

阪急淡路 Tdt136 トラス橋工事報告

村部 剛史* 中川 浩規** 梅田 成泰***

Construction Report of Truss Girders (Tdt136) on a Hankyu Awaji Station

Tsuyoshi Murabe, Hiroki Nakagawa and Narihiro Umeda

The Awaji Station on the Hankyu Railway in Osaka is a transfer station the Kyoto Line and the Senri Line that has with Diamond crossing intersection. Recently, with the opening of the JR Osaka-Higashi Line, a new station has been added, and the number of passengers getting on and off at this station is increasing. The project of the grade separation in the Awaji station which starting construction

7.1km around this station along the Senri Line and the Kyoto Line which is expected reduction of traffic jams by removal railroad crossing and unification of separated urban areas. This construction is the erection of truss girders of the Hankyu Senri Line on over the JR Osaka-Higashi Line.

1. はじめに

大阪の阪急淡路駅は、千里線と京都線が平面交差する乗換駅であり、2019年3月にはJRおおさか東線の開業に伴い近隣に新駅も併設され乗降客が増加している。淡路駅立体化交差事業は、2008年から千里線と京都線の駅周辺の約7.1km区間が開始され、踏切撤去による渋滞緩和と市街地の一体化が期待されている(図-1、写真-1)。

本工事は立体化交差事業の内、阪急京都線とJRおおさか東線が交差する上空にトラス橋を架設する工事である。

本論文では、工事を進めるうえでの制約条件と現場施工条件による下記の課題について、架設計画と現場施工の面から工事報告をするものである。

- 1) 鉄道夜間停電時間内に確実に架設完了できる架設計画
- 2) 鉄道営業線近接の狭隘な市街地でのトラス橋架設
- 3) 架設時の耐震設備と安全対策の検討



図-1 位置図

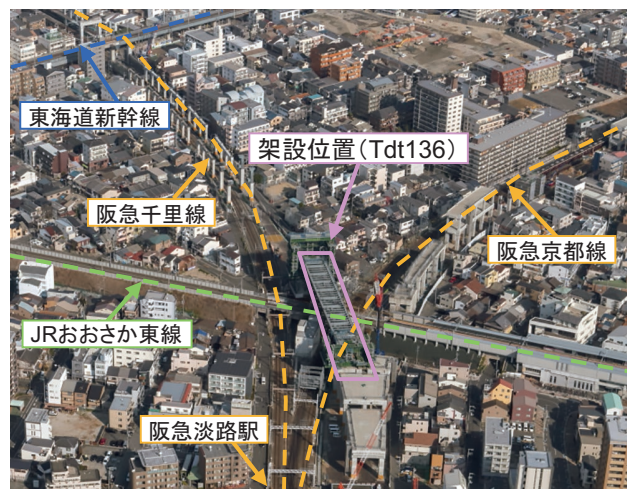


写真-1 現場写真

2. 工事概要

本工事の工事概要と橋梁一般図を図-2に示す。

工 事 名：京都線・千里線淡路駅周辺連続立体交差工事
(第4工区)土木工事

工事場所：大阪府大阪市東淀川区菅原地内

当社工期：2018年10月1日～2021年4月30日

発注者：鹿島・戸田建設共同企業体

請負者：株式会社 横河ブリッジ

橋梁形式：単純2層トラス橋(橋梁名：Tdt136)

路線名：阪急千里線

橋 長：76.516m

橋体重量：840t(主構造・付属物含む)

