

新幹線直上部における鋼道路橋の送り出し施工

— 上信自動車道跨線橋 —

Construction of steel girder bridge used Incremental Launching Method above Shinkansen line

八若幹彦*1 今牧修二*2

概 要

上信自動車道 Bo は、地域高規格道路である上信自動車道が上越新幹線を跨ぐ箇所において立体交差する橋長 46.5m の鋼単純非合成箱桁橋である。本橋は上越新幹線に対して斜角を有する曲線形状の跨線橋で、当初案では曲線送り出しによる架設が計画されていたが、施工の簡便性および新幹線直上における作業日数の低減を図るため、直線送り出しと回転横取りの併用による架設方法への変更を試みた。

本報告では、新幹線近接下における下部工施工、新幹線直上部における桁架設方法、新幹線近接工事の安全管理について、施工の概要および新たな取り組みについて報告する。

key words : 送り出し、桁降下、回転横取り、自走台車、新幹線近接、上下部工、跨線橋

1. はじめに

上信自動車道は、群馬県渋川市の関越自動車道・渋川伊香保 IC から長野県東御市の上信越自動車道・東部湯の丸 IC へ至る延長約 80km の地域高規格道路整備事業であり、その一部をなす上信自動車道 Bo は、上越新幹線を跨ぐ橋長 46.5m の鋼単純非合成箱桁橋である（工期 2017 年 3 月～2019 年 2 月）（写真-1）。

本橋は、下部工として RC 橋台を 2 基、上越新幹線の東西に 1 基ずつ配置されており、どちらも営業線近接条件下での施工となった。上部工は、上越新幹線を立体交差する跨線橋で、交差角 63° と非常に大きな 2 主箱桁橋であり、床版は有効幅員 10.5m の合成床版構造となっている。

下部工では、新幹線の運行に支障が生じないよう、リスクを低減した施工方法が要求され、特に場所打ち杭の施工において、新幹線軌道に影響が生じないよう 24 時間体制で動態観測を実施した。

上部工では、新幹線直上部における作業日数の低減が課題となり、送り出し架設計画の見直しを実施した。送り出し計画は当初、曲線送り出し工法であったが、施工時間および施工精度の確保が困難であると考えられた。このため変更計画では、直線送り出しと回転横取りを併用する工法を採用し架設を実施した。

以下では、本橋における上下部工事の施工に関して報告する。



写真-1 上信自動車道 Bo 全景

2. 橋梁概要

図-1 に上信自動車 Bo の橋梁一般図、図-2 に上部工標準断面図、表-1 に橋梁諸元を示す

図-1、2 より、本橋梁は、A1、A2 橋台とも外径 1000mm の場所打ち杭による基礎形式が採用されており、躯体は逆 T 式橋台となっている。上部工は橋長 46.5m、桁高 2.1m の鋼単純 2 主箱桁となっており、床版は厚さが 230mm で横断勾配が 1.5～5.0% に変化する合成床版となっている。また、本橋は上越新幹線榛名トンネルの新潟側坑口部に位置しており、トンネルアーチカルバート側壁から約 11.0m の離隔で両橋台（A1、A2）が配置されており、桁においてもトンネルアーチカルバート天端から約 2.0m の離隔で交差しているため、営業線近接施工の条件となった。

