

7 施工計画

地震により損傷したスパンドレル・ブレースド・バランスドアーチ橋の撤去

日本橋梁建設土木施工管理技士会

エム・エム ブリッジ株式会社

設計担当

現場代理人

監理技術者

北川 淳 一〇

森谷 和 貴

梅林 栄 治

1. はじめに

工事概要

- (1) 工 事 名：第一白川橋りょう復旧工事
- (2) 発 注 者：南阿蘇鉄道株式会社
- (3) 工事場所：熊本県阿蘇郡南阿蘇村
- (4) 工 期：令和2年2月29日～

令和3年12月17日

第一白川橋梁は、一級河川白川に架かり、南阿蘇鉄道高森線 立野駅～長陽駅間に位置する全長166.3mの単線鉄道橋である。昭和2年に建設された本橋は、2ヒンジスパンドレル・ブレースド・バランスドアーチと呼ばれる国内でも数少ない橋梁形式を有しており、平成27年度には、選奨土木遺産として選出された（図-1）。しかし、その翌年の平成28年4月に熊本地方を襲った最大震度7の地震により、この第一白川橋梁も大きな損傷を受けた。図-2に、被災状況を示す。地盤変動による支点沈下および支間方向の支点移動が生じ、さらには崩落した土砂の衝突もあり、複数の部材が座屈・破断などの損傷を受けた。さらに、見た目には健全に見えても、降伏応力を超えるほどの残留応力が生じている部材も多数あるとの見解から、架け替えを余儀なくされた。

本工事は、新橋への架け替えに先立ち、この被災した第一白川橋りょうを撤去する工事であり、本稿は、損傷した特殊形式の橋梁を安全に撤去する上での課題とその対策について述べるものである。

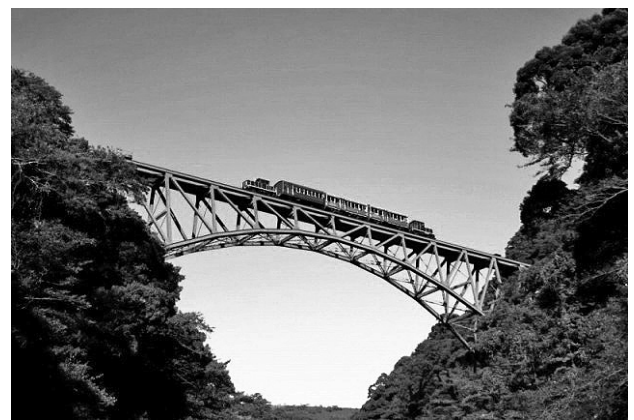
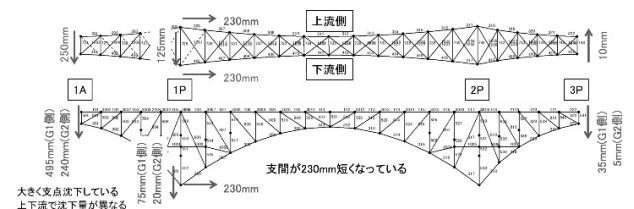


図-1 震災前の第一白川橋梁



(a) 支点変位



(b) 部材変形

図-2 地震による被災状況

2. 損傷した橋梁を撤去する上での課題

本工事の難しさは、地震により多数の部材が座屈・塑性変形・破断していることが確認されており、さらに見え健全に見える部材も実際は降伏応

力を超えているかもしれないという、未知の応力状態の橋を撤去解体することである。

そのため、部材の切断により、残留した応力が瞬間的に解放され、衝撃を伴う橋体の変位が想定される。衝撃を伴う橋体の変位は、部材の損傷を進行させることに加え、健全な部材まで損傷させてしまい、解体中の橋体の倒壊と、それに伴う作業員の墜落災害が懸念された。

そのため、本撤去工事を安全に行うためには、以下の点が課題であった。

- ・ 死荷重による応力・変形を低減できる安定した多点支持状態での撤去
- ・ 各撤去ステップにおける橋体挙動のモニタリングと、異常時における即座の対策
- ・ 事前のステップ解析によるリスクの把握とその対策

