

論文・報告

茶ノ木こ線橋の架設

～ J R 跨線部の 2 主桁一体プレビーム桁の二組桁架設～

Construction of CHANOKI Bridge

原 正臣 *1
HARA Masatami

西川 信宏 *2
NISHIKAWA Nobuhiro

好田 武史 *3
KOUDA Takeshi

関 勝史 *4
SEKI Masafumi

藤原 陸 *5
FUJIWARA Riku

梶川 裕子 *6
KAJIKAWA Hiroko

本橋は、中央径間が JR 山陽本線を跨ぐ 3 径間連続プレビーム合成桁橋である。架橋位置は、JR 網干駅～龍野駅間の JR 西日本網干総合車両所に近接し、新快速の車両発着所ともなっているため、屋間は多くの電車の往来があり、夜間は貨物列車の通過もある。また、施工ヤードについては民家、工場などが近接しており狭隘な条件であった。

本工事の架設作業は、列車の線路閉鎖または、き電停止時間のみしか許されなかったため、時間に制約を受ける条件下で、跨線上での作業軽減が課題であった。また、支間 50 m を超える跨線部の二組桁架設桁を用いた架設としては国内初となる、プレビーム 2 主桁一体架設の問題点やその対策および実施工について紹介する。

キーワード：跨線橋、作業時間、二組桁架設桁架設、2 主桁一体架設、CIM

1. はじめに

本橋は、兵庫県西部の産業活動と地域間交流を支える南北幹線道路に属し、JR 山陽本線と交差する跨線橋である。図 1 に示す「茶ノ木踏切」は、朝夕の通勤時間帯に慢性的な交通渋滞を引き起こすボトルネック踏切であるため、円滑な交通確保と踏切事故防止を目的とする立体交差によるバイパス道路の整備が計画された。

本稿では、二組桁架設桁を用いた支間 50 m を超える跨線上の架設について報告する。

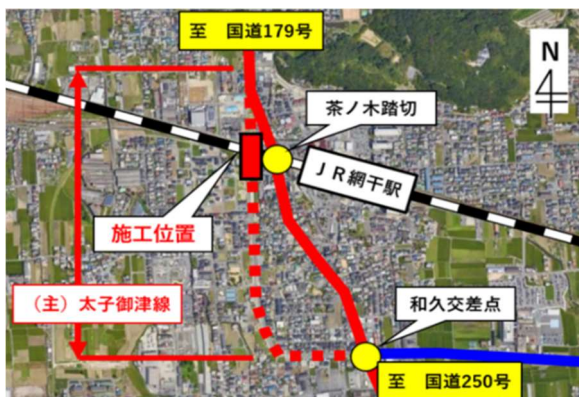


図 1 施工位置図

2. 工事概要

発注者：西日本旅客鉄道株式会社

注文者：大鉄工業株式会社

工事名：網干構内茶ノ木こ線橋新設

施工場所：兵庫県揖保郡太子町糸井

構造形式：3 径間連続プレビーム合成桁橋

橋 長：130.0 m

支 間 長：39.350 m+50.000 m+39.350 m

幅 員：全幅員 11.300 m

有効幅員 7.090 m (車道) + 3.000 m (自歩道)

