

12 施工計画

鋼トラス橋端部鉛直材取替における安全性の確保

日本橋梁建設土木施工管理技士会

日本橋梁株式会社

現場担当

鈴木 琢也[○]

監理技術者

上山 勉

設計担当

川村 弘昌

1. はじめに

本工事は、中国自動車道の北房IC～大佐スマートIC間に位置する橋梁7橋の床版取替・鋼桁補修のうち下古谷橋（上り線）におけるトラス橋の鉛直材取替を施工する工事である。

下古谷橋トラス橋における端支点の鉛直材は図-1に示す通り腐食による損傷が著しく、部材を構成する鋼板の板厚が減少し、一部孔が空いている状態であった。これらの損傷により、橋梁の耐荷性能が低下していることが判明したため連結部の添接板と高力ボルトを取り外し新しい鉛直材に取替える計画とした。

本稿では、鉛直材取替を施工するにあたって安全に施工するために検討した内容とその効果について述べる。

工事概要

- (1) 工事名：中国自動車道（特定更新等）
北房IC～大佐スマートIC間（上り線）
土木更新（その2）工事
- (2) 発注者：西日本高速道路（株）中国支社
- (3) 工事場所：岡山県真庭市五名～新見市高尾
- (4) 工期：令和2年4月18日
～令和3年6月11日
- (5) 施工：熊谷組・オリエンタル白石・日本橋梁特定建設工事共同企業体



図-1 鉛直材の腐食損傷状態

2. 現場における問題点

当該部材は常時の死活荷重を受け持つ主要部材であり、かつ地震や風の影響についても荷重を支点部に伝達する重要な役割を担っている。よって部材が撤去されている状態においても構造として安定した状態でなおかつ安全な状態を確保することが課題であった。また、鉛直材取替前後において構造系に変化が生じない施工方法が要求された。

本工事における技術的な留意点を下記に記す。

① 鉛直材に作用している死荷重による圧縮軸力を除去し、構造を安定させた状態で既設の鉛直材を撤去する必要がある。

② 当該橋梁の道路線形は平面曲率 $R = 600\text{m}$ を有しており、トラスの弦材は各点位置で折れた配置としているので、左右の床版張出し長が変化

している。これにより鉛直材に生じる力も異なることから、鉛直材に作用している力を除去する方法を検討するにあたっては現状で鉛直材に作用している圧縮軸力を詳細に把握する必要がある。

③ 鉛直材取替前後において構造系に変化が生じないようにするためには、新しく取替えた鉛直材に既設部材と同等の圧縮軸力が発生している必要がある。

④ 鉛直材が撤去された状態で地震が発生することも想定して、水平方向に対する構造の安定を担保する必要がある。

3. 工夫・改善点と適用結果

具体的な方策として下記の6項目を実施した。

3-1 立体骨組み解析とX線残留応力計測

鉛直材に発生している死荷重による圧縮軸力を把握するために、立体骨組み解析を実施した。また、立体骨組み解析により算出した圧縮軸力の妥当性を確認するためにX線残留応力装置を使用して既設の鉛直材に作用している軸応力を計測して、両者の値を比較した。

X線残留応力の計測は、**図-2**に示す通り、鉛直材中央付近の4面、板幅中央位置で実施した。



図-2 X線残留応力計測状況

立体骨組み解析により算出された作用応力度は14MPaという値であったのに対し、X線残留応力の測定結果は258MPaであった。

これは**表-1**に示す通り、計測した残留応力には荷重による発生応力だけでなく、鋼板の製造過程で発生する残留応力と部材製作過程で溶接によ

り発生する残留応力などが含まれていたことによると考えられた。

今回のX線残留応力計測で荷重による発生応力の正確な値は計測できなかったが、想定していない荷重や変形に起因する発生応力ではないと推定することができたため、立体骨組み解析により算出した圧縮軸力を設計値として採用した。

表-1 推定残留応力と計測値の比較

	残留応力および発生応力(Mpa)	X線残留応力測定機による測定値(Mpa)
鋼材の残留応力	55	-
溶接による残留応力	-59	-
表面処理による残留応力	-374	-
荷重による発生応力	-14	-
合計発生応力	-392	-258

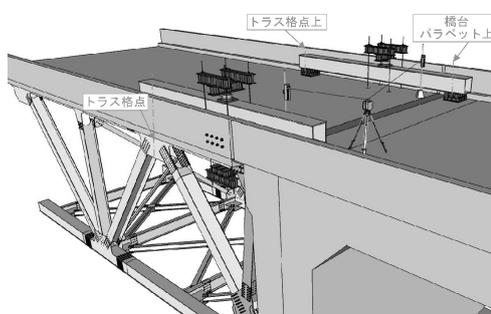


図-3 軸力除去装置 (橋面上)