これらの課題に対して、本工事で行った対策を以降に示す。

3. 対策と適用効果

3-1 ケーブルエレクション直吊り工法

本橋は、白川の溪谷に位置するため、通常のようなベントによる多点支持ができない環境であっ

た。そこで、橋体格点位置を直吊り索と桁受梁で多点支持し、死荷重による応力や変形、損傷による残留応力を低減した上で解体することができるケーブルエレクション直吊り工法（図-3）を採用することとした。この工法を採用することで、衝撃を伴う橋体変位を抑制し、橋体の倒壊に繋がるような部材の応力超過を回避することができ、安全な撤去作業が可能となった。

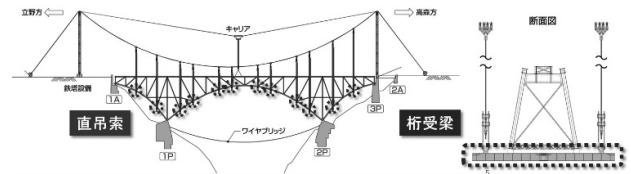


図-3 ケーブルエレクション直吊り工法概要図

3-2 一元計測管理システムの構築

本橋を安全に撤去するためには、まず、現況を解析モデルで再現した上で、撤去ステップ毎の挙動を予測することが重要である。問題は、損傷部材をどうモデル化するかであったが、損傷部材のモデル化にあたっては、現況の実測変形量が解析値と一致しているか、解析上降伏を大きく超過する部材では健全に見えても局部座屈などの変形が生じていないかを現地で確認し、出来る限り再現