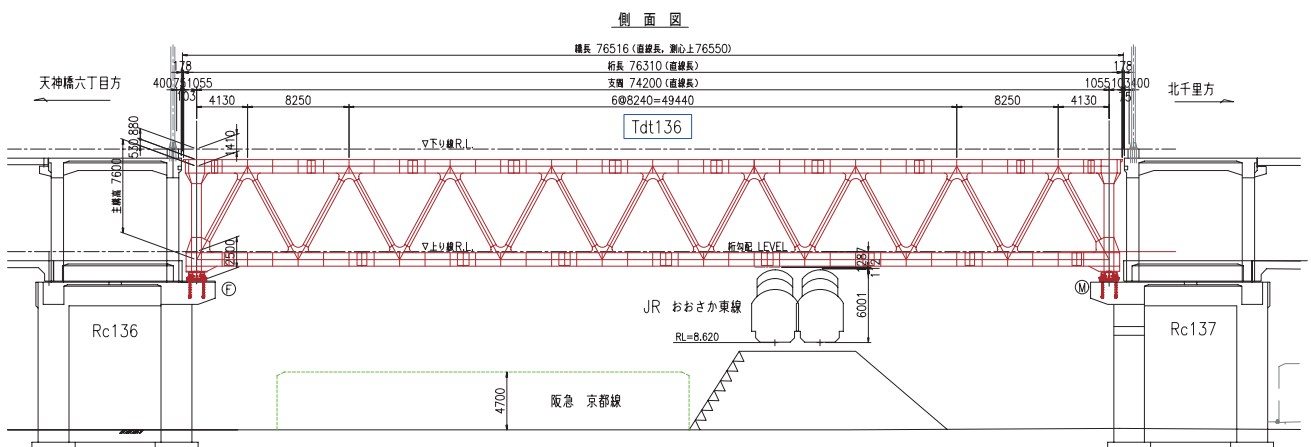
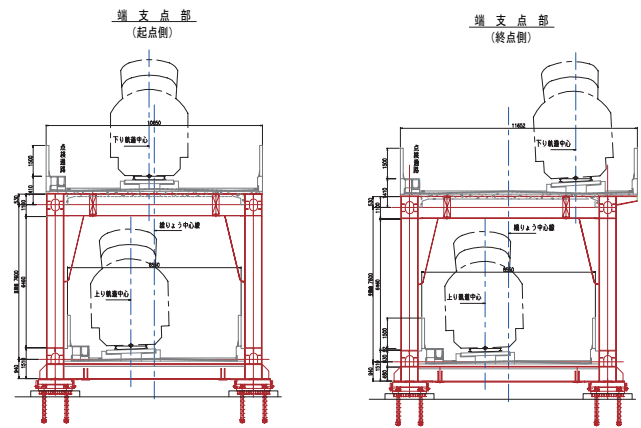


図-2 橋梁一般図

3. 架設計画

3.1 架設計画方針

架設工法選定時の制約条件としては以下があった。

- ①路下は阪急線、JR線が交差しているため、営業時間内に近接してのクレーン架設は極めて困難である。
- ②夜間停電作業の短時間で確実に架設を完了し、安全な状態で阪急・JR線の上空を開放する。
- ③トラスは完成系にて設計完了済みであり架設系の追加断面力による大幅な追加補強はできない。

以上の条件から、桁下空間が使用不可な場所で採用される送出し架設工法では追加断面補強が必要となる、時間内にトラスを完全に架設完了する設備配置が困難である、たわみ処理に作業時間を要する、など上記の制約条件に合致しない。そこで架設計画は、架設桁による軌条桁を先行して送出し架設を行い、その軌条桁上の台車にトラスを搭載して架設するトラス一括縦送り工法を採用した。

軌条設備について課題とその対策について以下に示す。

- ①軌条桁送出しとトラス縦送り時の最大・最小曲げモー

メント低減、及び軌条桁の仮受け支持のために、支間中間部に線路を跨ぐ門形型式の中間バントを設置した。

- ②中間バントは、元請にて耐震性能を満足する杭基礎形式の鉄筋コンクリート構造物を設計して施工を行った。
- ③トラス縦送り時の軌条桁のたわみ制限を目的としてトラス格点毎に台車を配置して荷重分散を行った。

