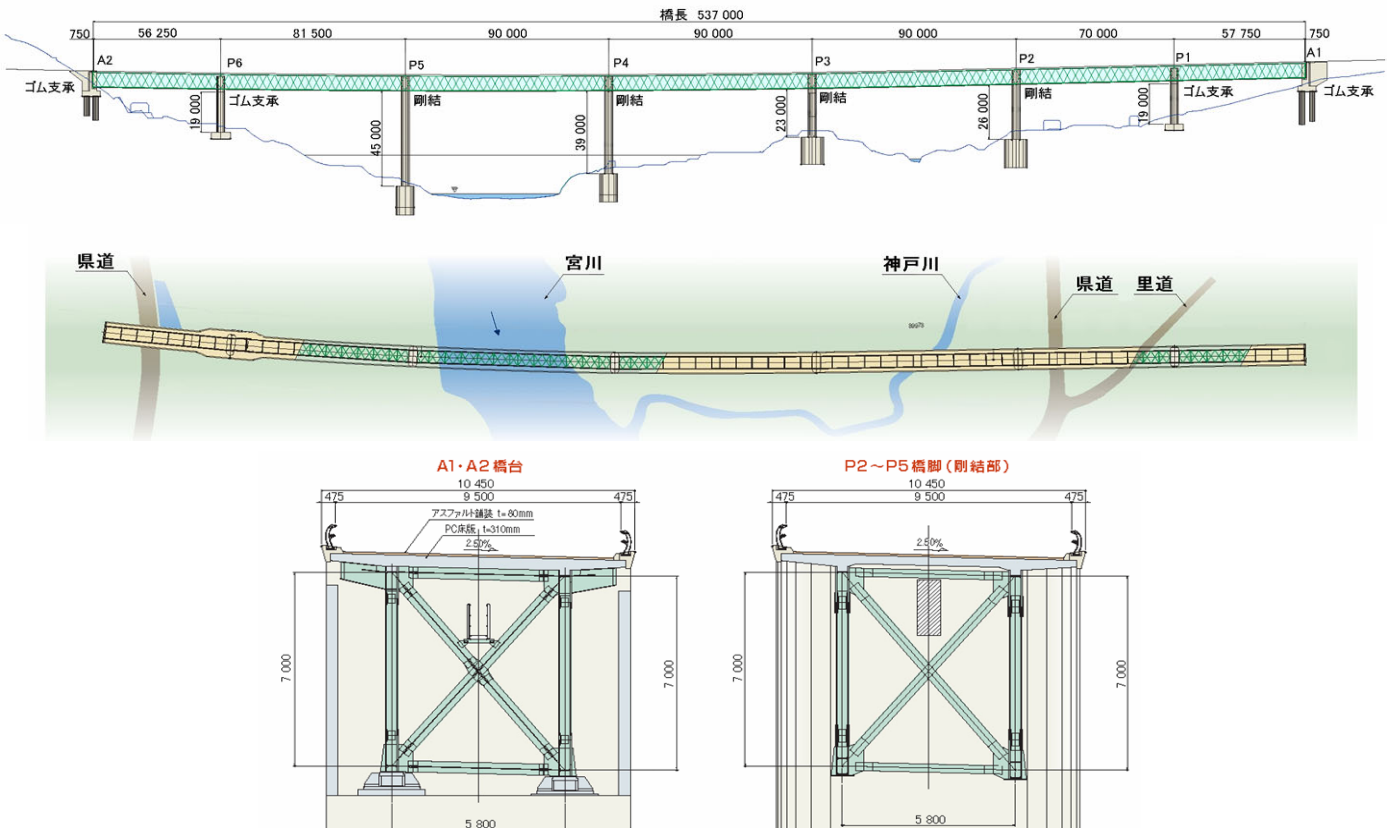


図-1 紀勢宮川橋一般図

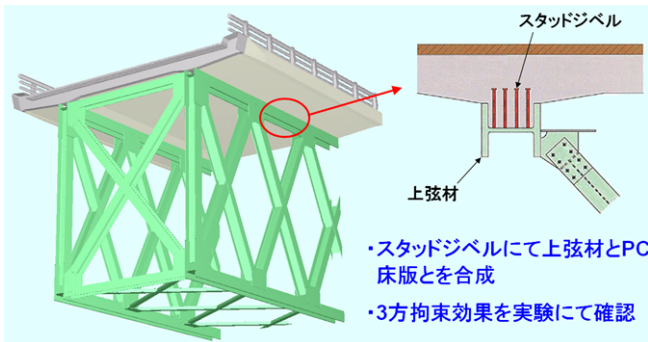
使用鋼材：SM570, SM490Y, SM400, SS400, S10T, SD345
 架設工法：クレーンベント架設+トラベラークレーン張出し架設
 発注者：中日本高速道路株式会社松阪工事事務所

3. 紀勢宮川橋のコンセプトと技術的特徴

紀勢宮川橋のコンセプトは「安く、早く、安全に」であり、このコンセプトに基づいた技術的特長としては以下のものが挙げられる。

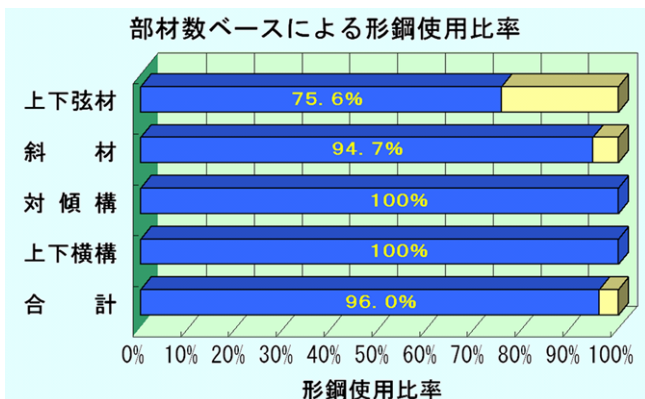