施 工：川田建設株式会社

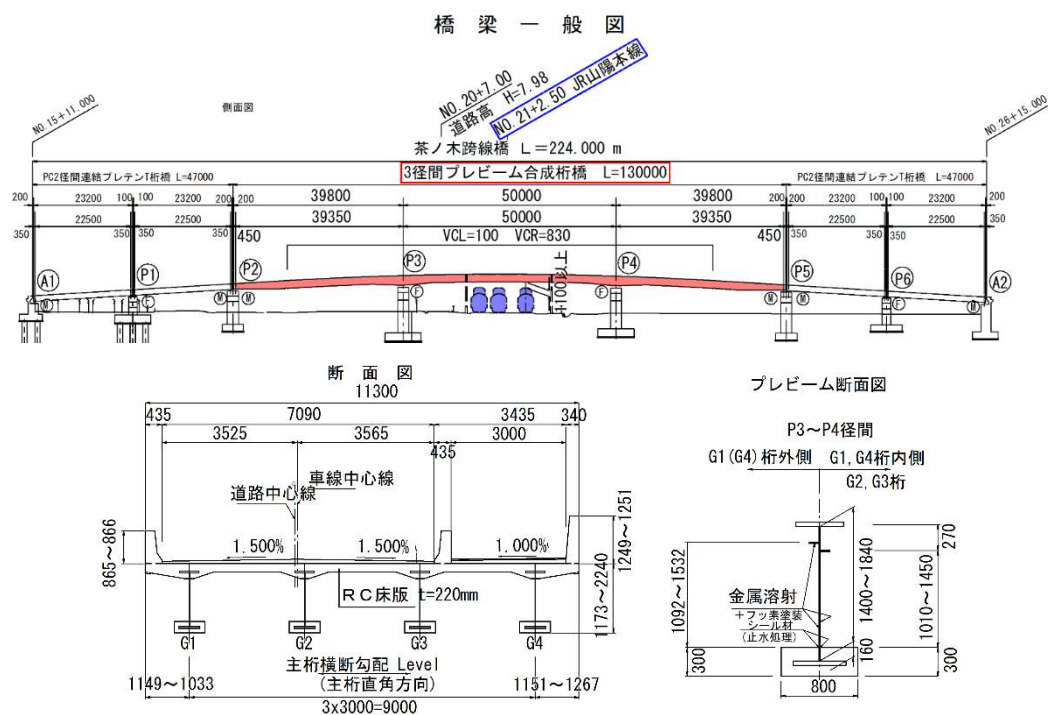
工 期：2023 年 5 月 30 日～2025 年 10 月 20 日

3. 構造形式

JR 本線を跨ぐ高架橋のため、橋の構造がより安定し、列車の運行に対するリスクを最小限に抑えるように跨線部は 3 径間以上の連続桁とし、桁高スパン比を $1.8/50 \div 1/28$ とする必要があった。一般的な橋梁形式で支間 50 m では鋼床版桁橋が適用可能であり、桁高を絞る形式（プレビーム、パイプレ、ダックスビーム工法）と比較検討されており、構造的・施工性・維持管理性・景観および環境性を考慮しプレビーム合成桁（以下、PB 桁）が採用された（図 2）。

*1 川田建設㈱大阪支店工務部 上席工事長
*2 川田建設㈱九州支店工務部工事課 担当工事長
*3 川田建設㈱大阪支店工務部工事課 担当工事長

*4 川田建設㈱大阪支店工務部工事課 担当工事長
*5 川田建設㈱大阪支店工務部工事課
*6 川田建設㈱大阪支店技術部技術課 係長



4. 架設計画

跨線部の架設工法について、作業間合いや施工ヤードの制約があり、基本設計段階で二組桁架設が採用された。

(1) 制約条件

a) 作業間合い

一般に、線路上空の作業間合いは線路閉鎖と、き電停止を行うこととするが、本工事の PB 桁架設作業は線路閉鎖と特任活線にて作業を行うこととした。具体的には週 1 回（日曜）の夜間（150 分程度）である。

