

熊本地震で被災した橋梁の復旧工事に対する解析的検討

(株)日本ピーエス 正会員 修士 (工学) ○比嘉 葵
 (株)日本ピーエス 正会員 修士 (工学) 松本 正之
 (株)日本ピーエス 正会員 福島 邦治
 熊本県 厚ヶ瀬 宗

キーワード：外ケーブル補強，主桁ジャッキアップ，FEM解析

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。両橋台再構築のための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る応力超過が懸念されたため、施工ステップを再現したモデルによる3次元FEM解析を行った。解析結果により過度の応力が発生する箇所を特定し、補強対策と施工時の管理方法に反映したので報告する。

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と復旧対策側面図を図-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"

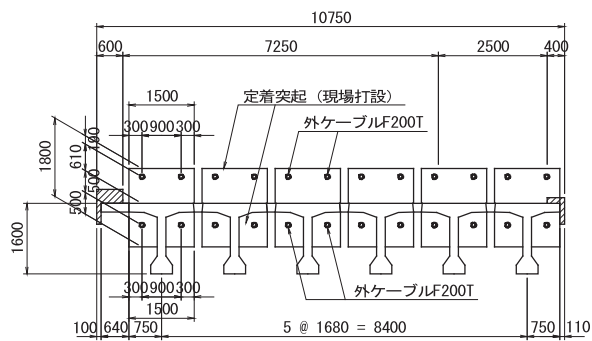


図-1 上部工標準補強断面図

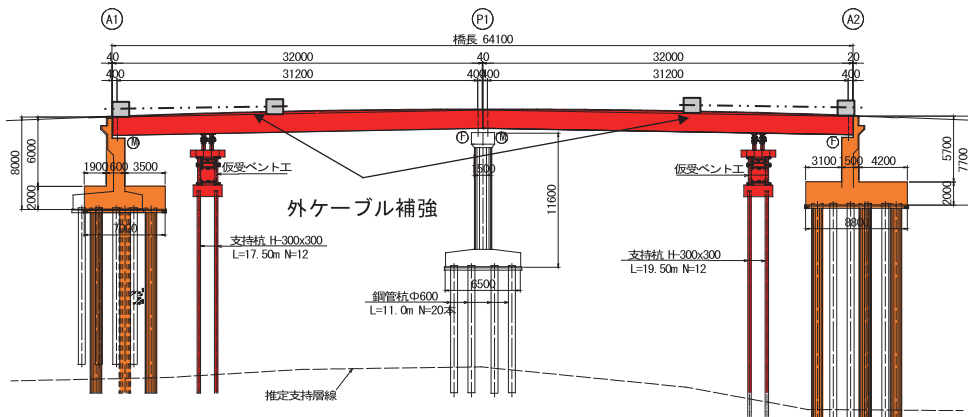
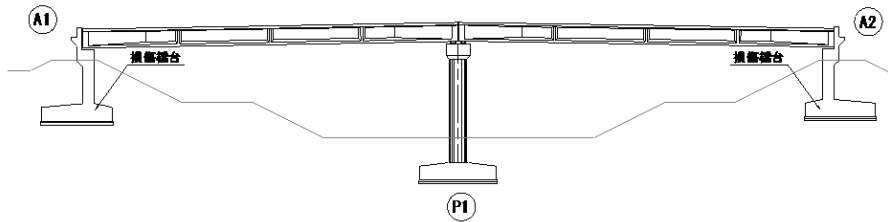


