

北陸自動車道を跨ぐ送出し距離123mの送出し架設

Launching Erection Work for a 123m Distance Across the Hokuriku Expressway



小林 智 則^{*1}
Tomonori KOBAYASHI



西 田 正 人^{*1}
Masato NISHIDA



坂 根 秀 和^{*2}
Hidekazu SAKANE



中垣内 龍 二^{*3}
Ryuji NAKAGAITO



出 口 哲 義^{*3}
Akiyoshi DEGUCHI

要 旨

北陸自動車道を跨ぐ送出し距離120mを超える桁送出しを施工するにあたり、通行止め規制回数や通行止め規制時間を厳守する必要があった。このため、送出し支間長の短縮や送出し時台車設備の大型化、桁位置調整設備の工夫などによる作業時間の短縮や不測の事態に備えたバックアップ設備の設置を行ったため、その内容について報告する。

キーワード：送出し、斜ベント、自走台車、たわみ処理

1. はじめに

本工事は、北陸新幹線のうち、福井県に位置する高崎起点425km454m～425km519mの第2下筋生田Bvおよび高崎起点427km288m～427km523mの福井Bvの製作・架設・橋面工事である。

第2下筋生田Bvの橋梁形式は単純合成桁（橋長65.0m）であり、架橋位置は国道8号を跨いでいる。福井Bvの橋梁形式は3径間連続合成桁（橋長235.0m）であり、中央径間で北陸自動車道を跨ぎ、側径間では県道を跨いでいる。

架設工法は、第2下筋生田Bvは、送出し工法を採用した。福井Bvは、図-1のとおり、北陸自動車道を跨ぐ中央径間（P2～P3）は、送出し工法を採用し、側径間（P1～P2、P3～P4）については、クレーンベント工法を採用している。

本稿では、福井Bvの北陸自動車道を跨ぐ中央径間（P2～P3）の架設工事を主に報告する。

2. 工事概要

工 事 名：北陸新幹線、福井橋りょう（合成けた）

発 注 者：独立行政法人 鉄道建設・運輸施設

整備支援機構

工事場所：福井県福井市太田町地内

工 期：自）平成31年1月29日

至）令和3年9月30日

橋梁形式：3径間連続合成桁 スラブ軌道直結式

橋 長：235.000m

支 間 長：67.450m + 110.000m + 54.850m

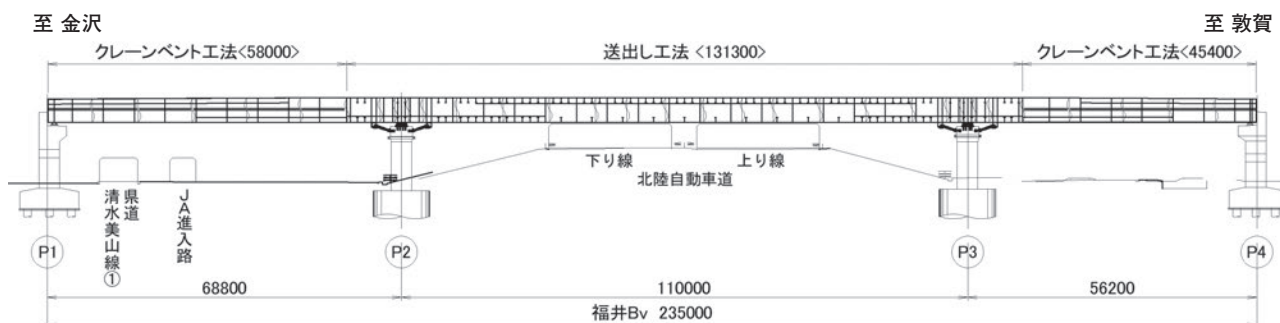


図-1 福井Bv 側面図

^{*1} 工事本部 橋梁工事部 橋梁工事グループ 現場所長

^{*3} 計画本部 計画部 部長代理

^{*2} 千葉工場 安全・品質保証部 品質保証グループ サブリーダー

3. 現場における課題点

福井Bvが跨ぐ北陸自動車道は、新潟県から滋賀県へと至る高速自動車国道であり、福井県内では平均交通量が約31,000台/日の重交通路線であることから、道路利用者の影響を最小限とするため、通行止め規制回数や規制時間、規制日を厳守する必要があった。このため、本橋梁の架設にあたり以下の問題点を解決する必要があった。

(1) 送出し支間長

本橋梁の支間長は110.0mであり、当初はP2、P3橋脚前にベント設備を設置し支間長を90.0mとして桁送出しを実施する計画であった。しかし、図-2のとおり、ベント設備位置が北陸自動車道の構造物上（法面）であり、施工時のシートパイルと干渉することが確認され、また、作用反力が14000kN程度となるため、北陸自動車道への影響が大きくなることが予想された。このため、北陸自動車道への影響を最小限とする方法を検討する必要があった。

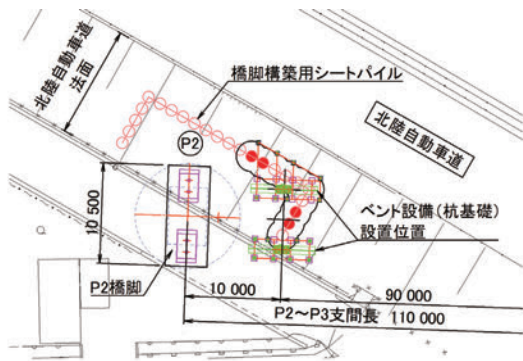


図-2 ベント位置検討図

(2) 通行止め時間

規制の条件として、北陸自動車道の通行止め回数は桁送出し2回、降下1回の計3回、通行止め時間は、20：00～翌6：00（作業時間は21：00～翌5：00）と指定されていた。1回あたりの送出し量は120mを越えるため、作業の短縮を検討する必要があった。

(3) 架設時の確実性

北陸自動車道を跨ぐ橋梁のため、桁送出し開始後は所定位置まで連続して桁送出しをする必要があり、施工途中での中断や時間超過のリスク対策を実施する必要があった。

(4) 架設時の安全性

桁送出し時や桁送出し後の地震発生等により桁のずれや脱落、部材の落下が起こり、長期間の北陸自動車道の通行止めが発生する可能性があった。このため、桁の移動制限や部材の落下対策を実施する必要があった。