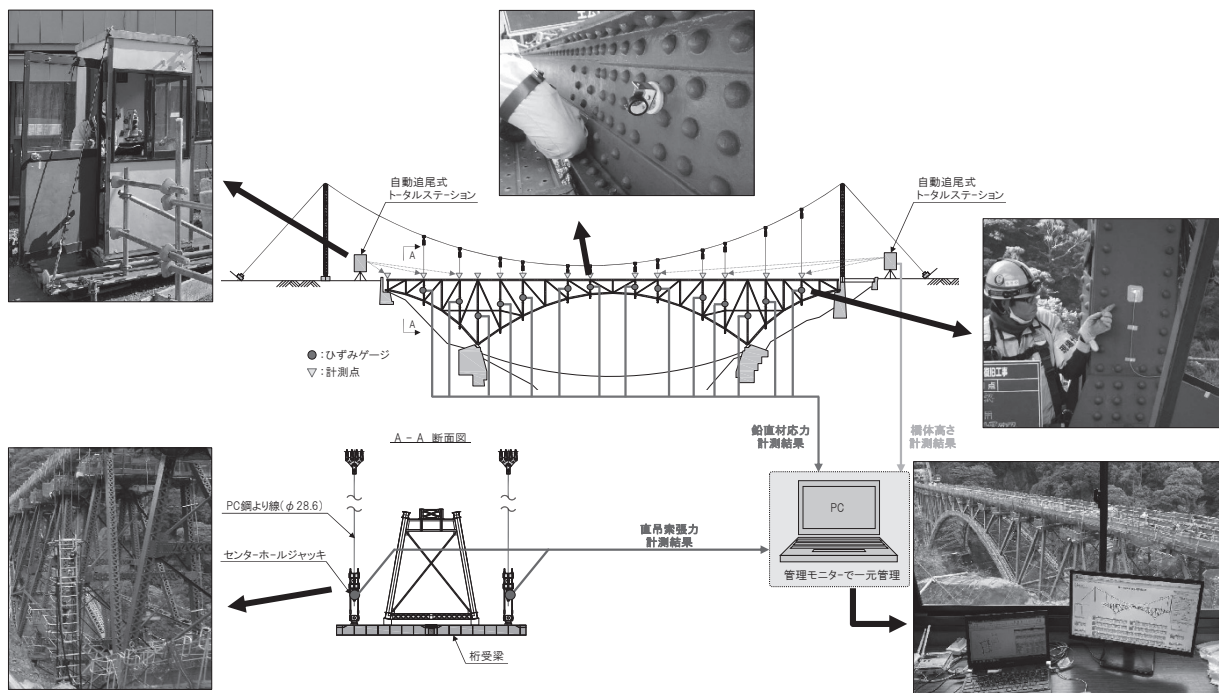


図-4 一元計測管理システム概要図

精度を上げた。しかし、今回のケーブルエレクション直吊り工法では、ステップ毎に橋の状態が刻々と変化する。そのため、解析精度を向上するだけでなく、その解析結果と撤去ステップ毎の挙動が乖離していないかをリアルタイムに確認し、異常値が出た際に、タイマーに対処する必要があった。そこで、橋体の高さ、直吊り索張力、桁受梁から直接反力が載荷される鉛直材の発生応力をリアルタイムに計測し、管理モニター上で一元管理できるシステムを構築した(図-4)。それぞれの項目について、以下のとおり計測管理を行った。

(1) 橋体高さの管理

橋体格点位置にプリズムを設置し、自動追尾型トータルステーションによって計測を実施した。橋体の高さは、撤去ステップ解析によって算出した座標値と、計測された座標値の差によって評価した。

(2) 直吊り索張力の管理

各ステップにおける直吊り索張力は、センターホールジャッキとPC鋼より線(φ28.6)で構成される直吊り索のジャッキ圧力を計測し、撤去ステップ解析により算出された吊り索張力との比較を行った。今回の撤去では、本体が損傷していることもあり、基本的には張力を設計値と合わせるように管理し、撤去を進めることとした。

(3) 鉛直材応力の管理

鉛直材の応力は鉛直材に貼り付けたひずみゲージにより計測を行った。

各管理項目における管理値を表-1に示す。

この管理値を超過する異常値が発生した場合には、直吊り索の張力調整を行うこととした。

これにより、撤去中の直吊り索張力と橋体の形

表-1 計測項目と管理値

計測項目	使用機器	計測場所	管理値
橋体の形状	トータルステーション	格点位置	±500mm
直吊り索張力	ジャッキ圧力変換機	ハンガーケーブル	+20%
鉛直材応力	ひずみゲージ	鉛直材	+20%

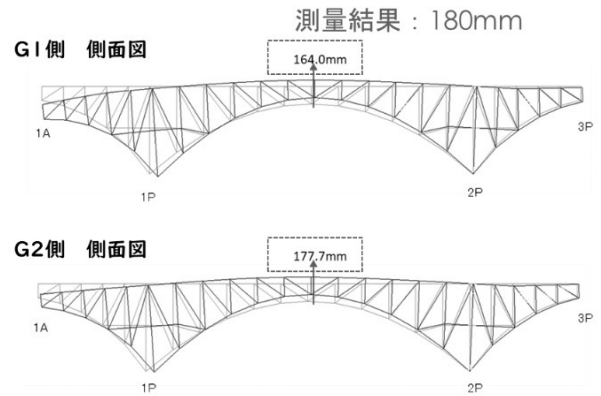
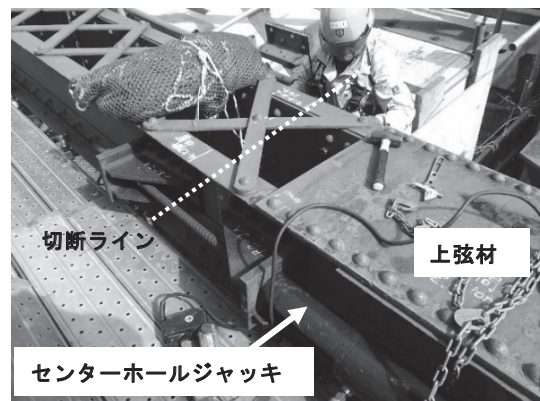
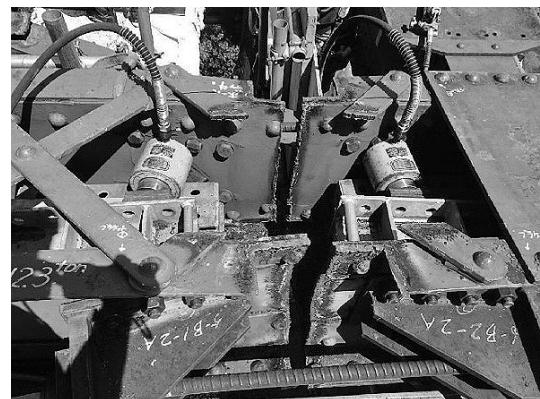


