

(161) 橋脚等ブロック状構造物の健全度について

(財) 鉄道総合技術研究所 田母神 宗 幸

(財) 鉄道総合技術研究所 中 村 豊

(株) システムアソシエーツ 立 花 三 裕

1. はじめに

鉄道構造物は厳しい自然条件のもとに建設されその建設年代も古いものが多い。鉄道輸送の使命である安全を確保するためには、輸送を支える鉄道構造物の的確な検査が不可欠であるが、大量の構造物に対して詳細な検査を実施するには多大な労力を要する。簡便な検査により、詳細な検査が必要とされる弱点箇所の抽出ができれば、合理的に検査の省力化を図りながら安全性を高めることができる。我々は常時微動を用いて的確、簡便に弱点箇所を抽出する手法の開発を進めている。ここでは、橋脚等ブロック状構造物の常時微動を用いて、構造物の健全度を評価する新しい検査手法について検討し、現地試験を行なったので報告する。

2. 健全度評価の基本的考え方

ブロック状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ロッキング振動が支配的になると考えられる。図1にロッキング振動の振動形態を示す。ここでは常時微動で観測される上下成分振動と水平成分振動を次のようにロッキング振動とそれ以外の振動に分けて考える。

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_{R1} + V_N \\ V_2 &= V_{R2} + V_N \\ H_1 &= H_2 = H_{R1}(H_{R2}) + H_N \end{aligned} \right\} \text{--- (1)}$$

ここに、 H_R 、 V_R はロッキング振動による水平成分及び上下成分振動、 H_N 、 V_N はロッキング振動以外のノイズ振動である。

図1から明らかなように

$$\left. \begin{aligned} H_{R1} &= H_{R2} = L \theta \\ V_{R1} &= B_1 \theta, V_{R2} = B_2 \theta \end{aligned} \right\} \text{--- (2)}$$

ここでの基本的考え方は、観測される振動がロッキング振動を主体とするものかどうかで当該構造物の安全性を評価しようとするものである。ロッキング振動は(2)式にもあるように上下動と水平動が相関をもつ振動であるといえる。そこで全体の振動のなかに占めるロッキング振動の寄与率 ρ を次のように定義する。

$$\rho \text{ (寄与率)} = R(H, V)^2 = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^N H_i \times V_i \right\}^2}{\sum_{i=1}^N H_i^2 \times \sum_{i=1}^N V_i^2} \text{----- (3)}$$

ここに、 N はサンプル数、 H_i (水平成分)及び V_i (上下成分)はデジタル化された常時微動記録値である。また、 R は H と V の相関係数である。測定したブロック状構造物の水平成分と上下成分の相関が増すにしたがって、 ρ は0から1に近づいていく。ここでは、ブロック状構造物の支持力が低下するにしたがい、剛体ロッキング振動が優勢となり、寄与率 ρ が増加することを現地試験で確認し、寄与率 ρ によって健全度が評価できることを検討する。

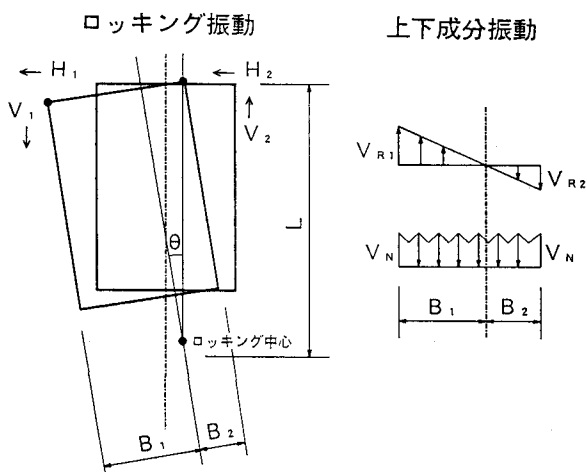


図 1. ロッキング振動

3. 現地試験の測定概要及び結果

ブロック状構造物として、橋脚と斜面上の転石を取り上げて、現地試験を実施した。以下、現地試験の概要と結果について述べる。

3. 1 測定計器及び測定上の注意

測定に使用したのは、(財)鉄道総研が開発した常時微動計PICである。これは、3方向の2組のセンサを持ち、2測点を同時に測定できる。測定振動数範囲は、1～20 Hz までで、ローパスフィルターについては、5、10及び20 Hz を選択することができる。すべての測点で、約41秒間(1/100秒間隔, 4096サンプル)の微動を3回測定した。これらのデータから比較的静穏な約10秒間(1024サンプル)を選び解析した。

