

上信自動車道跨線橋

CONSTRUCTION OF BRIDGE ON JYOSHIN EXPRESSWAY OVER JOETSU SHINKANSEN RAILWAY

横田 慎二* 高橋 秀樹** 藤長 康弘*** 谷口 真世****
Shinji Yokota Hideki Takahashi Yasuhiro Fujinaga Masayo Taniguchi

1. まえがき

上信自動車道は、関越自動車道の群馬県渋川市から、長野県東御市へ至る総延長約 80km の地域高規格道路である。本橋梁は、上信自動車道の川島バイパスの一区間に位置し、上越新幹線トンネル抗口の直上を横過する橋梁である(図-1)。

道路計画において、桁下からトンネル抗口天端までの空間を確保できない状況であったため、主体足場が不要となる合成床版を採用している。また、桁下にベントの設置ができないため、計画道路土工部からの送出し工法が採用されている。

本報告書では、その架設工事に関する課題や実施内容について報告する。

床版形式：鋼コンクリート合成床版（パイプスラブ）
橋 長：46.5m
支 間 長：45.0m
幅 員：11.39m
鋼材重量：180t
架設工法：送出し架設+回転横取り架設
本工事の構造一般図を図-2 に示す。

2. 工事概要

工 事 名：上信工工 28 第 19 号上越幹高崎・上毛高原間
上信自動車道 Bo 新設他
発 注 者：東日本旅客鉄道株式会社
施 工 者：株式会社銭高組
工事場所：群馬県渋川市川島
工 期：平成 29 年 5 月 17 日～平成 31 年 3 月 31 日
構造形式：鋼単純非合成箱桁橋