3. 1 国内初となる PC 床版とラチストラスの合成トラス構造

→上弦材と床版とを合成させることで上弦材断面を合理化し、非合成時より形鋼化率 16%増、鋼重 16%減を実現



3. 2 主要部材の形鋼化

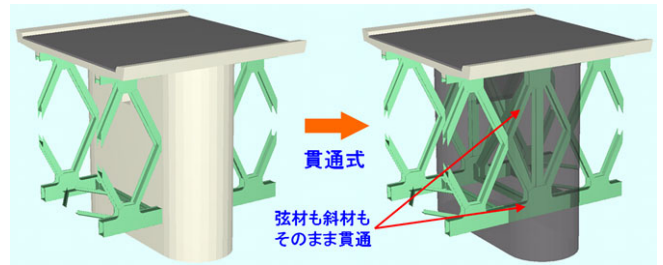
→主要部材を形鋼化することで製作工数を削減し、従来形式より大型材片数 70%減、溶接延長 95%減、切断延長 90%減を実現



3. 3 国内初の鋼トラスとコンクリート橋脚との貫通式剛結構造

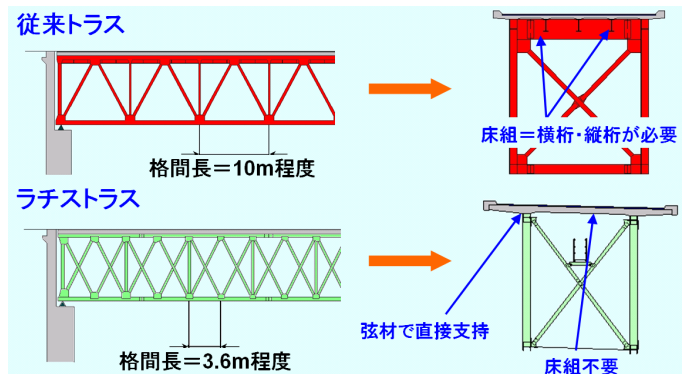
→支承を省略することで初期コストを低減し維持管理性を向上
 →主構が連続しているためトラベラークレーンに

