

1. はじめに

平成 24 年 7 月に発生した九州北部豪雨により筑後川水系の隈上川が増水し、同河川に架かる鉄道橋(久大本線うきは・筑後大石間隈上川橋りょう)が被災、2P 橋脚が沈下した。久大本線は久留米と大分を結ぶ路線で観光列車の「ゆふいんの森」が運行している区間であること、また、沿線住民の通勤通学の手段となっていたことから早期の列車運行再開が望まれた。

2P 橋脚は被災後 300mm 程度沈下していたため、当初は 2P 橋脚の撤去・復旧を想定していた。しかし、詳細な調査及び試験の結果、2P 橋脚の沈下等の収束傾向を確認したため、橋脚天端の嵩上げを行い、当面 15km/h 徐行および計測管理の実施をもって、早期に列車運行を再開させた。本稿では運行再開に向けて行った応急対策および再開後の計測管理について述べる。

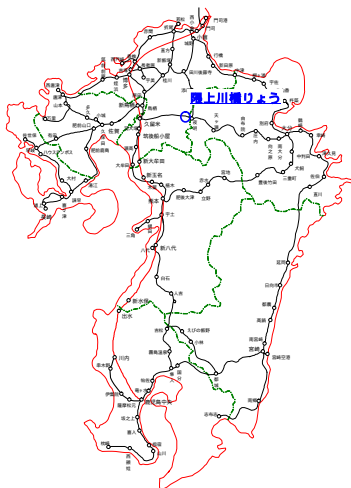


図-1 位置図

2. 橋りょうの被災概況

平成 24 年 7 月 12 日～14 日にかけて降り続いた豪雨により、当該橋りょう付近の雨量計において図-2 のとおり最大時雨量 78.5mm、最大連続雨量 336.0mm を記録している。この豪雨により河川が増水し(図-3)、2P 橋脚基礎部の洗掘及び基礎地盤の吸い出しが生じた結果、2P 橋脚の沈下(平均 298mm)および傾斜(約 2.8 度)が発生したと考えられる。そのため、久大本線の当該橋りょうを含む区間の列車運行を災害直後より休止した。



図-2 時雨量と連続雨量



図-3 被災時の橋りょう

3. 橋脚の健全度判定

被災した 2P 橋脚の健全度判定のため衝撃振動試験¹⁾を行った。衝撃振動試験では判定指標に対象構造物の固有振動数を用い、基礎の支持性能や部材の健全度が低下すると構造物の固有振動数が低下する性質を利用し健全度を判定する。健全度の判定には構造物が健全であるときの固有振動数の値(初期値)が必要だが、当該橋りょうは被災前に実施した同試験結果を用いた。試験は沈下した 2P 橋脚の他、河川内で支持地盤の緩みが懸念される 3P、4P 橋脚についても行った。試験結果を表-1 にまとめて示し、応急対策実施前後での 2P 橋脚のフーリエ振幅スペクトルを図-4 に示す。

2P 橋脚の初期値を元に健全度判別の閾値を算出すると、15.3Hz(18.0Hz × 0.85)となる。対して、被災直後の 7 月 25 日に測定した実測値は 16.1Hz であり閾値を超えていた。また、2 度目は 4 で述べる対策工および載荷試験を行った後の 8 月 24 日に実施し、結果は 17.5Hz と被災直後の値を超えていることから、対策工の効果を確認できた。ただし、この結果は列車荷重の載荷がない場合のものであり、列車運行の可否は、他の要因も考慮し多角的に判断する必要がある。

表-1 衝撃振動試験結果(固有振動数)

橋脚	初期値(前回)	実測値(7/25)	実測値(8/24)	健全度指標	健全度
2P	18.0Hz	16.1Hz	17.4Hz	0.97	B
3P	18.6Hz	19.3Hz		1.0 以上	S
4P	21.0Hz	21.7Hz		1.0 以上	S

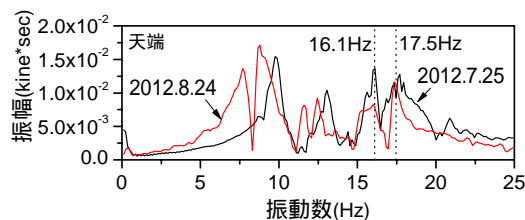


図-4 2P 橋脚のフーリエ振幅スペクトル

4. 対策工および載荷試験

衝撃振動試験の結果を参考にし、また沈下等急進時の運転規制等も併せて行うことを条件に、当該橋脚は使用可能と判断し橋脚の応急対策を行った。それに併せ、列車運行再開後の 2P 橋脚の初期沈下等を先行して促進させ、今後の進行の程度を予測する必要があるため、静的載荷試験および試験列車による列車走行試験を行った。

