

計測データの活用による大型アーチ橋の継続的な状態把握に関する研究

早稲田大学 学生会員 ○佐藤将敬

早稲田大学 正会員 佐藤靖彦

KSK 正会員 山下英俊 峯岸淳一 高岡 満

1. はじめに

労働人口減少にある本国において、維持管理の更なる効率化のために計測技術の活用が注目されている。計測による維持管理技術を研究開発する際に劣化や損傷は課題を複雑化するため、新設橋を扱うことが1つのアプローチである。これは同時に、供用開始時点から生涯を通して対象構造物の状態を常時把握する革新的な維持管理の形を実現する。既往研究には、常時計測により取得した長期間にわたる膨大なデータを活用した例はなく、構造状態を継続的に把握する技術は発展途上といえる。そこで本研究は、常時計測で得られた計測データの活用により構造状態を把握する手法を提案する。

2. 計測概要

対象構造物は 2019 年に供用開始した気仙沼大島大橋である。橋梁の補剛桁に設置された FBG センサは橋軸方向のひずみを計測する。計測のサンプリング数は 25Hz で、2019 年 4 月から現在も計測が継続している。計測データは毎日深夜 24 時を節目として 1 日

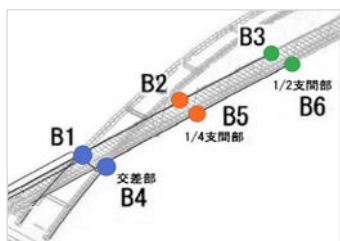


図1 センサ設置箇所

単位で区切ったものがデータセンターへ送信されるため、本研究で扱う入力データの期間は 1 日が基本単位となる。

3. 作用種別毎の自動分離

(1) 計測値の観察

ひずみ計測データに現れるひずみ変動波形は、図2に示す三種類に大別される。現地観察や気象情報の参照により (a) は温度変化、(b) は車両、(c) は風作用が原因であることがわかった。続いてこれらの波形の特徴を踏まえて作用種別判定アルゴリズムを作成した。構造状態の把握を図る本研究において計測値から作用履歴を解明することが重要であり、従って応答ひずみを作用種別毎に分離する必要がある。

(2) 作用種別毎の自動分離方法

ひずみ応答から自動で作用種別を判定するアルゴリズムを python を用いて構築した。まず初めにひずみデータに含まれる計測誤差を原因とする振幅 0.5μ 程度のノイズを IFFT により除去した。周波数 2.0 Hz 未満の成分を除去すると、車両や風作用によるひずみ変動量の減少を防ぎつつノイズ除去できた。

続く自動分離で、まず FFT 時の周波数 1/120 Hz 以上の成分を抜き出すことで温度変化作用を分離した。残る車両作用と風作用の分離は、ひずみ変動の継続長さを分離基準とした。まずひずみ変動の極値を Scipy の Signal 関数により取得し、時間のまとまりによってグループ化する。各グループが含む極値の数を継続数として、継続数が 20 未満の場合は車両作用、300 を超える場合は風作用と判定した。継続数 20 以上 300 以下については車両と風作用の両方が該当したが、これは大型車両が通行した場合に橋梁全体が振動することで主ピーク後に尾を引くようにひずみ変動が継続するためである。これについて、車両作用の場合は主ピーク後に一定の周期を保った波形が繰り返されるのに対し、風作用の場合はひずみ変動の周期がまばらである。これを受けて、グループに含まれるすべてのひずみ変動の周期について、その標準偏差に着目した。標準偏差が 3/25 秒未満の場合に車両作用、3/25 秒以上の場合に風作用と判定すると精度よく分離することができた。

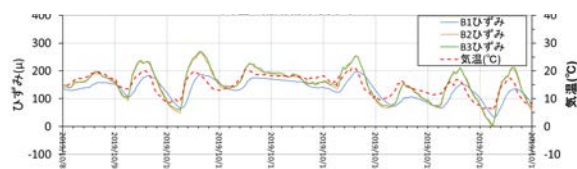


図2 (a) 温度変化作用のひずみ変動

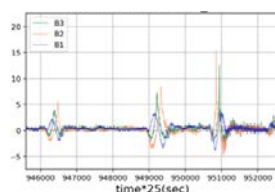


図2 (b) 車両作用のひずみ変動

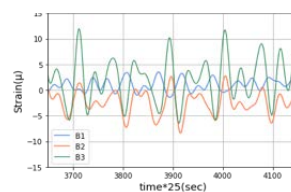


図2 (c) 風作用のひずみ振動

キーワード：FBG センサ、モニタリング、自動処理

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3丁目4-1 TEL 03-5286-3852

(3) 精度検証

各作用種別に検出精度を表 1 に示す．高い精度で検出できた．なお，車両作用はひずみ応答が大きく最も検出精度の高い B5 センサ，風と温度変化作用は同様の理由で B3 センサによる検出結果を記録した．