ロッキング振動の測定では、測点がロッキング中心に近ければそれだけ上下振動成分ではノイズ成分 V_N の影響を相対的に大きく受け、ロッキング振動をとらえにくくなるため、センサはできるだけロッキング中心から離して設置することが必要となる(図1参照)。このため、橋脚の測定では桁座の左右端の中央にセンサを設置した。また、転石の測定では転石の縁端に数点のセンサを設置した。

3. 2 現地試験結果

(a) A橋りょう(測定橋脚数1基)

鉄道廃線数に残された単線橋脚(重量110tf/基)を使って試験を行なった。ここでは橋桁はすでに撤去されて存在しない。測定橋脚の諸元と測点を写真1に示す。基礎は煉瓦造円形ケーソン基礎となっている。ここでは、洗掘を模して橋脚周辺の地盤を数次に分けて取り除きその後段階的に埋め戻した。常時微動はこれらの各段階で測定した。また、減衰定数の測定も行なった。この減衰定数は、掛矢で橋脚頭部を打撃した後の自由振動から求めたものである。図2に測定ケース、図3に測定ケースごとの寄与率 ρ と減衰定数 h の変化を示す。これによれば、掘削が進むにつれて、寄与率が高くなり、逆に埋め戻しが行なわれると、寄与率が下がる傾向が明瞭に認められた。これは基礎部が掘削されたことにより支持力が低下し、剛体ロッキング振動が優勢になったことを示している。また、埋め戻しが行なわれると寄与率が増加するものの掘削前ほどには戻っていない。これは、埋め戻し材の締め固め程度が掘削前に比べて十分でないことによるものと考えられる。また、測定ケース4、5で、L、Rの寄与率が相違しているのはR側のたぬき掘り($\phi 2.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$)の影響と考



←H (左右) 方向→

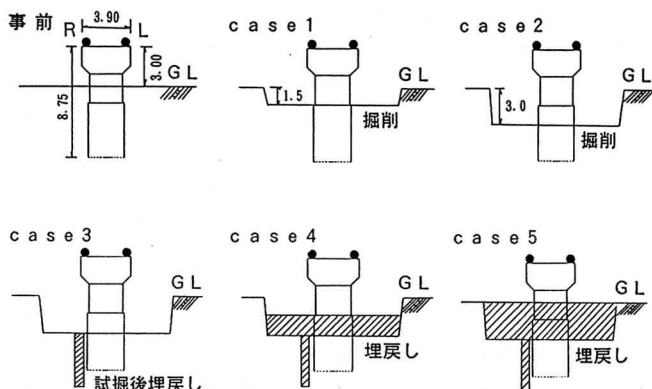


図 2. 測定ケース

えられる。これらの結果から、寄与率を用いた橋脚基礎の健全度評価が可能であると判断できる。

また、減衰定数 h も寄与率と同様に、基礎部の掘削、埋め戻し状態に対応して変化した。このように、減衰定数も基礎の状態をあらわす指標として有効であると考えられる。

(b) B橋りょう (測定橋脚数 3 基)

単線の直接基礎 (重量 90 tf/基) を使って試験を行なった。ここでは、同種構造の連続した橋脚について考察した。測定橋脚の諸元と測点を図 4 に示す。当該箇所地盤強度は低く、橋脚の基礎面積を広げる設計上の配慮がなされている。また、この箇所の河床履歴をみると、6P、7P については最近洗掘を受け新しく蛇籠工が施工されている。また、8P については、レール枠で固定された蛇籠工が以前から施工されており最近洗掘はされていない。このことから橋脚根入れ部は 8P の方が 6P、7P に比べて安定していると考えられる。図 5 に測定橋脚ごとの寄与率 ρ を示す。これによれば、6P、7P で高く、8P はこれらに比較して相対的に低くなっている。寄与率 ρ の相違は橋脚を囲む河床工や根入れ部の橋脚に対する拘束力の違いを表わしていると考えられる。また、6P、7P はロッキング振動が支配的な橋脚と判定される。この判定については、橋脚管理箇所の検査結果と一致している。