(1) 応急対策

応急対策としては、桁上に列車荷重を想定した水タンクにてプレロード(静的載荷試験)を行い、洗掘で緩んだ2P橋脚支持地盤の圧縮を促進させた後に、2P橋脚の沈下により勾配の付いた橋げたを正規の高さまでジャッキアップし、2P橋脚天端を無収縮モルタルで嵩上げた。また、2P橋脚周囲にボトルユニットにて護床工を施すことにより、2P橋脚の洗掘防止の応急対策を行った。

(2) 静的載荷試験(プレロード)

プレロード時の静的載荷試験は、以下の要領で行った。2P橋脚上に容量20tの水タンクを2台配置し、水タンク容器重量含め最大で約52t(満水時)の荷重を載荷した。その後水タンクの排水および注水を繰返して荷重を変動させた。

繰返し載荷で生じた沈下、傾斜の最大値は表-2の通りであり、また試験結果を時系列で追うと沈下および傾斜の収束傾向が確認できた。

(3) 列車走行試験

列車走行試験は、モーターカー(MC)および機関車(DE10)を当該橋りょう上にて複数回往復しながら走行させ、その都度2P橋脚の沈下量および傾斜の計測を行った。測定には2P橋脚上にて制動をかけ停止した場合も含まれている。MCの重量は約46t、DE10の重量は約65tである。

測定の結果、沈下量および傾斜の最大値は表-2のとおりであり、列車走行試験においても繰返し載荷回数が増えるにつれ沈下および傾斜が収束する傾向が確認できた。

表-2 試験結果

	沈下量	線路方向傾斜	直角方向傾斜
プレロード工での増分	約1.0mm	約0.04度	約0.01度
MC走行試験での増分	約1.4mm	約0.03度	約0.02度
DE10走行試験での増分	約1.2mm	約0.02度	約0.02度
被災後の累積変形	合計約3.6mm	合計約0.09度	合計約0.05度

(4) 試験結果による考察

静的載荷試験および列車走行試験の期間中、2P橋脚の沈下・傾斜が認められているが、その進行性に収束傾向が見られたこと、試験結果から得られた推定結果から本施工を実施する湯水期までに停止値に達する可能性が低いことから、徐行運転(15km/h)であれば列車運行に問題はないと判断した。

5. 計測管理および運転規制値

4.の試験で沈下・傾斜の増加が認められたことから、列車運行開始後の2P橋脚沈下等の累積量が列車走行時の安全性を脅かしていないかを確認するため、2P橋脚の計測管理を計画した。また、4.の試験にて2P橋脚が経験した累積沈下

等に基づき、計測値に対する警戒値と列車を抑止する停止値の設定を行い、本復旧までの間に沈下等が急進した場合にも対応できる体制を取った。

(1) 運転規制値の設定

当該橋りょうの沈下等に対する運転規制値(表-3)は、安定計算から定まる許容値と較べて十分安全側に設定を行っており、その警戒値は、被災直後から運行再開までの沈下等の累積量と同程度まで、運行開始後の沈下等の増加を許容する値とした。

また停止値についても警戒値の2倍程度になるよう設定した。これらの設定値は暫定的なものであり、沈下等の累積量の進行性を把握しながら、安定性を損なわない範囲で規制値の再設定を行う。

一方、沈下および傾斜とは別に軌道狂いの管理も行う。軌道狂いの値に関しては4級線の軌道整備基準値を採用した。

表-3 計測管理値(警戒値・停止値)

	軌道の高低狂い	軌道の通り狂い	線路方向傾斜	直角方向傾斜
警戒値	9.0mm	9.0mm	0.06度	0.06度
停止値	22.0mm	22.0mm	0.11度	0.11度

(2) 運行開始後の沈下等の進行状況

計測管理は2P橋脚の傾斜および軌道狂いに関しては自動計測により常時計測を行い、沈下に関しては、レベル測定により行った。沈下については、計測開始後2週間では沈下は認められず収束したと判断した。また、傾斜および軌道狂いは、計測開始日から30日程度は進行性がみられたが、その後は収束傾向にある(図-5)。

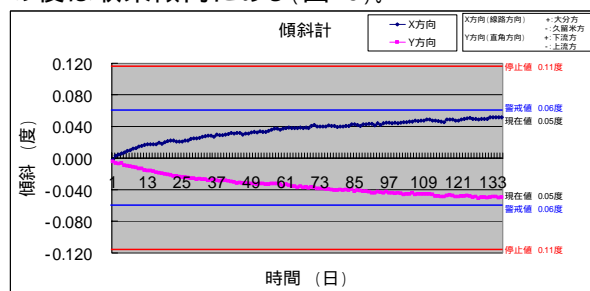


図-5 計測管理結果

6. おわりに

現在、列車運行再開後4ヶ月が経過しているが2P橋脚の沈下および傾斜に目立った進行性は確認されていない。しかしながら復旧工事による本復旧が終了するまでは、列車運行の安全性を確保されていることを確認するために計測管理を継続する必要がある、万全の体制で臨みたい。

< 参考文献 >

- 1) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編 基礎構造物・抗土圧構造物), 平成19年1月