よる連続張出し架設が可能に
 →剛結構造・設備を別途必要としないため橋脚構築と主構の製作との間に制約が無く、予め剛結構造・設備の埋め込み不用
 →施工工程に自由度があり上部工の工場製作と橋脚の構築が平行作業で可能



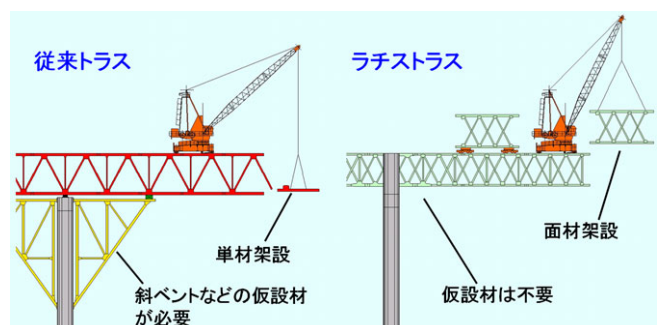
3. 4 床組構造の省略による合理化

→格間長が小さいため上弦材にて直接床版を支持しても床版支間が大きくなる
 →PC 床版を採用することで床組構造を省略でき、床組のある従来トラスより部材数 10%減、鋼重 15%減を実現



3. 5 ラチストラスの高剛性を利用した張出し架設

→格間長が小さいため鉛直荷重に対する曲げ剛性が高く、斜ベントなどの仮設材無しでの張出し架設が可能となり、仮設材の必要な従来工法より架設費 10%減、架設工期 3 ヶ月短縮を実現



4. 設計概要

4. 1 床版の設計

床版は場所打ち PC 床版として設計した。PC 床版の形式として、全面固定型枠による場所打ち PC 床版と移動型枠による場所打ち PC 床版、プレキャスト PC 床版との比較を行い、経済性および工期短縮の面から全面固定型枠による場所打ち PC 床版を採用した。床版支間は主構間隔である 5.8m、張出し長は標準部で 2.3m (平均)、非常駐車帯拡幅部で 4.3m (平均) であり、使用 PC 鋼材は 1S21.8 のアフターボンド PC ケーブルで、標準部で 500mm ピッチ、非常駐車帯拡幅部で 250mm ピッチで配置している。

4. 2 床組の設計

上弦材にて直接床版を支持することにより床組を省略している。よって、上弦材に直接床組系断面力が作用することとなり、上弦材および床版からなる合成断面に対しては主構系応力度と床組系応力度との重ね合わせを考慮している。なお、重ね合わせ時の許容応力度の割り増しは道示Ⅱ12.8により 1.0 である。

4. 3 主構の設計

主構は床版を一定せん断流パネルで考慮した 3 次元立体骨組みモデルによる静的解析およびレベル 2 地震動に対する時刻歴応答解析により得られた断面力に対して設計した。また、形鋼を用いたラチストラスという構造形式のため、格間長(L)が標準で 3.6m、上下弦

材の部材高さ(H)が H 形鋼部で 417mm より $H/L=1/8.6 > 1/10$ となり、格点剛結による二次応力が無視できない範囲となる。このため、骨組み解析では上下弦材を格点で剛結させ、トラス部材ではなく梁部材を用いてモデル化している。

使用断面は表-1に示す H 形鋼を基本とし、中間剛結支点部近傍の下弦材など大きな断面力が作用する部位はビルトアップされた箱断面を用いている。部材間の接続は高力ボルトによる摩擦接合としており、形鋼サイズの違いにより生ずる段差はフィラープレートを含み込むことで対処した。形鋼を用いた格点部構造の概要を図-2に示す。

