

被災橋脚の常時微動測定結果

井上英司¹・富田健司²

¹正会員 工修 (財)鉄道総合技術研究所 ユレダス開発推進部 (〒185 東京都国分寺市光町 2-8-38)

²正会員 (財)鉄道総合技術研究所 ユレダス開発推進部 (〒185 東京都国分寺市光町 2-8-38)

鉄道総研は、橋脚の左右天端2カ所で同時測定した各3方向成分の常時微動測定結果から、その橋脚の状態を把握できるようにした。微細な振動の中からロッキング振動を抽出し、それによって橋脚の健全度を判定するのである。この手法は、洗掘された橋脚の安定性を評価するのに威力を発揮している。

今回、強い外力を受けて被災した橋脚に対して常時微動測定を実施し、測定結果に被災状況がどのように反映されるかを調べた。その結果、橋脚に入った水平ひび割れの位置の影響が強く現れることを確認した。

Key Words : microtremor, scoured piers, damaged piers, rocking vibration, piers inspection

1. はじめに

河川の中に存在する橋脚は、基礎部が流水により洗掘される危険に常にさらされてる。洗掘された橋脚は一見安定しているように見えても、河川増水時の流水や地震動に対して著しく不安定になり、ひとたび橋脚に変状が生じた場合には、社会的に多大な影響を与えることになる。このため、橋脚の状態、特に目視検査することが難しい基礎の状態を的確に捉えることが非常に重要となる。

鉄道総研では、橋脚の天端左右2カ所で同時測定した各3方向成分の常時微動測定結果から、その橋脚の状態を的確に把握し、健全度判定を行える手法を開発している^{1)~4)}。この手法は、洗掘された橋脚の安定性を評価するのに威力を発揮している。

今回は、地震による破壊力と同程度の位置づけとして、土石流による強い外力を受けて被災した橋脚に対して常時微動測定を実施し、測定結果に被災状況がどのように反映されるかを調べた。その結果、橋脚に入った水平ひび割れの位置の影響が強く現れることを確認したので報告する。

2. 橋脚健全度判定方法の概要

それほど高くない橋脚は、一般に剛体構造物と考

えられるが、剛体構造物の健全度は転倒に対する安全性とリンクしており、転倒の危険性のあるものは剛体ロッキング振動が支配的になると考えることができる。すなわち、ロッキング振動の多寡に着目すれば、絶対的な安定性の判定が可能となる。

この方法を用いれば、ロッキングしやすいその他、ロッキング中心、すなわちロッキング深さや偏心量が明確になり、ロッキング振動形態を知ることができる。すなわち、洗掘検査の場合には、偏心量により橋脚のどちら側が洗掘されているかを的確に判断することが可能となるのである。図1に橋脚のロッキング振動形態を示す。