図-2 復旧対策側面図

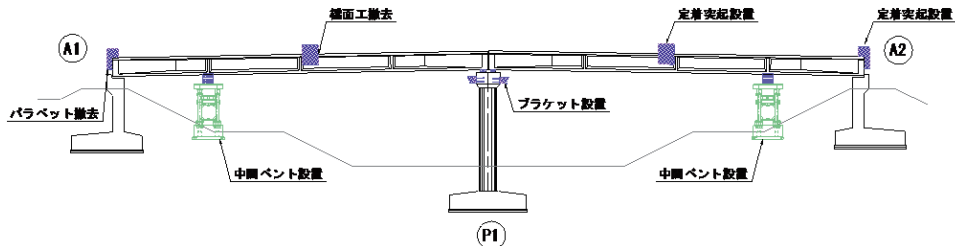
2. 2 施工ステップ

本橋の復旧手順を、図-3に示す。

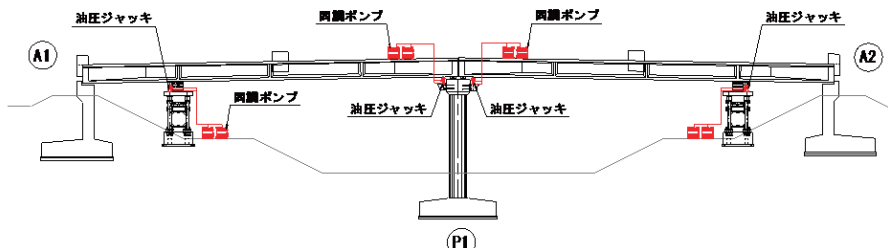
STEP1 施工着手前 (単純支持)



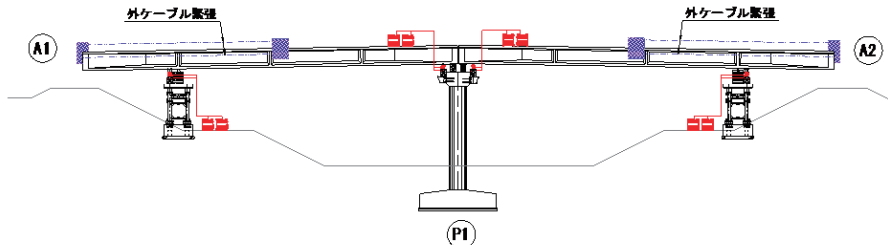
STEP2 橋面工撤去・ベント、ブラケット設置 (単純支持)



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

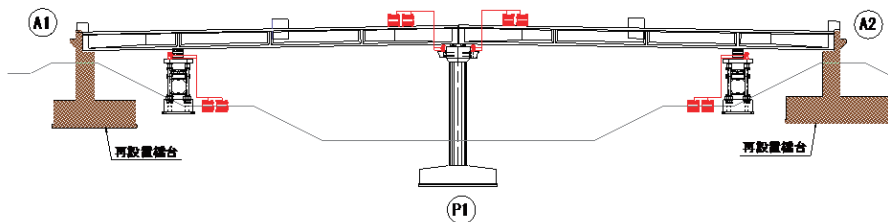


図-3 施工ステップ図

3. 解析概要

3. 1 解析条件と解析モデル

本橋は、交通規制して代替路に切り回しを行った後、既設主桁上面にコンクリート突起を設け、さらに仮設の外ケーブルで補強した後ジャッキアップするという復旧方法が採用されている。ジャッキアップ時には、1主桁あたり4本、約440 tの圧縮力を導入するため、主桁のフランジ上面および下面に配置される外ケーブルは、フランジ下面側を緊張した後に、上面側、さらに断面の中心部から外側へと主桁および定着突起に対して偏載荷にならないような施工ステップとした。

今回の解析では、P1-A2間をモデル化した。図-4に3次元FEM解析モデルを示す。

ソリッド要素でモデル化した既設上部工には主ケーブルと横締めケーブルを埋込型トラス要素でモデル化して部材内部にプレストレスを載荷した。

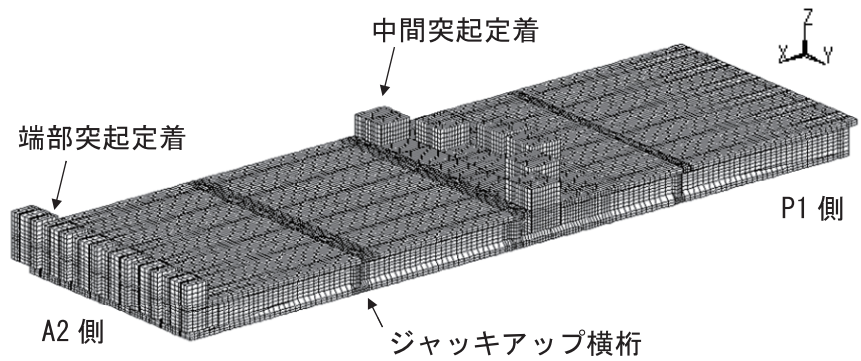


図-4 3次元FEM解析モデル図

端部突起定着は、既設の端支点横桁に鉄筋で定着されるRC構造である。一方、プレストレスによる摩擦接合で一体化される中間突起定着には緊結用PC鋼材の荷重を載荷した。外ケーブルによるプレストレス荷重は、それぞれの定着突起の支圧版の範囲に等分布荷重として載荷した。