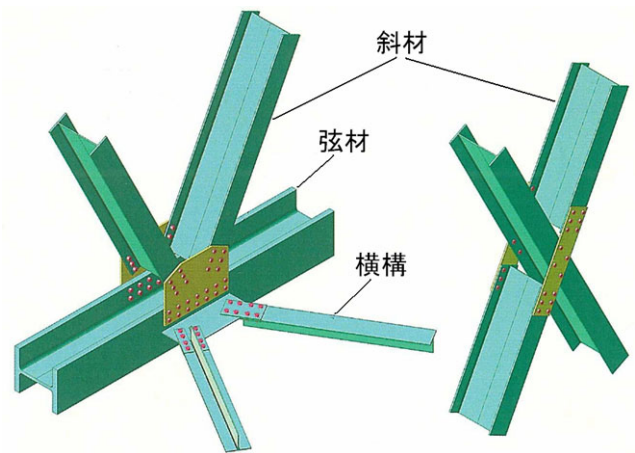


図-2 格点構造

主部材に形鋼を用いることの問題点として、形鋼どうしの添接については呼びサイズが同一であっても寸法公差により段差が生じるということがあがるが、鋼材ロールの段階での精度管理およびロール順序と使用箇

表-1 使用形鋼一覧

H 形鋼	主構上下弦材			主構斜材		
	H-428×417×30×35	H-458×417×30×50	H-458×437×50×50	H-450×250×9×16	H-440×300×11×18	H-450×250×12×28
C T 形鋼	中間対傾構			支点上対傾構		
	H-175×175×7.5×11	H-400×400×13×21	H-414×405×18×28	H-428×417×30×35	H-458×417×30×50	
C T 形鋼	上下横構					
	CT-144×204×12×10	CT-165×251×10×10	CT-200×200×12×22	CT-223×302×13×21		

所とを適切に選択することにより、通常の鋼板によるビルトアップ断面と同程度の部材精度を確保した。公差については「5. 製作概要」を参照とする。

4. 4 剛結部の設計

剛結部の構造は、コンセプトの3で示したようにトラス構造を連続させて橋脚コンクリート中を貫通させる貫通式構造としている。橋脚コンクリートとの接合は、上下弦材に配置した頭付きスタッドジベルにより接合させている(図-3)。斜材や支点上対傾構などの腹面による支圧でも上部工断面力を橋脚コンクリートに伝達していると考えられるが、設計上では上下弦材のスタッドで全断面力を伝達させるよう必要本数を算定している。

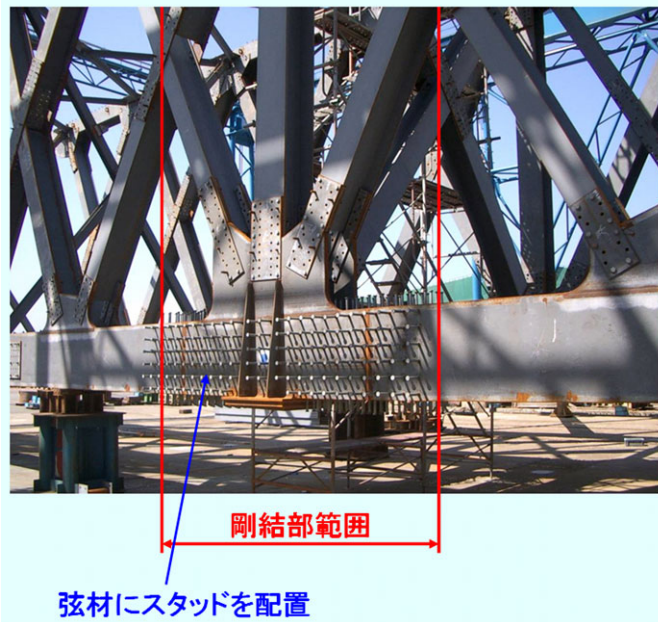


図-3 剛結部スタッド

剛結部の設計手法としては、骨組み解析により得られる同部の作用力に対して鋼部材のみで抵抗するものとして断面決定し、細部まで忠実にモデル化した FEM 解析によって応力度の照査を行うという手法をとっている。FEM 解析の結果、鋼部材については骨組み解析による断面決定を若干下回る程度の応力度であり問題は無かったが、コンクリート部材については鋼部材との境界部において卓越した応力が発生しており、補強鉄筋の配置や弦材突出部を弾性体でコーキングすることで応力レベルを低減させるという対処を行った(図-4)。