本工事の現場全体工程を表-1に示し、架設ステップ図を図-3とその概要を以下に示す。

【ステップ①】送出し設備設置・軌条桁組立

橋脚上に送出しローラを設置、その上に手延機と軌条桁を組み立てる。軌条桁上面には安全通路を設置する。

【ステップ②】軌条桁送出し

軌条桁は昼間組立と夜間線路上の送出しを3回繰り返して全長182mを設置する。

【ステップ③】トラス組立

軌条桁上に台車を配置して格点間毎にトラス組立と縦移動を繰り返してトラス全量を組み立てる。

【ステップ④】降下設備先行部分組立

トラス縦送りに干渉しない範囲の Rc136 と Rc137 橋脚の降下設備を先行して組み立てる。

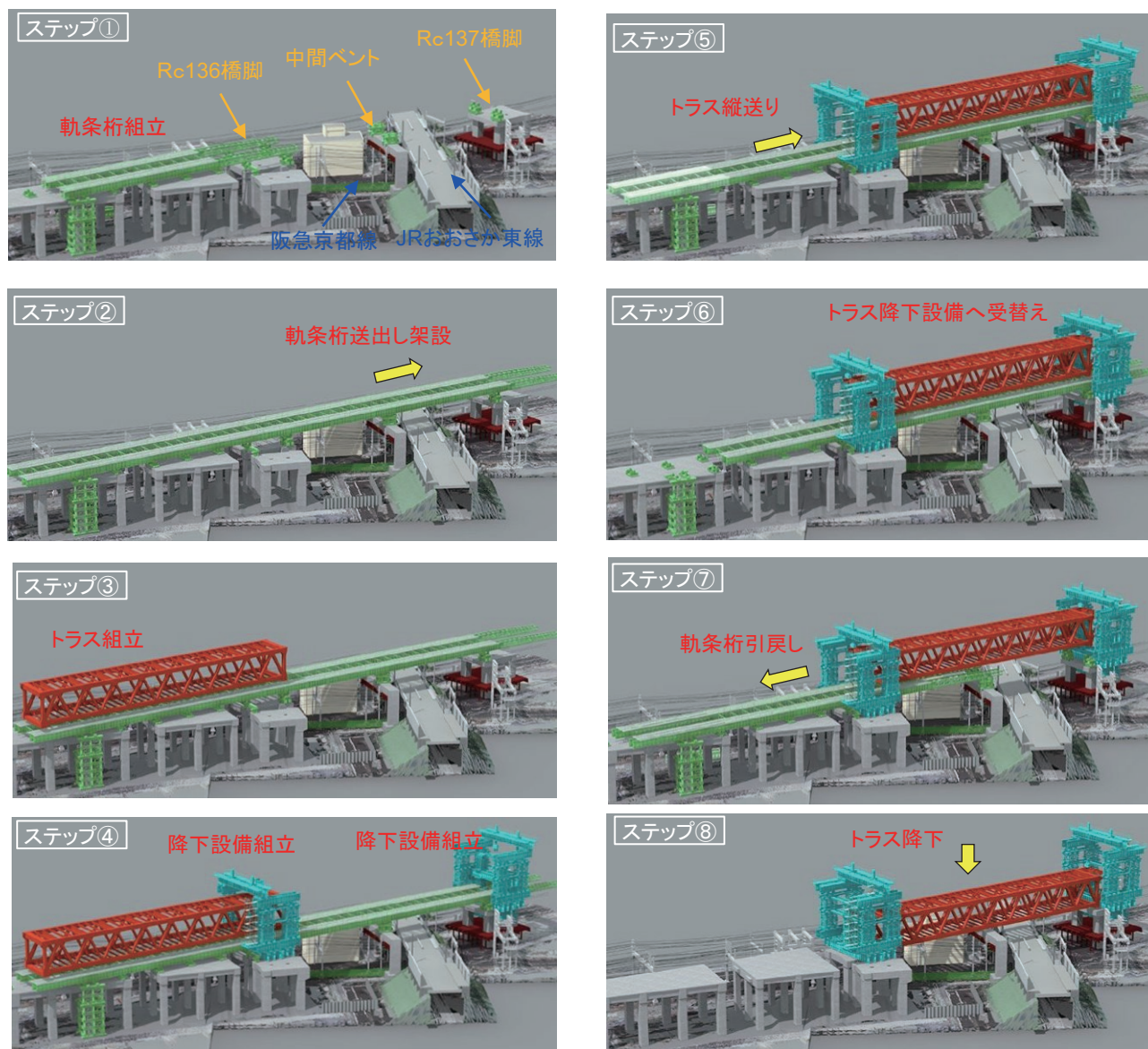


図-3 Tdt136 架設ステップ図

表-1 現場全体工程

工 種		2019 年												2020 年												2021 年			
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4			
架設ステップ図 番号				①		②				③		④			⑤	⑥	⑦		⑧										
足場工	ステージ足場																												

【ステップ⑤】トラス縦送り

トラス下弦材の支点以外の格点全てに計 16 台の従走台車を配置し、トラス全体をダブルツインジャッキで牽引して夜間一括縦送り架設(縦送り延長 76.5m)を行う。

【ステップ⑥】降下設備へトラス受替え

降下設備を完成させて、従走台車に搭載していたトラスをジャッキアップして降下設備へ受替えを行う。

【ステップ⑦】軌条桁引戻し

軌条桁は、送出し時と同一の設備にて、夜間線路上の引戻しと昼間解体を 3 回繰り返して撤去を行う。

【ステップ⑧】トラス降下

油圧ジャッキを使用したサンドル降下(全体降下量 5.752m)を行い、最後にトラスを支承に仮据付けを行う。

4. トラス縦送りの検証

4.1 3次元解析によるトラス縦送り

トラス縦送り工法については次の課題があった。トラスを多数の台車に搭載して軌条桁を走行した場合、軌条桁のたわみによって台車反力が逐次変化する。また、中間ベントが立地条件から斜角に軌条桁を支持しているため軌条桁の L 側と R 側でたわみ差が生じる。

本工事では、トラス・軌条桁の剛性と重量を考慮した 3 次元解析(汎用有限要素解析プログラム Femap with NX Nastran)を(株)横河技術情報に依頼し、台車反力とたわみ性状を事前に確認した。各ステップでの解析結果を図-4 に示す。縦送り開始時の均等な台車反力が縦送りを進めると大きな偏りが発生し反力がゼロとなる箇所もあった。また L 側と R 側の軌条桁たわみ差は最大 30mm (STEP64) あった。この結果から、軌条桁と台車の耐力不足、トラスにねじれ作用が発生する問題を数値的に確認した。