(5) 降下用ジャッキの入替え

桁降下時は約9200kNの支点反力が作用するため、大型の降下用ジャッキが必要となるが、橋脚上には送出し装置が設置されているため、事前に設置することはできず、桁送出し後に設置する必要があった。しかし、桁送出し後は送出された桁があり、かつ北陸自動車道の近接作業となるため、多くの作業時間を要する。このため、ジャッキ設置方法を検討する必要があった。

4. 工夫・改善点

(1) 送出し支間長の変更

送出し支間長については、図-3のとおりベント設備を2基設置して送出し支間長を90.0mとする当初案の他に、ベント設備を用いずに送出し支間長を110.0mとする変更案1、到達側の1基のみを残して送出し支間長100.0mとする変更案2を検討した。

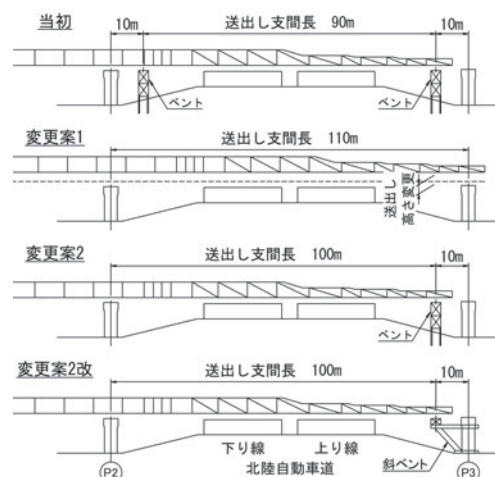


図-3 支間長検討図

変更案1の場合、張出し支間長の増加に伴う鋼桁の許容耐力超過の他に、送出し量の増加も考えられた。また、到達側にベント設備が無い場合、たわみ処理が困難となる。このため、送出し高さを上げての対応となり、降下量が増加し、通行止め規制回数が増えることが予想された。以上により変更案1の採用は困難とした。変更案2については、到達側にベント設備が1基あるため、鋼桁の許容耐力以下となり、また、たわみ処理についても、到達側のベント設備で施工可能となるため、降下量の変更を行う必要はなく、規制時間の大幅な増加は不要と考えられた。ただし、到達側のベント設備は北陸自動車道の構造物に影響を与えるため、変更案2改として橋

脚を利用した斜ペント構造（図-4）を採用し、北陸自動車道に影響を与えない構造とした。なお、斜ペント設備に作用する反力を最小限とするため、手延べ機がP3橋脚に到達後は、到達側の受け点をP3橋脚に盛替えて斜ペント設備の受け点を解放する計画とした。

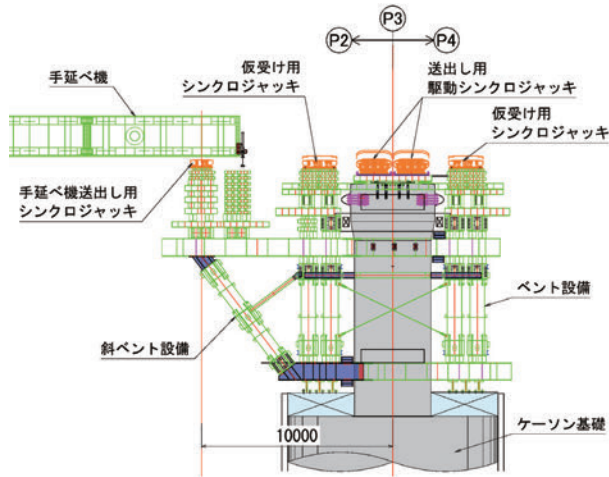


図-4 斜ペント設備構造図

(2) 通行止め時間の厳守

北陸自動車道上の桁送出しは図-5のとおり、2回に分けて実施し、1回目は橋脚到達までの123.00m、2回目は62.65mとした。

作業時間の短縮のため、台車構造と桁位置調整、手延べ機のため処理の構造検討を行った。

1) 台車構造

台車設備については、台車設備の解放作業や移動作業を最小限とするため、台車設備数の削減を検討した。当

初、16基の台車設備としていたが、台車設備を大型化し、台車1基あたり1280t能力（図-6）にすることにより、台車設備数を4基まで削減した。これにより、第1回送出し時は台車移動を1回にできた。また、送出し速度向上のため台車は自走台車（1.67m/分）としたが、送出し量76.0m付近で台車とレールの摩擦抵抗力を推進力が上回るため、以降は前後推進構造のクレビスジャッキ（0.9m/分）とした。

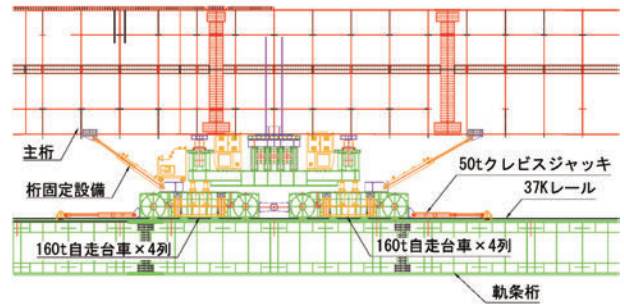


図-6 台車設備図

2) 桁位置調整

本橋梁はR=4000mの曲線桁であり、内外の反力差や速度の影響により桁位置がずれるため、桁送出し途中で桁位置を調整する必要があった。通常の仮受け架台の場合は、桁仮受け（駆動シンクロ開放）→駆動シンクロ移動→桁受替え→位置調整と4ステップで桁位置の調整をするが、図-7に示すとおり、仮受け架台を縦横調整が可能なシンクロジャッキに変更することにより、桁仮受け（シンクロ受け）→シンクロ移動→桁受替えの3ステップで調整する方法とした。これにより、方向修正時間に伴う桁の仮受け時間を通常の3/4に短縮した。