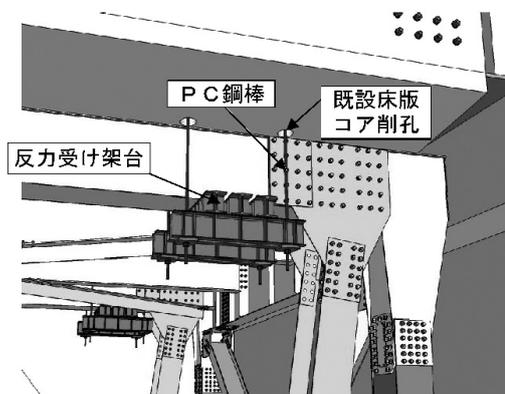


図-4 軸力除去装置 (橋面下)

3-2 鉛直材の軸力除去方法

鉛直材の軸力を除去する方法として、**図-3**に示す通りトラス上弦材格点上と橋台パラペット上を支点とする仮設梁を主構線上の橋面上に配置した。これを反力受けとして、**図-4**に示す通りPC鋼棒および油圧ジャッキを用いた引き上げ装置で鉛直材上端の上弦材の格点を持ち上げる方法で鉛直材に作用する圧縮軸力を除去した。

3-3 FEM解析の実施

立体骨組み解析で算出した圧縮軸力を基に図-5に示す軸力除去のモデルを再現したFEM解析で鉛直材の荷重除去に必要なジャッキアップ力を算出した。また、ジャッキアップをする際に床版や壁高欄の剛性によりジャッキアップ力が大きくなることが懸念されたため、事前に床版と壁高欄を切断したモデルについても検討を実施した。この結果、ジャッキアップ力は床版と壁高欄を切断することで70%程度に低減することができた。

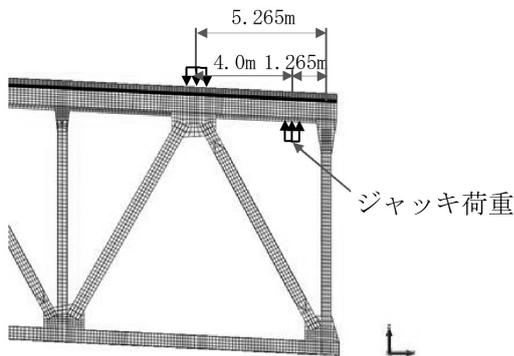


図-5 軸力除去のFEM解析モデル

3-4 ひずみ計測による発生応力度の管理

実施工においては施工誤差も見込まれるため、あらかじめ既設鉛直材に設置したひずみゲージにより部材応力の除去状況を監視することとした。

既設の鉛直材に発生している圧縮軸力を完全に除去できた状態は、ひずみ計測の値に変化がなくなった時点その状態とすることにした。

ジャッキアップ作業は、ひずみ計測4面に加えて油圧ジャッキの反力により鉛直材に生じる引張力を監視し、立体骨組み解析とFEM解析で算出した設計値と比較しながら実施することで想定外の力が作用していないかを確認しながら実施した。

ジャッキアップ作業は、FEM解析による設計ジャッキアップ力である307kNの50%から段階的に反力を増加させた。設計ジャッキアップ力の170%の520kNを作用させた段階で、目視による浮きが確認されるとともに、ひずみ計測の値が58 μ で上限となったため、発生軸力が0kNになったと判断し完了とした。ジャッキアップ時のひずみ計測推移を表-2に示す。

ひずみ計測により得られた値より算出される発生応力度は、立体骨組み解析から算出した発生応力度14.3MPaに対して、11.6MPa (81%) となった。

表-2 ジャッキアップ時のひずみ計測推移

計測条件	A(下関側)	B(R側)	C(吹田側)	D(L側)	単位: $\mu\epsilon$ 平均値
ゼロ点計測	0	0	0	0	0
設計荷重 約10%	9	7	5	7	7
添接板上部ボルト取外し	13	12	-2	-4	5
設計荷重 50%	29	33	12	5	20
設計荷重 70%	39	47	18	9	28
添接板下部ボルト緩め	37	45	18	6	26
設計荷重 80%	45	54	22	10	33
設計荷重 90%	48	58	24	11	35
設計荷重 100%	53	65	28	13	40
設計荷重 110%	56	70	30	14	43
設計荷重 120%	61	75	33	15	46
設計荷重 130%	67	81	35	17	50
設計荷重 140%	72	87	37	18	54
設計荷重 150%	75	91	38	18	56
設計荷重 160%	77	94	40	18	57
設計荷重 170%	78	95	41	18	58
ジャッキアップ完了(180%)	78	95	41	18	58

