

### 交通振動を用いた橋梁の損傷検知手法の提案

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○別所 謙 京都大学大学院工学研究科 正会員 服部 洋  
 京都大学大学院工学研究科 学生員 岡野 雅 京都大学大学院工学研究科 正会員 白土博通  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 八木知己

#### 1. はじめに

近年、橋梁の老朽化が急速に進行している。膨大な数の橋梁を効率良く維持管理するには、事前に橋梁の状態を大まかに把握し、損傷の可能性のある橋梁から点検・管理を行う事が重要である。このため、本研究では橋梁に発生する交通振動に着目し、目視点検やその他の点検の補助となり得る1次スクリーニング手法の提案を行う。また、提案する手法の実橋梁への適用も併せて検討する。

#### 2. 提案手法

Fig.1 に提案手法の概要を示す。

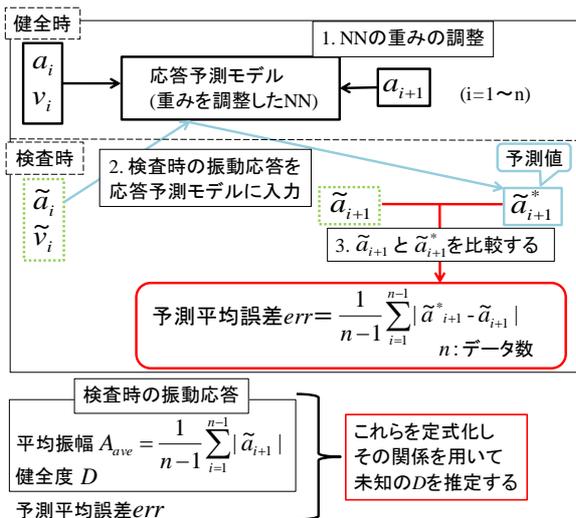


Fig.1 提案手法の概要

まず、健全時の橋梁から取得される振動応答を用いて、加速度  $a_i$  と速度  $v_i$  から次時刻の加速度  $a_{i+1}$  を予測するようにニューラルネットワーク (NN) の重みを調整し、応答予測モデルを構築する。

次に、検査時の橋梁から取得した振動応答  $\tilde{a}_i$  と  $\tilde{v}_i$  を応答予測モデルに入力し、予測値  $\tilde{a}_{i+1}^*$  を取得する。

$\tilde{a}_{i+1}$  と  $\tilde{a}_{i+1}^*$  から、以下の式により、予測平均誤差  $err$  を算出する。但し、 $n-1$  はデータ数である。

$$err = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |\tilde{a}_{(i+1)}^* - \tilde{a}_{(i+1)}| \quad (1)$$

また、振動応答波形の振幅の大きさの指標として、平

均振幅  $A_{ave}$  を以下のように定義する。

$$A_{ave} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |\tilde{a}_{(i+1)}| \quad (2)$$

本研究では橋梁の健全度  $D$  を以下の式の様に、固有振動数の比率によって表す。なお、 $v_{BC}$  は健全状態の、 $v_{DC}$  は損傷状態の橋梁の1次モードの固有振動数を表す。

$$D = \frac{v_{DC}}{v_{BC}} \quad (3)$$

上記の手順に従い、様々な  $D$  と  $A_{ave}$  を持つ検査時の振動応答波形について  $err$  を算出する。 $err$ ,  $A_{ave}$ ,  $D$  について一定の相関が見られる場合、その関係について定式化を行う。定式化を行うことで、その関係及び、 $err$ ,  $A_{ave}$  から未知の  $D$  を推定することが可能であると考えられる。

#### 3. 模擬振動への提案手法の適用

仮想の自由減衰波形 (以後、模擬振動と呼ぶ。) により、提案手法の有効性について検討を行う。

模擬振動の減衰定数  $h$  は 0.025, サンプリング周期  $\Delta t$  は 0.001sec, 健全状態とする波形の固有振動数  $v_1$  は 4.000Hz とした。

2. で示した手順に従って、様々な  $D$  と  $A_{ave}$  を持つ模擬振動波形について  $err$  を算出した結果を Fig.2 に示す。

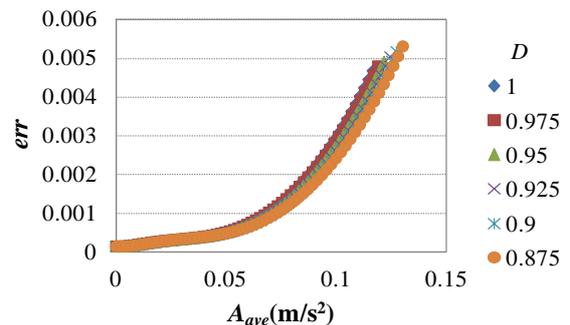


Fig.2  $D$  毎の  $err$ - $A_{ave}$  関係

Fig.2の  $err$ - $A_{ave}$  関係について、 $A_{ave}$  が大きくなる、あるいは  $D$  が大きくなると  $err$  も増加する一定の相関が確認できる。また、それぞれの  $D$  に対する  $err$ - $A_{ave}$  関係について指数関数近似が可能と考え、式(4)のような近似を行う。

