

御殿場ジャンクションBランプ橋(橋脚)

CONSTRUCTION OF THE STEEL RIGID FRAME PIER OF GOTENBA JUNCTION B-RAMP BRIDGE

寺井 敬人¹⁾ 嘉村 昌浩²⁾ 松井 勲³⁾ 井澤 達也³⁾
 Yoshito Terai Masahiro Kamura Isao Matsui Tatsuya Izawa

1. まえがき

第二東名高速道路(以下第二東名)は、東名高速道路(以下現東名)の混雑を解消し、本来の機能である高速性・定時性を回復するため、その建設が進められている。これらの高速道路は、静岡県御殿場市において御殿場ジャンクションにより接続される計画である。御殿場ジャンクションBランプ第一橋は第二東名上り線から現東名上り線に接続されるランプの一部であり、図-1に示すように、現東名の本線上を斜めに横断する場所に位置する。

本工事は、8径間連続鋼床版2主箱桁1連、鋼製門形ラーメン橋脚1基(BP8橋脚)の設計・製作・架設を行うものであり、日立造船鉄構(株)・(株)ハルテック特定建設工事共同企業体として受注して、すでにBP8橋脚の架設が完了している。

BP8橋脚の特徴は、図-2に示すように、現東名を走行するドライバーに与える圧迫感を和らげるため、横梁の断面形状を逆台形としていることである。隅角部を含む横梁部分は、大型移動台車による大ブロック一括架設工法により架設を行った。

本稿では、御殿場ジャンクションBランプ第一橋のうち、BP8橋脚の設計・製作・架設における次の項目について述べる。



図-1 位置図

- ① 支圧板形式アンカーフレームの採用
- ② 隅角部を対象としたFEMによる応力解析の実施
- ③ 溶接性・加工性向上を目的とした高性能鋼材の適用
- ④ 実物模型による溶接施工試験の実施
- ⑤ 大型移動台車による大ブロック一括架設

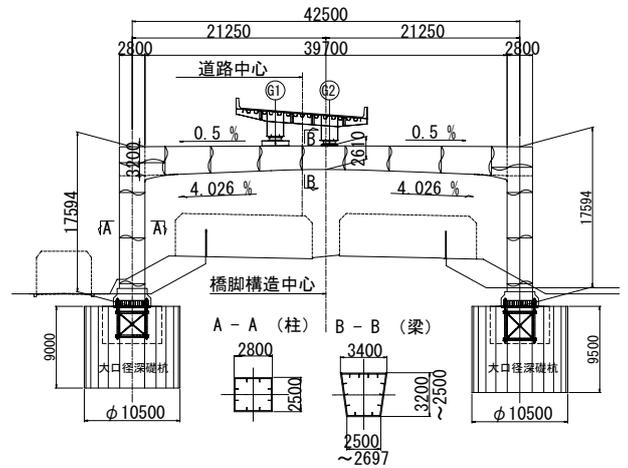


図-2 BP8橋脚構造一般図

2. 工事概要(橋脚)

工事名：第二東名高速道路御殿場ジャンクション

Bランプ第一橋(鋼上部工)東工事

工事箇所：静岡県御殿場市駒門

構造形式：鋼製門形ラーメン橋脚(角柱,逆台形梁)

柱断面：2.5m x 2.8m

梁断面：上フランジ幅・・・3.4m

下フランジ幅・・・2.5m

腹板高さ・・・3.2m~2.5m

柱高：17.6m

柱間隔：42.5m

鋼材重量：362t

工期：自)平成16年6月30日

至)平成19年9月12日

施主：中日本高速道路(株)横浜支社

1) 生産第一グループ 和歌山工場 生産技術チーム
 2) 生産第二グループ 工事部 大阪チーム
 3) 技術グループ 設計部 大阪チーム

3. 設計

3.1 アンカーフレームの設計

アンカーフレームの構造は、従来構造の簡素化，製作の合理化，およびそれらに伴うコスト縮減効果を目的とし，支圧板形式とした。支圧板形式アンカーフレームは，上下フランジを有する従来構造を比較的厚い1枚の鋼板（支圧板）に置き換え，溝型鋼と鋼板で構成される簡易な構造としたもので，支圧板によりボルト軸力をフーチングコンクリートに伝達するものである。

