

アトラクタによる構造物の損傷検出に関する検討

株式会社 安藤・間 正会員 ○加藤 証一郎, 正会員 小野 正樹
 正会員 浦野 和彦, 正会員 足立 有史
 正会員 室山 拓生, 正会員 峰沢 ジョージヴウルペ

1. はじめに

近年、構造物の維持管理の分野では構造ヘルスマonitoringに関する検討が行われ、その中でカオス応答アトラクタによる損傷検出性についての検討例¹⁾もある。アトラクタによる構造物の損傷検出法（以降、アトラクタ損傷検出法と称す）は、比較的小さな損傷を検出できるなどの長所を有する。そこで、鉄道橋梁橋脚の健全度診断に関する検討²⁾を参考にして単柱式RC橋脚模型を作成し、模型の一部に損傷を漸増させる状況において水平打撃および鉛直起振により加振する実験を行い、アトラクタ損傷検出法の有効性について検討した。

2. 実験概要

写真1に示すように、高さ50cm×幅20cm×奥行10cmの超軽量モルタル製の試験体に対して振り子式に水平打撃できるように直径19mmの鋼球を設置し、また鉛直起振できるように加振力9.8Nの起振機を試験体上面中央に設置した。加速度計は右側面中央とその上下に中心間距離18cmで設置し、損傷は写真2に示すように試験体下面から16cmの位置に与えた。損傷部の削り深さは表1に示すように1mmから40mmまで段階的に増加させ、無損傷のCase1からCase7まで実験を行った。表中の試験体幅の損傷率（以降、損傷率と称す）は、試験体幅に対する削り深さの比として定義した。加振は図1に示すように水平打撃を行った後に周波数20Hzで鉛直起振を行った。

表1 実験ケース

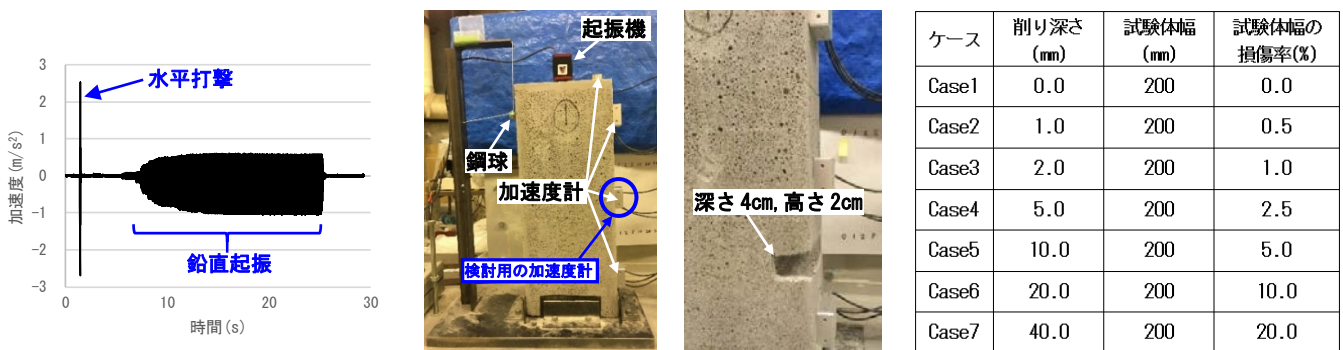


図1 加振の状況

写真1 実験概要 写真2 損傷状態

3. アトラクタによる損傷検出方法

横軸を計測された加速度時系列データA1とし、縦軸をA1の0.002秒遅れの加速度時系列データA2としてアトラクタ軌跡を描く。このアトラクタ軌跡の長さ ϕ は式(1)で表される。

$$\phi = \sum_{k=1}^n \sqrt{(A1_{k+1} - A1_k)^2 + (A2_{k+1} - A2_k)^2} \quad (1)$$

ここに、nは最終ステップを表すが、最終ステップは遅れ時間を考慮する分だけ短くなる。損傷前後のアトラクタ軌跡の長さをそれぞれ ϕ_{before} および ϕ_{after} とすれば、損傷前後のアトラクタ軌跡の長さ比（以降、アトラクタ軌跡長比と称す） Ψ は式(2)で表される。

$$\Psi = \phi_{\text{after}} / \phi_{\text{before}} \quad (2)$$

損傷検出は、実験ケースごとにアトラクタ軌跡長比を計算することにより行う。

キーワード アトラクタ, 損傷検出, 水平打撃, 鉛直起振

連絡先 〒107-8658 東京都港区赤坂6-1-20 (株)安藤・間 建設本部土木技術統括部土木設計部 TEL 03-6234-3670

4. 検討結果

右側面中央に設置した加速度計で計測された時間間隔 0.001 秒のデータを基に検討した。水平打撃および鉛直起振におけるアトラクタ軌跡およびアトラクタ軌跡長比-損傷率関係（データプロットおよび線形近似）をそれぞれ図 2～図 5 に示す。アトラクタ軌跡長比-損傷率関係において水平打撃および鉛直起振の相関係数はそれぞれ-0.77 および 0.81 であり、比較的強い相関を確認した。水平打撃では損傷率に対してアトラクタ軌跡長比は減少傾向にあり、鉛直起振では逆に増加傾向にあった。しかし、水平打撃で減少傾向にあった結果の妥当性については追加検討が必要であると考えている。そのような課題はあるものの、水平打撃では損傷率 2.5%以上、鉛直起振では 1.0%以上の損傷を検出できる可能性があるという結果であった。