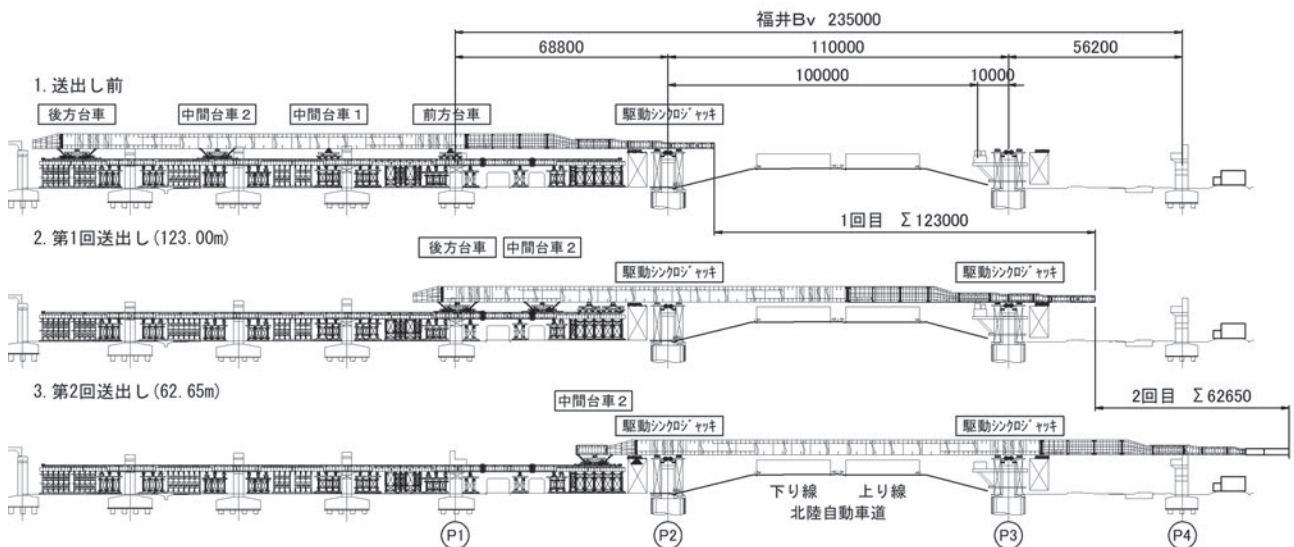


図-5 桁送出し要領図

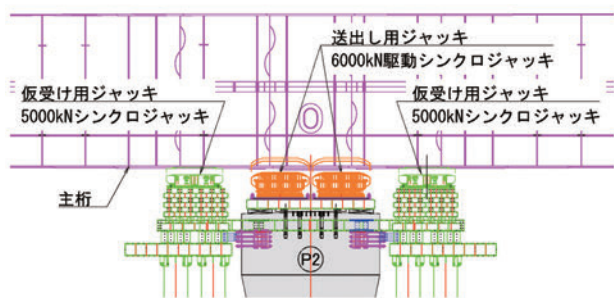
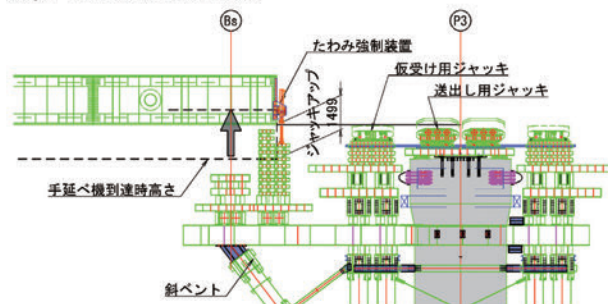


図-7 桁位置調整設備

3) 手延べ機たわみ処理

手延べ機の橋脚到達時は約1.5mのたわみ量が発生することが確認できた。たわみ処理方法としては、発進側設備や到達側設備でのジャッキアップが考えられるが、鉛直ジャッキの場合は200mm/回程度であるため、本工事では時間短縮のため、図-8のとおり手延べ機先端に1050mmストロークのトラニオンジャッキを4基設置しジャッキアップをする計画とした。

Step-1 手延べ到達・ジャッキアップ



Step-2 手延べ機送出し用ジャッキ設置・送出し

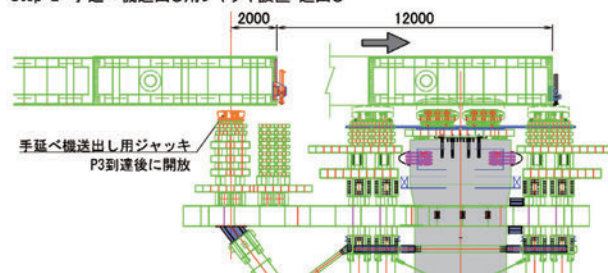


図-8 たわみ処理設備

(3) 架設時の確実性の確保

施工途中の中断や時間超過のリスクに対して、桁送出し作業におけるリターンポイントの設定と補助推進力の設置を行った。

本工事の推進装置は中間台車に自走+前後推進ジャッキとしているが、補助推進装置として後方台車に前後推進ジャッキを設置した。補助推進装置は、桁の送出しお

よび引戻しをできる構造としている。なお、タイムスケジュールには、推進装置故障時に補助推進装置による送出し継続または引戻しの2か所の判断時間（リターンポイント）を設け（図-9）、現場での作業時間管理を実施した。

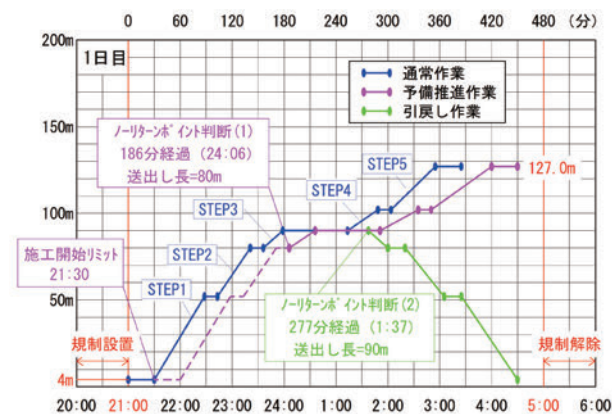


図-9 リターンポイントの設定

(4) 架設時の安全性の確保

桁送出し時、桁送出し後の支承に固定するまでの桁の移動制限のため、移動制限設備を設置した。移動制限設備は橋脚部および台車部に設置しており、地震発生時に鋼桁が送出し設備や台車設備上から落下することを防止する。橋脚部の移動制限設備は、写真-1のとおり、H型鋼（H=1250mm）を4本設置した。固定方法は橋脚への力の伝達を確実にするため、H型鋼で橋脚をハチマキのように囲む構造とした。