(1) 設計方針

アンカーボルトは，レベル1地震動に対して柱基部の断面力を用い，コンクリートを考慮せずアンカーボルトのみで抵抗するものとしてアンカーボルト径を決定する。レベル2地震動に対しては，アンカーボルトを鉄筋に置き換えたRC複鉄筋断面の降伏モーメントと柱基部のレベル2地震時作用モーメントとの比較により照査する。

上側支圧板は，作用軸力とアンカー部降伏曲げモーメント作用時圧縮軸力の大きい方で設計し，下側支圧板は降伏軸力により設計する。

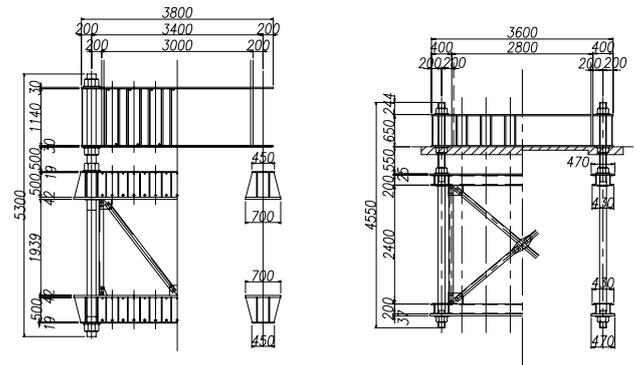
支圧板形式アンカーフレームの応力照査内容一覧表を表-1に示す。

表-1 応力照査内容一覧

	レベル1地震時	レベル2地震時
アンカーボルト	立体解析結果による柱基部断面力を用いて応力照査を行う。 アンカーボルト許容応力度： σ_{sa} アンカーボルト圧縮応力度： σ_c $\sigma_{sa} \geq \sigma_c$	RC複鉄筋断面としてアンカー部の降伏曲げモーメントを算出し，レベル2地震時断面力と比較する アンカー部降伏モーメント： M_{av} $k_{hc} \cdot W$ と動的解析の大きい方： M $M_{av} \geq M$
ベース部	作用軸力： $\sigma_c \cdot A$ 各部の応力照査 $\sigma \leq 0.8 \cdot \sigma_a$ (ベース曲げ応力) $\sigma \leq \sigma_a$ (リブ圧縮応力) $\tau \leq 0.8 \cdot \tau_a$ (リブ溶接)	降伏軸力： $\sigma_y \cdot A$ 各部の応力照査 $\sigma \leq 0.8 \cdot \sigma_y$ (ベース曲げ応力) $\sigma \leq \sigma_y$ (リブ圧縮応力) $\tau \leq 0.8 \cdot \tau_y$ (リブ溶接)
アンカーフレーム	(下側支圧板) 降伏軸力： $\sigma_y \cdot A$ (上側支圧板) アンカー部降伏曲げモーメント時の圧縮軸力 $\sigma_c \cdot A$ と作用軸力 $\sigma_c \cdot A$ の大きい方 コンクリート支圧応力度の照査 $\sigma_b \leq 1/2 \sigma_{ck} \cdot \alpha$ (α ：許容応力度の割増し係数) 支圧板曲げ応力度の照査 $\sigma \leq \sigma_y$	降伏軸力： $\sigma_y \cdot A$
基礎コンクリート	作用軸力： $\sigma_c \cdot A$ 引き抜きせん断応力度の照査 $\tau \leq \tau_a$ $\tau > \tau_a \rightarrow$ せん断補強鉄筋必要	降伏軸力： $\sigma_y \cdot A$ 引き抜きせん断応力度の照査 $\tau \leq 1.5 \cdot \tau_a$ $\tau > 1.5 \cdot \tau_a \rightarrow$ せん断補強鉄筋必要

