

地震により被災した RC ラーメン橋台の ジャッキアップと軌道復旧

草野 英明

2022年3月16日に発生した福島県沖地震(M7.4)にて、東北新幹線福島・白石蔵王間に建設されていたRCラーメン橋台の下層柱は、軸方向鉄筋が露出変形するほどの損傷を受けた。そこで、被災状況の確認および復旧方法の検討が行われた結果、橋台とPC桁下部に仮受けベント設備を構築し、2,000 kN級鉛直ジャッキ20台および水平移動ジャッキを用いて、所定の位置へ復旧することとされた。その結果、残存していた柱の抵抗が想定以上に大きく、仮受けベントの耐力が計画値を超えることが懸念されたため、残留変位を残したまま軌道工事にて復旧することとなった。復旧方法は、スラブ上の路盤コンクリートのかさ上げ量を調整することで、軌道を所定の位置と高さへ復旧することとなり、同年4月14日の早朝に新幹線の運行を再開した。

キーワード：東北新幹線, 福島県沖地震, ラーメン橋台, ジャッキアップ, 水平スライド

1. はじめに

2022年3月16日に発生した福島県沖地震(M7.4)では、宮城県蔵王町や福島県国見町などで震度6強を観測した。その結果、高架橋等の土木設備、架線等の電力設備、軌道設備等において多くの被害が発生し、復旧に多くの時間を要した。

その中でも特に被害の大きかった東北新幹線福島・白石蔵王間のRCラーメン橋台(以下、橋台)においては、柱の軸方向鉄筋が露出変形し、構造物全体が傾斜するほどの損傷を受けた。

本報では、橋台の被災状況と復旧に用いたジャッキアップおよび軌道復旧について報告する。

2. 構造物概要¹⁾

橋台の構造一般図および構造物諸元を図-1および表-1に示す。当該構造物は線路方向・線路直角方向に1径間の2層ラーメン構造であり、起点方はスパン8mのRC単純桁、終点方は40mのPC桁を支持している。

また、上層スラブ上には10mのRC単純桁を支持している。構造高さ(フォーミング天端~PC桁座天端)は11.59mで、基礎は場所打ちRC杭(φ1.5m, L=31.5m)10本により支持される構造物である。

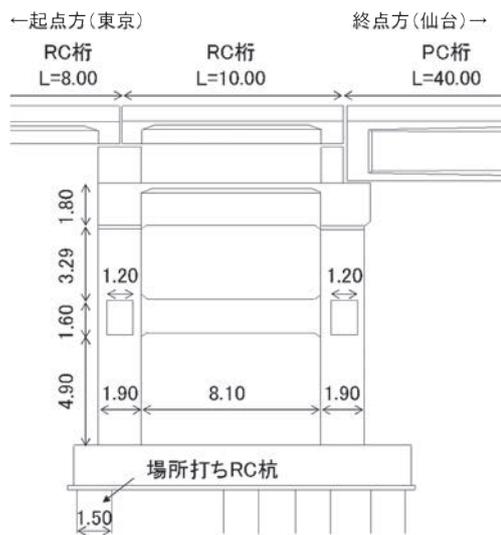


図-1 構造物一般図²⁾ (単位:m)

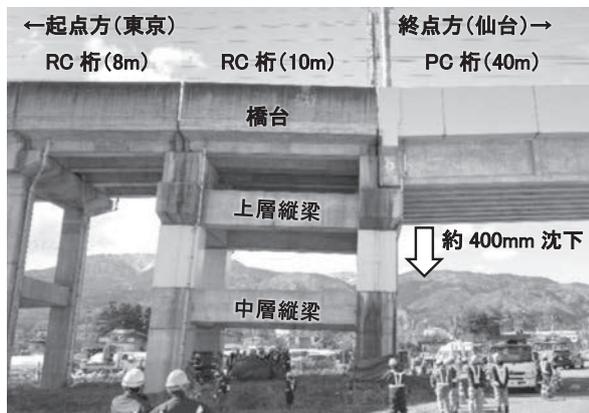
表-1 構造物諸元²⁾

構造形式	2層RCラーメン橋台
径間数	線路方向: 1径間 線路直角方向: 1径間
基礎形式	場所打ちRC杭: φ1.5m (L=31.5m n=10本)
上部工形式	起点方: スパン8m RC桁(単T2主桁) 終点方: スパン40m PC桁(8主桁)
軌道形式	スラブ軌道
柱の断面寸法	1.9m × 1.4m
柱の耐震補強	上層柱: 鋼板巻立て補強 下層柱: 未補強