写真-1 橋脚部移動制限設備

台車部は橋軸直角方向の移動制限設備として、写真-2のとおり移動制限ストッパーを設置した。また、橋軸方向の移動制限設備は、写真-3のとおり台車設備と鋼桁を700kN両端クレビスジャッキにて固定した。

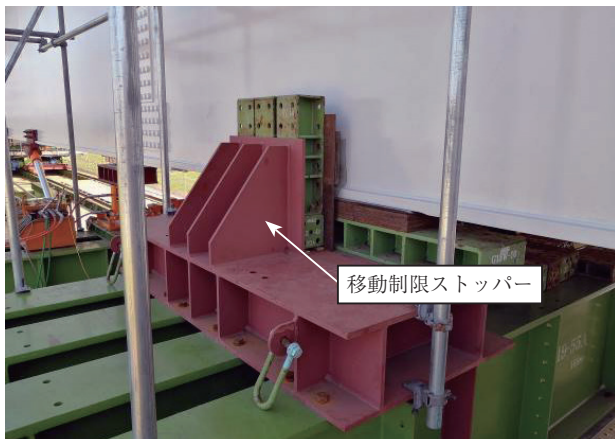


写真-2 台車部橋軸直角方向移動制限設備

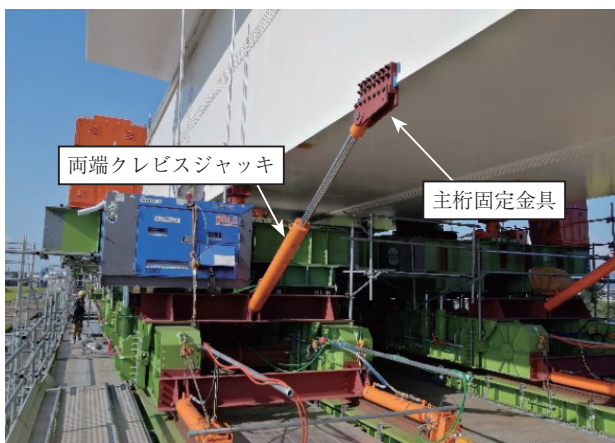


写真-3 台車部橋軸方向移動制限設備

(5) 降下用ジャッキ設備

桁降下については、9200kN/桁の反力が発生するため、大型の降下用ジャッキが必要だったが、設備の組替え時間の短縮のため、送出し時に使用した仮受け用の5000kNシンクロジャッキ（ストローク230mm）を使用する計画とした。なお、シンクロジャッキについては、図-10のとおり桁に固定する設備を設けて吊り下げる構造とした。

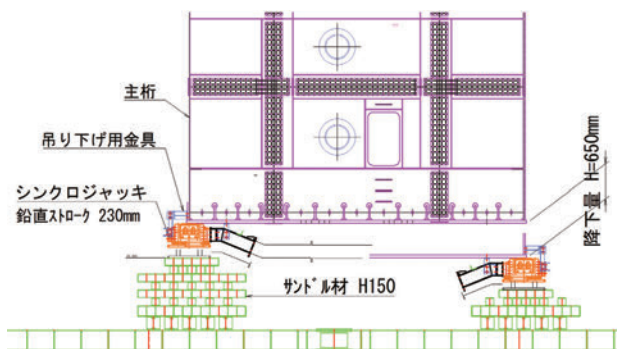


図-10 降下用ジャッキ設備

5. 中央径間桁送出し・降下工

(1) 軌条設備工

架設に先立ち、写真-4のとおり、福井側の作業ヤードに約190mの軌条設備を構築した。軌条設備の設置範囲にある4橋脚については、送出し後の降下高さを低減するため、柱部分のみの構築（写真-5）とし、梁部分の施工は福井Bvの送出し後とした。また、軌条設備は台車位置での反力が最大で8300kN程度となることから、高さ2.0mの軌条桁を4軌条とした。



写真-4 軌条設備



写真-5 橋脚渡り部

(2) 台車設備工

台車については、写真-6のとおり1軌条あたり160t台車を2台使用するため、1支点あたり160t台車を8台使用した。これにより、1支点あたりの台車能力は1280t（12500kN）となり、最大支点反力8300kNに対して十分な余裕を取ることができた。なお、台車設備は油圧ジャッキが搭載されており、送出し中のジャッキ反力を確認できる他、高さの調整も出来ることが可能となっている。

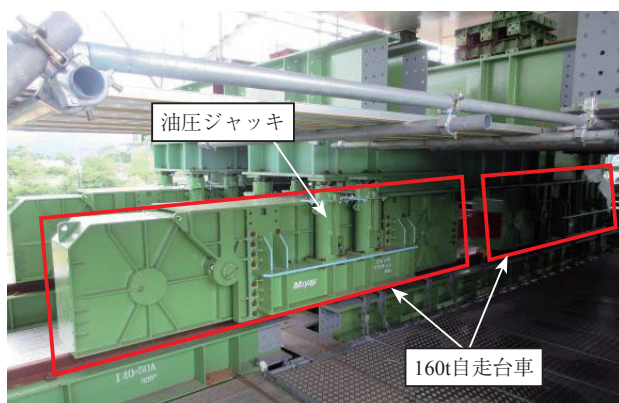


写真-6 1280t台車設備

(3) 斜ベント設備工

中央径間の支間長は110mであるが、4(1)送出し支間長の変更で行った事前検討により最大支間を100mとするため、送り出し到達側（P3橋脚）に写真-7のとおり斜ベント設備を設置した。