上記の課題解決のために、軌条桁のたわみによる台車反力の移行を制御する計画として、台車上の油圧ジャッキでトラスを支持した状態で縦送りを行い、ジャッキ反力自動制御管理システムを構築して初期の設計台車反力状態の±20%規格値内でトラス縦送りする計画とした。

4.2 実物大試験による実証実験

トラス縦送り時の夜間停電作業時間は 135 分しか無く 1 つのトラブル発生も許されない条件であった。そこで下記の課題を事前に確認するために、工事着手前に大阪港の夢洲にて架設時と同一の軌条桁と支持条件を再現した実証実験を行った(写真-2)。なおトラスは設計重量と同一の仮想ウェイトを搭載した台車と架設桁(模擬トラス)にて復元した。

①縦送り時の軌条桁のたわみ変化にジャッキ反力自動制御管理システムが正常に作動することの確認とその時のダブルツインジャッキの限界牽引速度の確認。

②解析結果による軌条桁のたわみ値との確認。

実証実験の結果、縦送りによるジャッキ反力自動制御管理システムは正常に規格値内の反力を制御することを確認し、その時のダブルツインジャッキ牽引速度は 1.2m/分であった。また、模擬トラスを 1m 毎移動して静的載荷で確認した軌条桁のたわみ値は解析値とほぼ同一であった。以上の結果を踏まえて、トラス縦送り計画と設備の検証を行い問題ないと判断して実施施工を進めた。

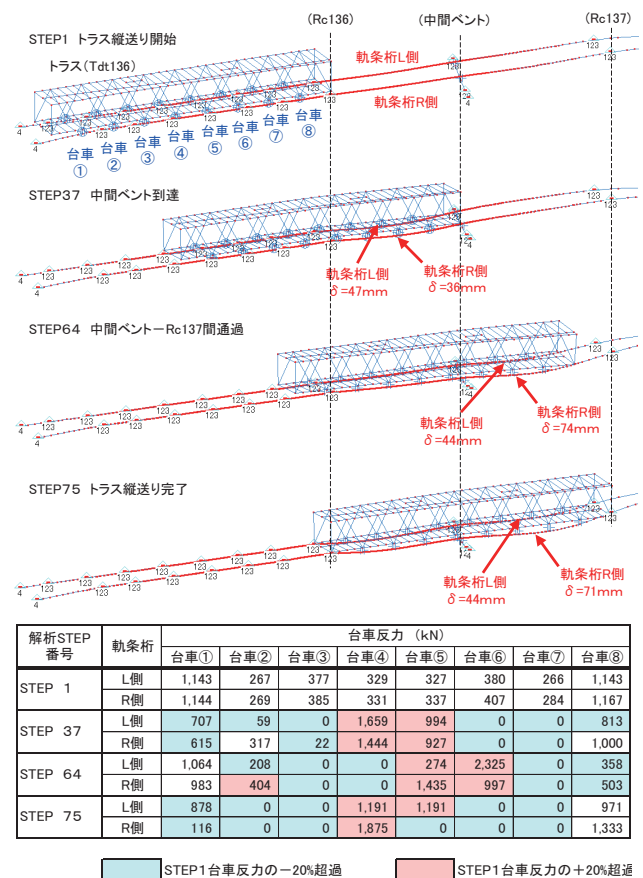


図-4 トラス縦送り 3次元解析結果



写真-2 トラス縦送り実証実験

5. 軌条桁送出し

軌条桁は、橋脚上に設置したローラ設備上に組立を行った。送出し時の牽引装置は、夜間作業時間を考慮してダブルツイングジャッキを使用した。送出し発進側の橋脚上の使用できる範囲は、図-5に示すようにベントから外側が道路上のため短かった。そのため軌条桁全長を一度に組立できないことから、軌条桁を一部組立後に夜間送出しするサイクル施工を3回行った。また軌条桁に装着するダブルツイングジャッキの位置は、橋脚上の取付金具で緊張固定したPCストランド区間内にする事で道路直上の設置・撤去作業を回避した。

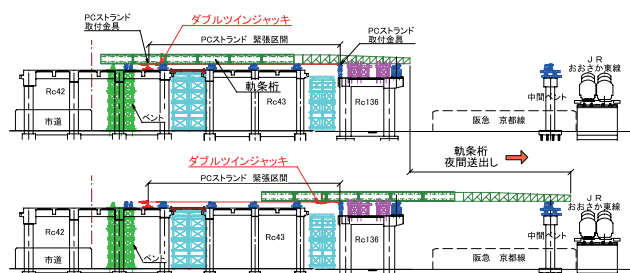


図-5 軌条桁送出し計画図

軌条桁上面の足場・手摺りについては、トラス縦送り時と台車撤去時の安全通路として必要である。送出し後の鉄道上空作業と停電取得日の低減のために、軌条桁組立時に橋脚上で先行設置した状態で送出しを行った（写真-3, 4）。また安全通路は、鉄道上空の飛散・落下対策として風荷重算出時の設計基準風速を45m/秒で計画した。