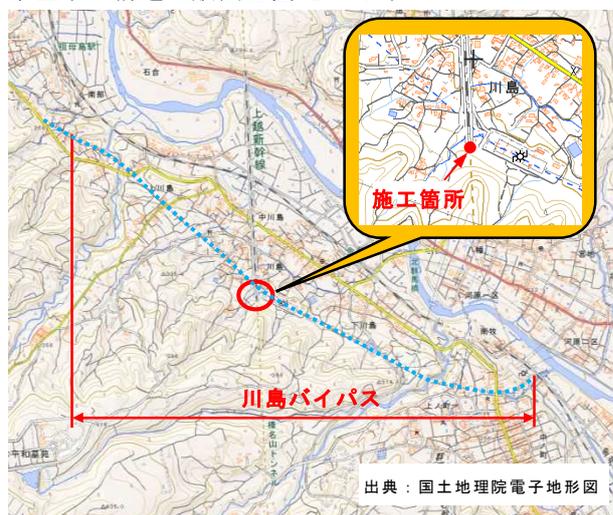


図-1 位置図

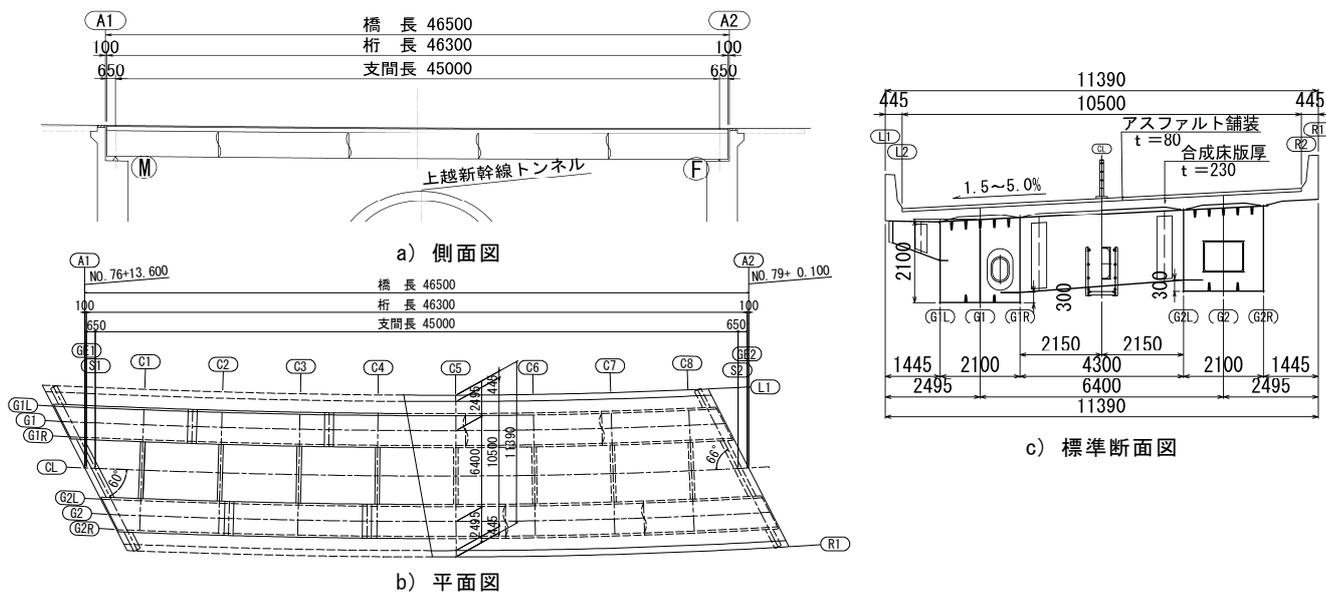


図-2 構造一般図

* 工事本部 橋梁工事事部 計画1課 ** 工事本部 橋梁工事事部 工事1課
*** 工事本部 橋梁工事事部 工事2課 **** 橋梁営業技術本部 橋梁設計部 東京設計課

3. 現場施工における課題

施工計画において、課題となった項目を以下に示す。

3.1 手延機到達までの時間

本橋の平面線形は曲線であり、当初の計画では送り装置を用いた曲線送出しとされ、手延機の到達までに8日間必要であった。その間の張出し状態では、本体構造物および仮設備は不安定な状態であり、直下に営業線が位置する現場においては、大規模地震等のリスクを考慮し、到達までの時間を最小化する必要があった。

3.2 送出し高さの設定

当初設計では、A2側送出しヤードに構造物はなかったが、ヤード後方に本道路と交差するボックスカルバートが完成しており、その影響で送出し高さが2m程高くなる。これにより、送出し設備の規模と主桁の降下量が増え、架設コストの増加と安全性低下の懸念があった。

3.3 送出し・降下作業中の地震時対策

営業線上空の範囲に架設途中の桁があるとき、弾性加速度応答スペクトル 800gal ($k_h=0.8$) に対して本体および仮設構造物を崩壊、落下、転倒、逸走させない必要があった¹⁾。

3.4 積荷転落防止柵の施工

積荷転落防止柵は壁高欄の天端先埋めアンカーに固定する構造となっており、その高さは壁高欄天端から3.2mと高く、また転落防止柵は多くのボルト・ナットで小部材を組み立てる構造であり、足場が設置できない営業線上空での組立は本体工事と同様に難易度が高く安全性・施工性に懸念があった。