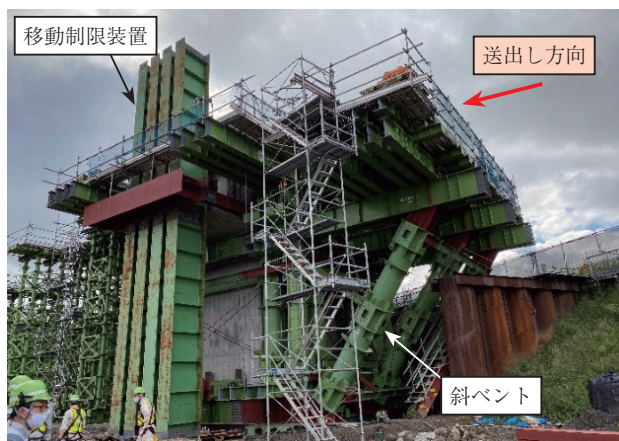


写真-7 斜ベント設備

(4) 桁地組立工

桁の地組立ては、主桁の断面が4～6に分割されているため単材で軌条設備上に荷揚げして行った。送出し後に北陸自動車道となる中央径間の部分については、送出し後の高速道路規制を削減するため、写真-8のとおり、合成床版および側鋼板、防音パネルまで地組立て時に取付けを行った。このため、送出し桁の総重量は約2700t（手延べ機含む）となった。なお、地震や台風発生時に防音パネルの脱落等が生じないように写真-9のとおり合成床版内部より固定設備を設置した。なお、合成床版の打込み前に側鋼板パネルや防音壁を設置する場合は、その重量を考慮して、合成床版の浮き上がりが無いかを確認する必要がある。

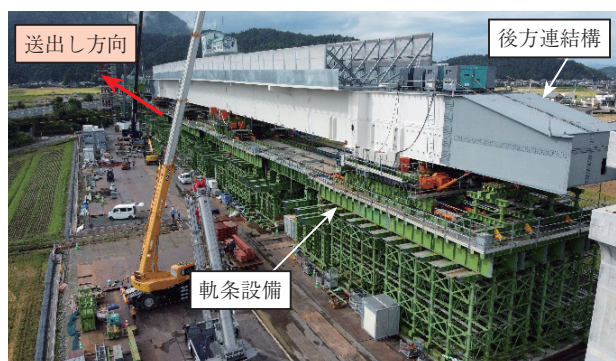


写真-8 地組立完了

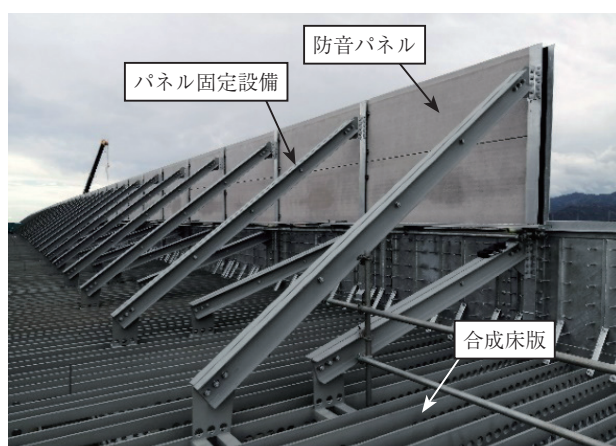


写真-9 防音壁固定設備

防音パネルを壁高欄打込み前に設置する場合、壁高欄コンクリート打込み時の天端仕上げや防音壁支柱と壁高欄天端のシール工の施工のために図-11のとおり防音パネルを100mm程度高く据付け、防音壁コンクリート打込み、シールの施工後に防音パネルを降下した。本工事では高速道路の規制を最小限とするために高速道路上の足場設備は設置しない計画のため、壁高欄コンクリート打込み時にコンクリートが外部に漏出ないように鋼製型枠を100mm高く設計した。

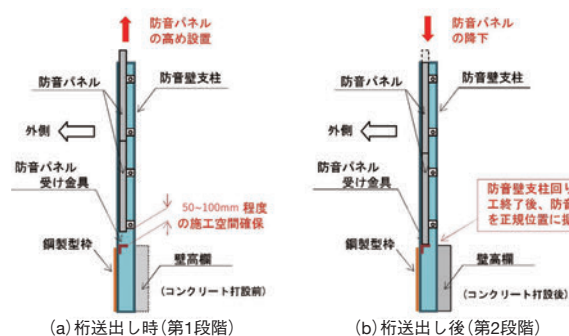


図-11 防音パネル施工手順

(5) 送出し設備

送出し設備として橋脚上には連続して送出しができることを目的にシンクロジャッキを採用した。なお、シンクロジャッキは送出し時の推進力も考慮して駆動式を採用した。ただし、送出し設備に作用する最大反力は約17000kNとなり、駆動式シンクロジャッキの国内最大能力は6000kNのため、1webあたり2台を直列設置し、1支点あたり4台とした。また、方向修正等のための仮受けジャッキについては、4(2) 通行止め時間の厳守で行った検討のとおりシンクロジャッキを使用した。このため、写真-10のとおり、1webあたり、推進用として6000kN駆動式シンクロジャッキ×2台、仮受け用として5000kNシンクロジャッキ×2台の構成となった。仮受け用シンクロジャッキは仮受け時に移動しないようにカバーを設置してキャタピラ部が動かないように対策した。

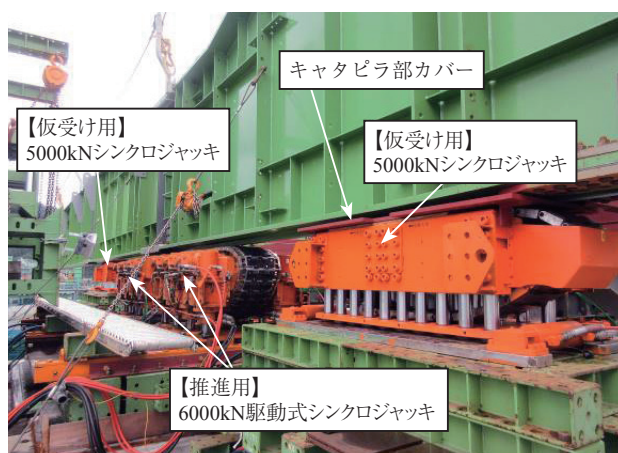


写真-10 送り出し設備構成

(6) 桁送出し工

送出しステップは図-12のとおり、1回目の送出しは、P3橋脚到達までの123m、2回目は62.65mとした。1回目の終了後、2回目の送出しに影響する台車の撤去、手延べ機の撤去、後方桁の設置を行った。

送出し時は、ボルト添接部や溶接継手部を連続的に通過ができるように鋼桁のシンクロジャッキ受け部（ウェブ下）については、写真-11のとおり、角プレートを設置した。角プレートは鉄製で磁石により下フランジに固定されている。なお、本工事では1webあたり約8500kNの反力となり、角プレートの角部により塗装が損傷する恐れがあった。このため、角プレートの角当りを防止するために、写真-12に示す緩衝プレートを設置した。この結果、塗装の損傷は発生しなかった。