(2) 従来構造との比較

経済性に大きく影響する小型材片数は，従来形式に比べ，支圧板形式では大幅に低減される。これにより，工場製作での溶接箇所が大幅に低減される。両形式アンカーフレームの構造比較を図-3に示す。



従来形式 (小型材片 1192 個) 支圧板形式 (小型材片 424 個)

図-3 従来形式と支圧板形式の構造比較

3.2 隅角部を対象としたFEMによる応力解析

鋼製橋脚隅角部において問題となる局所的な応力集中について調べるため，FEMによる応力解析を行った。

(1) フィレット形状

図-6に隅角部フィレットの形状寸法を示す。並川らの研究¹⁾によれば，BP8橋脚の場合，フィレットの突出長を横梁高の13%以上とすれば，応力集中を50%以上緩和できる。また，柱とすりつけるための曲線形状は，上部工の疲労照査に用いるT活荷重が作用したときに発生する応力が降伏応力を超えないように決定した。

(2) 解析概要

図-4に示すように，解析対象は，作用断面力の大きい左側隅角部とし，横梁J8から左柱基部までの範囲を薄肉シェル要素を用いてモデル化した。境界条件は柱下端の全自由度を拘束し，J8に上下部一体の立体骨組解析により得られた断面力を作用させた。また，フィレットによる応力低減効果を確認するためにフィレットを有しないモデルについても同様の解析を行った。

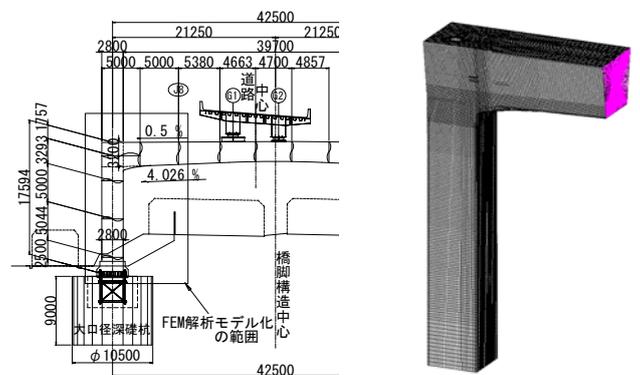
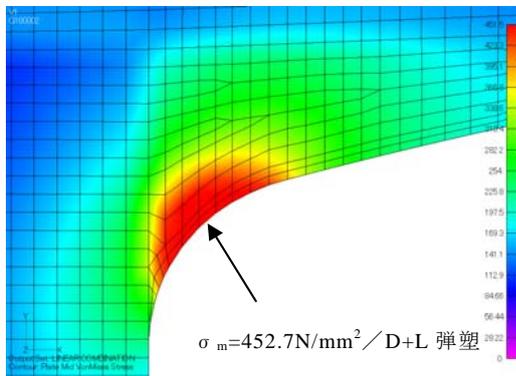


図-4 解析モデル

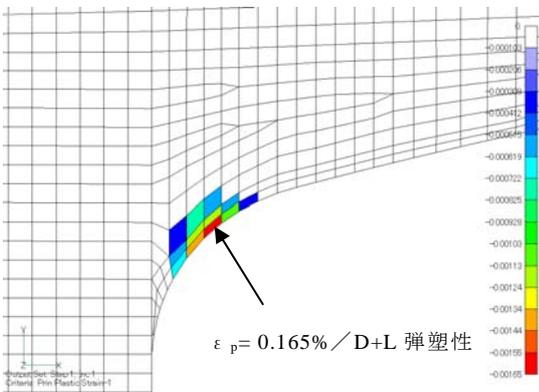
(3) 解析結果

フィレットを有しないモデルとフィレットを有するモデルについて、横梁下フランジおよび柱フランジに発生する直応力の比較を行ったところ、BP8 橋脚においても50%程度の応力低減効果が確認できた。

図-5 に、B 活荷重作用時におけるフィレット部の応力分布および塑性ひずみ分布を示す。フィレット部に塑性化を起こす応力集中が見られたが、塑性域の広がりは一部のみであり、最大塑性ひずみも 1650 μ 程度であり、問題ないことを確認した。また、T 活荷重載荷時におけるフィレット部の発生応力は、降伏応力以下であるので、疲労上問題ないことを確認した。