3. 損傷状況

橋台および軌道の損傷状況を図一2 (a)~(c) に示す。損傷は柱と中層梁に見られ、特に下層柱については、かぶりコンクリートが広範囲に剥落し、軸方向鉄筋の変形、コアコンクリートの損傷が確認された。その損傷によって構造物全体が傾斜し、軌道面で最大約400 mm 程度鉛直沈下し、桁は起点を背にして右側に最大180 mm 程度の水平変位が発生したものと報告されている¹⁾。

一方、中層横梁にはせん断ひび割れに伴うかぶりコンクリートの剥落が確認されている。



(a) 橋台損傷状況 (全体)



(b) 橋台損傷状況 (下層柱)



(c) 軌道損傷状況

図一2 橋台および軌道の損傷状況

4. 復旧方法の検討と施工

橋台は前述の通り、下層柱損傷の影響で橋台全体の沈下や水平方向にずれが生じた。特に終点方下層柱の損傷が確認されたことから、軸力保持機能が低下していると推定された。そのためジャッキアップ等により橋台を所定の位置に戻した後、損傷した部材の補修を行うことで列車荷重を支持する計画が採用された。

図一3に主な応急復旧の施工ステップ、図一4に仮受けベント構造図を示す。

(1) 仮々受け工 (沈下防止)

橋台終点方のPC桁直下には、県道46号線が交差している。終点方下層柱の損傷の大きさから、余震等によってPC桁および橋台の更なる沈下や水平移動の進行による県道46号線への影響が懸念された。

そこで、図一5に示す通り、GL~中層縦梁間および中層縦梁~上層縦梁間に対して山留材を井桁に組み合わせ合わせた仮々受け工を設置し、それ以上の沈下を防止することにした。

なお、仮々受け工の設置期間は、PC桁の荷重を仮受けベントにて受け替えるまでとした。

(2) 橋台・PC桁の仮受け

仮々受け工の設置後、PC桁の荷重を受けるための仮受けベントの設置を行った。ベントの設置に先立ち、橋台フーチングの健全度を調査するため、最大2mの土砂を掘削してフーチング上面を露出させることとした。その後、フーチングの目視確認を実施し、健全であることが確認されている。