写真-3 軌条桁上面の安全通路



写真-4 軌条桁送出し

6. トラス組立

軌条桁架設完了後のトラス組立は、300t吊オールテレーンクレーンを使用した。トラス組立時のクレーン据付位置は、Rc136橋脚と阪急線との間の狭隘な施工ヤードしかなかった。そのためトラスの組立は、クレーンを定位置の状態にして、軌条桁上の台車にトラスを組み立て、その後にチルホールでトラスを後方へ縦移動するサイクルで行った。

トラス組立時の課題は、鉄道近接の昼間作業である点、橋脚と軌条桁上での組立となり高所となる点、以上から高所作業削減と落下物防止の2つの対策が必要であった。

高所作業低減の対策として、トラス下弦材については下弦材および斜材下側の継手作業に必要な通路足場とジョイント足場を架設前に地上で下弦材に設置した。

また、トラス上弦材と斜材上側の継手作業のために必要となる足場は、H形鋼で構成したユニット足場を地上にて組立を行い、トラス組立完了後の斜材に取り付けできる構造とした（写真-5）。これらの足場構造によって、軌条桁上の高所での足場組立・解体作業を削減した。

トラス組立時には、床版施工時の鉄道上空での型枠設置解体を無くすことで安全性の確保と工程短縮のためトラス下弦材の床面に床版型枠用鋼板を先行設置した（写真-6）。この鋼板は、トラス組立時の落下物防止対策としても有効であった。床版型枠用鋼板は、横桁間に鋼板パネルを現場溶接にて固定するものとした。設置に際して、トラスの横桁や継手部には製作段階で鋼板パネル受プレートを取り付けるなどの構造変更を行った。



写真-5 トラス組立 ユニット足場



写真-6 床版型枠用鋼板

7. トラス縦送り

トラス縦送り前に橋脚上の範囲にて試験走行を行った。試験走行の結果からジャッキ反力自動制御管理システムは、反力が大きい桁端台車は±5%、中間台車は±20%の厳しい規格値に設定しても正常に動作し反力を制御できることを確認した。ジャッキ反力自動制御管理システムのシステム画面を図-6に示す。画面表示には、各台車に設置したジャッキの反力とストローク量、トラス移動距離を確認できるものとした。

トラス縦送りの夜間停電作業時間は135分である。その内トラスの76m縦送りに与えられた時間は固定設備の解除と復旧時間を除いて100分であった。架設はダブルツインジャッキ牽引速度1.2m/分にて移動を開始して一度もトラブルなく縦送りを時間内に完了した(写真-7)。

トラス縦送り完了後の計測結果として、軌条桁たわみ値の解析値 $\delta 1$ と計測値 $\delta 2$ 、各台車のジャッキストローク長の計測値 $\delta 3$ の結果を図-7に示す。