*1 Mikihiko YAWAKA

東京支社土木支店土木部 副所長

*2 Syuji IMAMAKI

東京支社土木支店土木部 作業所長

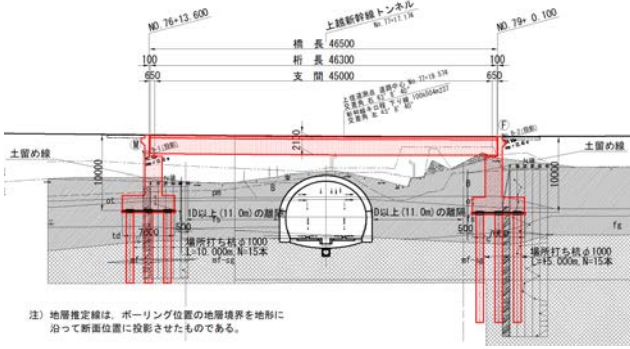


図-1 橋梁一般図

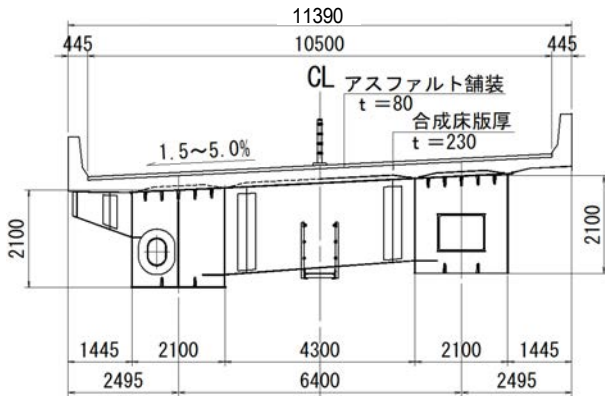


図-2 上部工標準断面図

表-1 橋梁諸元

道路規格	第3種第2級	
設計速度	V=60 km/h	
活荷重	B活荷重	
橋長	46.500 m	
支間長	45.000 m	
有効幅員	10.500 m	
平面線形	A=150~R=400 m	
縦断線形	0.941% ↘ ↗ 4.200%	
横断線形	1.5%両勾配~5.0%片勾配	
上部形式	鋼単純非合成箱桁橋	
部材料	鋼材	SM400, SM490Y, SS400
	床版	$\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$ SD345
下部形式	躯体	逆T式橋台
	基礎	場所打ち杭
部材料	コンクリート	$\sigma_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$
	鉄筋	SD345
適用示方書	道路橋示方書・同解説 I~V (平成24年3月)	

3. 下部工の施工

3.1 新幹線構造物（榛名トンネル）の動態観測

上信自動車道 Bo は営業線近接作業であるため、上越新幹線の運行に支障がないよう施工することが求められた。特に、場所打ち杭の施工では掘削作業に伴う周辺地盤への影響により、新幹線軌道および榛名トンネルアーチカルバートが変状する恐れがあった。このため、場所打ち杭の施工期間中はアーチカルバートの動態観測を24時間常時計測した。

図-3に動態観測計画平面図を示す。トンネルアーチカルバートの計測には、自動計測型トータルステーションを使用した。測点は、アーチカルバート頂点を2ヶ所 (A1-1、A1-2)、アーチカルバート側面1ヶ所 (A2-1) とした。また、自動計測の精度向上ならびに信頼性を向上させるために、手動観測点を設け定期的な確認測量を実施した。

表-2は、観測された測量データから算出される測点の変状結果による施工上の運用基準を示す。表中の「限界値」は新幹線の運行抑止を伴うため、高い測量精度と即時性を必要とされた。今回採用したトータルステーションによる自動計測では、計測データをクラウド化することで、スマートフォン等を用いた現地による遠隔監視が可能となり、場所打ち杭の施工による影響評価を「見える化」することができ、施工の安全性を向上することに繋がった。

表-2は、観測された測量データから算出される測点の変状結果による施工上の運用基準を示す。表中の「限界値」は新幹線の運行抑止を伴うため、高い測量精度と即時性を必要とされた。今回採用したトータルステーションによる自動計測では、計測データをクラウド化することで、スマートフォン等を用いた現地による遠隔監視が可能となり、場所打ち杭の施工による影響評価を「見える化」することができ、施工の安全性を向上することに繋がった。

3.2 低離隔型場所打ち杭 (BG-20) の施工

A1橋台の施工では、橋台周辺部が急峻な斜面に位置しており、施工基面の整地を行うためには、場所打ち杭に先行して土留め杭を施工する必要があった。また、土留め杭は新幹線に影響がないよう新幹線からの離隔 11.0m を確保する必要があったため、場所打ち杭と土留め杭が近接する結果となった。そのため、場所打ち杭の施工方法には、従来工法であるパワージャッキによる全周旋回式オールケーシング工法に替えて、低離隔型の施工機械によるオールケーシング工法 (BG-20) を採用した。