b) 架設時の安全確保

- ① 架設作業は 1 日の作業間合いにて完了すること
- ② PB 桁架設は本設橋脚にて支持すること

(2) 対応策

a) 架設桁送り出し作業

1 日の作業間合いにて送り出しを完了するために手延べ桁と架設桁をすべて組み立てた状態にて送り出しを行う計画とした（図 3）。

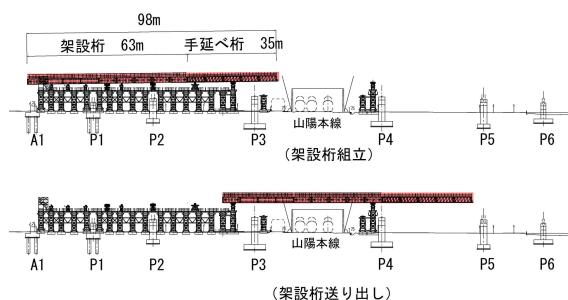


図 3 架設桁送り出しイメージ

b) PB 桁架設作業

1 日の作業間合いにて架設を完了するために以下の計

画とした。

- ① 架設桁を事前に横取りすることで PB 桁は送り出し、降下作業のみとする。
- ② PB 桁を本設橋脚にて支持するようブロック割を決定する（図 4）。
- ③ PB 桁ブロック割を考慮した場合、PB 桁 1 本での架設は桁の横座屈が懸念されたので 2 主桁一体にて架設する（図 4）。

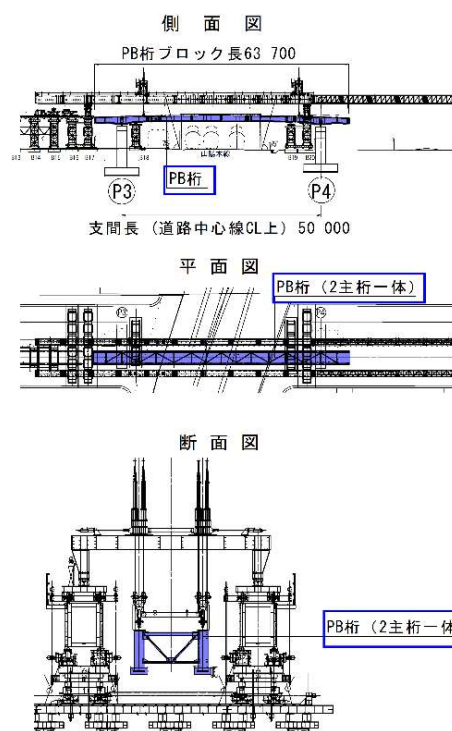


図 4 PB 桁架設状況

5. 架設手順

架設手順を以下に示す。

(1) 後方ベンド・架設桁①組立

P3 橋脚背面に桁送り出し用の仮設ベンドを設置する。次に仮設ベンド上に架設桁①を全長分 ($L=98$ m $W=1$ 435 kN) 組み立てる (図 5)。

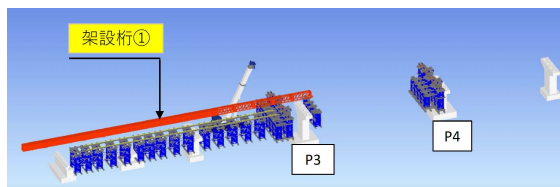


図 5 ベンド・架設桁組立

(2) 架設桁①送り出し・横取り・架設桁②組立

架設桁①を夜間作業 (線路閉鎖, 特任活線) にて P4 橋脚側へ $L=74$ m 送り出す。次に送り出した架設桁①の 4.1 m 横取りを行う。その後に架設桁②を仮設ベンド上に組み立てる (図 6)。

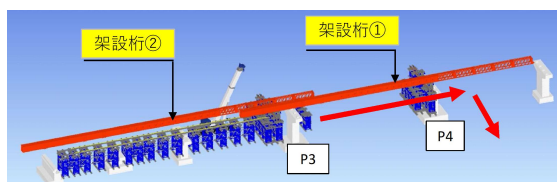


図 6 架設桁送り出し・横取り

(3) 架設桁②送り出し・横取り・架設用クレーン組立

架設桁②を同様に送り出し・横取り完了後に架設用クレーンを 2 基組み立てる (図 7)。

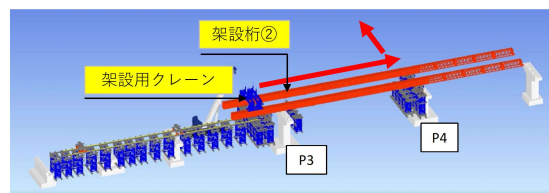


図 7 架設桁送り出し・横取り・クレーン組立

(4) PB 桁運搬台車組立・PB 桁 R 側組立 (2 主桁一体)