4. 施工計画

上述の課題に対しての施工計画を以下に示す。

4.1 手延機到達の時間短縮

送出し時間を短縮するためには、送出しの推進力の見直しをする必要がある。しかし曲線送出しでは推進力の選択肢が限定され、改善することが困難であった。

そのため直線送出しに変更し推進力を選択肢を広げ、時間を短縮することとした(図-3)。曲線桁であるため、直線送出しの後に回転・横取り工法を追加した(図-4)。

手延機到達までの推進設備は自走台車(平均2m/分)を使用した。送出し距離が45m程度なので、一時間で手延機到達が可能である。

手延機到達後は、最も不安定な状態は回避されるものとし、当初通り、送り装置による逐次送出し工法とした。

4.2 送出し高さの抑制

主桁送出しを自走台車方式に変更するには、前方台車が送出し開始から到達完了まで連続で移動することが望

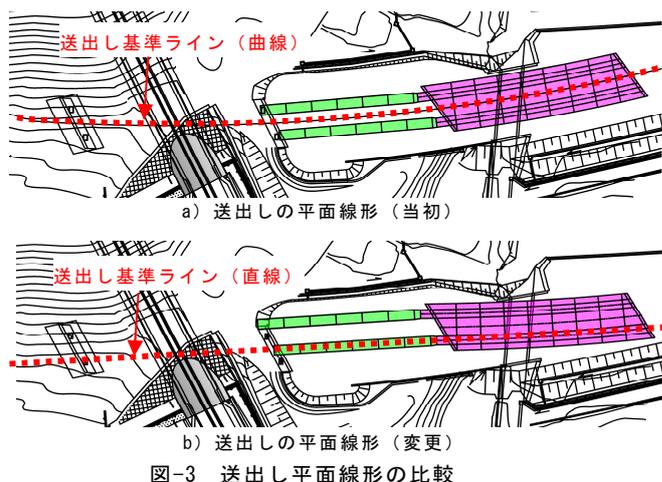


図-3 送出し平面線形の比較

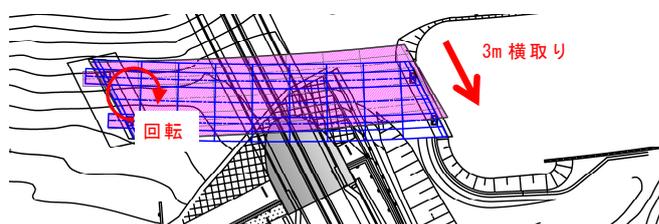


図-4 送出しの後の平面線形と桁の位置修正

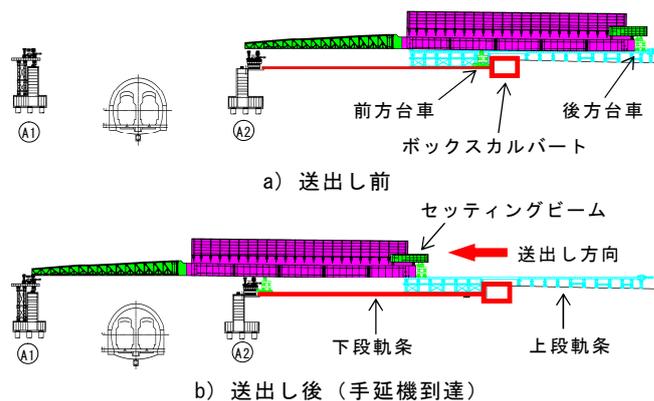


図-5 軌条設備 側面図

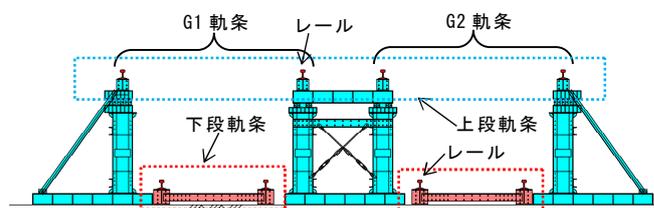


図-6 軌条設備 断面図

ましい。そのためにはA2橋台背面から約50mの位置に前方台車を配置する必要があるが、ヤード後方にあるボックスカルバートと干渉するため、前方台車設備を最小化し、その前面に配置可能とした。

軌条設備は、後方台車がボックスカルバートの上を通過する必要があるため、その前方のみの前方台車専用部、およびボックスカルバートを跨ぐ後方台車専用部の2段階分離構造とすることにした(図-5, 6)。



写真-1 軌条設備

写真-2 セッティングビームと後方台車

表-1 耐震装置への作用力 (kN)