3. 2 解析ケース

解析ケースを表-2に示す。はじめに既設主桁上面に引張が発生しないよう、中間ベントに支点反力の50%を載荷してジャッキアップする。その後、各外ケーブルを緊張して端部片持ち支持状態を満足する補強を行った後、支点反力の100%を載荷して主桁をジャッキアップする。外ケーブルは、図-5に示すように断面の中心にあり、偏心量の小さなG3・4桁の下側ケーブルを緊張した後、次に上側ケーブル、さらに外側の桁と設計計算を考慮した施工順序で検討を行った。

表-2 解析ケース

CASE	載荷荷重
1	中間ベント 支点反力50%
2	外ケーブル G3, G4緊張 ケーブル下段
3	外ケーブル G3, G4緊張 ケーブル上段
4	外ケーブル G2, G5緊張 ケーブル下段
5	外ケーブル G2, G5緊張 ケーブル上段
6	外ケーブル G1, G6緊張 ケーブル下段
7	外ケーブル G1, G6緊張 ケーブル上段
8	中間ベント 支点反力100%

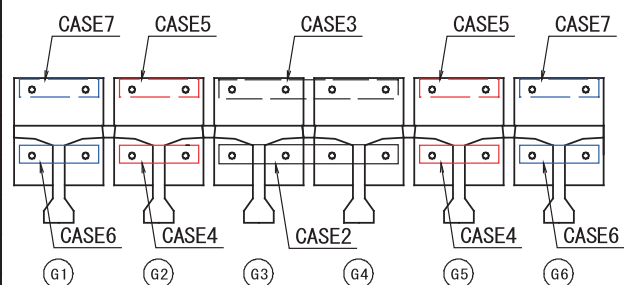


図-5 外ケーブル緊張順序断面図

4. 解析結果

4. 1 解析結果一覧

8ケースの解析結果から得られた発生応力度と発生箇所の一覧を表-3に示す。

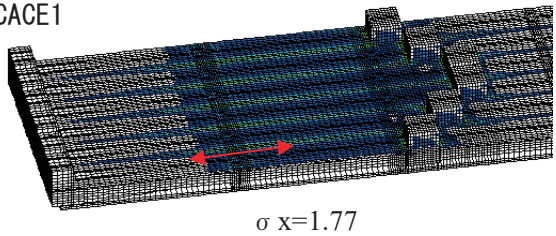
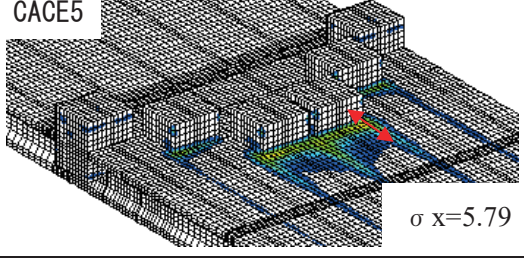
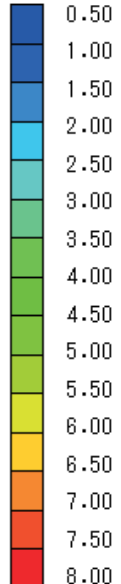
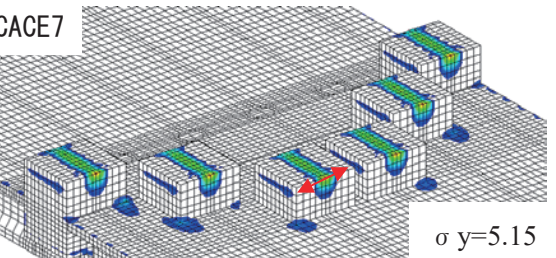
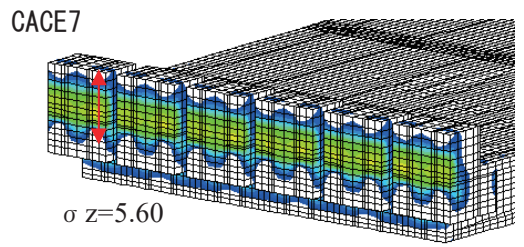
解析の結果、主桁には橋軸方向にプレストレスが導入されていない床版の間詰め部と、主桁の上方への変形を拘束する中間定着突起の周辺に橋軸方向の引張が発生した。なお、設計時には50%ジャッキアップ時に主桁上縁では引張発生が無い検討となっていたが、解析では引張が発生した。また、各外ケーブル緊張時には、中間定着突起背面の主桁上面に橋軸方向の引張が発生し、桁端定着突起には鉛直方向の引張