写真一1に示す通り、PC桁側の仮受けベントの構築を行い、油圧ジャッキにてPC桁の荷重すべてを橋台から仮受けベントに移行させた後、仮々受け工を撤



図一3 復旧の施工ステップ

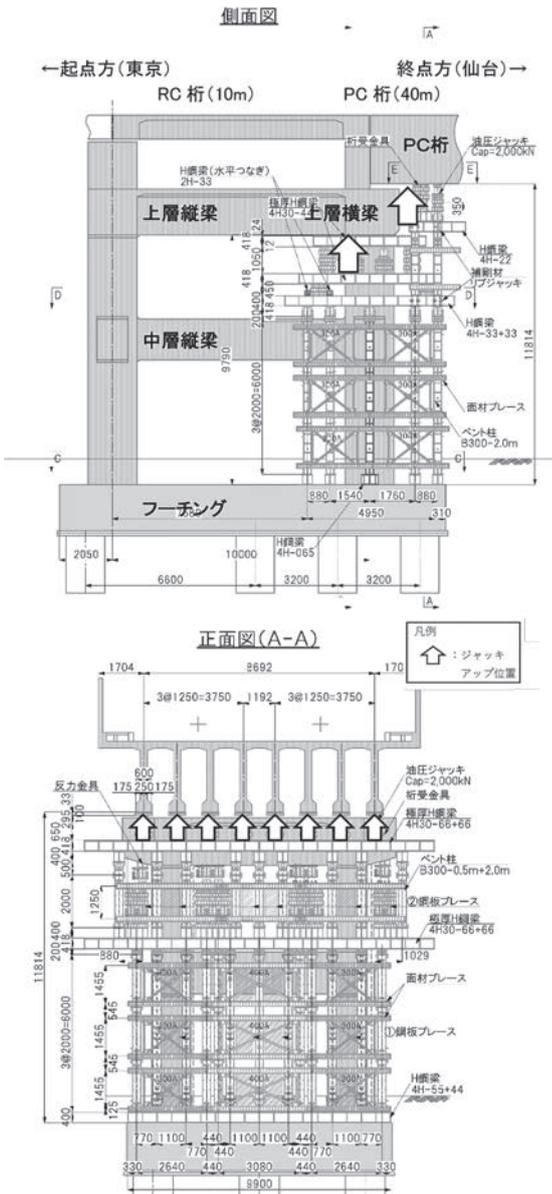


図-4 仮受けベント構造図



図-5 仮々受け工（沈下防止）設置完了

去した。仮々受け工撤去後に、橋台フーチング起点方の土砂を掘削し、橋台上層梁の荷重を受ける仮受けベントの構築を実施した。

仮受けベント構築後の写真を写真-2に示す。

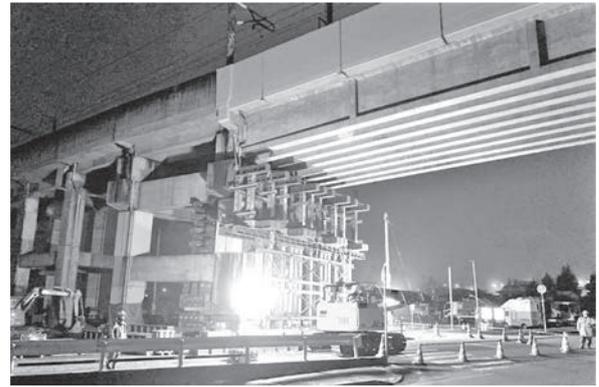


写真-1 仮受けベント設置完了（PC桁側）



写真-2 仮受けベント構築完了（左：橋台側・右：PC桁側）

(3) ジャッキアップ設備

仮受けベント構築後、図-6 (a), (b) に示す通り、橋台上層横梁の下部およびPC桁の下部に対して2,000 kN級の油圧ジャッキ20台を配置した。

油圧ジャッキの配置完了後は、油圧装置および油圧ジャッキのストローク管理用のリニアエンコーダーを設置した。その後、PC桁および橋台の計画荷重の100% (PC桁:8,480 kN・橋台:6,000 kN) を油圧ジャッキに載荷し、全荷重を仮受けベントにて受け替えた。

(4) 下層柱軸方向鉄筋の切断

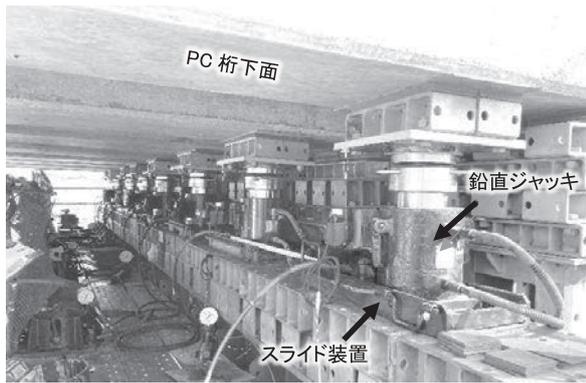
PC桁および橋台に作用する荷重を仮受けベントに受け替えた後、橋台終点方下層柱の変形した軸方向鉄筋を切断した。これは、ジャッキアップを行う際に油圧ジャッキへ作用する荷重の低減を目的としている。