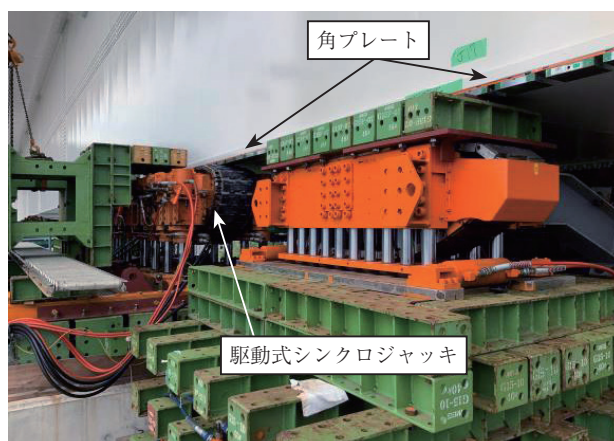


写真-11 角プレート

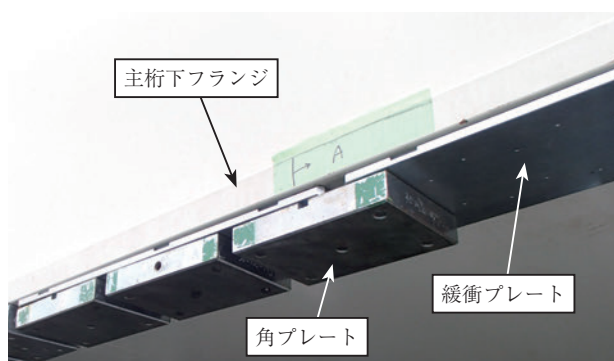


写真-12 緩衝プレート

手延べ機のP2橋脚到達時は約1500mmのたわみが発生し、たわみ処理には1300kN/桁の作用力が発生するため、手延べ機先端に、写真-13のとおり、450kNのトラニオンジャッキを4基設置した。トラニオンジャッキのストロークは1050mmであるが、手延べ機は若干の角度をもって上がっていくため、500mmを限度に、3回に分けてジャッキアップを行った。

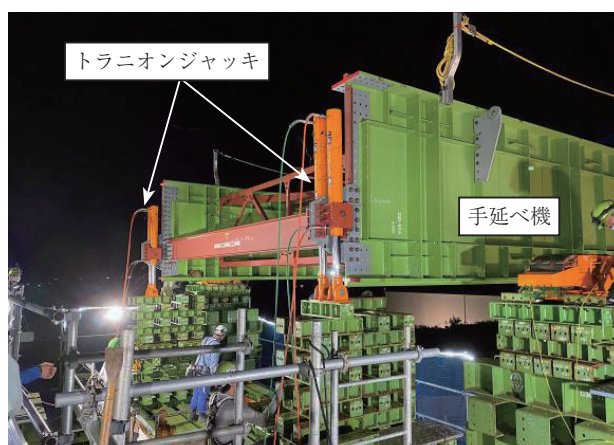


写真-13 たわみ処理設備

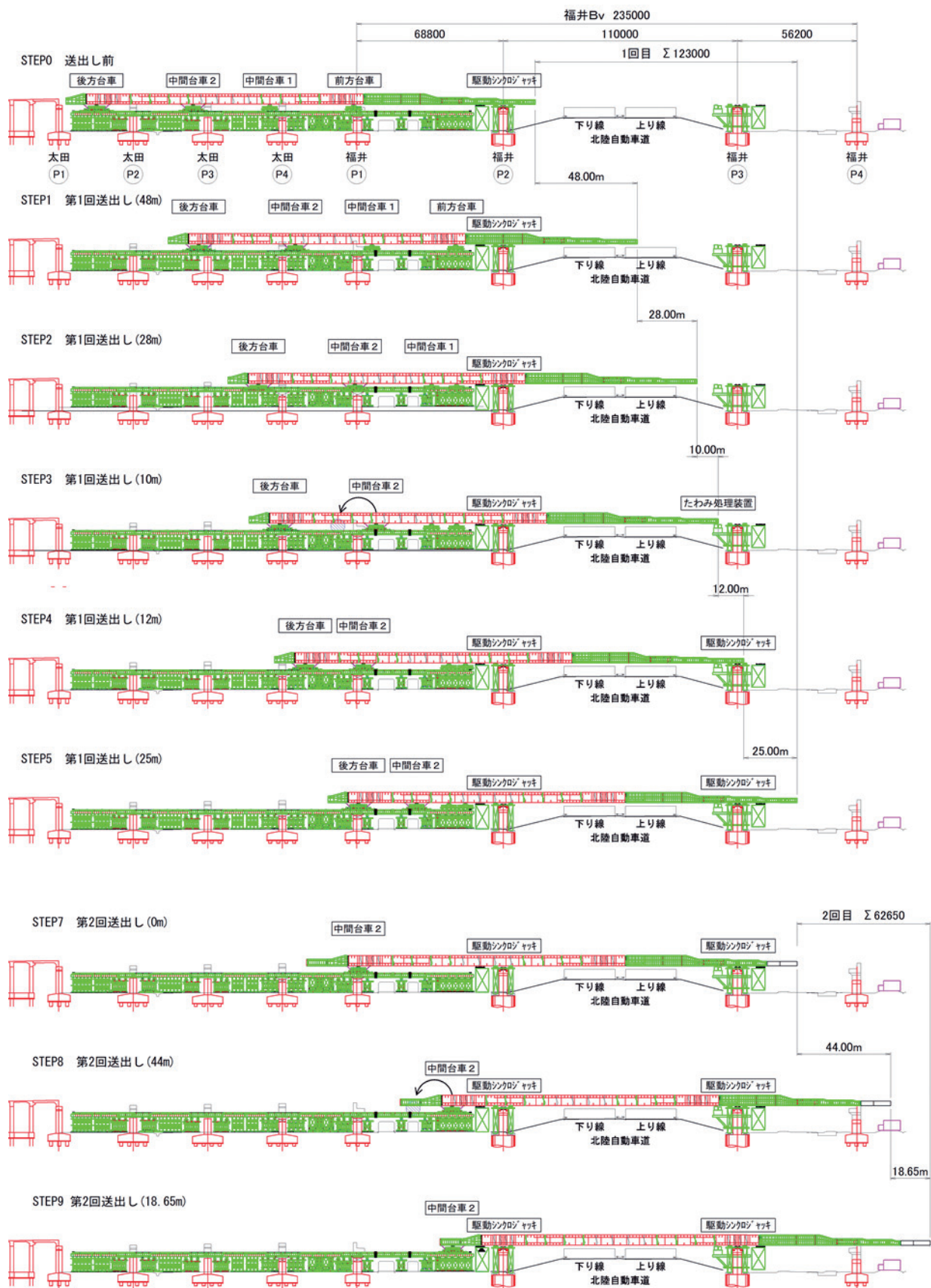
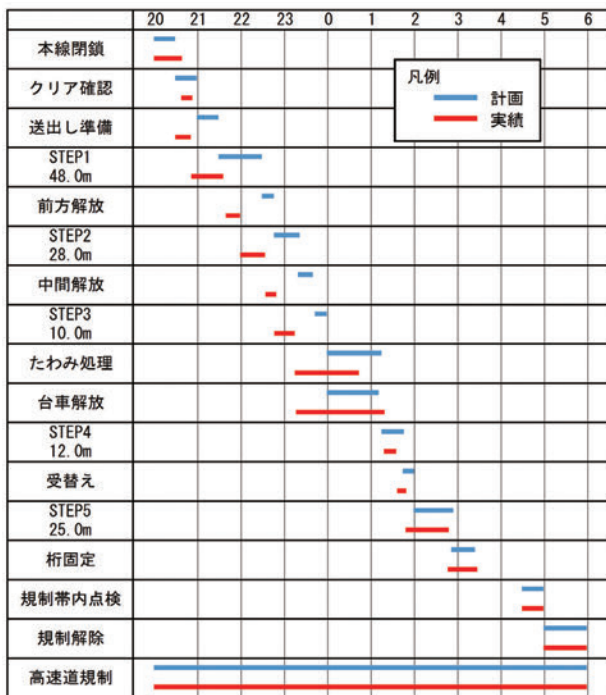