図-4 弦材突出部の弾性体によるコーキング

5. 製作概要

5. 1 鋼材の調達

紀勢宮川橋では、初期コストの低減のため積算段階から使用する形鋼については橋梁用形鋼ではなく市場に多く流通している一般形鋼を用いることとなっていた。一般形鋼は、通常の橋梁用形鋼に比べると断面寸法・表面品質における要求精度が低く設定されているため、許容される断面寸法公差が継手の品質や構造に影響を及ぼすほど大きく、塗装品質に影響を与える表面キズについても特にキズのサイズや深さなどについて規定されていない。

表-2に主構弦材(主に下弦材)に使用している H-458×437×50×50 の場合の JIS G3192 による許容公差を示す。

表-2 JIS G3192 による許容公差 (mm)

辺	高さ	厚さ		中心の偏り	ウェブの反り
B	H	web (t1)	flg (t2)	S	δ
±3.0	±3.0	±2.0	±2.0	±3.5	2.5以下

隣り合う部材で上表の公差の最大値が逆方向に現れると、全ての添接部に形鋼厚さの実測を反映したフィラープレートを挿入する必要が生じること、主構造の最終的な組立て精度に影響を与える部材高およびフラ

ンジ幅が部材ごとに大きくばらつくことなどより、調達する形鋼に対して道路橋示方書の部材精度に準じた基準値を設定し、部材精度に規定されていないその他寸法については JIS 公差の 2/3 を目標管理値と設定した。これに基づき、形鋼については各サイズ・材質ごとに一括ロールするとともに、可能な限り製鋼ロール順に部材を配置することとし、結果として継手部のファイアプレートは全ての箇所設計値通りに製作することが可能であった。

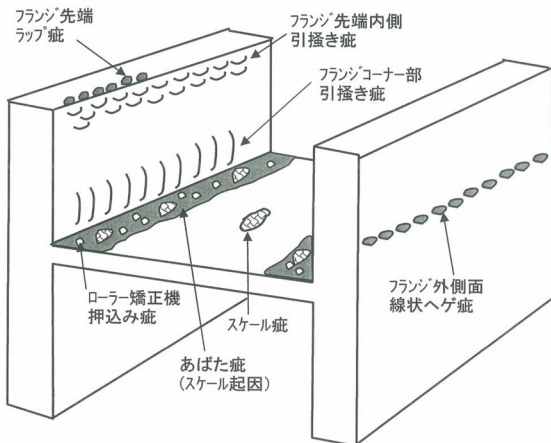


図-5 H 形鋼の代表的な表面きず

次に表面品質について、H 形鋼に特有の表面きずの発生位置とその特徴を図-5 に示す。これらの表面きずは圧延から成形の製造過程で発生するもので、板厚の大きい H 形鋼材にはより顕著に発生する傾向がある。JIS においては、一般用形鋼材にはアバタ深さに関する規定はないが、橋梁用形鋼材では 0.4mm と規定されており、今回は JIS に倣い規格値を設けること、H 形鋼材には避けられないアバタ、ロール疵などのうち大きなものは補修した後に加工作業を行うことにより対処した。補修の要否判断については、事前に試験塗装を行い、その結果よりきず深さが 0.2mm 以上の箇所は周囲との段差をなくすようにグラインダにて補修することとした。

5. 2 形鋼の加工

形鋼を用いたラチストラスである紀勢宮川橋ではトラス構成部材の 96% が形鋼であり、部材製作はすなわち形鋼の切断および部材添接用高力ボルト孔の孔明け作業となる。よって、製作工数を削減してコストを縮減することは、孔明け作業をいかに効率的に行うかとはほぼ同意である。そこで、今回は NC・H 形鋼用多軸孔