(a) 腹板背面の最大 Von. Mises 応力 (死荷重+活荷重)



(b) 腹板背面の塑性ひずみ分布 (死荷重+活荷重)

図-5 フィレット部の応力分布および塑性ひずみ分布

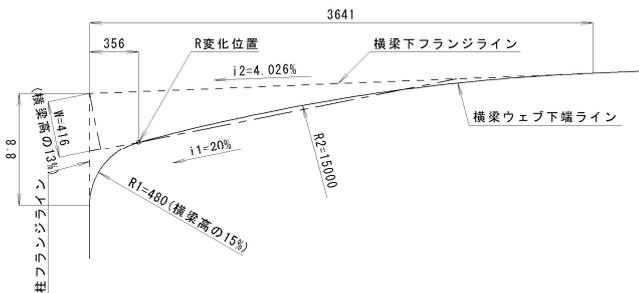


図-6 隅角部フィレット形状

4. 工場製作

4.1 高性能鋼の採用

(1) 耐ラメラテア鋼

BP8 鋼製橋脚隅角部を構成する腹板とフランジの継手形状が T 形および十字形であり、溶接による拘束力と梁フランジ引張力により、板厚方向の割れ発生が懸念された。そこで、同箇所のラメラテア感受性指数²⁾より、耐ラメラテア鋼(SM570-Z35S)を採用した。

クラス番号	厚さ方向の絞り値 (%)	S 量
Z35S	35	0.006%以下

(2) 冷間加工用鋼

BP8 鋼製橋脚隅角部腹板は、横梁下フランジ位置で曲げ加工が必要となり、景観上から、できるだけ小さい曲げ半径とするよう要求された。そこで、シャルピー吸収エネルギーを 200J 以上、化学成分中の窒素量が 0.006% 以内となる、冷間加工用鋼(SM570-Z35S-5C)を採用した。

シャルピー吸収エネルギー	冷間曲げ加工の内側半径
200J 以上	板厚の 5 倍以上

4.2 隅角部三線交差部の対策

(1) 三線交差部の問題点

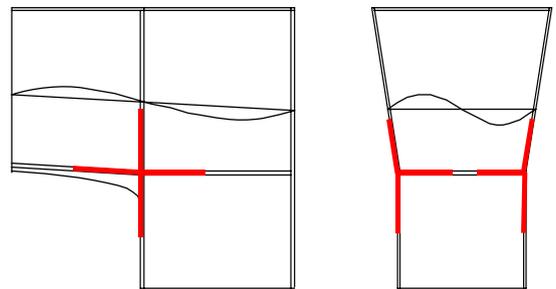


図-7 三線交差部の定義

隅角部の腹板、フランジおよびダイヤフラムとの三線交差部は、その板組手順や作業空間・溶接姿勢面で、良好な溶接品質の確保が非常に困難な部位である。

しかし近年、既存の鋼製橋脚隅角部において、溶接欠陥部を起点とする疲労損傷事例が各所で確認されたことから、より一層の品質確保が求められた。

そこで、製作着手前に実物大の模型を作成し、作業性を確認した。また同隅角部と同じ板厚・材質・板組の溶接施工試験体を製作し、溶接材料・板組手順・溶接方法・溶接手順・溶接姿勢の検証、および非破壊検査方法の確立を行う必要があった。以下に溶接施工試験について報告する。