後方ベンド上に PB 桁運搬台車を組み立てる。運搬台車上に 2 本の PB 桁を組立て、横桁にて連結し一体化する ($L=63.7$ m $W=1$ 460 kN) (図 8)。

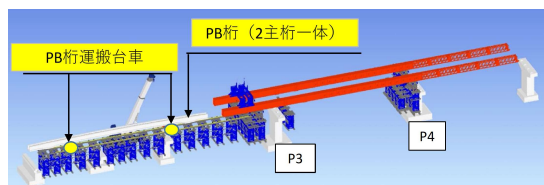


図 8 運搬台車・PB 桁組立

(5) PB 桁 R 側架設 (縦取り・降下)

PB 桁を夜間作業 (線路閉鎖, 特任活線) にて運搬台車 (自走式) と架設用クレーン (自走式) にて縦取り ($L=60.3$ m) する。その後、架設用クレーンにて PB 桁を所定の位置に 4.1 m 降下する (図 9)。

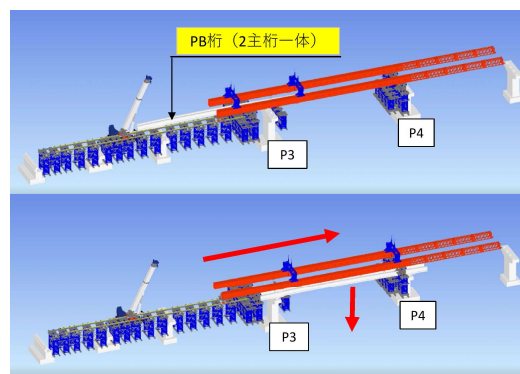


図 9 PB 桁架設

(7) 架設桁横取り・後方ベンド横移動

PB 桁 L 側組立・架設 (取り・降下)

後方ベンド・架設桁を 6.0 m 横取りする。同様に L 側の PB 桁を架設する (図 10)。

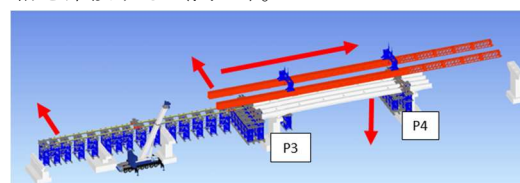


図 10 架設桁横取り・ベンド横移動・PB 桁架設

6. 架設桁送り出し

今回の架設桁送り出しについて、1 日の限られた時間内に送り出して固定完了までを行う必要があった。

架設桁支持スパンが 55 m と長く施工実績も少ない上、架設桁は全長分 (98 m) を背面の後方ベンドにて組み立て送り出す計画であった。架設桁送り出しにおける懸案事項として、下記の項目を考慮し検討を行った。

- ① 送り出し時の支持支点反力や架設桁の挙動
- ② 架設桁の到達位置の架設桁先端の高さ調整作業時間の低減
- ③ 送り出し時の架設桁の直進性や挙動

(1) 架設桁支持点の反力、挙動の検討

長い架設桁を多支点にて送り出すとき、桁のたわみ等により各支点での反力が変動し、状況によっては支点から浮き上がる場合も想定された。ここで平面骨組解析により検討を行った。架設桁の発生断面力から架設桁の応力状態を確認し、架設桁先端到達時の発生たわみ量 678 mm (≈ 700 mm) から架設桁送り出し勾配を上り $700 \text{ mm} / 55\,000 \text{ mm}$ (架設桁支持支間) $\approx 1.27\%$ と決定した。また、架設桁の転倒に対する安全率 1.2 を確保した後方支点位置を決定し、各支点反力と浮き上がりの確認から駆動支点の決定を行った (図 11)。