明け機を用いることで製作精度確保と作業の効率化を図った。多軸孔明け機での孔明け状況を図-6 に示す。



図-6 H 形鋼用多軸孔明け機

NC・H 形鋼用多軸孔明け機は、NC データを基にしてウェブとフランジとを同時に孔明けすることが可能であり、H 形鋼をトンボする必要も無く部材の位置決めも自動で行われるため、非常に効率良く孔明け作業を行うことが可能であった。

5. 3 頭付きスタッドジベルの溶植

紀勢宮川橋では、その特徴の一つである上弦材と床版との合成を実現するために、上弦材と床版とは頭付きスタッドジベルで接合されている。通常、頭付きスタッドジベルを溶植するに当っては、溶植の熱影響による部材の収縮や形状変化を予め考慮して部材長を調整したり逆歪を付けるなどの対処が必要である。しかし、今回は弦材断面を H 形鋼で構成していることから、従来の薄板による箱断面と比べてスタッド溶植部の部材厚が大きく、H 形鋼のウェブ面、つまり断面の重心位置近傍への溶植となり、スタッド溶植の熱影響による調整は不要であることが事前の確認試験で判明したため、溶収縮などを見込まない製作寸法を設定できた。

5. 4 仮組み立て

紀勢宮川橋は、ほとんどの部材を形鋼で構成した新形式の橋梁であり、形鋼公差が組み立て精度に与える影響も心配されたことから、実仮組立によって精度確認を行った。

仮組立は、図-7 に示すように、まず主構トラス面を寝かせた姿勢で平面仮組立を行い（第 1 段階、図-

7左側)、その後主構面のうち支点近傍の面部材のみを立て起こして支点上対傾構や下横構などの二次部材を組み込んで立体仮組立を行った(第2段階、図-7右側)。立体仮組立は支点近傍しか行われていないが、全体の精度を確認するために下弦材と下横構については支点近傍の立体仮組立と連続させた形で全橋分平面組を行っている。



図-7 仮組み立て状況

5. 6 塗装

5.1 鋼材の調達で述べたとおり、厚板 H 形鋼特有の表面きずが塗装作業に与える影響は大きなものである。事前の試験塗装にて深さ 0.2mm 以上のきずは補修することとしていたが、0.2mm 以下のきずであっても、図-8に示すように塗装によってきずが目立つことが分かる。図-8は最終層まで塗装する前段階のものであるが、この後の塗膜厚管理によってきずが目立たないよう仕上げている。



図-8 表面きずが塗装に与える影響

川上の P4~P5 橋脚間で閉合した。図-9に架設要領図を示す。

架設構造系は、完成系で橋脚と剛結される P2~P5 中間橋脚を、仮支承(鋼板による簡易型 BP・A 支承)を用いることで可動支承構造とした 7 径間連続桁として設計しており、トラス架設完了後に仮支承の移動を拘束して仮剛構造とし、橋脚コンクリートを打設して完全剛結とした。その際、仮支承は主構とともに剛結部コンクリート中に埋め込まれる構造となっている。

6. 2 地組立

紀勢宮川橋は、格間長が小さいラチストラス形式であり、従来トラスやプレートガーダーに比べて主構の剛性が高いという特性を有しているため、張出し架設時に斜バントなどの仮設材を必要としない。また、張出し部の先端に大きな荷重をかけられるため、単材ではなく面材での架設が可能であり、それによって工期短縮を図ることが可能である。