水平力	A1 橋台	A2 橋台
橋軸直角方向	455	796
橋軸方向	1013	—

※1 主桁あたり

A2 橋台背面のヤードの高さとボックスカルバートの天端の高低差は約 2.7m であり、その高さ分を前方および後方軌条の高低差とした。また後方台車の構造高を最小にすべく、桁端部にセッティングビームを設置し、それを後方台車が支持する構造を採用し課題を解決した。結果、送出し高さは当初計画時とほぼ同じとすることができた (図 5, 写真-1, 2)。

4.3 地震時対策

送出し途中の桁を大規模地震による崩壊、落下、転倒、逸走を生じさせないために、A1・A2 橋台に耐震装置を設置した (図-7)。設計方法としては、各送出しステップごとに橋台部に作用する反力を算出した。その反力に弾性加速度応答スペクトル 800gal 相当の設計水平震度 $k_h=0.8$ を乗じて地震時水平力を算出した。主桁自体は送出し設備で支持しており、その反力による摩擦力が生じているので、耐震装置本体には水平力から摩擦力を控除した力が作用するものとした。摩擦力は鋼と鋼の静摩擦係数 $\mu=0.2$ (最小値) を適用した (表-1)。

次に、橋軸直角方向の水平力に対しては、A1・A2 それぞれの耐震装置で負担するものとした。橋軸方向の水平力に対しては、手延機に耐震装置との連結治具を取り付ける関係から、手延機全長が通過する A1 橋台のみで負担させた (図-7 a), 写真-3)。

また、耐震装置およびそれらに付随する部材に作用する応力は、安全率を 1 として基準降伏点まで許容した。

A2 側の耐震装置は、主桁の平面線形が曲線を有し、送出しが進むにつれ主桁が橋軸直角方向に変位するため、これに追従できるよう水平ジャッキを用いて耐震装置の支柱が橋台上に設置した横梁の上を移動する機構にした (図-7 d), 写真-4)。

