

デジタル打音検査による高力ボルトの健全性スクリーニング

西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 正会員 ○上岡 雅子, 宮河 元, 戸田 一郎
原子燃料工業株式会社 正会員 松永 嵩, 非会員 磯部 仁博

1. はじめに

重要な社会基盤施設の一つである橋梁は高度経済成長期に多く建設され、既に供用から 40 年～50 年が経過し、全国の橋梁で老朽化による橋の通行止め、大規模補修、架替えなどが行われている。今後増々老朽化が進行する中、鋼橋の摩擦接合継手の高力ボルトには腐食劣化が著しく進行しているものが見られる¹⁾。著者らはこれまで道路標識等の基礎ボルトに関連する 3 つの劣化要素（腐食減肉、締付トルクのゆるみ、基礎コンクリート部の劣化）に着目し、AE センサを用いたデジタル打音検査による検知に取り組んできた²⁻³⁾。本報では、デジタル打音検査を実鋼橋の F11T 高力ボルトに適用した結果と得られた知見を記す。

2. デジタル打音検査システムの概要

本研究で用いたデジタル打音検査システムと得られる振動波形、周波数分布の例を図-1 に示す。本システムは測定対象を打撃し、励起された振動を広帯域 AE センサで捉える。この振動波形をリアルタイムで高速フーリエ変換することで周波数分布を得る。

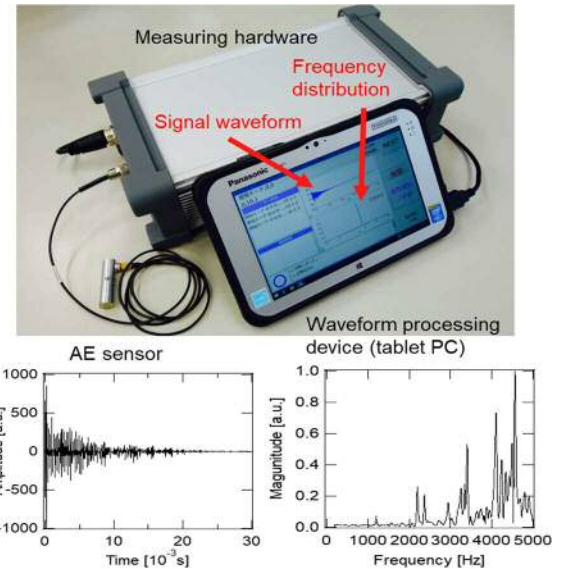


図-1 デジタル打音検査の概要

3. デジタル打音検査による高力ボルトの検査

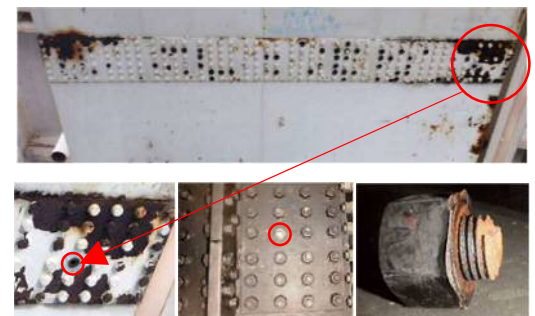
写真-1 は、鋼床版箱桁で利用されていた引張強度 1100N/mm² 以上の F11T 高力ボルト 1 本が脱落した状況を示す。デジタル打音検査は箱桁内部から実施した。

高力ボルトの緩み、腐食、遅れ破壊の起点となる欠陥等を検査するために図-2 に示すように、AE センサをナット側の高力ボルト端面に設置して、通常点検ハンマでナット側面を打撃した。得られる周波数分布から、ピーク周波数とピーク形状に着目したスクリーニング手法を検討した。

ボルトを打撃して得られる振動モードの 1 つにボルトを片持ち梁と見立てた曲げ振動がある。片持ち梁の曲げ振動の理論式を式(1)に示す³⁾。

$$f = \frac{\lambda^2}{8\pi} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{d}{L^2} \quad (1)$$

f : 固有周波数, λ : 定数, L : ボルト長さ,
 E : 縦弾性係数, ρ : 密度, A : 断面積, d : ボルト径



上：箱桁外側 下左：拡大
下中：箱桁内 下右：箱桁内残存ボルト

写真-1 高力ボルト脱落箇所

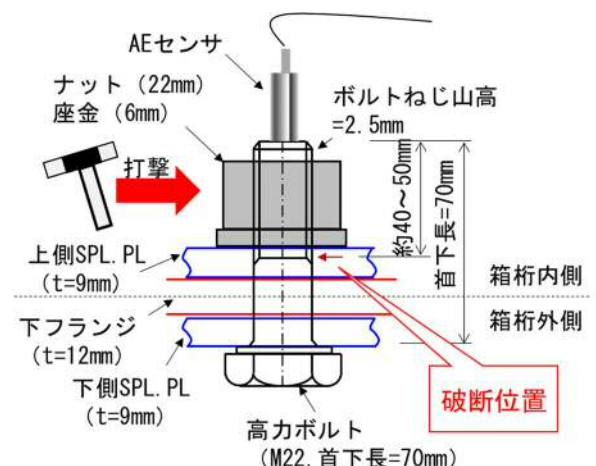


図-2 高力ボルトのデジタル打音検査

キーワード AE センサ, デジタル打音検査, 高力ボルト, 腐食

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町 2-1 西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 TEL 072-452-7221