面材架設を行うためには、予め工場から搬入されてきた単材を地組立する必要があるが、今回は P1, P6

6. 架設概要

6. 1 概要

主構の架設は、地理的条件ならびに工期等から A1, A2 橋台の両方向からクレーンバント工法とトラベラクレーン張出し工法とを併用して行い、最終的に宮

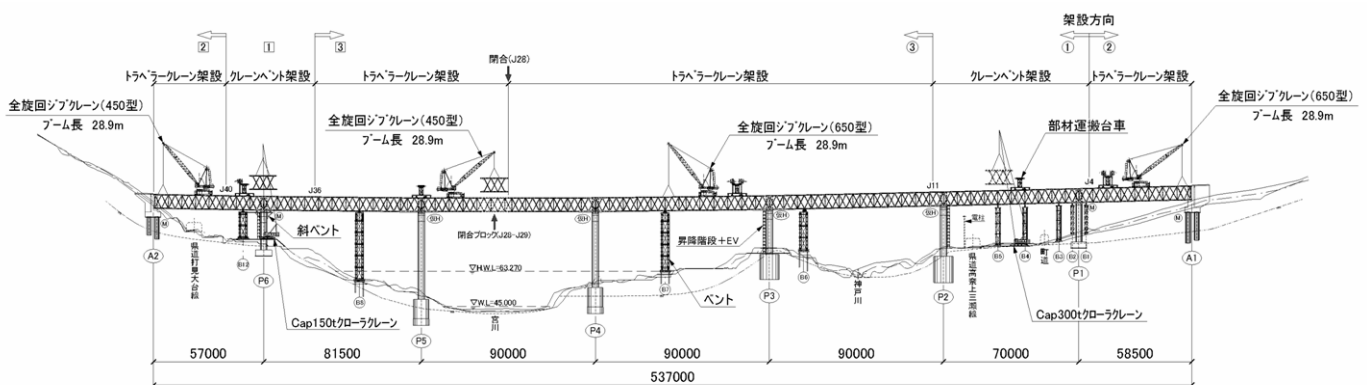


図-9 紀勢宮川橋架設要領図

橋脚付近に設けた作業ヤードで地組立を行った。地組立は上下弦材および斜材からなる腹面を平組みし、高力ボルトを本締めすることで行っている。図-10に地組立の状況を示す。



図-10 地組立状況

6.3 主構の架設

主構の架設は、作業ヤードに近接するP1, P6 橋脚付近からA1, A2 橋台に向かってクレーンベント工法で先行架設し、主構上を張出し架設の基地として張出し架設用トラベラクレーンの組立場や地組立主構部材の荷取り場として利用しながら行った。主構上の部材運搬には電動モータ式自走台車を用いたが、地組立て部材の運搬用と2次部材や仮設材等の運搬用とを使い分けて運搬作業の効率化も図っている。

地組立てした面材を上記方法にて架設した後、対傾構・上下横構を組み付けて高力ボルトの本締めを行いトラス断面を構成させている。対傾構についても予め地組立を行っており、通常トラスのような単材架設を行ったのは横構のみである。



図-11 閉合状況

閉合部材については、予め架設誤差を見込んで製作しておき、閉合直前の架設系で現場実測を行ってその結果に基づいて調整加工した上で現場搬入した。閉合・連結時の状況を図-11に示す。

7. おわりに

本工事によって、同形式橋梁の設計手法や製作方法、構造の特色を生かした架設工法の選定に道筋をつけることができた。これにより、地形的にも制約のある長径間橋梁の形式選定の幅を広げることができたものと確信している。

最後に、本工事において様々なご助言をいただいた「東海北陸自動車道 鋼トラス橋の合理化構造に関する調査研究委員会」(委員長：依田昭彦早稲田大学理工学部教授)の皆様や、中日本高速道路(株)の皆様、工事関係各位に深く感謝の意を表します。

8. 参考文献

- 1) (株)横河ブリッジ：テクニカルレシンプレットNo. 22
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I～V，丸善株式会社，平成14年3月
- 3) 日本規格協会：JISハンドブック，2003年1月
- 4) 山根，畠山，山田，熱田，高森，永田：近畿自動車道紀勢線紀勢宮川橋の設計と施工(上)，橋梁と基礎，Vol. 40，pp19-25，2006.3
- 5) 山根，畠山，山田，北野，佐々木：近畿自動車道紀勢線紀勢宮川橋の設計と施工(下)，橋梁と基礎，Vol. 40，pp22-27，2006.4

【付録：完成写真】



付一1:A1側よりA2側を望む。



付一2:宮川下流より(左:P5橋脚, 右:P4橋脚)