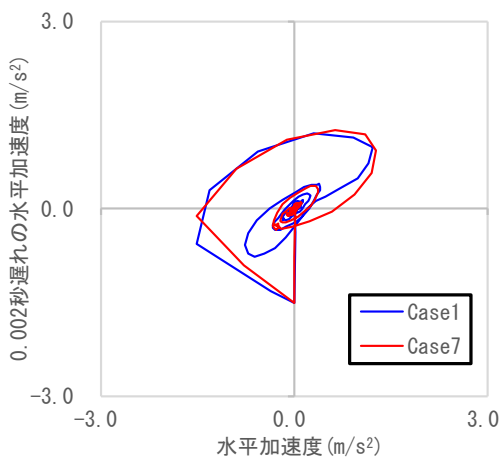


図 2 アトラクタ軌跡(水平打撃)

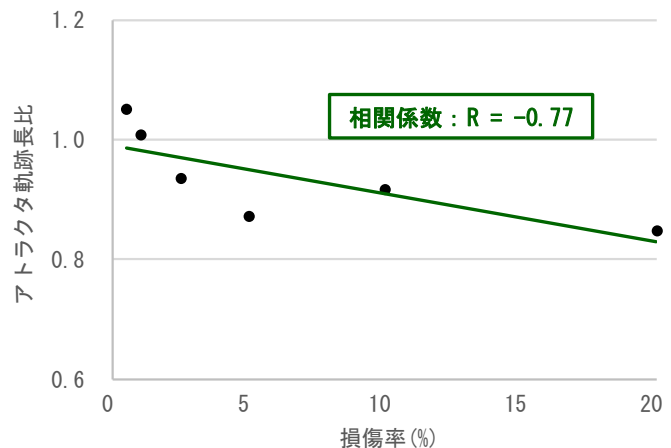


図 3 アトラクタ軌跡長比-損傷率関係(水平打撃)

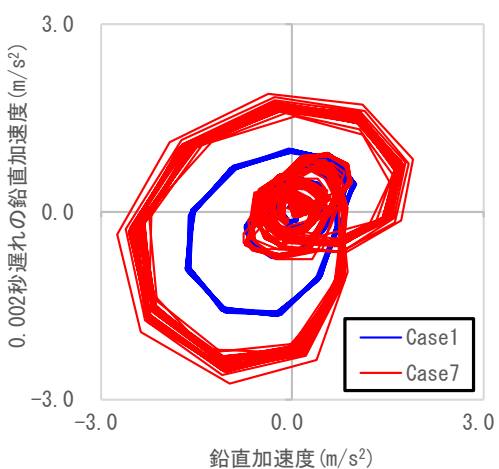


図 4 アトラクタ軌跡(鉛直起振)

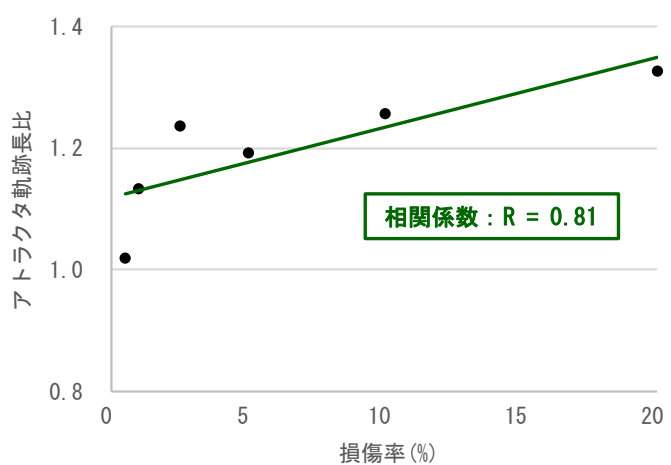


図 5 アトラクタ軌跡長比-損傷率関係(鉛直起振)

5. まとめ

今回は、単柱式 RC 橋脚模型の一部に損傷を漸増させる状況において水平打撃および鉛直起振を行って得られる加速度の時系列データからアトラクタ軌跡長比を計算し、アトラクタ損傷検出法の有効性を検討した。今回の検討において一定の成果が得られたため今後は実規模の部材による検討を行う予定であり、その際、アトラクタ軌跡長比-損傷率関係の検証による検出精度や損傷位置特定の可能性について確認する予定である。

参考文献

- 1) 加藤証一郎:カオス応答アトラクタのアトラクタ型による損傷検出性の差異, 第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 371-376, 2015.
- 2) 阿部慶太, 名取努, 小湊祐輝, 関口琢己, 山野明義, 王林:固有振動数と相関を有する健全度診断指標を用いた鉄道橋梁橋脚の健全度の状態監視手法, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 1, 21-40, 2016.