キーワード 損傷推定, 構造ヘルスマニタリング, 交通振動, ニューラルネットワーク

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1棟 457号室 橋梁工学研究室 TEL 075-383-3167

$$err = a \times e^{b \times A_{ave}} \quad (4)$$

Fig.2において、各 $err-A_{ave}$ 関係の切片は $D$ に依らず一定であり、式(4)における係数 $a$ は定数である。このため、式(4)において、 $D$ の変化は係数 $b$ にのみ影響する。したがって、 $b$ と $D$ の関係について定式化を行うことで、その関係から未知の $D$ を推定することが可能である。

$b-D$  関係の近似直線と決定係数  $R^2$  を Fig.3 に示す。

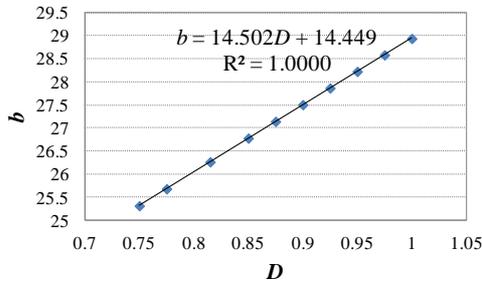


Fig.3 模擬振動の  $b-D$  関係

Fig.3 より、十分な精度で  $b-D$  関係の近似が可能であることが確認されるため、近似式を定式化された  $b-D$  関係とする。この定式化された  $b-D$  関係を用いる事で、未知の  $D$  を持つ振動応答に対し係数  $b$  を算出することで、 $D$  を推定することが可能である。

本章からノイズや乱れが全くない状態での提案手法の有効性が示された。以降では、実橋梁へ提案手法を適用した際の有効性について検討を行う。

#### 4. 対象橋梁と振動計測

対象橋梁は和歌山県西牟婁郡すさみ町の天鳥橋(Fig.4)とし、本研究で用いる橋梁の交通振動は2013年8月、10月、12月に計測したものである。

また、交通振動の計測にはワイヤレス加速度計 (Microstone Corporation, MVP-RF8) を用いた(Fig.5)。なお、加速度計の分解能は約  $0.048(m/s^2)$  である。計測を行う際、天鳥橋の支間長 36(m)の中央に加速度計を設置した。各計測日における固有振動数  $\nu$  はそれぞれ、3.212Hz, 3.265Hz, 3.296Hz であった。



Fig.4 天鳥橋の外観



Fig.5 MVP-RF8

#### 5. 天鳥橋への提案手法の適用

4. に述べたように、天鳥橋の固有振動数は気温によ

り月毎に微小変化しており、本研究では月毎の固有振動数の変化を健全度  $D$  の変化と仮定し検討を行う。

なお、橋梁の固有振動数の変化を正確に把握するため、本研究では計測データの内、車両通過後の自由振動(Fig.6)のみを対象とする。

3. で示した手順に従って、月毎の自由振動波形について  $err$  と  $A_{ave}$  の関係を算出した結果を Fig.7 に示す。

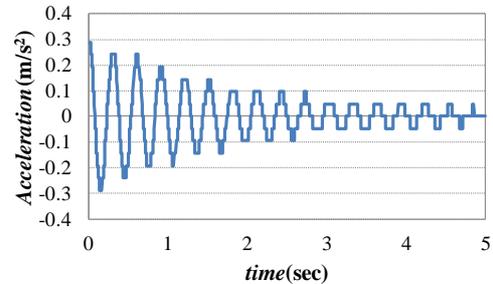


Fig.6 自由振動の例

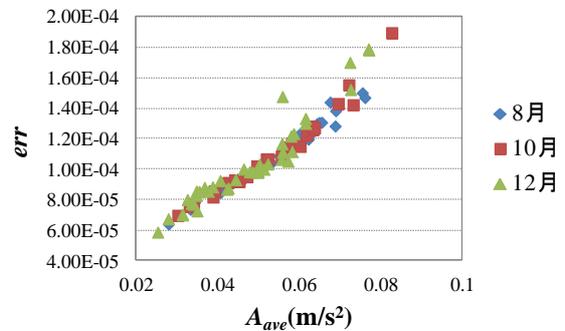


Fig.7 月毎の  $err-A_{ave}$  関係

Fig.7 の  $err-A_{ave}$  関係について、3. の模擬振動による検討と同様に、 $A_{ave}$  が大きくなるにつれて  $err$  が大きくなる傾向が確認できる。このため、月毎の  $err-A_{ave}$  関係について近似が可能であると考えられる。

なお、現段階ではまだ天鳥橋から計測したデータが少なく、計測データの蓄積に加え、気温以外の固有振動数変化の要因や、交通荷重の条件等による振動数のばらつきに関して、さらに詳細な検討をする必要がある。

#### 6. 結論

- 模擬振動を用いた検討より、提案手法により固有振動数の変化の有無、及び変化の規模について推定出来る可能性を示した。

- 提案手法の実橋梁への適用について検討を行った。 $err-A_{ave}$  関係について実橋梁でも一定の相関が得られ、提案手法が実橋梁に対しても有効である可能性を示した。今後より詳細な検討を行うために、継続して計測データを蓄積することが重要である。