3. 2 斜面の転石

ここでは試みに寄与率 ρ を用いて、斜面上の転石の安全性を検討する。対象は、落石が多発している鉄道沿線の自然斜面である。この箇所の岩質は古生層のチャートで、節理や亀裂が発達している。ここでは、割れ目に沿って露出岩から剥離、前倒した転石について、常時微動を測定した。図 6 に測定した転石の形状、寸法を示す。転石 A はやや偏平な形状をしているが、急斜面上にあり見た目は不安定である。また、転石 B は、板状の岩塊が地中に直立した状態で埋もれているように見える。図 7 にこれらの寄与率を示す。転石 A の測点①、②では、斜面走向方向の寄与率が傾斜方向に比べて相対的に小さい。これは、斜面走向方向のロッキング中心と測点①、②の位置が距離的に近いため、ロッキング振動による上下動が小さくノイズ成分の影響を相対的に大きく受けたためと考えられる。これに対して測点③では、走向方向の最大寄与率が 0.4

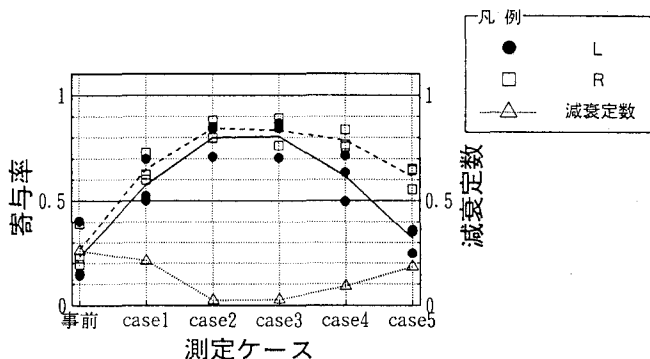


図 3. 寄与率の変化 (H (左右) 方向)

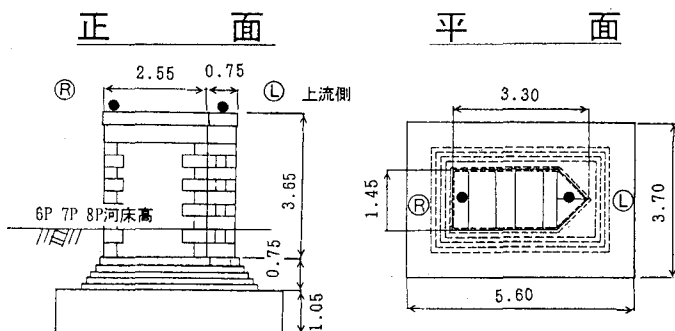


図 4. 測定橋脚諸元 (B 橋りょう)

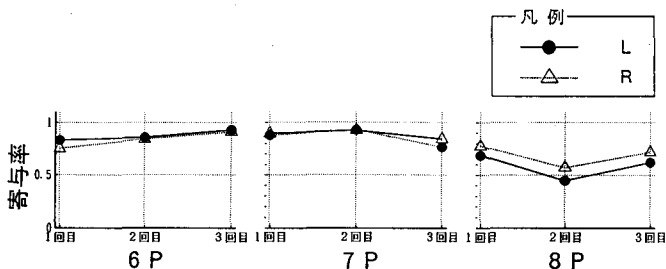


図 5. 寄与率 (H (左右) 方向)

程度まで大きくなっている。
 このことは、測点位置とロッキング中心との位置関係が分からない転石のような場合には、縁端の数箇所を測定して得られた最大の寄与率からロッキング振動の程度を判定する必要があることを示している。