支点 0 通過 (後)

	59140					
	重心					
	R0 動	R1 動	R2	R3 動		R4 動
反力 (kN)		842kN	-702kN	1296kN		
解放反力 (kN)		485kN	-kN	950kN		
たわみ (mm)	53mm	0mm	-21mm	0mm		433mm

図 11 検討結果 (例) (反力・たわみ・断面力)

(2) 架設桁の事前組立と送出し試験施工の実施

決定した送り出し計画を基に、当社那須機材センターにて試験施工を行った(写真1)(写真2)。組立は現場で組み立てる状態と同じブロック・添接板位置とした。試験施工は各々の架設桁で計2回実施し、以下の項目を確認した。



写真1 架設桁組立状況



写真2 架設桁送り出し前後

a) 送り出し開始から固定完了までの施工時間

作業手順は、①架設桁送り出し $L=38\text{ m}$ ～P4 支点到達、②ローラー位置調整・架設桁先端吊り上げ(必要な場合)、③架設桁送り出し $L=38\text{ m}$ 、④架設桁固定である。本作業での想定作業間合いは、約100分～150分である。架設桁の引き出しに必要な理論時間は約45分であり、残りのP4支点到達時の作業と架設桁固定に約50分～100分の作業時間が確保できる。

実施結果について、引き出し時間は理論時間と変わらないことが確認された。総作業時間については約80分程度となり、本作業の作業間合いに対して余裕があることを確認した。

b) 架設桁先端支点到達時のたわみ量

架設桁のP4支点到達時の作業時間(桁先端吊り上げ)を短縮するために支点ローラーより上を架設桁が通過するように勾配1.27% (計算たわみ量678mm)にて送り出す計画とした。実施結果について1本目のたわみ量は654mmと誤差24mmであった。2本目についても計算値よりも実たわみ量は小さかった。試験施工によってP4支点到達時の先端吊り上げは行わない計画とした。

c) 架設桁先端到達時の先端吊り上げ量と荷重

万が一送り出し時に架設桁先端がP4 支点高さより低い場合は架設桁を吊り上げる必要がある。対応策として移動式クレーンにて架設桁の先端を吊り上げて対応する計画とした。試験施工において架設桁先端を実際に吊り上げて変位(荷重・吊り上げ量)を確認した(写真3)。試験結果より実施工時に配置する移動式クレーンの能力の選定と配置位置、玉掛け方法を決定した。



写真3 架設桁先端吊り上げ状況

d) 送り出し時の横方向そり量

二組桁架設において架設用クレーンは2本の架設桁上に配置し、架設桁上に固定されたレール上を走行する。クレーンのレール間隔(隣り合う架設桁との間隔)が大きく異なった場合はクレーンの走行に支障をきたすため、試験施工において各架設桁の組立後のクレーン走行位置の横そり量を測定し問題の無いことを確認した。

e) 送り出し完了時の支持スパン中央のたわみ量

送り出し完了後、架設桁の支持支間中央部のたわみを計測した。結果としては2本の架設桁のたわみ変形量がほぼ同じことから、その上部を走行する架設用クレーン吊作業時の横方向偏荷重が発生しないことを確認できた。

(3) 架設桁送り出し本施工

本施工の作業間合いは、架設桁1本目は線路閉鎖の関係で94分となった。時間的な余裕が多くないため駆動ローラーの事前運転確認や電気系統のチェック、作業手順の確認とシミュレーション等を実施して送り出しを行った。結果作業時間は10分程度の余裕をもって完了することができた(写真4)。