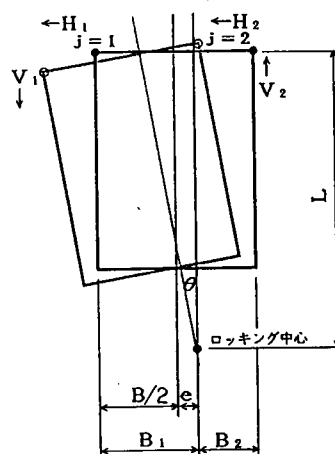


図1 橋脚のロッキング振動形態

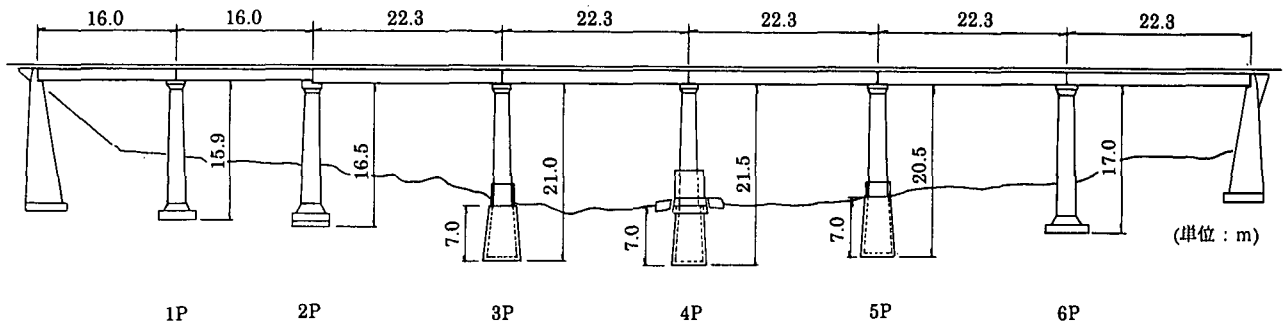


図2 A橋梁全体図

(1)健全度判定指標

ロッキング振動が卓越する場合には、ロッキング方向の水平振動 H と上下振動 V が相関する事実を用いて、 H と V の相関係数の自乗 ρ を用いてロッキング振動の卓越度を判断し、ロッキング振動 r とそれ以外の雑振動 n に分離して、 $R = (r/n)^2$ を算定し R の大小で危険性を判断すること、そして弱点箇所の抽出基準として、実測定結果及び模型実験結果から、 $R > 1$ かつ $\rho > 0.5$ を提案している^{2)~3)}。 $R > 1$ 及び $\rho > 0.5$ は、ロッキング振動が全体振動の5割以上に達している状態に相当している。

ロッキング振動 H_j 及び V_j は、図1より

$$H_j = H_{rj} + H_N = L_j \theta + H_N$$

$$V_j = V_{rj} + V_N = V_j \theta + V_N$$

と表わされ、これを元に R 値、 ρ 値、ロッキング深さ L 及び偏心量 e が算出されるが、詳しくは文献4)を参照されたい。

3. 被災橋脚の常時微動測定結果

今回測定を行ったのは、急流河川に存在する橋梁で、集中豪雨による急激な水位上昇及び土砂崩壊に伴い発生した土石流により被害を受けたものである。測定橋梁の全体図を図2に示す。

図に示すように、A橋梁は7径間、6橋脚からなり、3P～5Pが井筒基礎、他は直接基礎である。そして、4Pには根固工が施工されており、3P及び5Pについては同じ部分を鋼板で補強されている。

(1)被災状況

測定時この橋梁は、河川工事終了後に復旧工事を行う工程のため、被災したままで供用されていない状態であった。被災状況は、流されてきた石、岩の衝突により、躯体が削られているのが特徴である。さらに、5Pには躯体周上に水平クラックが入っている。

(2)微動による測定結果及び考察

図3に ρ 値及び R 値、図4にロッキング中心位置化としてまとめたものを示す。

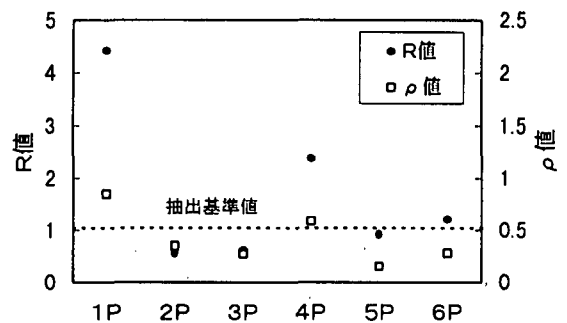


図3 ρ値及びR値

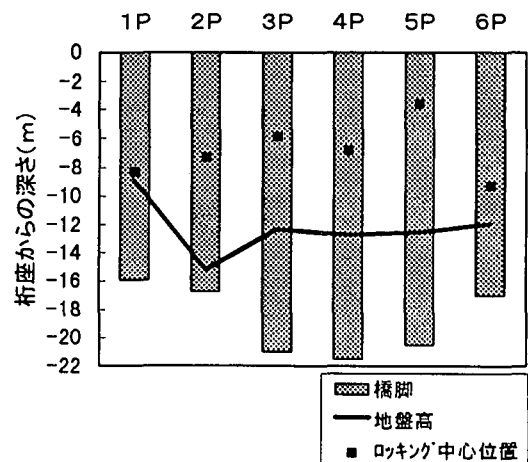


図4 ロッキング中心位置

この図から明らかなように、1 P、4 P及び6 PにおいてR値が1を超え、 ρ 値は1 P及び4 Pが0.5を超えている。弱点箇所の抽出基準と照らし合わせると1 P及び4 Pが要注意橋脚となり、更なる詳細な検討が必要となる。

これらの橋脚のロッキング中心の深さを見てみると、かなり高い位置に存在することが分かる。これらの橋脚は高橋脚と考えてよく、形状的に曲げ振動しやすい構造であると考えられる。そのため、曲げによる見かけのロッキング中心が算出されたために、通常よりも高い位置にロッキング中心が現れた可能性が高いと考えられる。