さらに、耐震装置は PC 鋼棒を使用して橋台に固定した。支圧板をコンクリート内部に埋め込む場合は、アン

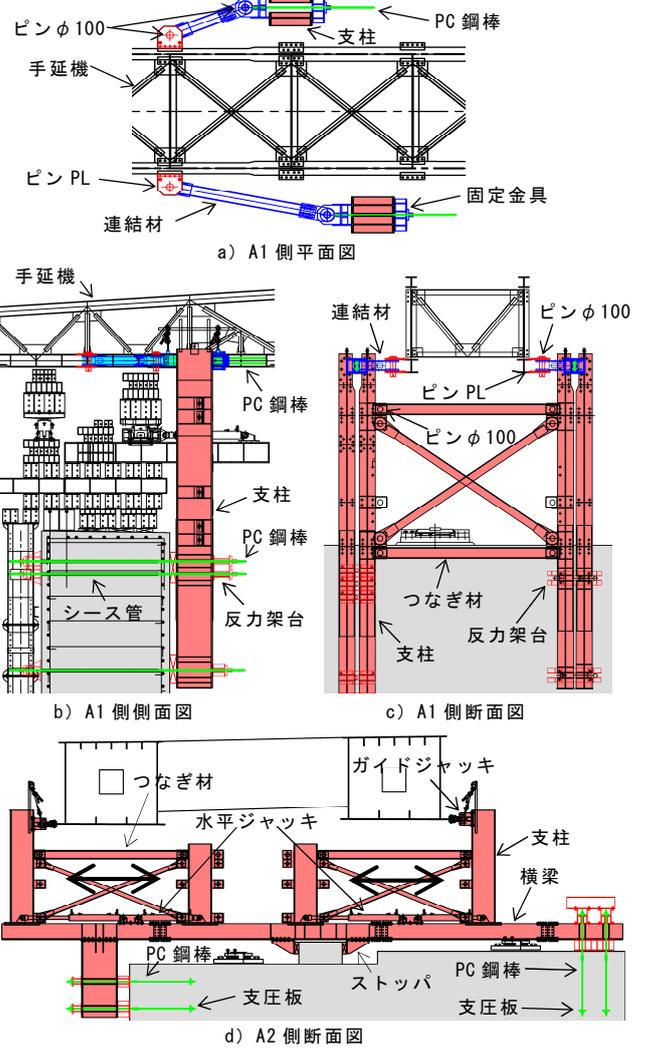


図-7 耐震装置

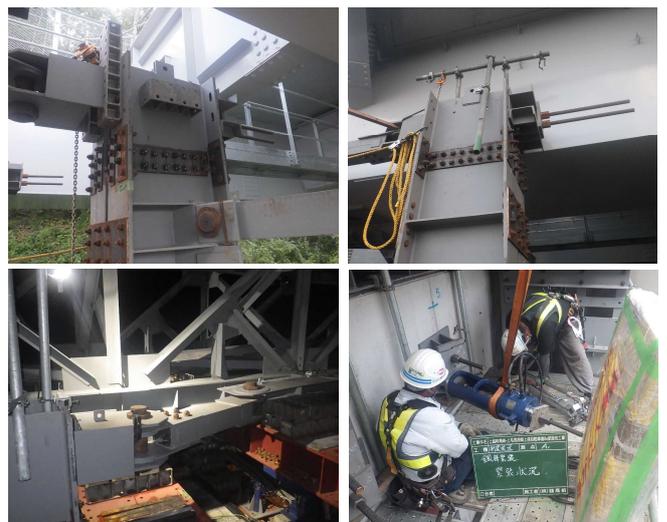


写真-3 A1 橋台 耐震装置

ボンド PC 鋼棒を使用し、橋台を貫通させる場合は溶融垂鉛めっきしたスパイラルシーブ管を、橋台施工時に事前に設置した (図-7 b), d), 写真-3)。



写真-4 A2橋台 耐震装置

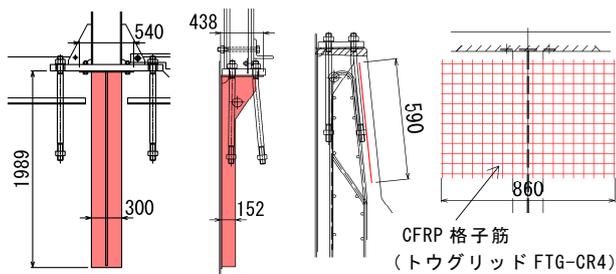


図-8 受台・補強板

図-9 CFRP 格子筋



写真-5 受台・補強板および斜材

4.4 積荷転落防止柵の事前設置

壁高欄施工後の積荷転落防止柵の営業線上空での設置作業は安全性に劣るため、主桁の地組立時に先行設置とした。鋼製型枠の側板に受台と補強板を設けると共に、施工期間中は合成床版と積荷転落防止柵を斜材で固定し、施工時の水平力に対して抵抗させた（図-8、写真-5）。固定に使用した斜材は壁高欄のコンクリートが硬化した後に解体した。

また受台部分には壁高欄コンクリートのひび割れ防止を目的として、CFRP製の格子筋を配置した（図-9）。

5. 送出し架設

1日目の送出しは自走台車にて試験送出し 3m を含む 44.49m、以降の送出しは送り装置を使用して 33.943m を 5回に分けて行った。送出しは上越新幹線の終列車通過（23:35）から初列車通過（6:28）の間合い作業内（413分）で行った。図-10 に送出しステップを示す。

自走台車は 800kN 台車 2 台、500kN 台車 2 台を組み合わせ 1 主桁あたり最大 2,600kN の支持能力とし、台車送出し時の最大反力 1616kN（G2 桁）に対して、十分な余裕を持たせた（写真-6）。送出しに要した時間は 25 分