また、転石 B では各測点とも傾斜、走向方向でほとんど同程度の寄与率 0.3 程度を示した。転石 A と B について健全度を相対的に評価すると、転石 A の方が斜面傾斜方向に揺れ易い特性を持っており、より危険であると判定される。これは目視による判定結果と一致している。

今後、転石上での数箇所のデータを用いて、立体的な転石の動きをとらえるとともに、形状なども考慮した安定解析を行いたい。

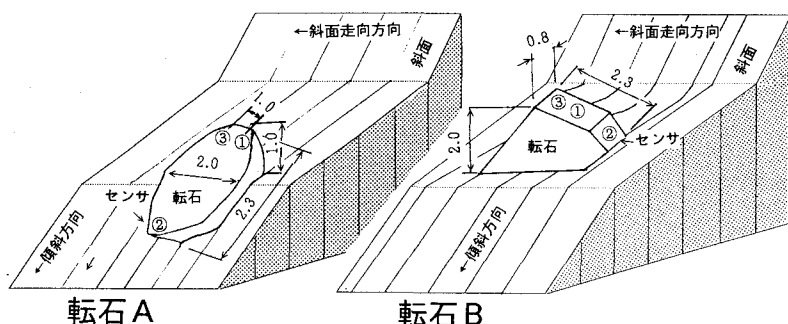


図 6. 斜面の転石

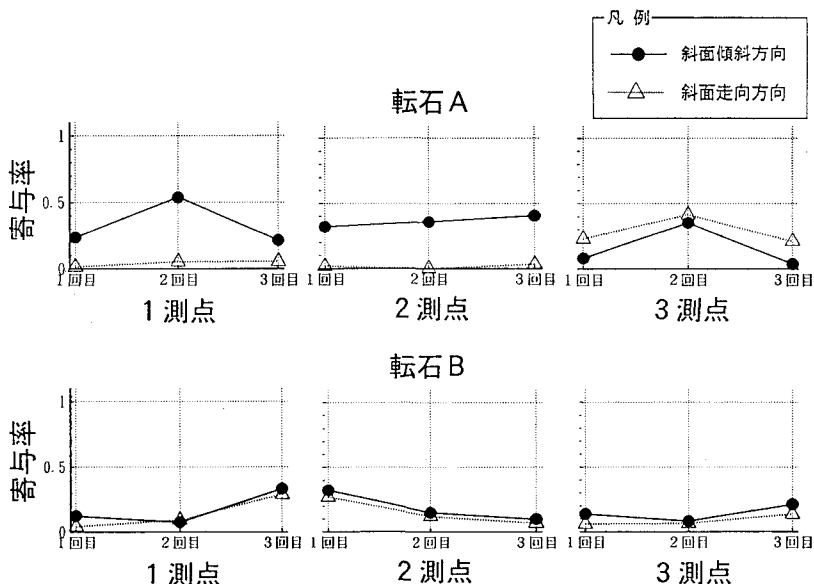


図 7. 寄与率 (転石)

4. まとめ

現地試験から次のことがわかった。

- (1) 寄与率を用いた橋脚基礎の健全度評価が可能である。
- (2) 斜面の転石についても、橋脚同様に寄与率を用いた健全度評価が可能である見通しを得た。
- (3) 寄与率を用いて同種構造が連続する箇所での、健全度の相対的評価を簡便に行うことができる。

また、単独の橋脚等のブロック構造物においても、要検査構造物としての抽出基準の寄与率をさしあたり $p = 0.5$ 程度以上として差し支えないと考えている。今後、健全度と寄与率との定量的な関係を明らかにしていくつもりである。

橋脚等のブロック状構造物の健全度を簡便に評価する指標として水平成分と上下成分との相関、ここでは寄与率が有効であることを示した。今後は、健全度の定量的な判定が行えるよう研究を深度化させ、常時微動を用いた簡便な耐力評価手法の 1 つとして実用化をめざす。

参考文献：中村、滝沢：常時微動を用いた鉄道橋梁の振動特性の推定、第21回地震工学研究発表会

謝 辞：試験や貴重な資料の提供にご協力頂いた J R 東日本旅客鉄道株式会社の関係者の方々に深甚の謝意を表します。