

熊本地震で被災した新川橋の施工

(株)日本ピーエス 正会員 工修 ○比嘉 葵
 (株)日本ピーエス 右田 正人
 (株)日本ピーエス 正会員 福島 邦治

キーワード：外ケーブル補強，主桁ジャッキアップ，3次元FEM解析，残存プレストレス推定

1. はじめに

新川橋は、熊本県上益城郡益城町の木山川を跨ぐ県道235号益城菊陽線のPC2径間単純ポストテンションT桁橋である。平成28年4月に発生した熊本地震で両橋台には大きな残留変位と基礎の塑性化がみられた。上部工の損傷は軽微であったため、橋台のみを撤去・更新する災害復旧計画となった。両橋台再構築に必要な施工空間を確保するため、支間1/4地点に中間ベントを設け、一時的に主桁を外ケーブルで補強し、50cmジャッキアップする工法が採用された。ジャッキアップの過程で、主桁は単純支持から2径間連続梁、さらに片持ち梁と構造系が変化する。主桁には構造系変化と外ケーブル補強によって、道路橋示方書¹⁾で示される許容引張応力度に対して応力度が超過することが懸念されたため、施工ステップを再現したモデルによる3次元FEM解析により、施工時の応力を確認した。解析結果については前年度に報告を行った。今回は外ケーブル補強とジャッキアップによる扛上が完了したため、施工および3次元FEM解析と施工時計測の検証結果について報告する。

2. 施工概要

2. 1 橋梁諸元

本橋の橋梁諸元を表-1に、上部工標準補強断面図を図-1、図-2に示す。

表-1 新川橋の諸元

工事名	益城菊陽線(新川橋)28年発生橋梁災害復旧(過年)工事その2
発注者	熊本県県央広域本部 土木部 災害復興第二課
工事場所	熊本県上益城郡益城町砥川地内
工期	平成29年11月30日～平成30年10月25日
構造形式	PC2径間単純ポストテンションT桁橋
橋長	64.1m
支間長	2@31.2m
有効幅員	9.750m
縦断勾配	4.0%
横断勾配	車道:2.0～5.0% 歩道:2.0%
斜角	A1:75° 58' 36" A2:85° 00' 00"

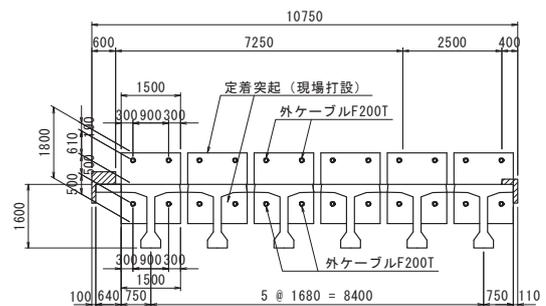


図-1 上部工標準補強断面図

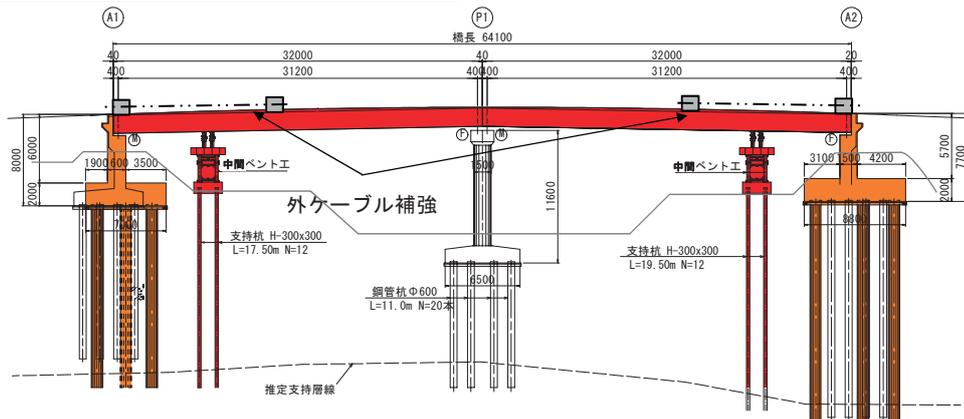
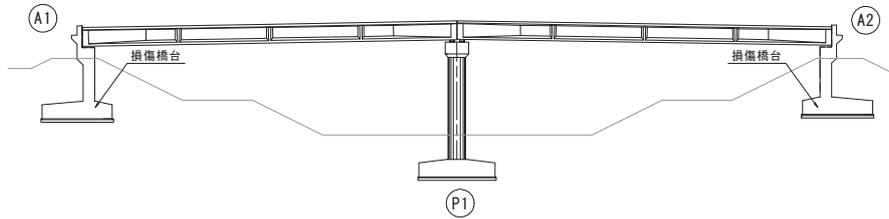