(3) 溶接施工試験

図-8 に試験体の寸法図を、写真-1 に試験体の外観を示す。

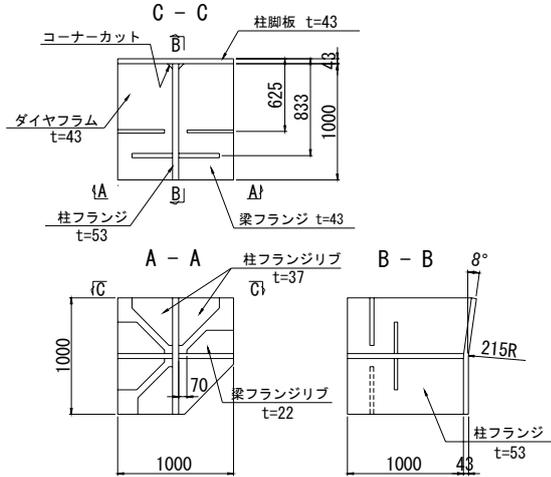


図-8 試験体

施工試験は、実施工を想定し、実物大の縦リブ等の邪魔板を配置し、作業性の確認を行った。また溶接材料も実施工を考慮し、開先内はソリッドワイヤ (JIS Z 3312)、仕上げ部はフラックス入りワイヤ (JIS Z 3313) を使用した。溶接条件を表-2 に示す。

表-2 溶接条件

積層	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	溶接姿勢
初層	230~300	26~30	25~30	下向き
開先内	260~350	28~40	15~32	下向き
余盛部	260~300	28~30	15~32	下向き

なお、三線交差部には溶接施工性 (視認性・トーチ操作性等) を向上させる目的で、図-9 に示すような開先加工を有するコーナーカットを設けた。

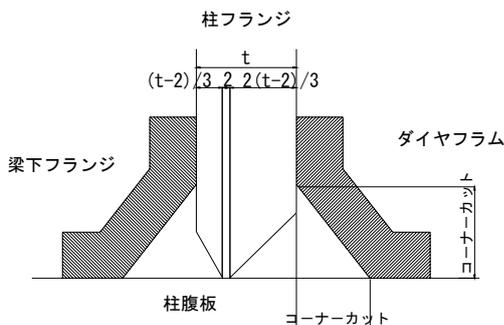


図-9 三線交差部コーナーカット

溶接手順として、コーナーカットを介し 180° 回転させながら脚柱ウェブとフランジの溶接を完了した。超音波探傷検査で確認後、梁下フランジ及びダイヤフラムの溶接を箱内側から行った。このとき 3 線交差部は連続して溶接施工し、始末端を設けないようにした。



写真-1 溶接施工試験体

(4) 溶接施工試験結果

試験体溶接完了後、欠陥検出能 L/2 検出レベルにより、三線交差部を脚外面から垂直探傷法、脚内面から斜角探傷法で超音波探傷検査を行った。なお合否判定基準は、欠陥指示長さ t/6 以下を合格とした。また、溶接ビード表面については磁粉探傷試験を行い表面傷の有無を確認した。

超音波探傷検査 (垂直探傷・斜角探傷併用) および磁粉探傷検査の結果、双方とも欠陥は認められなかった。

さらに、写真-2 に示すマクロ試験片を採取し内部を調べたが、溶接部は無欠陥であることを確認した。

以上の結果より、開先形状・溶接条件・溶接手順・コーナーカット法等、施工条件と非破壊検査方法の妥当性が確認できたため、実施工に採用した。



写真-2 マクロ試験片

5. 大型移動台車による大ブロッカー一括架設

現東名上に架設されるBP8鋼製橋脚梁部（隅角部を含む）の施工概要について述べる。

架設に先立って下り線側作業ヤード内で地組立てされた橋脚梁部を、本線の夜間通行止めを実施した上で、移動台車（ユニットキャリア 680t 積編成）による一括架設を行った。

5.1 大型移動台車構成概要

橋脚梁部の移動・架設に用いた大型移動台車の運用積載能力は、165t 積ユニットキャリア 2 台（合計 330t）と 175t 積ユニットキャリア 2 台（合計 350t）の合計 680t である（写真-3）。また、ユニットキャリア荷台上積重量は、橋脚梁部重量（230t）と輸送時架設設備重量（222t）の合計 452t であり、積載率は運用積載能力の 66.5% となった。