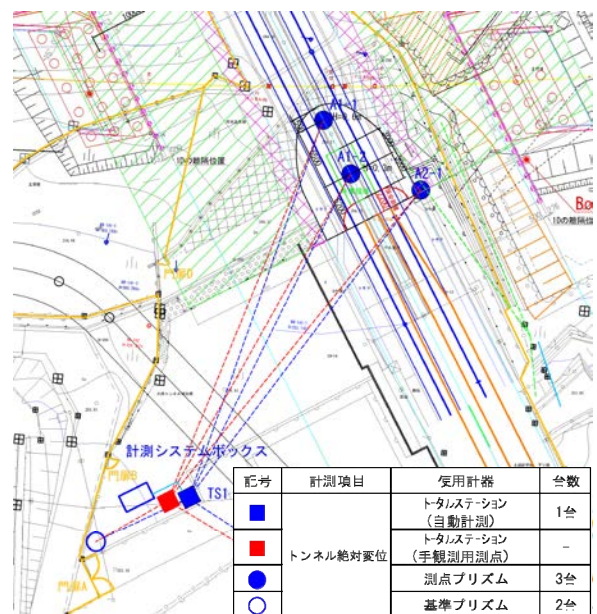


図-3 動態観測計画平面図

表-2 各変状による施工基準値

計測対象	計測項目	警戒値	工事中止値	限界値
トンネル本体	鉛直変位	±6.0mm	±9.0mm	±12.0mm
	水平変位	±4.0mm	±5.0mm	±7.0mm



写真-2 BG-20 を用いた場所打ち杭の施工状況

写真-2 に BG-20 を用いた場所打ち杭の施工状況を示す。BG-20 はクローラー型の杭打ち機械のため機動性が高く、機械前面側のクリアランスが小さな場合でも施工が可能である。また、掘削能力においても外径 1000mm の杭であれば深さ約 18m まで可能であり、本工事における適用性は高く、鉄道近接工事や狭隘な施工環境における施工性の高さを確認できた。

4. 上部工の施工

4.1 曲線送り出しから直線送り出しへの計画変更

上信自動車道 Bo は、曲線形状の桁のため、発注時における架設方法は桁の設計線形どおりに曲線送り出しで計画されていた。しかし、曲線送り出しは、橋軸方向ジャッキのスライド量調整や、桁送り出し時の重心の変化に伴う垂直ジャッキの圧力調整など管理項目が多く、ジャッキ圧力の異常発生時に対するリスクや桁の送り出し精度確保が問題となった。そこで変更計画では、桁を曲線に送り出すのではなく、橋軸方向に直線に送り出し、桁が A1 橋台へ到達後、A1 側に回転中心を設けて、A2 側のみを横移動する「回転横取り」を併用することとした。この方法により、送り出し時のスライド量調整がなくなり、管理が簡便になるほか、1 日当たりの送り出し量も曲線送り出しに比べ 2 倍ほど増加できるため、新幹線直上部における作業日数の低減が図れ、新幹線運行上のリスクも改善することができた。図-4 に、当初計画および変更計画の概要を示す。

図-4 の変更計画では、A1~A2 の支承点を直線で結んだ方向に対して、A2 橋台側のみ 3m シフトした点を直線送り出し方向とした。これは、桁が曲線形状のため 3m シフトしないと後方の送り出し設備が工事用地から外れてしまうためである。このため、直線送り出し後に A1 支承点を中心に回転横取りを実施することとした。