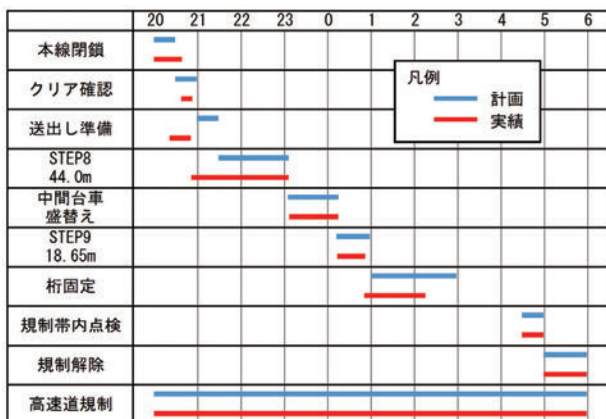
図-12 送出しステップ図

送出し作業は、1回目を9月14日（月）20時から翌6時、2回目を9月16日（水）20時から翌6時に実施した。送出し作業時は北陸自動車道を通行止めとしたが、通行止め範囲については、通行止め回数の削減のため他工事と同時作業とし、1回目は今庄IC～福井IC（上下線・約32km）、2回目は武生IC～福井IC（上下線・約19km）とした。なお、1回目のタイムスケジュールを図－13、2回目のタイムスケジュールを図－14に示す。

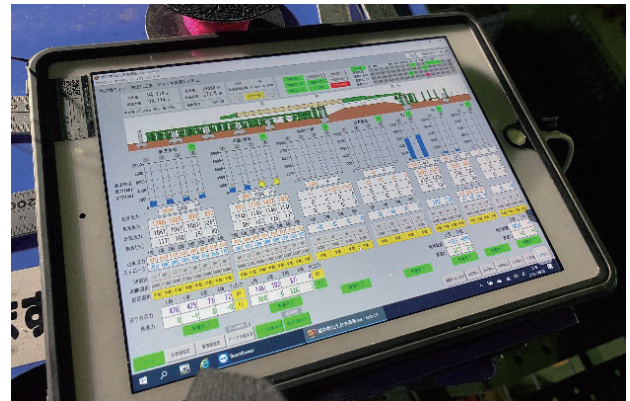
送出し作業中は送出し集中管理システムで管理し、各作業責任者は、写真－14のとおり、タブレットを用いて送出しの状況を確認した。



図－13 送出し1回目タイムスケジュール



図－14 送出し2回目タイムスケジュール



写真－14 送出し集中管理システム



写真－15 送出し前



写真－16 送出し1回目完了



写真－17 送出し2回目完了

(7) 桁降下工

桁降下用ジャッキは5000kNシンクロジャッキ（ストローク230mm）を使用し、写真-18のとおり、桁に固定する設備を設けて吊下げる構造とした。降下高さは650mmとなり、図-15のとおり、1回あたり150mmまたは100mm降下し、5回の降下作業を実施した。