写真-3 移動台車全景

5.2 架設地点までの移動および移動経路

一括架設に先立ち、事前準備作業として当日の日中作業時に、中央分離帯乗越え設備の設置および中央分離帯ガードレールの撤去を行った。

表-3 に一括架設時タイムスケジュールを示す。

本線内を通行中の一般車両の追い出しを 20:00~21:00 の間で行い、その後本線進入口ガードレールの撤去を行った。これと同時に図-10 に示す架設地点までの移動台車経路のラインマーキングを行った。

ラインマーキング完了後、本線進入口から本線内へ進入し(①~③)、中央分離帯を越えた所定位置まで直進(平面距離：56m)したのち(④)、架設地点手前 5m まで直角方向へ横移動(平面距離：8.5m)した(⑤)。ここでデッキリフトのジャッキアップ(1,800mm)を行い、橋脚梁部が足場および脚柱側ガイド等に干渉しない事を確認したのち、架設地点までの残り 5m を横移動させた(⑥)。

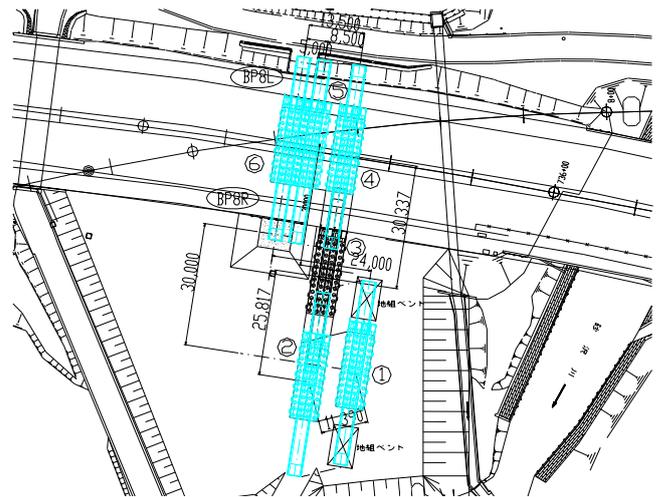


図-10 移動台車経路図

表-3 BP8 鋼製橋脚 一括架設時タイムスケジュール

作業項目	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00
① 本線通行止め		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
② 人員配置・機材点検	●	●									●
③ 進入口ガードレール撤去			●	●							
④ 進入口の養生			●	●							
⑤ 車両・照明設備等配置			●	●							
⑥ BP8 橋脚運搬				●	●						
⑦ 架設地点位置調整					●	●					
⑧ 反力盛替・添接作業						●	●				
⑨ 台車本線内より退出							●	●			
⑩ 中分養生撤去・復旧							●	●			
⑪ 車両・照明設備撤去								●	●		
⑫ 進入口養生撤去・復旧								●	●		
⑬ 跡片付け・清掃								●	●		
⑭ 路面点検（本線上）									●	●	
⑮ ヤード内照明設備撤去										●	●
⑯ 中分水路養生復旧										●	●