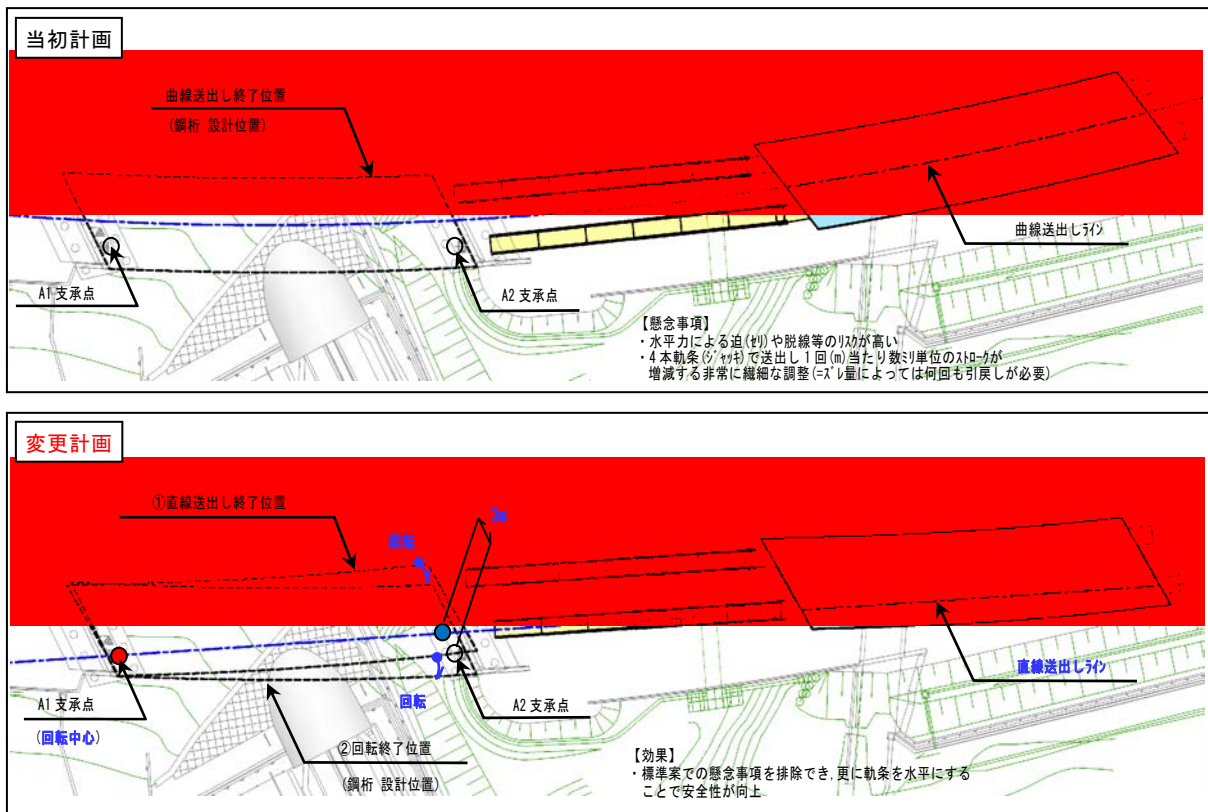


図-4 当初計画および変更計画

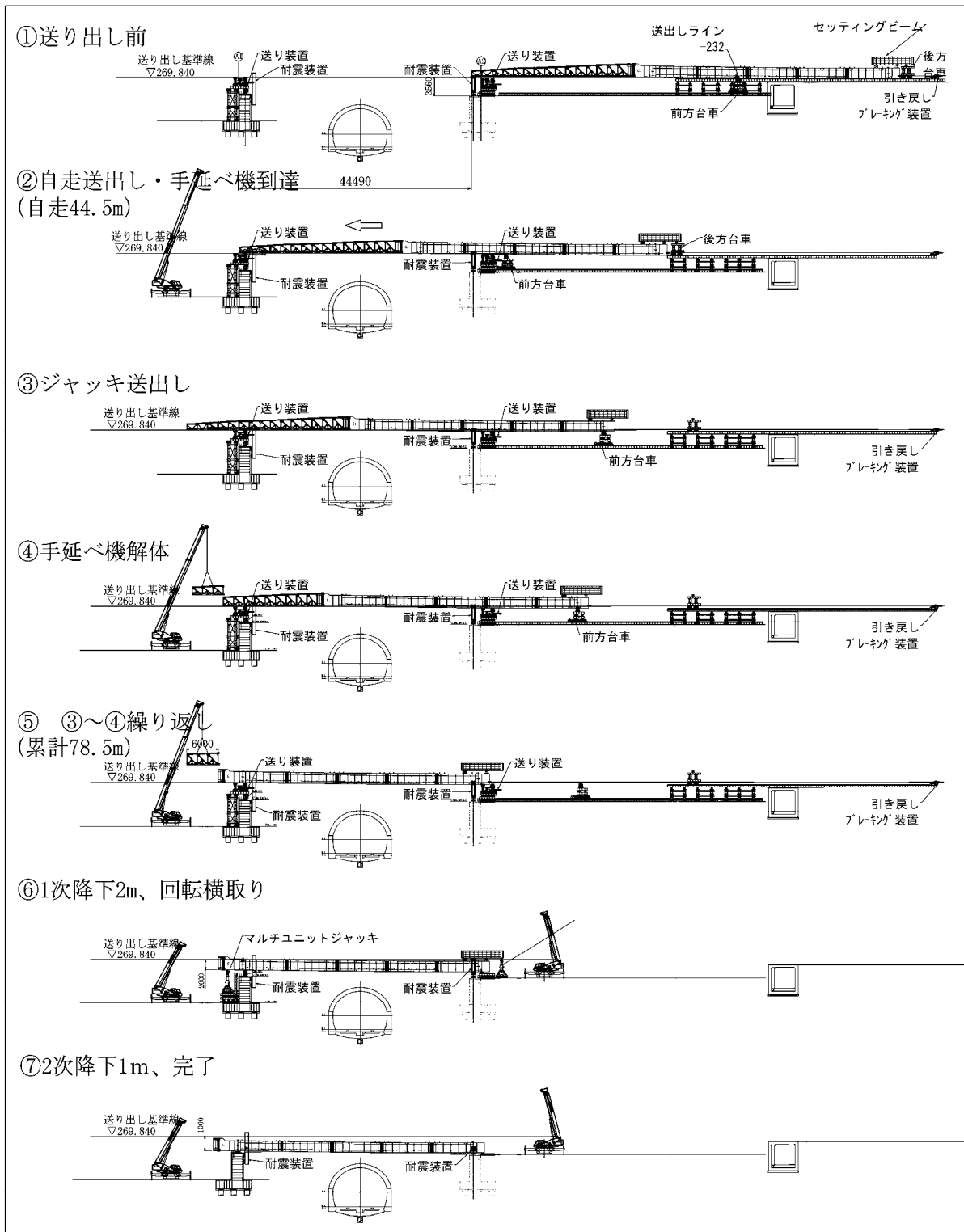


図-5 桁架設ステップ図

4.2 送り出し工法

4.2.1 自走送り出し

上信自動車道 Bo の送り出し作業では、新幹線終列車通過後（午前 0 時）から試験列車通過（午前 3 時 30 分）までの時間帯で行うことが施工上の条件であったが、発注者からは、新幹線へのリスクを低減させるため、新幹線直上における作業時間の縮減を求められた。このため、架設用手延べ機が A1 橋台に到達するまで（約 44.5m）

の作業時間を短くする目的で、自走台車による送り出しを採用した（図-5①～②）。

図-5 に桁架設ステップ、図-6、写真-3 に使用した自走台車設備を示す。自走台車設備は前方台車と後方台車から構成されており、駆動能力は前方台車のみとなっている。この自走台車を用いることにより、約 45m の手延べ機送り出しを 30 分程度で完了することができた。