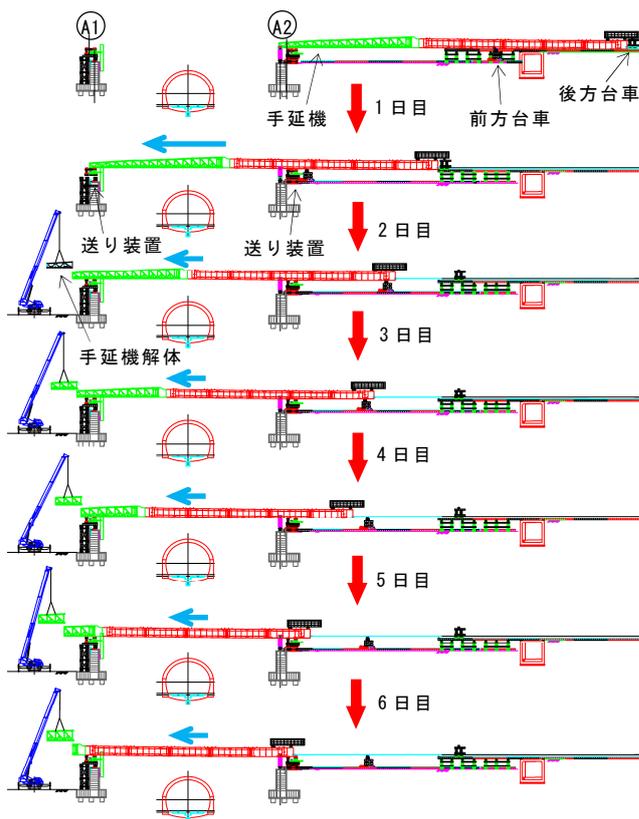


図-10 送出しステップ図



写真-6 自走台車

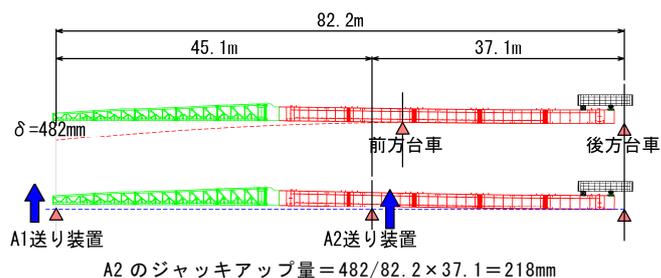


図-11 手延機先端たわみ処理

であり、送出し速度は計画通り約 2m/分であった。

また、1回目の送出し時の手延機先端たわみは 482mm（G1 桁）であり、手延機到達時のたわみ処理は A2 側の送り装置部をジャッキアップして対応した（図-11）。

また台車送出し時の逸走防止と緊急時に送出し桁を引き戻すために、ブレーキング・引き戻し装置（一体型）を送出し軌条後方部分に設置した。主桁後方延伸部の下フランジの固定治具に連結した φ28.6 の PC 鋼より線を

装置に通し、内蔵された油圧ジャッキで一定の圧力および摩擦力を与え、逸走方向に対して所定の抵抗を持たせながら送出しを行った。緊急停止時は装置内部のチャックがより線を噛むことで逸走を止める構造となっている（写真-7、図-12）。

送り装置は、主桁を載せるスライディングジャッキ、押し引可能な水平ジャッキ、および主桁をスライディングジャッキに載せ替える盛替えジャッキで構成した（図-13、写真-8）。水平ジャッキの1回のストロークは1mで、盛替えを繰り返して送出しを行った。1回あたりのサイクルタイムは平均して20分であった。送出し状況を写真-9に示す。