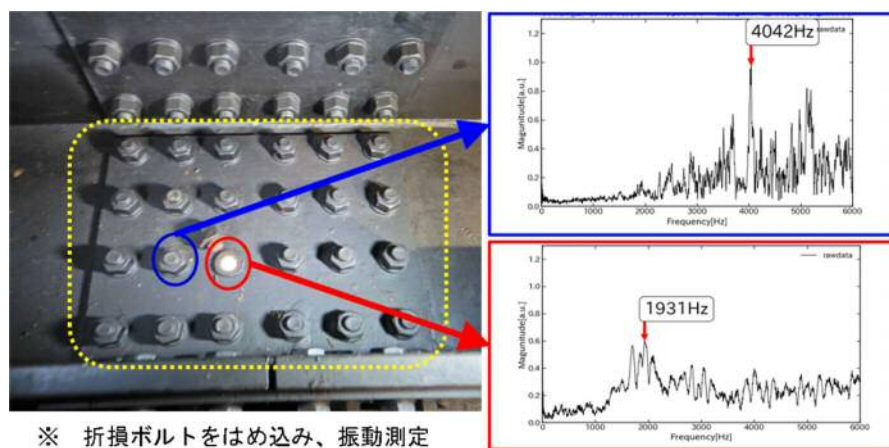


図-3 健全ボルト○と折損ボルト○の周波数分布の比較

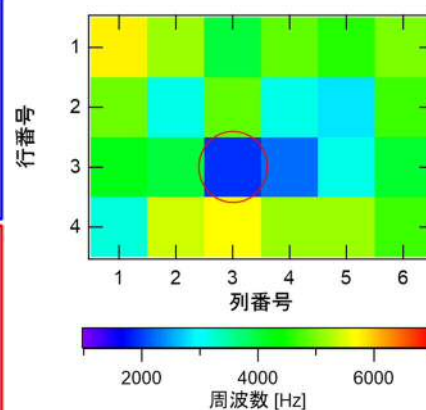


図-4 ピーク周波数マップ

○ 脱落ボルト位置

(図-3 黄色枠の 4×6 本)

4. 現場検査結果

鋼床版箱桁内において、脱落ボルトがあった添接部のボルトに対してデジタル打音検査を実施した(図-3)。脱落箇所の近傍のボルトでは、シャープな固有振動ピークを確認し、卓越ピーク周波数は 4000Hz 程度であった。一方で、ボルト頭部が脱落しているため脱落直前の損傷状態と厳密には異なるが、折損ボルトをボルト孔にはめ込み打音検査した結果では、周囲からの拘束がないために健全ボルトと比較して低周波側(1900Hz 程度)にブロードな固有振動ピークを確認した。

図-4 には脱落ボルトがあった添接部の 24 本(4×6 本)の高力ボルトにデジタル打音検査を行い、得られた周波数分布から 6000Hz までの周波数レンジにおける卓越ピーク周波数をマップとして示す。脱落ボルト位置の近傍では、折損ボルトのピーク周波数に近いボルトが確認されたが、他の部分では概ね健全ボルトと同様に 4000Hz 程度以上のピーク周波数を確認した。

5. まとめ

鋼床版箱桁で脱落した F11T 高力ボルトを含む添接部のボルト 24 本に対して、箱桁内部から AE センサを用いたデジタル打音検査を実施した。その結果、高力ボルトの緩み、腐食、遅れ破壊の起点となる欠陥等のスクリーニング手法として、得られた周波数分布の固有振動ピーク形状と卓越ピーク周波数に基づく診断の可能性を見出した。具体的には健全なボルトの場合には 4000Hz 程度以上でシャープな固有振動ピークが現れる。一方、緩み、腐食、遅れ破壊の起点となる欠陥等の劣化が伴う場合には、ボルトの拘束力が緩和されることにより低周波側にブロードな固有振動ピークが現れる。実際の現場では、高力ボルトの仕様、施工条件にピーク周波数は依存することが想定される。そのため、同一添接部において高力ボルトのピーク周波数の相対的变化に着目して、ピーク周波数が低周波側のボルトに対して超音波検査などにより、詳細検査を実施することで点検の効率化を図れば良いと考えられる。

参考文献

- 1) 下里哲弘, 田井政行, 有住康則, 矢吹哲哉, 長嶺由智, “腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究”, 構造工学論文集 Vol.59A (2013 年 3 月), pp.725-735.
- 2) 大段好勝, 坂東誉浩, 松永嵩, 磯部仁博, 栗島翔, “非破壊調査による標識基礎部アンカーボルトの点検効率化”, 土木学会第 74 回年次学術講演会, VI-128, 香川大学 幸町キャンパス, 2019 年 9 月 3-5 日.
- 3) 藤吉宏彰, 松永嵩, 磯部仁博, 山田知典, “デジタル打音検査による基礎ボルトの健全性評価の基礎検討”, コンクリート工学年次論文集 Vol.44, p.1420-1425, 2022.

キーワード AE センサ, デジタル打音検査, 高力ボルト, 腐食

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町 2-1 西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社 TEL 072-452-7221