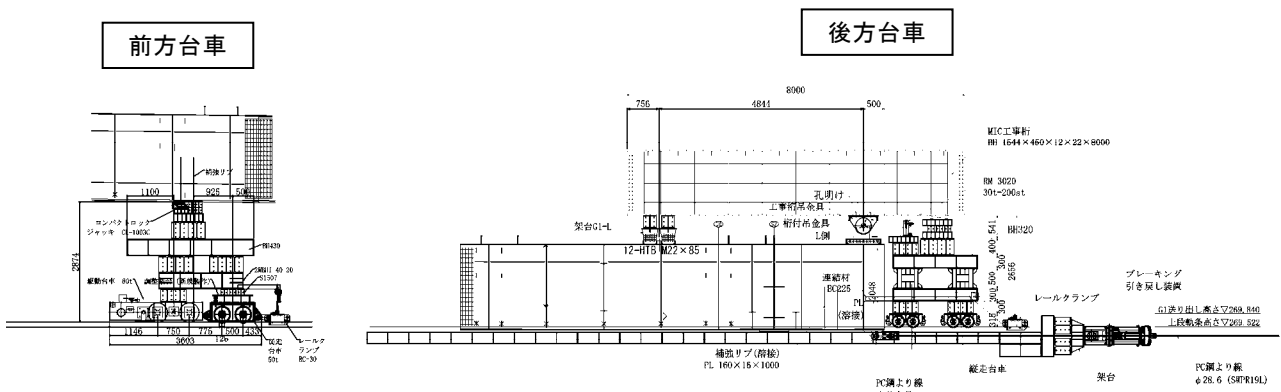


図-6 自走台車設備



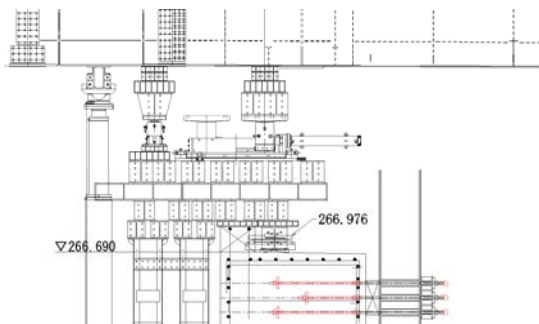
前方台車（駆動装置）



後方台車（自由車輪）

写真-3 自走台車設備

A1 側設備（橋台上）



A2 側設備（橋台背面）

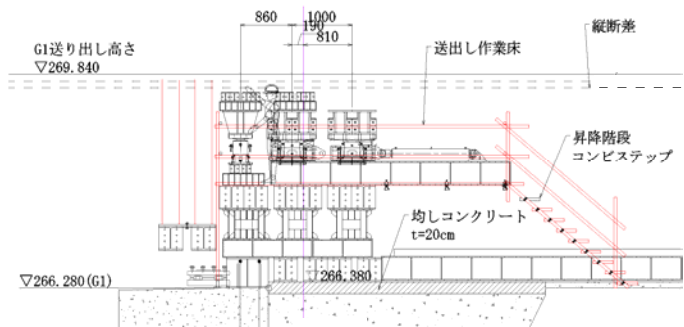


図-7 送り出しジャッキ設備

4.2.2 ジャッキ送り出し

自走台車による手延べ機の送り出し完了後は、ジャッキによる送り出しを行った。図-7 に、送り出しジャッキ設備の概要を示す。ジャッキによる送り出しは34m実施した。送り出しジャッキのストロークは800mmのため、A1側とA2側のジャッキを同時に、同じ速度でスライドさせることにより実施した。ジャッキ送り出し作業についても、夜間の閉鎖時間帯で実施したため、一日の作業時間は3時間程度しかなく、日平均7m程度の送り出し量であった。また、直線送り出しを行ったため、送り出し方向や移動量の管理が簡便に実施でき、送り出し中のジャッキ圧力等も計画管理値内であった。

4.3 仮設耐震装置A2側設備（橋台背面）

JR東日本管内の線路上空に桁を架設する工事では、鉄道運行の安全を確保するため、「仮設構造物設計マニュアル¹⁾」が制定されており、桁の架設が完了するまでの期間中は、地震等の大きな外力が生じた場合に必要となる耐力について仮設検討を求められている。上信自動車Boの架設工事で要求される耐力は、桁荷重（手延べ機等の仮設物重量を含む総重量）の80%が水平力として、橋軸方向および橋軸直角方向に作用した場合に耐える構造を要求された。このため、桁を送り出す装置とは別に、これらの水平力に抵抗するための仮設耐震装置を設置することとした。