表-3 各ケース毎の発生応力度一覧

CASE	着目箇所		
	主桁 σ_x (N/mm ²)	中間定着突起 σ_y (N/mm ²)	桁端定着突起 σ_z (N/mm ²)
1	5.55	4.56	発生なし
2	4.23	4.56	0.50
3	5.71	4.98	5.88
4	5.71	4.99	5.87
5	5.79	5.03	5.97
6	5.63	5.04	5.97
7	4.90	5.15	5.60
8	5.21	4.85	5.43

が発生した。さらに、中間突起定着の上面には緊結用の鉛直PC鋼棒の影響により橋軸直角方向の引張が発生した。表-4に解析結果を示す。

表-4 解析結果

50%ジャッキアップ時の主桁上面	外ケーブル緊張時の中間定着突起主桁上面	(N/mm ²)	
<p>CASE1</p>  <p>$\sigma_x = 1.77$</p>	<p>CASE5</p>  <p>$\sigma_x = 5.79$</p>		
鋼棒緊張時の中間定着突起上面	外ケーブル緊張時の桁端定着突起		
<p>CASE7</p>  <p>$\sigma_y = 5.15$</p>	<p>CASE7</p>  <p>$\sigma_z = 5.60$</p>		

4. 2 補強方法

FEM解析結果よりCASE1に示す50%ジャッキアップ時には主桁上縁に引張が発生した。中間ベント位置で荷重する支点反力量の再検討を行った結果、35%で主桁上縁の引張が発生しないことが判明した。なお、施工の際は応力解放法により既設桁の残存プレストレスを測定して、設計時に想定した7.0N/mm²の導入プレストレスとの差を検証し、主桁上縁に引張が発生しない支点反力荷重を決定する。

CASE5では、中間定着突起背面の主桁上面に最大5.8N/mm²の橋軸方向の引張が発生した。このためt=4.5mmの鋼板を主桁上面と側面にエポキシ樹脂で接着して補強を行うこととした。

CASE7に示す緊結鋼棒緊張時の中間定着突起上縁には、橋軸直角方向に最大5.2N/mm²の引張が発生した。そこで、鉄筋の引張応力度を180N/mm²として発生引張力を負担できる補強鉄筋量を計算し、設計計算により決定された最小鉄筋量D16×10本をD19×9本へ変更した。さらに、CASE7の桁端定着突起では最大5.6N/mm²の鉛直方向の引張が発生した。桁端定着突起はRC構造で鉛直鉄筋を引張鉄筋として配置しており、同様に補強鉄筋量の検討を行った結果、現状の配置鉄筋量D29×10本で許容を満足することを確認した。

5. まとめ

施工段階を考慮した8ケースの解析により、各施工ステップでの引張発生領域を特定することができた。既設鉄筋で許容を満足しない箇所に対しては補強を行うことで、施工時の安全性が確保できたと考える。現在、現場では主桁上面の突起定着の組立作業を行っている。外ケーブルで補強した主桁のジャッキアップは9月に実施する予定である。解析の結果、50%ジャッキアップ時の主桁上面に引張の発生が確認された。このため、既設桁の設計時の発生応力度と施工時に応力解放法により得られる応力度の差を反映して、施工時に引張が発生しない支点反力荷重値を決定する。さらに、2段階で実施する主桁のジャッキアップ時および各外ケーブル緊張時には、主桁にコンクリートひずみゲージを設けて計測を行い、本FEM解析値と実測値の差を把握することで、施工の安全性を確保する予定である。