表 1 検出精度

作用種別	車両	風	温度変化
A.実回数	346	81	58
B.検出数	303	78	58
B / A	86%	96%	100%
検証期間	2019/09/03 00:00:00～ 23:59:59	2020/01/02 07:01:00～ 07:02:00	2019/07/06 ～ 2019/08/04

4. 構造状態の把握

(1) 継続的な月間比較による異常検知

ひずみ検出結果は任意の期間ごとに，ひずみ変動値とその回数を示すヒストグラムで描画すると明快である．このとき，もし時間の経過によってひずみ履歴の傾向すなわちヒストグラムの形状が大きく変化した場合，構造性能に何らかの変化が発生した可能性があるとして，異常の検知が可能である．ここで本研究では年を経過によらず傾向が一定であると考えられる車両作用に注目した．風や温度変化作用は季節により傾向が変動し適切でない．一般的にも車両作用は月間差が小さく適切であろうと考える．

2019 年 6 月から 2022 年 5 月までの 36 ヶ月間にわたって 1 ヶ月毎にヒストグラムを作成すると，その形状に大きな月間差が見られなかった．図 3 に 2020 年 6 月及び同年 7 月の比較を示す．ここで形状の見方であるが，ヒストグラムが示す山なりの分布形状について，ピーク位置のひずみ値は外力である車両重量の分布におけるピーク値が作用したときの応答ひずみ値である．これが変動しないことは，構造全体の挙動が変化しなかったことを意味する．なお，ヒストグラムの縦方向の拡張は作用回数の増減を表しており，構造挙動の変化を反映したものではないと考えられる．

(2) 地震前後の期間比較による異常検知

発生した地震の前後での比較も可能である．例として，2022 年 3 月 16 日 23:56 に福島県沖で発生し，気仙沼市で震度 5 弱を観測した地震の評価結果を示す．図 4 は本地震の前 5 日間および後 5 日間のヒス

トグラムである．形状に変化がなく異常が発生しなかったと判定できる．図 5 のように各ひずみ値に対する検出台数について差をとると明快である．期間の短期化を重視して必要な日数を選定した結果，地震発生後 5 日の期間が必要であった．

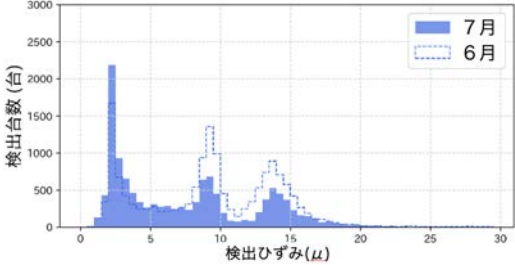


図 3 車両作用によるひずみ応答履歴の月間比較 (2020 年 6 月及び同年 7 月)

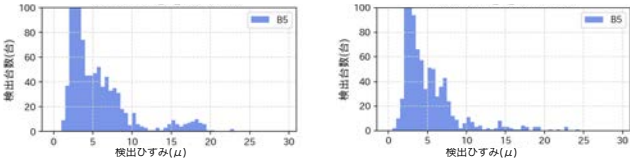


図 4 地震前（左）及び後（右）のひずみ応答履歴

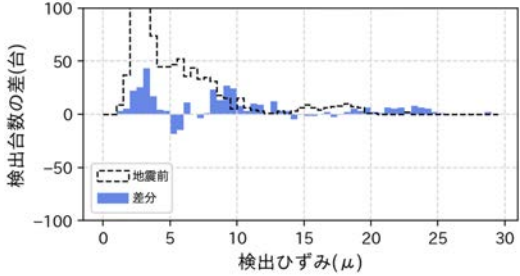


図 5 地震前後の検出台数の差

5. まとめ

本研究によって得られた成果を以下に示す．

- (1) 橋梁に取り付けた機器による計測データに現れるひずみ変動を作用種別毎に分離した．一連の工程は自動処理によって構築した．
- (2) 年を経過による傾向の変動が小さい車両作用による応答ひずみの傾向の期間比較によって，構造状態の変化を検知する手法を作成した．

参考文献

1) 佐藤将敬, 佐藤靖彦, 山下英俊, 峯岸淳一, 石沢孝: 大型アーチ橋の計測データと 3 次元有限要素解析に基づく風作用の同定, 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol. 76, I-29, 2021

2) Noise Analysis and Different Denoising Techniques of ECG Signal - A Survey, Aswathy Velayudhan et al., ICETEM2016

3) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説, I 共通編, 2017

キーワード：FBG センサ, モニタリング, 自動処理

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3 丁目 4-1 TEL 03-5286-3852