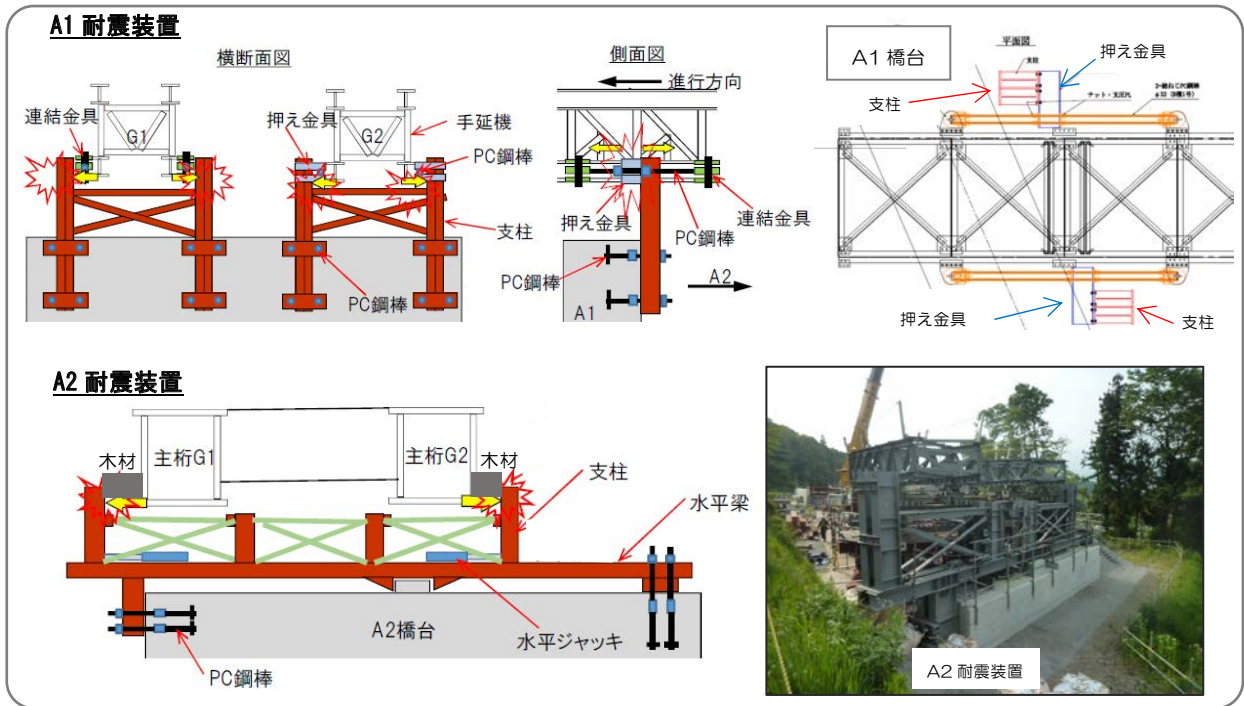


図-8 仮設耐震装置概念図



降下前状況

写真-4 桁降下状況 (A2側)

降下完了

図-8は、A1、A2各橋台に設置した仮設耐震装置の概念図を示す。

仮設耐震装置は、A1、A2側ともに支柱（鋼材）をPC鋼棒で橋台に緊張固定し、桁と支柱の接触抵抗により、地震時の外力を橋台が受け持ち抵抗する構造とした。

4.4 桁降下（マルチユニットリフト）

上信自動車道Boは、前工事において施工ヤード内を分断するように本設のボックスカルバートと盛土が施工されており、函体高による段差を解消するために、桁の地組高さを通常の送り出し架設に比べ約2m高く設定（施工基面からの高さ3m）することになった。これにより、桁の送り出し後に行う桁降下量も大きくなるため、桁降下作業に対する簡便性、高速施工性が必要となった。このため、桁降下量3mのうち、2m分をマルチユニットリフト（大型ジャッキ）による施工を適用した。桁降下で

は、最大揚重能力350t、最大揚程5.4mのジャッキをA1、A2側ともに2基ずつ設置し、4台のジャッキを同時に動作させることで降下をおこなった。この方法より一般的な降下に比べて、サンドルの組み換え作業が削減でき、2m分の降下に要した作業時間は50分程度と、一般的な方法の1/10程度であった。桁降下時の状況を写真-4に示す。

4.5 回転横取り

上信自動車道Boは、施工の簡便性のため直線送り出しと回転横取りを併用した架設方法を採用した。図-9に回転横取りの計画平面図を示す。図中で実線は桁送り出し完了時の位置、点線が回転横取り完了後の位置（設計位置）を表している。回転横取りは、A1橋台上でG2桁の支承芯（図中G2-S1）を回転中心として、A2橋台部においてG1、G2桁を約3m横取り移動することとした。