写真-7 ブレーキング・引き戻し装置

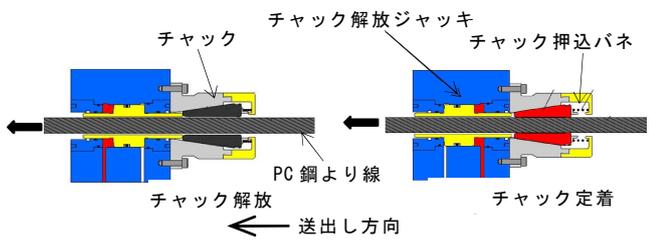


図-12 ブレーキング装置

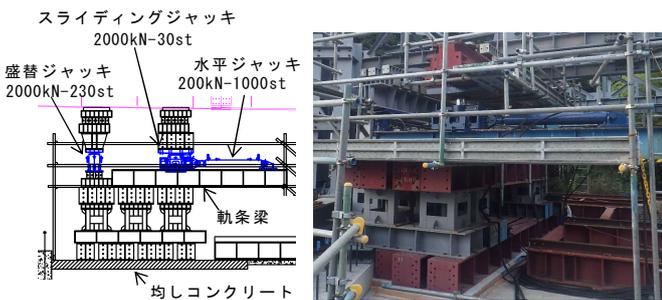


図-13 送り装置組立図

写真-8 送り装置(A2)



写真-9 送出し状況

6. 主桁の降下

本工事の桁降下量は約2.9mで、特殊ジャッキによる1次降下2.0m（図-14、写真-10）と、サンドル式による2次降下0.9mの2回に分けて降下した。1次降下の後、主桁の回転横取りを行った。

1次降下ではジャッキストローク5.4m、扛上能力1,080kNの特殊ジャッキを両橋台背面の各主桁に、計4台を配置した。並列する2台のジャッキの頂部は受梁で連結し、水平力への対策としてφ36のワイヤ2条をジャッキ基部から対角に設置した。また、降下に伴い対角寸法が短くなるので、チェーンブロックを併用して寸法変化に対応した。さらにフェールセーフ機能を付すため、ジャッキが制御不能になった場合や、地震で転倒した場合を想定して、サンドルと0.5mベント材で構成した仮受設備を特殊ジャッキの傍に配置し、想定外事象に対する桁落下防止対策を行った。

降下時は、仮受設備のサンドル材3段（合計高さ450mm）または4段（合計高さ600mm）を人力で撤去し、その空間分を特殊ジャッキで降下するステップを繰り返した（図-15）。このようにして、1次降下の作業の所要時間は100分で、約1.2m/hの降下速度であった。

2次降下は、主桁各腹板直下に1000kN-230stのジャッキを配置して、サンドル材（高さ150mm）を1段ずつ撤去した。最終降下を行うと、桁端延伸部がパラペット未

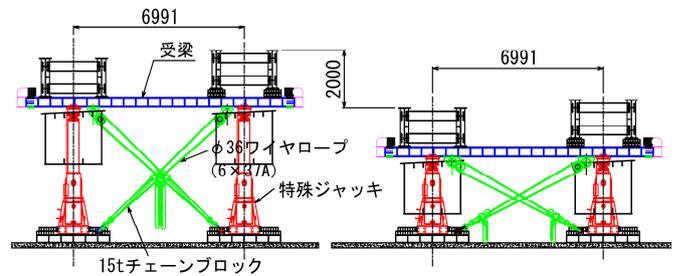


図-14 特殊ジャッキによる降下

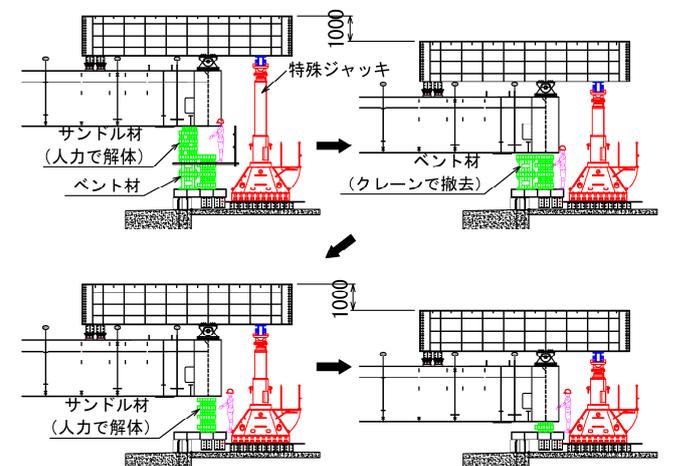


図-15 降下ステップ図（1次）



写真-10 特殊ジャッキ (左: A1, 右: A2)