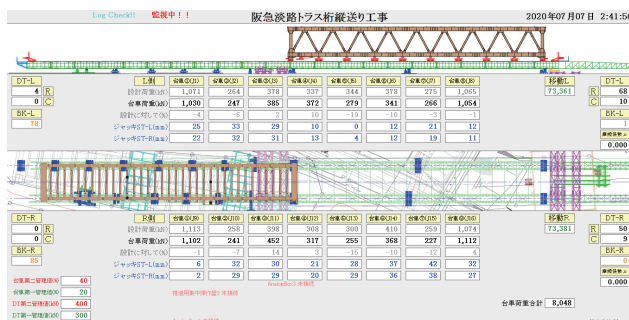


図-6 ジャッキ反力自動制御管理システム画面

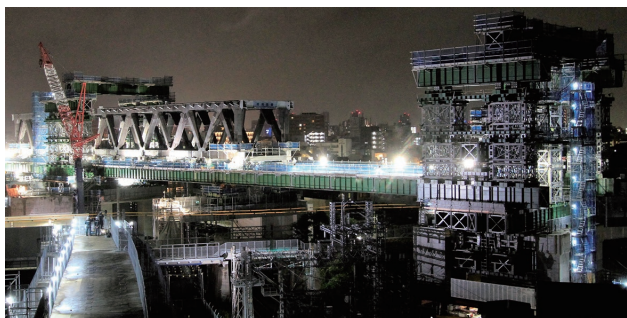


写真-7 夜間トラス縦送り状況

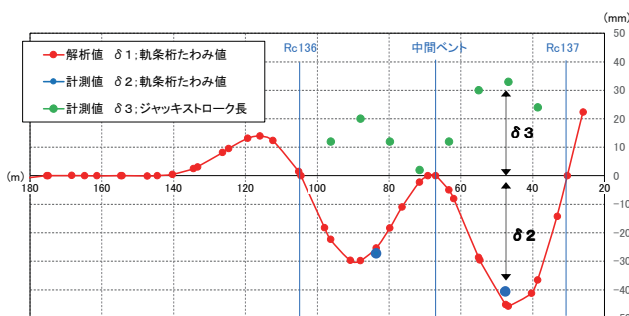


図-7 トラス縦送り解析値と計測値の比較

軌条桁たわみの解析値 $\delta 1$ と計測値 $\delta 2$ の比較では、たわみ値がほぼ同程度であり実橋においても実証実験と同様の結果であった。また、たわみ計測値 $\delta 2$ とジャッキストローク長 $\delta 3$ の比較では、各々の絶対値がほぼ同一であったことから、軌条桁のたわみに追従してジャッキストロークが伸縮して調整を行って反力調整できていたことが確認できた。

8. トラス降下

8.1 降下設備

トラス降下設備は、路下に鉄道と市道が近接しているため地上から構築ができない施工条件であった。そのため降下設備は、トラス桁端部に仮設の延伸トラス部材を製作して現場溶接にて連結を行い、支承位置より後方の橋脚上に配置した降下基礎梁(架設桁)上に構築する計画とした。Rc136橋脚側の降下設備詳細図を図-8に示す。

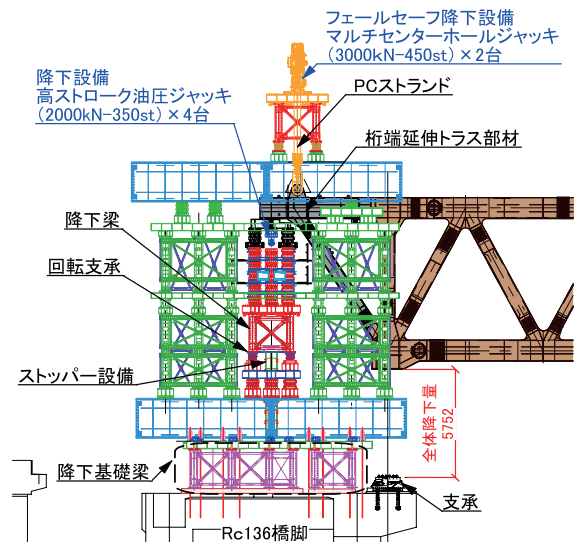


図-8 降下設備詳細図

今回の全体降下量は5,752mmである。トラスの降下は、桁端延伸トラス部材の先端に2,000kN高ストローク油圧ジャッキを4台配置してサンドル降下とした。また、降下作業時のフェールセーフ設備として、降下設備上端の梁に3,000kNマルチセンターホールジャッキを2台配置して桁端延伸トラス部材とPCストランドで連結した。降下時は、サンドル降下の速度に同調してマルチセンターホールジャッキでPCストランドを適度に緊張した状態で作業を行った。トラス縦送り後から降下完了までの降下ステップ図を図-9に示す。

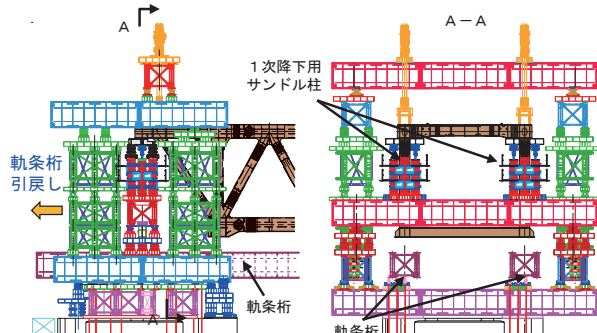
ステップ①では、トラスを降下設備にて支持した状態で軌条桁の引戻し撤去を行った。

ステップ②では、軌条桁を撤去した降下基礎梁と降下梁の間に2次降下用サンドル柱を設置した。

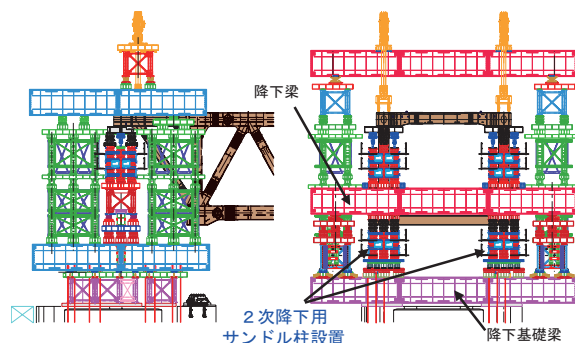
降下の手順は、ステップ③で降下梁上側の1次降下

サンドル柱で3,500mm 降下を行い、ステップ④で油圧ジャッキを降下梁下側の2次降下サンドル柱位置に盛替えて2,252mm 降下を行った。降下作業の最終日には、橋脚上に設置した橋軸－橋直方向送り台にてトラスの平面位置調整し、支承とトラスをセットボルトで連結して降下作業を完了した。