橋脚個別に見ていく。まず、1 Pであるが、抽出基準を大きく上回り、要注意橋脚と判定され、ロッキング中心の位置も橋脚中心のやや下部に位置し、高い状態である。しかし、土被りは約7 mあり、ロッキング中心の位置が地盤の位置とほぼ対応していること、さらに地盤と接している部分は土留壁にあたりコンクリートで固められていることを勘案すると、曲げ振動が主体で抽出基準を超えたものと考えられ、橋脚自体は健全と考えられる。

2 P～6 Pについては、4 P及び6 Pを除いて、R値及び ρ 値の抽出基準を両方とも下回っており、健全と判定されるが、ロッキング中心の位置が非常に高いのが特徴的である。見かけのロッキング中心の位置が橋脚の高さの0.7程度の深さになっていれば、曲げ振動が卓越していると考えられ、基礎はしっかり地盤に固定されていると判断してよい³⁾。直接基礎である6 Pについては、これに当てはまり、曲げ振動が主体的になっているといえる。しかし、2 P～5 Pについては、それ以上に高い位置にロッキング中心がきている。流石、流岩の衝突により削られた躯体部分は地盤部分から、せいぜい4 m位までなので、それによる影響の可能性は低いと考えられる。ロッキング中心の位置がひとときわ高い5 Pについては、被災による欠陥部の影響が強くでている

ものと考えられる。この橋脚は、被災の影響で躯体に水平クラックが2本入っている。その影響でロッキング中心が橋脚の上部にきたものと考えられる。なぜなら、ロッキング中心と2本のクラックの内の1本の位置とが一致しているためである。他の橋脚については、剛性が低くなっているのか、あるいはその部分に橋脚に大きなダメージを与えるようなクラックが存在するのか、判断に迷うところであるが何らかの影響が出ているものと思われる。3 Pについては、場所の同定はできないが、クラックがあることが確認されているため、その影響が出ている可能性が高い。

以上のように、ロッキング中心の位置は、水平クラックの位置の影響が、強く現れる結果を得た。2 P、3 P及び5 Pについては、R値及び ρ 値による抽出基準を越えたものはない。しかし、ロッキング中心の位置を考えることによって、橋脚に生じた何らかの異常を察知することができると考えている。

4. 被災橋脚補修後の常時微動測定結果

この章で示す橋梁も前章で示した橋梁と同一河川に架かっており、集中豪雨による急激な水位上昇及び土砂崩壊に伴い発生した土石流により被害を受けている。橋梁全体図を図5に示す。

図に示すように、B橋梁は、10径間、9橋脚からなり、2 P、3 P及び5 Pがケーソン基礎、他は直接基礎からなっている。そして、6 P～8 PについてはA橋梁3 P及び5 Pと同様に鋼板が巻かれている。

(1)被災状況及び復旧方法

測定時この橋梁は、復旧工事が終了しており、供用されている状態であった。

被災状況としては、6 Pにおいて躯体部分の水平

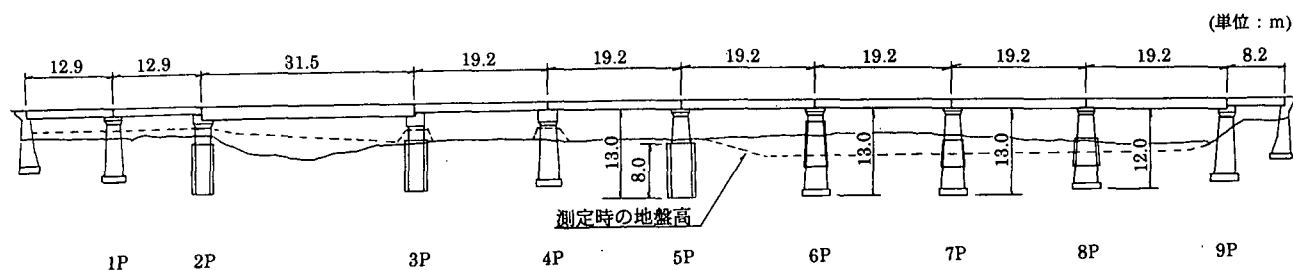


図5 B橋梁全体図

クラックにより上下分離状態という、橋脚としての機能を失うほどの被害を受けている。

この橋脚の復旧方法として、まず、クラック部に樹脂注入を行い、 $\phi 32\text{ mm}$ 、7.7mのPC鋼棒を5本使用し定着長を3.5mとして、橋脚天端より分離した部分を繋ぐようにアンカー留めを行っている。さらに、クラック部分をカバーするように既設鋼板より上に幅1.5mにわたり鋼板巻き補強されている。