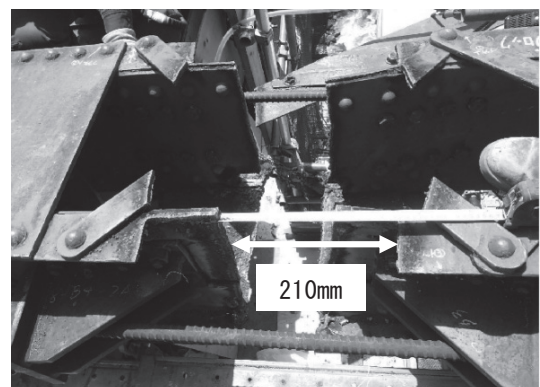
図-5 現況再現解析による変形量



(a) 変位拘束治具



(b) 切断後(ジャッキ解放前)



(c) 切断後(ジャッキ解放後)

図-6 上弦材変位拘束治具

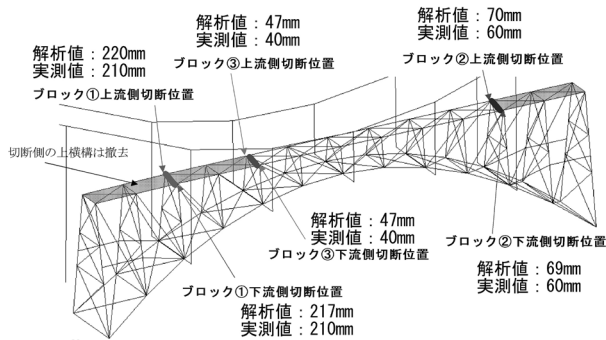


図-7 上弦材切断時の変位

状がリアルタイムに計測・調整でき、解体撤去を安全かつスピーディーに行うことができた。

3-3 中央径間上弦材撤去の事前対策

図2-(a)に示したように、地震により本橋の中央径間は、230mmも支間長が短くなる支点変位が生じており、そのため、上方向に180mm程度反り上がるような変形が生じていた。この結果は、事前解析でも約178mmの変形を再現出来ており、解析モデルの妥当性を確認するものである(図-5)。

それと同時に、この解析結果から、上弦材には最大で約80tの引張力が生じており、切断により、引張力が解放されることで、最大で220mmもの衝撃的な相対変位が生じることが予想された。そのため、切断による衝撃的な変位を防止する対策を事前に実施する必要があった。

そこで、図-6に示すように、切断位置にセンターホールジャッキを用いた変位拘束治具を設置し、引張力を相殺する圧縮力を導入した状態で上弦材の切断を行うこととした。これにより、変位を拘束した状態で安全に切断することができ、切断後には、徐々にジャッキ反力を解放していくことで、緩やかな変位となるようコントロールし、衝撃的な応力解放を防止することが可能となった。

ジャッキ反力解放後の切断面相対変位を計測したところ、解析値220mmに対して、実測値210mmと、ほぼ一致する結果となり、その他の変位が予想された箇所も解析値と一致した(図-7)。

この上弦材撤去は、衝撃的な変位が予想される

最も危険なステップであったが、事前解析の妥当性を確認した上で、そのリスクを把握し、それに対する対策を事前に準備できたことが、安全な撤去施工につながった。

4. 終わりに

今回、地震により損傷し、未知の応力状態にあるスパンドレル・ブレースド・バランスドアーチを撤去するという国内でも類を見ない工事を行った。

厳しい施工条件下で最も安定した状態で撤去できる工法の選定、リアルタイムに計測を行い異常値に対する対処を即座に行える一元計測管理システムの構築、解析モデルの妥当性を確認した上での危険ステップの事前把握と対策準備という、安全に撤去作業を行う上での3つの課題を克服することで、安全な施工に繋がっただけでなく、工程も1カ月ほど短縮することができた。今後は、新橋の架設も始まり、令和5年の全線開通を目指す。

最後に、本工事を施工するにあたり、ご指導頂きました南阿蘇鉄道の方々、並びにご協力頂いた関係者の方々に厚く御礼申し上げます。



図-8 旧橋撤去状況