図-2 復旧対策側面図

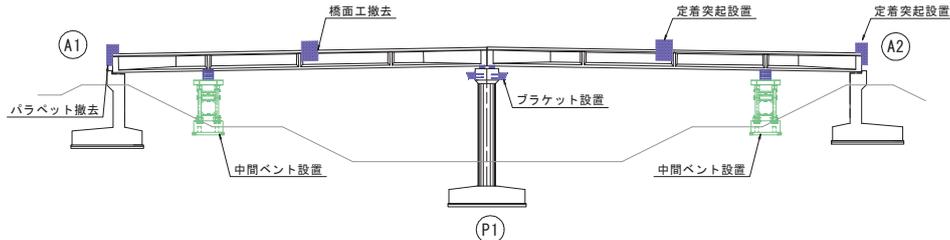
2. 2 施工ステップ

本橋の復旧手順を、図-3に示す。

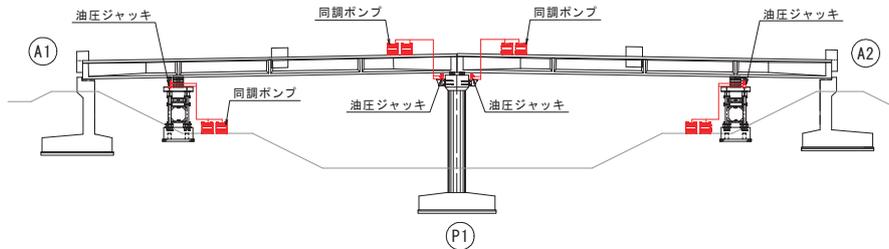
STEP1 施工着手前 (単純支持)



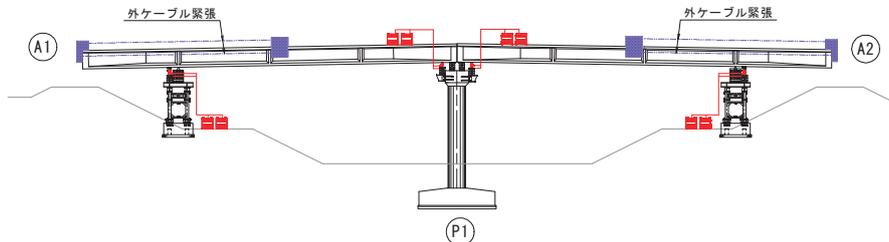
STEP2 橋面工撤去・ベント、ブラケット設置 (単純支持)



STEP3 ジャッキアップ1回目: 反力50%載荷 (2径間連続支持)



STEP4 外ケーブル緊張/ジャッキアップ2回目: 反力100%載荷/橋台再施工 (端部片持ち支持)



STEP5 ジャッキダウン1回目/外ケーブル緊張開放/ジャッキダウン2回目

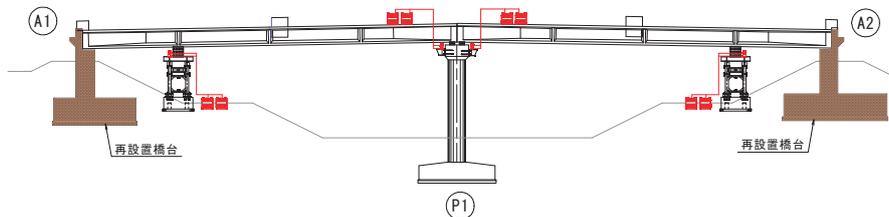


図-3 施工ステップ図

3. ジャッキアップに対する事前検討

3. 1 ジャッキアップ前のプレストレス確認

既設主桁の応力状態を把握するため、ジャッキアップ前にP1-A2径間のG2桁下フランジ下面で小径コア切込みによる残存プレストレス推定手法を実施し、圧縮応力度を測定した。写真-1に実施状況を示す。圧縮応力度は設計値 22.56N/mm^2 に対して実測は 22.08N/mm^2 であり、主桁には設計値の98%のプレストレスが導入されていることを確認した。このため、あらかじめ実施した図-3に示す施工ステップを反映した3次元FEM解析において、設計値の98%プレストレスを考慮して計算を行った。