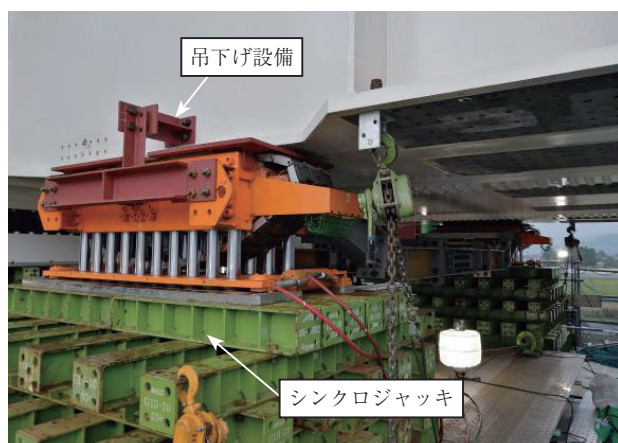


写真-18 降下ジャッキ吊下げ設備

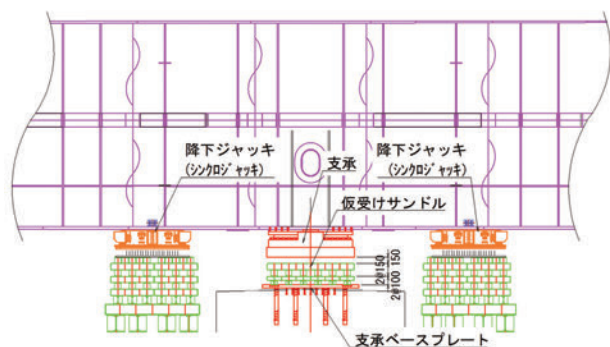


図-15 降下設備

降下時は送出しに設置した橋脚部移動制限設備（写真-1）の他に橋軸方向への耐震対策として、写真-19のとおり、連結構に橋軸方向耐震設備を設けた。

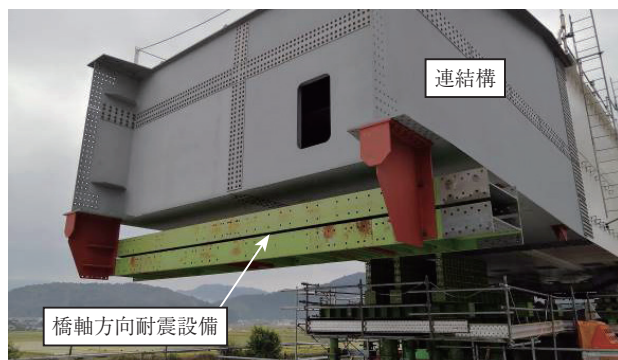


写真-19 降下時耐震設備

6. 側径間架設工

中央径間の送出し完了後、側径間の架設を実施した。側径間の架設は、写真-20のとおり、200t吊オールテレーンクレーンで行った。なお、中央径間が先行して架設をしているため、側径間については、図-16のとおり、中央径間とモーメント連結で架設を行い、架設後に端支点のジャッキダウンを行った。



写真-20 側径間架設状況

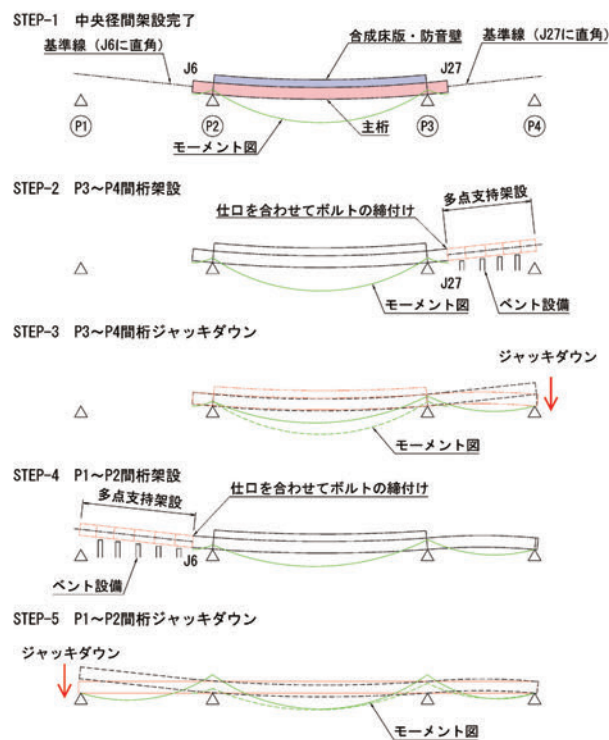


図-16 側径間架設方法

7. 橋面工

コンクリートの配合は表-1のとおりとした。鋼繊維補強コンクリート（SFRC）は、中間支点部（P2およびP3）の負曲げ区間の床版コンクリートに使用した。床版コンクリートの打込みは、写真-21のとおりコンクリートポンプ車を使用して行った。

表-1 コンクリート配合

使用種別	配合設計
床版コンクリート	40-12-25N（膨張）
床版コンクリート（SFRC）	40-12-25N（膨張）
防音壁・地覆コンクリート	27-12-25N
ダクトコンクリート	27-12-25N
制振・支点コンクリート	21-12-25N（軽量）



写真-21 床版コンクリート打込み状況

福井Bvの床版コンクリートについては、橋長が235mの3径間連続合成桁であるため、事前に床版の合成効果を考慮した解析を実施し、図-17に示すように6回に分けて打込みを行った。

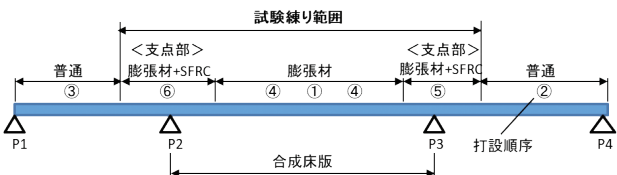


図-17 床版コンクリート打込み順序

鋼繊維補強コンクリートについては、鋼繊維を打込み時に人力でアジテータ車に現場投入する必要がある。このため、鋼繊維投入や攪拌待ちで打込み間隔が空かないように、4台が同時に投入可能な専用の投入足場を設置

した（写真-22）。また、鋼繊維の投入にあたってはアジテータ内で玉にならないように、投入口にメッシュボードを設置し手でほぐしながら投入を行った（写真-23）。



写真-22 鋼繊維投入足場



写真-23 鋼繊維投入状況

床版コンクリート打込み後は、防音壁・地覆コンクリート（写真-24）、ダクトコンクリート（写真-25）、路盤コンクリート（写真-26）、突起コンクリート（写真-27）の打込みを行った。



写真-24 防音壁コンクリート打込み状況



写真-25 ダクトコンクリート打込み状況



写真-26 路盤コンクリート施工状況



写真-27 突起コンクリート打込み状況

8. おわりに

2019年1月の工事着手より、関係各所との調整、協議及び隣接工区との親密なコミュニケーションを図ることで、無事故無災害で工事を完了した。

鋼桁送出し時の国道8号線（第2下筋生田Bv）および北陸自動車道（福井Bv）の夜間通行止めを伴う工事施工にあたっては、関係各所との協議・調整、また工程調整や施工中の問題に迅速かつ真摯に対応していただいた鉄道・運輸機構 大阪支社および福井鉄道建設所の皆様をはじめ関係者の皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。



写真-28 第2下筋生田Bv（完成）



写真-29 福井Bv（完成）

2024.02.15 受付