鉛直材取替後の構造系に変化が生じないようにするためには、ジャッキダウン時にジャッキアップ時と同等の荷重が再移行できていることを確認する必要があった。

そこで新設部材にも中央4面にひずみゲージを設置してジャッキダウン時にもひずみ計測を実施した。ジャッキダウン時のひずみ計測推移を表-3に示す。

表-3 ジャッキダウン時のひずみ計測推移

計測条件	A(下関側)	B(R側)	C(吹田側)	D(L側)	単位: $\mu\epsilon$ 平均値
ゼロ点計測	0	0	0	0	0
ジャッキダウン完了	-78	-64	-55	-72	-67

ひずみ量が67 μ で上限となり、ひずみ計測により得られたひずみ値より算出される発生応力度は、立体骨組み解析から算出した発生応力度14.3MPaに対して、13.4MPa (94%) となった。これにより、取替前後の鉛直材に同等の荷重が再移行したことが確認できた。

3-5 橋面高さの監視

ジャッキアップ作業中は、橋面高さについても大きな変位が生じていないかを監視するために図-6、7に示す通り鉛直材直上の橋面に回転レーザーレベルとレーザーセンサーを設置した。このシステムは、常時、橋面の鉛直変位を監視し変位

量が管理値である3mmを超えると警報音・赤色灯の点灯によりアラートが伝達されるとともに携帯端末にその記録が転送されるシステムである。

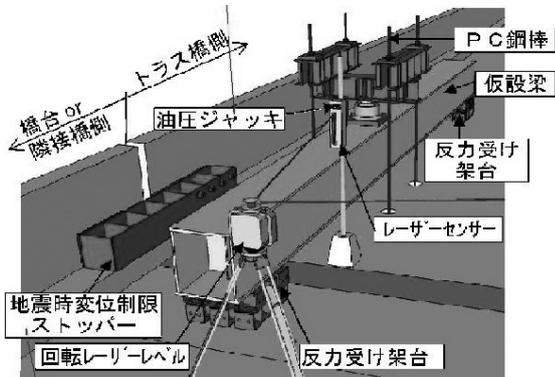


図-6 橋面上設備図

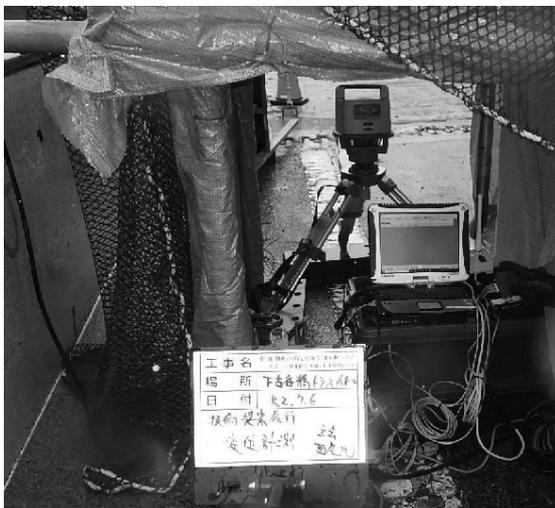


図-7 回転レーザーレベルの設置状況

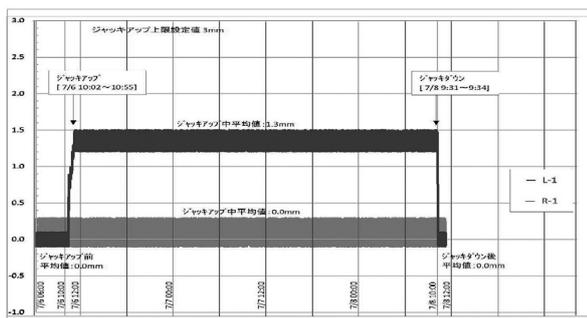


図-8 回転レーザーレベルの変位計測推移

図-8に示す通り、レーザーレベルの変位量は1.4mmを示し、ジャッキダウンまでの期間中0.3mm程度の変動幅を維持していた。これにより、鉛直材の撤去作業中に想定外の変位は発生していなかったことが確認できた。

3-6 変位制限ストッパーの設置

鉛直材が撤去された状態で地震が発生することを想定して、水平方向に対する構造の安定を担保する必要があった。鉛直材が撤去されている状態では橋軸直角方向の水平力を支承部へ伝達する機能が失われているため、これを補完するため壁高欄両側に変位制限ストッパーを設置した。部材設計に適用する設計水平震度はレベル2地震動の1/2とした。



図-9 既設橋脚分割要領図

4. おわりに

全国のインフラは経年劣化により補修を余儀なくされており、鋼橋梁も当補修工事の鉛直材取替のような主要部材取替の事例も増加している。

課題も残しているが現状可能な技術を駆使しシンプルな施工を計画・検討したことにより円滑かつ安全に取替を完遂することができた。今回の取替の経験を活かし、これからもより安全で正確な計画施工をしていきたいと考えている。

最後に本工事の施工にあたりご協力いただいた関係者の皆様に謝意を申し上げます。



図-10 鉛直材取替の様子