3. 2 ジャッキアップ支点反力の決定

当初設計では、外ケーブル緊張前には主桁上縁に引張応力が発生しない支点反力の50%で中間ベントをジャッキアップする計画となっていた。前述の残存プレストレスを考慮した3次元FEM解析を用いた局部解析の結果、50%の支点反力を中間ベントに載荷した場合、表-2および図-4に示すように主桁上面に1.47N/mm²の引張応力が発生した。このため、解析モデルで支点反力を低減したトライアルを行い、施工時の載荷支点反力を上縁に引張応力が発生しない40%に設定した。



写真-1 残存プレストレス実施状況

表-2 主桁上縁の応力比較

	設計 (N/mm ²)	FEM解析 (N/mm ²)
ジャッキアップ開始前	6.43(圧縮)	6.22(圧縮)
50%ジャッキアップ後	1.11(圧縮)	1.47(引張)

3. 3 ひずみの計測方法

3次元FEM解析でもっとも引張応力が卓越する中間ベント上の主桁上縁には、ひずみゲージを貼付けて各施工ステップで実施工時の応力超過がないかを管理した。図-5にひずみゲージの貼付け箇所とCASE1~8のひずみ計測ステップを示す。施工時には主桁から採取したテストピースから実ヤング係数を求め、計測ひずみを応力値に換算してモニタリングを行った。

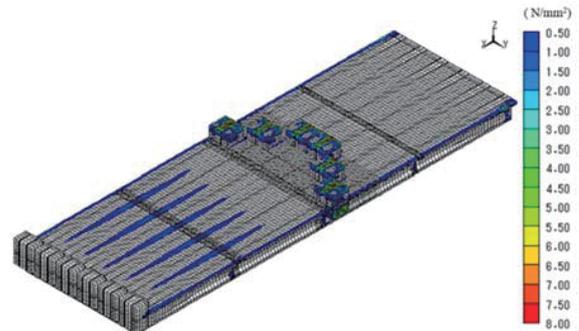


図-4 50%ジャッキアップ後の解析結果

4. ジャッキアップ施工について

4. 1 ジャッキアップの施工方法

ジャッキアップには、A1中間ベントで2000kN×6基、P1橋脚で1000kN×12基、A2中間ベントで2000kN×6基の合計24基の複動型油圧ジャッキを使用した。ジャッキの設置状況を写真-2に示す。

複数台のジャッキを動かすポンプとして、リモート操作ボックス付きのマルチ電動ポンプユニットを採用し、載荷荷重の集中制御を行った。河川内に杭支持された中間ベントには傾斜計をセットして、傾きをモニタリングした。支点反力載荷時は、50kNずつ荷重を漸増させ、その都度ジャッキやベントの傾き、応力値の異常の有無を確認した。

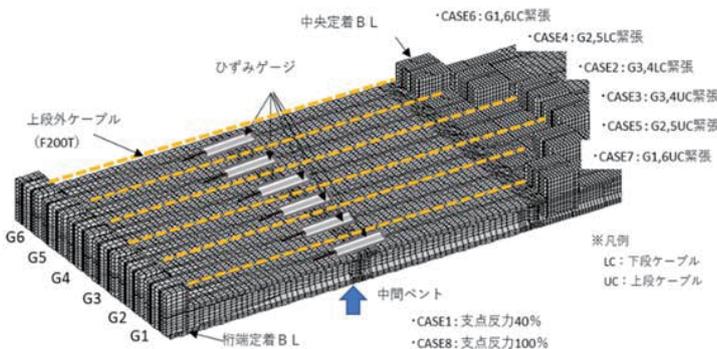


図-5 ひずみゲージ貼付け箇所



写真-2 ジャッキ設置状況 (中間ベント)