(2) 微動による測定結果及び考察

図6に ρ 値及びR値、図7にロッキング中心位置としてまとめたものを示す。

図から明らかなように、7PでのみR値が1を越えているのみで、 ρ 値の基準を越えるものはなく、 $\rho > 0.5$ かつ $R > 1$ の抽出基準を越える橋脚はない。図8に示したように、7P及び8Pにおいては、ロッキング中心の位置が高いが、これは地盤から約2～3mのところまで鋼板巻き補強され、この部分の剛性が高くなっている影響がでているものと考えられる。6Pについては、上述したような、かなり大がかりな補修工事が行われたが、橋脚が上下分離した影響は全く見られず、健全な橋脚と判断できる。こ

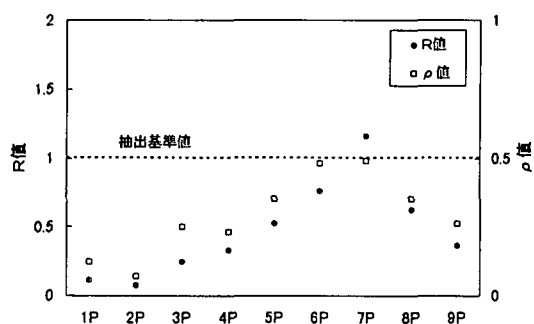


図6 ρ 値及びR 値

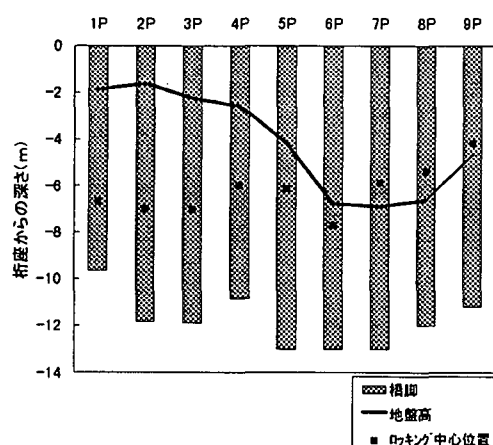


図7 ロッキング中心位置

の橋脚は、基礎形式から橋脚高さまで7Pと同じであるが、測定結果においてロッキング中心の位置が異なっている。この事について考察を行う。これは補修工事の影響によるものと考えられる。すなわち、元々同じような位置にロッキング中心があったものと考えられるが、橋脚天端よりPC鋼棒を用いてアンカー留めを行っていること、さらに既設鋼板の上に鋼板を継ぎ足し、橋脚天端から2m程度のところまで鋼板補強されたことにより、剛性が高くなり、より剛体的な振動形態を示すようになったため、ロッキング中心が下の方に降りてきたものと考えられる。

以上補修橋脚6Pについて考察を行ったが、健全度判定結果にも示されているように、橋脚としての機能を完全に取り戻している。良好な補修方法及び工事により、健全な橋脚に復旧されていると判断できる。

5. まとめ

今回、地震による破壊力と同程度の強い外力と位置づけて、土石流による外力を受けて被災した橋脚について常時微動測定による健全度評価を行った。その結果、ロッキング中心の位置に水平クラックの影響が強く現れることを確認した。この結果は、健全度評価を行う上で、ロッキング中心の位置を考慮することの重要性を示すものと考えられる。そして、ロッキング中心の位置を考慮することで、より詳細な判定が可能になると考える。

今回は目で見える橋脚の異常で検証したが、この手法を用いることにより、目視検査の網にかからないような内部の異常も抽出できる可能性があり、今後の被害調査では威力を発揮するものと考えている。

謝辞: 現地測定に便宜を図って頂いた西日本旅客鉄道株式会社の関係者の方々に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村・滝沢: 常時微動を用いた鉄道橋梁の振動特性, 第21回地震工学研究発表会講演概要集, 1991.7
- 2) 中村・田母神他: 打撃や加振を必要としない新しい橋脚健全度評価法, 第9回地震工学シンポジウム講演概要集, 1994.12
- 3) 中村・田母神他: 常時微動を用いた新しい橋脚健全度評価法の提案, 鉄道総研報告 Vol. 8, No5, 1994.5
- 4) 立花・中村: 常時微動を用いた橋脚健全度について, 第23回地震工学研究発表会講演概要集, 1995.7