写真-12 G1 桁 S1 支点 横取り装置



写真-13 G2 桁 S1 支点 回転中心ジャッキ



写真-11 サンドル方式降下設備と切り欠き部



写真-14 A2 側横取り装置

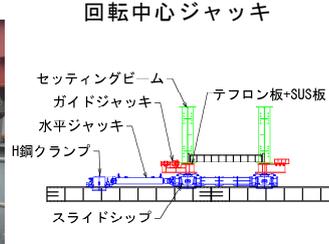


図-18 A2 側横取り装置組立図

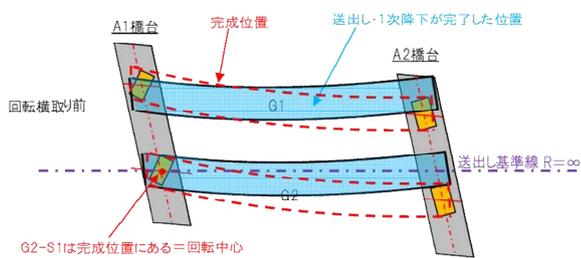


図-16 送出し完了後の桁の位置

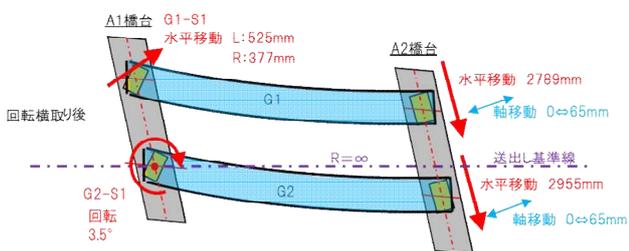


図-17 回転横取りするための主桁支点の移動量



写真-15 完成写真

施工部の突出鉄筋に干渉するので、ガス工具にて事前に干渉部を切欠く作業を行った（写真-11）。降下は180分で完了し、降下速度は約300mm/hであった。

7. 回転横取り

送出しの平面基準線を直線に変えたことにより、送出し完了後の桁の位置は図-16のようになる。このとき、G2桁のS1支点は完成位置にあるので、この支点を中心に時計回りに桁を回転させるため、そのためには各支点は図-17のような移動が必要となる。

各支点の移動量に対応するため、以下のジャッキ設備を配置した（写真-12～14）。

- ・ G1 桁 S1 支点：1000kN 横取り装置×2 台
- ・ G2 桁 S1 支点：2000kN-100st ジャッキ+球座回転 PL
- ・ G1, G2 桁 A2 橋台側：250kN-850st 水平ジャッキ+1000kN スライドシップ+H 鋼クランプ×2 セット

G2 桁 S1 支点の回転中心は、回転中の水平力・衝撃等でズレが生じ、ジャッキが転倒しないように、堅固な架台を製作し受梁と固定を行った。またジャッキ頂部の球座回転PLを押さえるL形鋼は支承セットボルト孔を利用してボルトで桁と固定した。

A2 側は橋軸直角方向への移動とともに、軸方向にも変位するので、スライドシップ上にテフロン板、ステンレス板とガイドジャッキを組み合わせた架台を載せ、2 軸移動に対応した（図-18）。

8. あとがき

営業線の JR 上越新幹線を跨ぐ主桁の送出し架設および降下作業を、大規模地震に備えた非常に規模の大きい耐震装置を設置し、タイムスケジュール通りに無事に完了することができた。

最後に、本工事の施工においてご指導、ご協力を受け賜りました、東日本旅客鉄道株式会社 上信越工事事務所、株式会社 銭高組 および関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 桁架設計マニュアル，東日本旅客鉄道株式会社，2014.6.