(5) 変位制限装置撤去

橋台前面には図-7に示す通り、PC桁に対する変位制限装置が設置されていたため、ジャッキアップに支障する範囲を事前に撤去し、施工完了後に復旧した。

(6) ジャッキアップ方法

ジャッキアップ1ストローク当たりの高さは、

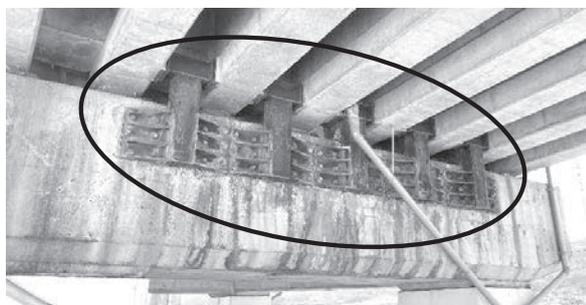


(a) 油圧ジャッキ配置状況 (PC 桁) 2,000 kN 級 8 台



(b) 油圧ジャッキ配置状況 (橋台) 2,000 kN 級 12 台

図一 6 油圧ジャッキ配置状況

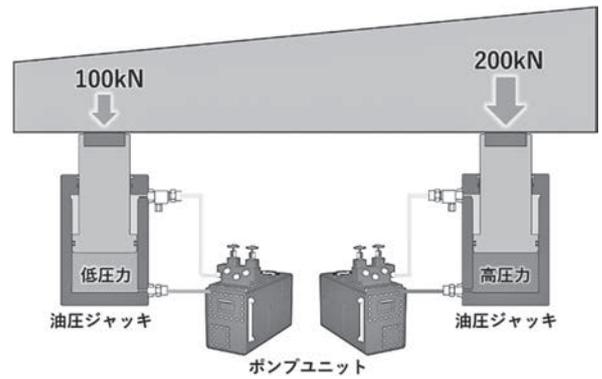


図一 7 PC 桁 変位制限装置

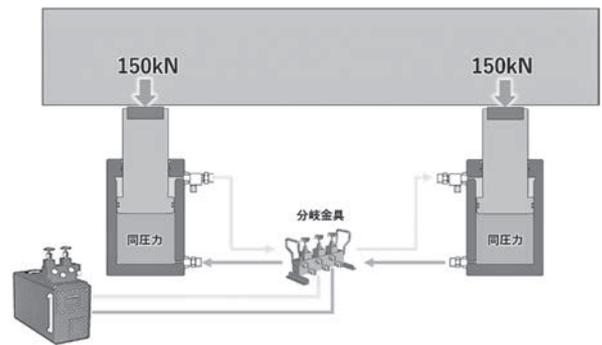
ジャッキアップ時に PC 桁鋼製沓の上沓と下沓が脱落しない高さ 20 mm を基本とした。ジャッキアップ方法は、所定の高さまで PC 桁と橋台を交互に 20 mm ずつ繰り返しジャッキアップする方法とした。

また、橋台下層柱の損傷により構造物全体が傾いていたため、異荷重にて荷重支持ができるよう、ジャッキアップ開始直後の油圧系統は単動としたが、各受点のジャッキ反力に大きな差異が見られなかった。したがって、ジャッキ操作の煩雑さを避けるために、その後はストロークと反力を同時に管理しながら連動にてジャッキアップを行った。

単動と連動の概要を図一 8 (a), (b) に示す。



(a) ジャッキアップ時油圧系統 (単動式)



(b) ジャッキアップ時油圧系統 (連動式)

図一 8 単動と連動の概要

5. ジャッキアップ結果

ジャッキアップ開始後、油圧ジャッキの荷重は計画通り順調に進捗していたが、扛上量 180 mm を超えた辺りから PC 桁では計画荷重の 8,480 kN、橋台部では 135% に当たる 8,100 kN まで上昇した。その後、慎重に作業を進め、205 mm まで扛上することができたが、これ以上進めると他の部材に悪影響が生じることが懸念されたため、それ以降のジャッキアップ作業を中止し、水平方向へのスライド工程に移行することとした。