写真4 架設桁送り出し完了

7. 主桁架設

主桁架設では、架設する PB 桁長、吊り上げ支間、桁高を考慮すると桁の横座屈が懸念されたため、今回は 2 主桁を一体化させて架設する計画であった。その際、2 主桁一体状態の形状を保持しなければ PB 桁を連結している横桁の変形や座屈する恐れがあった。作業間合いについては、架設桁送り出しと同様に最大 150 分程度と想定された。作業工程は、①PB 桁の台車運搬、②架設用クレーン 1 号機吊上げ、③PB 桁の台車+架設用クレーンでの運搬、④架設用クレーン 2 号機吊上げ、⑤PB 桁の架設用クレーンでの運搬、⑥PB 桁の降下・据え付け・固定、である。以上を踏まえ、以下の対策を実施した。

(1) 仮設補強鋼材の設置

2 主桁一体状態形状での剛性を高めるため、本設の横桁間に横倒れ防止鋼材と、桁上部水平面の斜め方向に仮設横構を追加した（図 12）（写真 5）。

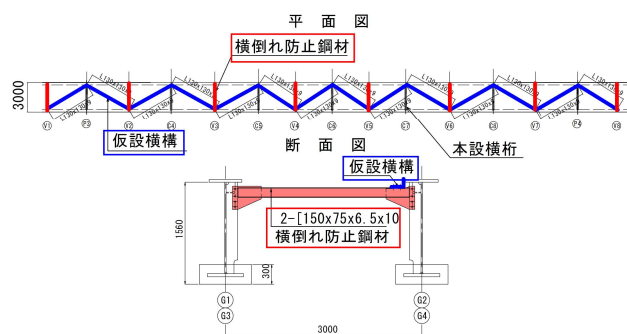


図 12 仮設鋼材図



写真 5 仮設鋼材設置状況

(2) PB 桁降下に PC 鋼より線を使用した自動チャッキングシステムの使用

PB 桁の運搬から架設までを 1 日の作業間合いの中で完了させるために PC 鋼より線を用いたジャッキ吊下げ式の工法を選定した（図 13）。ここで PB 桁吊上げ時の桁の高さ相対変位が 10 mm 以上の場合、本設横桁が座屈する恐れがあった。今回は 8 台のジャッキを使用して PB 桁の吊上げ・降下作業を行うこととしており 8 台の各吊点の反力が相違していても 5 mm 以内の相対誤差に収まるよう運動操作が可能なシステムを使用した（写真 6）（写真 7）。

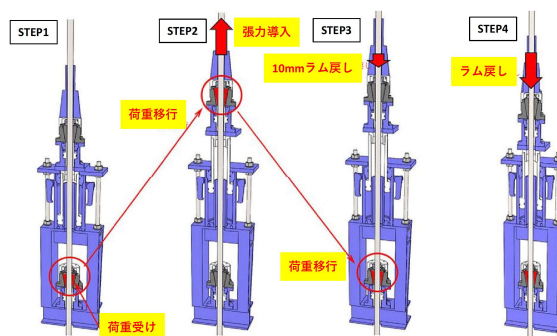


図 13 自動チャッキングシステム



写真 6 架設用クレーン



写真 7 運動システム制御画面

(3) PB 桁架設

第 1 回架設作業は夜間（線路閉鎖・特任活線）作業にて施工を行った（写真 8）。作業間合いについては 150 分となり、さらに予備時間として 60 分（列車見張り体制）の合計 210 分を与えられた。

これに対して、計画上の作業時間は合計約 100 分を予定していたが、実施工では作業時間合計 170 分を要した。この時間超過の変動要因と対策は次のとおりである。

一つ目は、PB 桁運搬時の架設用クレーンと桁運搬台車の走行速度に差異が発生したこと。これにより走行距離調整のための停止・走行を繰り返したことによる運搬で時間が超過した。原因は、理論上の各機材の PB 運搬は同じ速度に調整していたが、架設用クレーンが新規製作であり実荷重を负荷した走行試験を行っていなかったことや、PB 桁運搬時に発生する架設桁のたわみによる走行勾配の発生が考えられた。対策は、PB 桁架設作業時の架設用クレーンの実走行速度を測定し、桁運搬台車の