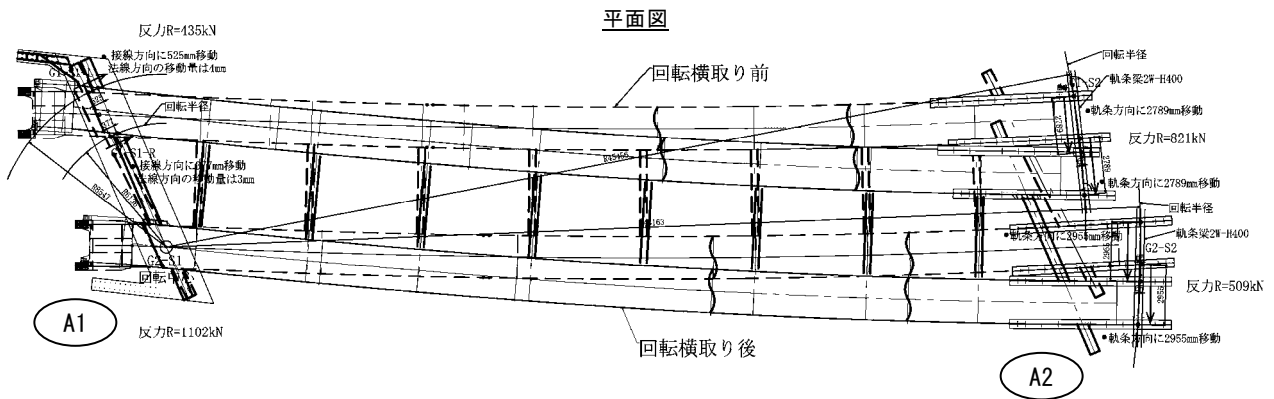


図-9 回転横取り計画平面図



写真-5 回転装置 (200t ジャッキ)



写真-6 横取り用スライディングシップジャッキ



横取り前



横取り完了

写真-7 横取り施工状況 (A2)

A1 側に設置した回転設備を写真-5 に示す。回転設備は 200 t 油圧ジャッキの頭部に水平方向に可動する回転ヒンジを取り付け使用した。

写真-6 は A2 側に設置した横取り設備を示す。横取り設備は、G1、G2 桁の下にレールとなる鋼材を設置し、その上にスライディングシップジャッキを 2 基搭載し、スライディングシップジャッキの水平移動によって横取りを行った。

回転横取りは、約 60 分の所要時間で完了した。また、施工精度においても、回転軸の偏心はなく、A1、A2 とも設計位置に対して、±3mm 程度の誤差となり、高精度の施工ができた。横取りの状況写真を写真-7 に示す。

5. 営業線近接工事の安全管理

5.1 積荷転落防止柵の先行設置

当初計画では桁の架設後、高欄コンクリートの上部に積荷転落防止柵を設置する順序であった。しかし、この手順では、桁の送り出し時や積荷転落防止柵の取り付け作業時に新幹線内への落下物が危惧された。このため、変更計画では積荷転落防止柵を桁の地組時に先行設置し、送り出し架設を実施した。

写真-8 に桁送り出し前に積荷転落防止柵を、写真-9 に桁送り出し中の状況写真を示す。

この方法により、桁架設工事期間中の飛来落下物はなく、安全対策としての効果は大きい。



写真-8 積荷転落防止柵の先行設置状況



写真-9 桁送り出し状況

5.2 VRを用いた新幹線路の再現と教育

本工事では、安全教育・安全啓蒙活動として、VR技術を用いた危険リスクの「見える化」を試みた。写真-10に今回構築したVRを示す。これは現場周辺部の新幹線設備や付帯構造物を3D-CAD化し、VR機器で体験できるようにしたものである(写真-11)。通常、新幹線の線路内への立ち入りは厳しく制限されており、これまでは少人数の調査入場しか認められていなかった。しかし、このVRを新規入場者等に対する教育資料として活用することにより、現場周辺環境の確認や、新幹線の重要性を理解するうえで、非常に大きな効果があった。



図-10 VRのサンプル画像



写真-11 VR技術教育状況

6. おわりに

上信自動車道は、渋川市街地と草津・吾妻方面を結ぶ道路整備事業のため、完成後の地域住民の利用による生活水準の向上、観光開発による地域の活性化を期待したい。

なお、本工事は東日本旅客鉄道株式会社建設工事部ならびに上信越工事事務所より高い評価を頂き、優良工事表彰を受けている。

最後に、架設計画の変更に多大なる協力をいただいた関係者各位に感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) J R 東日本：仮設構造物設計マニュアル, 2014. 09