なお、ジャッキアップの荷重増加の原因は、橋台起点方の下層柱に想定を上回る抵抗力が生じたためと推察されている。

水平方向へのスライドは図一 6 (a), (b) に示す鉛直ジャッキ下部のスライド装置に組み替えて実施した。

しかし、水平方向に約 15 mm スライドした時点で水平ジャッキの反力が增大したため、その後のスライド装置による水平移動を中止した。

この結果、橋台は鉛直方向に 150 mm の沈下および、水平方向に 80 mm (起点を背にして右側) の残留変位を残す結果となり、この状態で軌道側へ引き渡

し、軌道工事にてレールを所定の位置に復旧することになった。

6. 下層柱の復旧および耐震補強

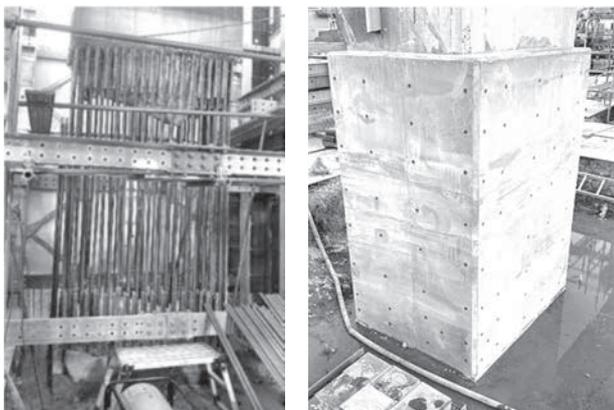
ジャッキアップ施工後、損傷した下層柱の復旧を実施した。復旧方法は、以下の順番で行った。

- ① 損傷したコアコンクリートの撤去
- ② 軸方向鉄筋の台直し
- ③ 上下の既存軸方向鉄筋と新たな鉄筋のフレア溶接による接続
- ④ 帯鉄筋の再配置
- ⑤ 無収縮モルタルの打設
- ⑥ 鋼板巻きによる耐震補強

軸方向鉄筋のフレア溶接完了時の写真を写真—3に、無収縮モルタル打設完了時の写真を写真—4に、鋼板巻きによる耐震補強完了の写真を写真—5に示す。

7. 軌道復旧

高架橋上の軌道は、図—9に示す通り、スラブコ



写真—3 フレア溶接完了

写真—4 モルタル打設完了



写真—5 鋼板巻き耐震補強完了

ンクリート上に路盤コンクリートを構築し、その上にスラブ版とレールを設置する構造となっている。

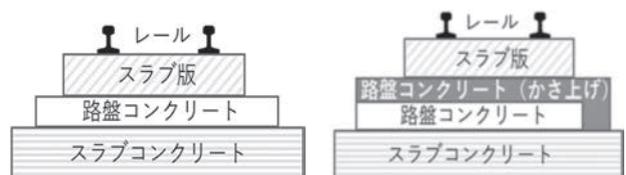
軌道の復旧方法は、図—10に示す通り、レールおよびスラブ版を一時撤去し、既存の路盤コンクリート上に新たな路盤コンクリートを打設して、かさ上げすることで所定の位置にレールを復旧した。なお、スラブ版の位置を固定する突起コンクリートも破損していたため、応急処置として山留材による拘束材を取り付けた。

路盤コンクリートの施工状況を写真—6に、仮軌道復旧状況を写真—7に示す。

8. おわりに

2022年3月16日に福島県沖地震が発生したが、その翌日より現地入りし、4月14日早朝には東北新幹線福島・白石蔵王間の運転再開に貢献することができた(図—11)。

運転再開までの28日間、当該現場に従事した当社



図—9 軌道構造概略図

図—10 復旧後軌道構造概略図



写真—6 路盤コンクリート施工状況



写真—7 仮軌道復旧状況

工種	月日		3月														4月													
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
仮受け工			仮受け工																											
仮受けベント工																														
ジャッキアップ																														
水平スライド																														
下層柱復旧																														
変位制限装置復旧																														
中層梁復旧 (断面修復・ひび割れ注入)																														
軌道関連工事																														

図-11 応急復旧 概略実工程表

および協力会社の工事関係者は延べ約 6,000 人となった。

その間、昼夜を問わず復旧作業に従事して頂いた協力会社の皆様、ご指導を頂いた東日本旅客鉄道(株)の皆様に厚く御礼を申し上げます。



《参考文献》

- 1) 東日本旅客鉄道(株), 「大きな損傷を受けたラーメン構造物の地震被害と復旧」, SED, No60, pp.30 ~ 39, 2022

- 2) 東日本旅客鉄道(株), 「福島県沖地震で大きな損傷を受けた第一小坂街道架道橋の被害解析と復旧後の耐震性能評価」, SED, No61, pp.2 ~ 9, 2023

【筆者紹介】

草野 英明 (くさの ひであき)
 東鉄工業(株)
 土木本部 土木エンジニアリング部
 担当部長