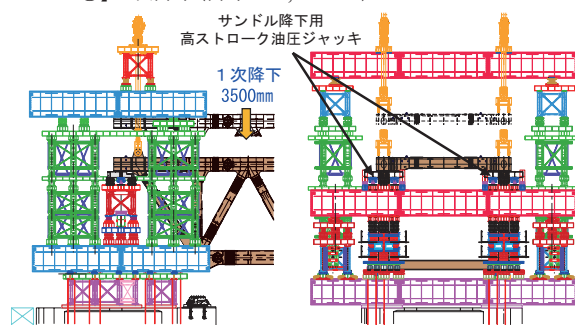
【ステップ①】軌条桁引戻し



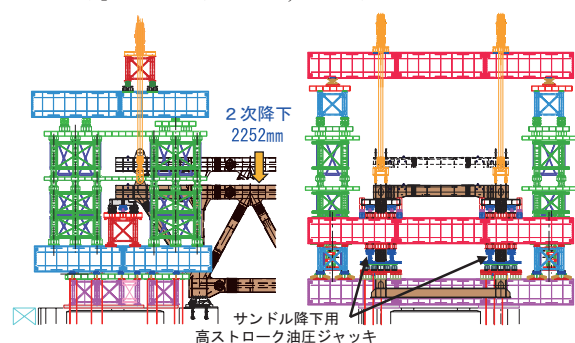
【ステップ②】2次降下用サンドル柱設置



【ステップ③】1次降下(降下量3,500mm)



【ステップ④】2次降下(降下量2,252mm)降下完了



図－9 降下ステップ図 (左：側面図，右：正面図)

8.2 降下作業 夜間タイムスケジュール

鉄道営業線直上の作業であることから、迅速に降下を完了して仮設備から橋脚支持に移行すること、夜間線路閉鎖日数を減らすことを目的として、降下日数を削減するために降下作業の効率化を検討した。本工事にて実施した効率化について以下に示す(写真－8)。

①高ストローク油圧ジャッキ

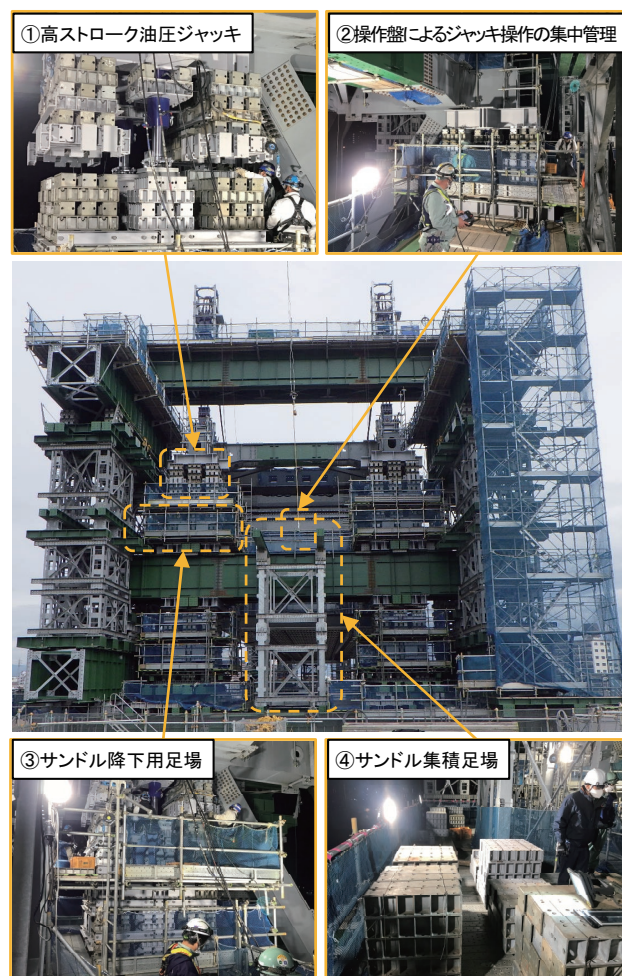
1回のサンドル降下量について標準的なサンドル1段150mm から300mm に改善するため2000kN-350mm ストローク長の高ストローク油圧ジャッキを新規製作した。