走行速度を調整することとした。二つ目は、架設用クレーンにて PB 桁を吊り下げる際の吊り具と吊ピースの接続時における時間の超過である。原因は、吊ピースの鉛直性と吊り金具の遊間の関係にて接続が不可能であったためである。対策は、一旦吊ピースのボルト接合を解放して吊金具との接続を行った後に再度ボルト接合を行った。

第 2 回架設作業時は吊ピースのボルトの本締め作業は事前に行わず吊金具と接続後に行った。上記の対策を行った結果、第 2 回架設作業は問題の発生無く予定時間通りの約 100 分にて作業完了した。



写真 8 主桁運搬状況

8. その他の対策

PB 桁架設後においては床版施工用の吊足場が必要である。ここでの懸案事項としては以下のとおりである。

- ① 吊足場と JR 架空線との離隔
- ② 吊足場組立施工時間の制約

(1) CIM の活用（吊足場と JR 架空線との離隔確認）

事前の検討段階で PB 桁下方に JR 線、NTT 線など 11 本を確認した。吊足場計画には実際の架空線高さや位置を把握する必要があった。そこで 3 次元モデルを活用した計画を行い、必要な離隔距離を確保した。手順としては、現地架空線位置の点群測量を行い、次に PB 橋梁と当初計画の足場の 3D 図面を作成し、点群測量した架空線の 3 次元モデルと合成することで足場との離隔距離を確認し吊足場の形状を決定した（図 14）。

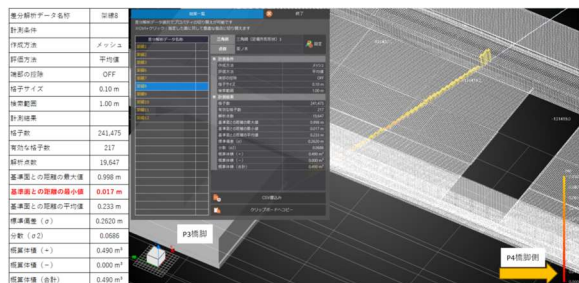


図 14 架空線と足場の 3D 投影図

(2) PB 桁架設後の吊足場組立作業の低減

吊足場の組立作業時間について、作業間合いとしては線路閉鎖・き電停止の条件があり、1 日の作業時間は平日夜間では 100 分、日曜夜間では 180 分程度であった。そこで、架設前に吊足場の一部を組み立てて架設後の作業を低減した（図 15）。

P 3-P 4 吊足場計画図

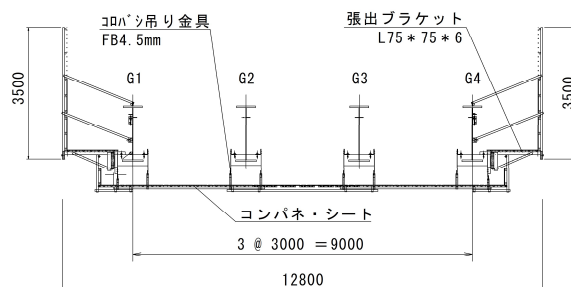


図 15 吊足場計画図

まずは、2 主桁一体での主桁間の足場を全面板張り防護まで先行して組立を行った（写真 10）。また、足場側面部の引出ブラケットを PB 桁架設時に架設機材と干渉するために回転式構造とし、同じく架設に先行して取り付けた（写真 11）。以上の対策を講じることでその後の吊足場の組立作業日数を当初計画の 2/3 に短縮することができた。



写真 10 桁間足場先行組立



写真 11 引出ブラケット先行組立

9. おわりに

本稿では JR 跨線部の 2 主桁一体プレビーム桁の二組桁架設について報告した。厳しい時間的制約と施工条件の中で、本社・機材センターや各部署の協力のもとに細かな計画検討や試験施工などを行うことによって架設作業を無事に終えることができた。本報告が今後計画される類似工事の参考となれば幸いである。