4. 2 施工時のひずみ計測と3次元FEM解析の比較

P1-A2径間の40%支点反力載荷、外ケーブル緊張、100%支点反力載荷におけるステップごとの応力

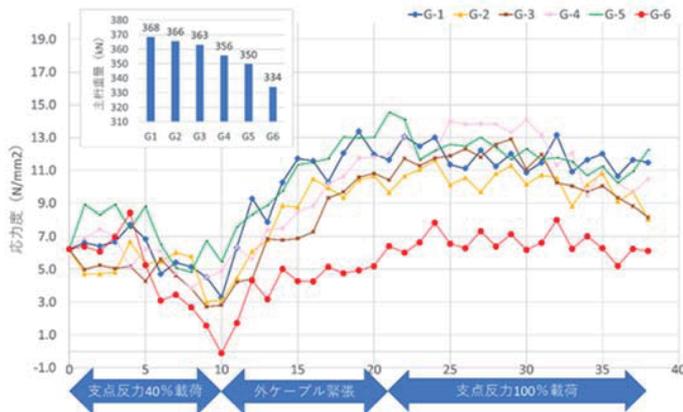


図-6 施工ステップごとの各桁応力度と主桁重量

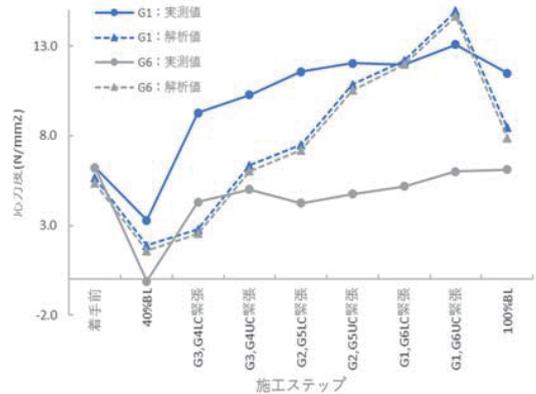


図-7 解析値と実測値の応力度比較

分布と主桁の重量比較を図-6に示す。G1～G5桁はステップごとに同様な傾向を示しているが、G6桁のみ、ほかの桁と比較して差が生じている。G6桁の主桁重量はほかよりも小さな値となっており、載荷時の負担が大きくなったことが一因として考えられる。ただし、もっとも差のあるG1桁とG6桁の重量比率が10%程度であるのに対して、40%支点載荷時の応力度は、 3N/mm^2 と -0.1N/mm^2 と開きが大きな値を示した。施工時のG6桁は、地震の水平力により両径間の主桁がP1橋脚上で干渉し、競った状態となっていたため、ひずみ値が大きな値を示したと考えられる。

今後実施するジャッキダウン時には、G6桁の表面に新たにゲージを貼付けて、再度、計測を行う予定である。また、図-7にP1-A2径間G1桁とG6桁の3次元FEM解析と実測値の比較を示す。解析値ではG1、G6桁がステップごとにほぼ同様の値を示しているが、実測値では両桁の応力度にばらつきが見られる。A1-P1径間の実測でも各桁には 2N/mm^2 程度のばらつきが生じていた。また、支点反力40%以降、解析値と実測値に違いがあった。今回の解析では、簡素化のため、P1-A2を支点、P1-A2中間ベントを支点、の2ケースを支点条件としてモデル化した。ただし、実際は40%の支点反力でジャッキアップした際に中間ベント上が支点となる連続梁状態となる。そのため、外ケーブル緊張による不静定力が発生し、解析値と実測値に差が生じたと考えられる。今後は、ベントによる仮受支持点やジャッキの盛替え時の支点移動など、より実際に則した支点条件を考慮することで精度向上が図れると考えられる。

5. まとめ

施工ステップを模した3次元FEM解析と主桁の残存プレストレスおよび施工時のひずみを計測することで、安全かつ主桁に損傷を発生させない施工が可能となった。以下にまとめを示す。

- ・残存プレストレス推定法を行ったことで、主桁内部のプレストレスが把握でき、3次元FEM解析の精度向上が図れた。解析の精度向上により、もっとも応力的にクリティカルとなる中間ベント上面に発生する引張応力に対して、より安全側の施工が行えた。
- ・3次元FEM解析により、ジャッキアップ時に発生する主桁上縁の応力を予測できたため、主桁上縁の応力をモニタリングすることにより、リアルタイムで異常の有無を確認することができた。
- ・解析値と実測値では、応力に違いが生じたが、モデルの支点条件を細分化することで精度向上が図れると考える。

本橋は、2019年5月に下部工再構築が完了し、そののち、ジャッキダウンによる桁の扛下を行う予定である。この報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，2012.3