②操作盤によるジャッキ操作の集中管理

高ストローク油圧ジャッキのジャッキアップ・ダウン作業とマルチセンターホールジャッキの操作を作業に合わせて迅速に行うために手持ちの操作盤を使用した。

③サンドル降下用足場

サンドル撤去作業を効率的に行うためにサンドル柱の周囲を移動できる口の字型のサンドル降下用足場を設置した。



写真－8 降下作業の効率化

④ サンドル集積足場

サンドル降下用足場内にサンドルが積み上がることで作業効率が落ちないように、ベントを使用したサンドル集積足場を設置した。

以上の対策によって、1回 300mm 降下を3回サイクル行う 900mm 降下作業を170分で行うことができた。降下夜間タイムスケジュールを表-2に示す。降下日数は、最終の平面位置調整も含めて8夜間の短期間で完了した。

表-2 降下夜間タイムスケジュール

		24時	1時	2時	3時	4時
阪急京都線		30	0	30	0	30
JRおおさか東線		0:00				4:18
作業時間	降下累計	降下閉鎖 作業開始				降下閉鎖 作業終了
	降下量	1.00				3.50
準備		解除				復旧
【Rc136側】 降下	接続・仮受サンドル撤去					
	ジャッキダウン(300mm降下)					
	ジャッキ下面サンドル撤去					
	サンドル片付け					
【Rc137側】 降下	接続・仮受サンドル撤去					
	ジャッキダウン(300mm降下)					
	ジャッキ下面サンドル撤去					
	サンドル片付け					
片付け						
線路内点検						

9. 耐震設備と安全対策

本工事の地震時設計水平震度 k_h は、鉄道近接工事による重要度を考慮して下部工のL2地震応答値である0.6を使用して各種の設備計画を行った。トラス縦送り時のトラス耐震対策を写真-9に示す。

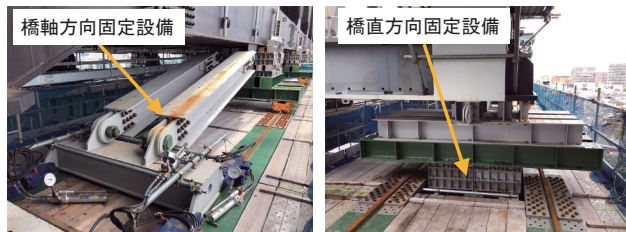


写真-9 トラス縦送り耐震対策



写真-10 降下設備の耐震対策

トラス下面に取り付けた固定金具と軌条桁を角レールクランプジャッキにて連結する事で橋軸方向の固定を行った。またトラスの支承セットボルトを使用してトラス下面に設置した横方向ストッパー設備を軌条桁の主桁間に配置することで橋軸直角方向の固定を行った。

降下時の耐震対策を写真-10に示す。降下設備の最下段の降下基礎梁は橋脚に埋め込んだPC鋼棒を使用して固定を行い、降下基礎梁より上部の架設桁やH鋼部材同士の接合には、ブルマンなどは使用せずに、全てボルトまたは現場溶接によるプレートを紹介して水平力を伝達する構造とした。また降下梁の支持点には、たわみによる支持点の回転変形を考慮して回転支承を設置し、ストッパー設備を設置して橋軸・橋軸直角方向の固定を行った。

作業時の安全対策としてクレーンアウトリガー位置の沈下確認、降下設備のたわみ状況の24時間監視のため、ワイヤレス沈下測定器を設置して作業した(写真-11)。



写真-11 安全対策

10. おわりに

本工事は、狭隘な市街地での鉄道立体化交差事業において、施工実績の少ない軌条桁を使用したトラス一括縦送り工法を採用したものであった。本架設工法については、計画上の課題点、架設位置の立地条件上から計画・現場の段階で様々な要求事項があったが、これら全てに対応できたことから安全性の確認はできたと考える。

最後に、本橋梁の架設が無事完成できたのは阪急電鉄、鹿島・戸田JV 職員皆様の日々のご指導のおかげであり、協力会社の綿密な作業手順の検討の成果であります。ここに深く感謝申し上げます。

本工事は、引き続きTdt136の隣に阪急京都線のトラス橋(Tdt44)の架設を行う(図-10)。今後も皆様のご指導のもと安全作業に努めて工事完了を目指します。

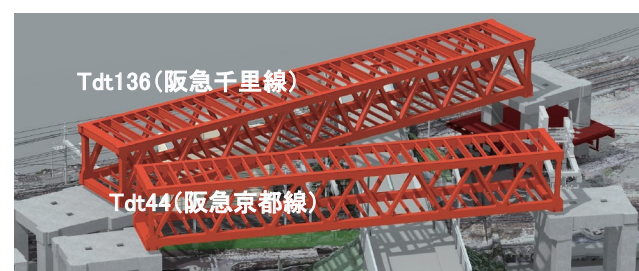


図-10 Tdt136・Tdt44 完成予想図