5.3 横梁と柱の連結

図-11 に、架設地点まで移動された横梁と柱の連結手順を示す。

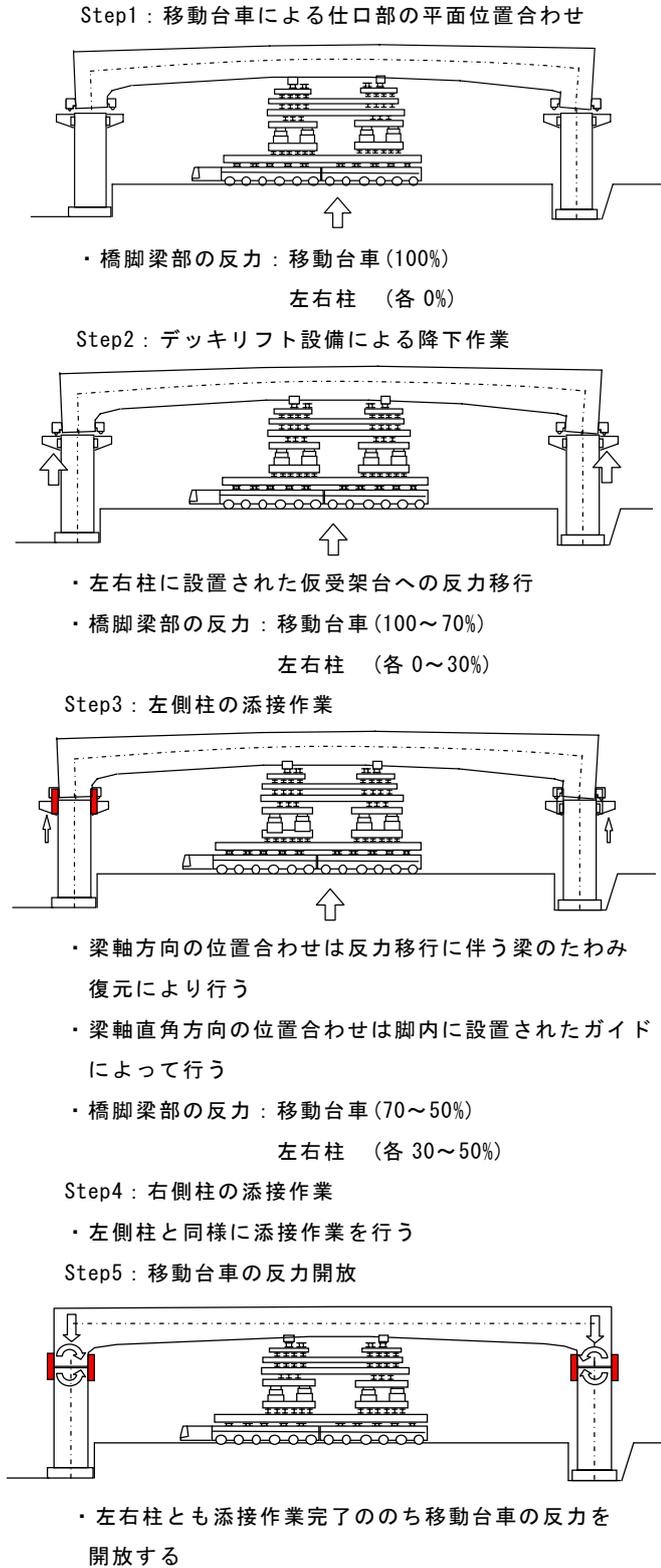


図-11 横梁と柱の連結手順

大型移動台車は、その構造上、ステアリング操作を行うことにより微小な平面ずれが発生することが避けられない。また、デッキリフト設備も作業ストロークが長いので、横梁ブロックのジャッキアップ・ダウンにおいて微小な平面ずれが発生すること予想される。

したがって、これらの設備のみで添接可能な状態まで平面位置合わせを行うことは困難であるため、ある程度までを大型移動台車によって平面位置を合わせたのち、左右柱に設置された仮受架台にジャッキ設備を組み込んで仕口平面位置合わせを行った。

これによって本線規制時間内に添接作業までを終え、移動台車の退去を行うことができた。

写真-4 に仕口部添接作業を終え、移動台車受け点部の補修塗装作業に入る BP8 鋼製橋脚の全景を示す。



写真-4 添接作業完了後の BP8 鋼製橋脚全景

6. あとがき

設計・製作においては近年、疲労損傷事例が多く報告されている隅角部に対し、FEM による応力解析、溶接施工試験など、入念な対策を行った。特に一括架設は、現東名の通行止めという限られた時間内での作業であったが、事前の周到な準備と工程管理によりほぼ工程どおり作業が完了した。このことは、中日本高速道路(株)をはじめとする関係者の多大なるご指導、ご協力によるものであると考えている。ここに記して、深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 並川, 溝口, 町田, 渋谷, 宮森, 溝川: 新設鋼製橋脚隅角部におけるフィレット構造の応力低減効果(その 3), 土木学会第 58 回年次学術講演会, I-426, 2003.9
- 2) 土木学会鋼構造委員会鋼材規格小委員会: 耐ラメラテア鋼の土木構造物への適用, 土木学会誌, 1985.8