

打音診断技術を適用したグラウンドアンカーの緊張力簡易計測システムの開発 (その1)

西日本高速道路 (株) 正会員 浜崎 智洋
 原子燃料工業 (株) 正会員 o松永 嵩, 小川 良太, 匂坂 充行
 藤吉 宏彰, 磯部 仁博
 (有) マサクリーン 佐山 政幸, 佐山 勝一

1. はじめに

社会インフラの維持管理において、健全度を調査する手段の一つとして従来から打音点検が行われてきた。打音法は、調査対象をハンマーで打撃し、その時にハンマーが発する打音とハンマーを通した打感との二つから、検査者が異常の有無を判定する手法である。しかしながら、打音法の判定結果は検査者の熟練度に大きく依存しているため、判定結果に対する信頼性が充分とは言えず、調査対象の健全性の定量的な診断を精密に行うことが困難であった。そこで、筆者らは、あと施工アンカーを手始めに Acoustic Emission(以下、「AE」という)センサを用いて客観性・記録性・定量性のある打音診断技術を開発してきた。この技術適用例の一つとして、ボルトの軸力低下の診断^[1]があり、土木構造物のグラウンドアンカー (以下、「アンカー」という) の緊張力評価への適用が期待できる。

本報では、まずアンカーの固有振動と緊張力、形状との関係性を把握するため、アンカーを模擬した寸切ボルトの予備試験を実施するとともに、その関係性の理論的な裏付けと実アンカーへの展開に向けて、実寸大のアンカーの FEM 解析モデルにて解析した結果を報告する。

2. 実施内容

2-1 模型試験

M16 の寸切ボルトの形状や緊張力を変化させながら (図 1)、ボルト頭部の振動を取得した。AE センサを対象につけ、ハンマーで打撃することで得られる振動波形を周波数解析することで周波数分布を得た。この周波数分布の各ピークは固有振動のピークであり、このうち、1 次の固有振動ピークの周波数 (以下、「評価ピーク周波数」という) を指標として (図 2)、形状や緊張力との関係性を評価した。

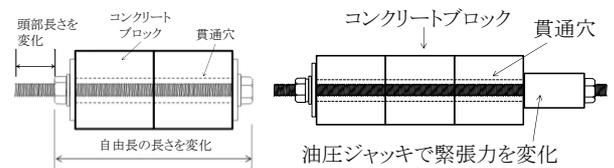


図 1 模型試験の試験体系

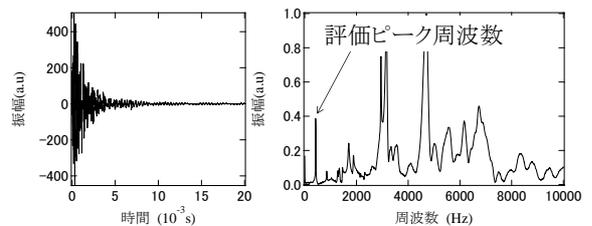


図 2 信号解析例

2-2 FEM 解析

多重より PC 鋼より線のナット定着式のアンカー (頭部径 48 mm) の形状寸法をベースに形状因子 (自由長及び頭部長さ) と緊張力を変化させながら、アンカーの頭部振動とそれらの関係性を評価した。モデル形状を図 3 に示す。

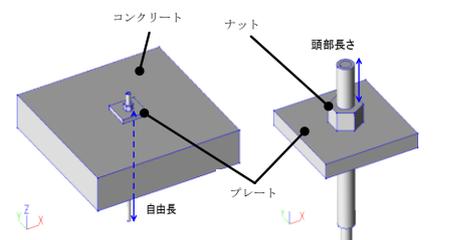


図 3 FEM 解析モデル

共通の解析条件として、緊張材-マンションおよびマンション-ナットは結合接触、コンクリート底面は完全変位固定、打撃時間は 7.5×10^{-5} 秒、打撃力は 100N と設定している。

FEM解析ソフトは ADVENTUREcluster を使い、緊張力の影響を考慮した時刻歴応答解析を実施した。

自由長=ナット下端からのボルト長さ
 頭部長さ=ナット上端からのボルト長さ

キーワード グラウンドアンカー、非破壊、緊張力、健全度、打音、固有振動、FEM解析

連絡先 〒590-0481 大阪府泉南郡熊取町朝代西一丁目 950 番地 原子燃料工業株式会社 ES 部 TEL072-451-6239

3. 実施結果

形状因子（自由長，頭部長さ）と固有振動の関係について，模型試験結果と FEM 解析結果を図4に示す．模型試験結果より，頭部長さ及び自由長の増加に伴い，評価ピーク周波数は低周波側にシフトする傾向がみられた．FEM 解析結果についても同様の傾向が示されており，理論的に裏付けられた．模型試験では，試験の制約上，最大自由長 0.83 m 程度であったが，FEM 解析では 10 m までの解析を実施し，影響は限定的であることがわかった．したがって，自由長がアンカー頭部の振動に及ぼす影響は限定的であると推定した．

また，緊張力と固有振動の関係について，模型試験結果と FEM 解析結果を図5に示す．各結果とも緊張力の増加に伴い，評価ピーク周波数が高周波側にシフトする傾向が実験・理論両面で実証された．ただし，FEM 解析結果の緊張力増加に伴う評価ピーク周波数の変化量が実験値より大幅に小さく，緊張力の効果が解析結果に反映されていないと考えられるため，解析モデルの最適化に課題がある．

最後に，模型試験及び FEM 解析ではボルト径に差異があり，径の変化に対しては，梁の曲げ理論式より断面乗数 $I \propto r^4$ ，断面積 $\propto r^2$ であるため，固有振動数は半径に比例すると考えられる．

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{\lambda^2}{\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$

模型試験では M16 の寸切りボルト，FEM 解析モデルは現場のアンカーを想定して M48 のアンカー径のモデルとしたが，同じ頭部長さ（100 mm）で評価ピーク周波数を比較すると，M48 の FEM 解析結果の方が3倍程度高周波側にプロットされる．FEM 解析で緊張力の効果が表れていないことを考慮に入れると，梁の曲げ理論式の傾向と一致するため，今回の FEM 解析モデルは妥当な結果であると考えられる．

4. まとめ

- 固有振動と緊張力，形状との関係性を把握するために模型試験及び FEM 解析を行った結果，
- ・ 頭部長さ及び自由長の増加に伴い，評価ピーク周波数は低周波側にシフトし，緊張力の増加に伴い評価ピーク周波数は上昇する傾向が実験・理論両面で実証された．
 - ・ FEM 解析結果に基づく，自由長の影響は限定的であるため，頭部長さと評価ピーク周波数を入力パラメータとすれば，非破壊的にアンカーの緊張力を評価可能な見通しを得た．

参考文献

[1] 小川他，“AE センサを用いた打音検査システムによるメカニカルアンカ検査技術の開発2”，土木学会第 71 回年次学術講演会，pp.1423-1424，2016

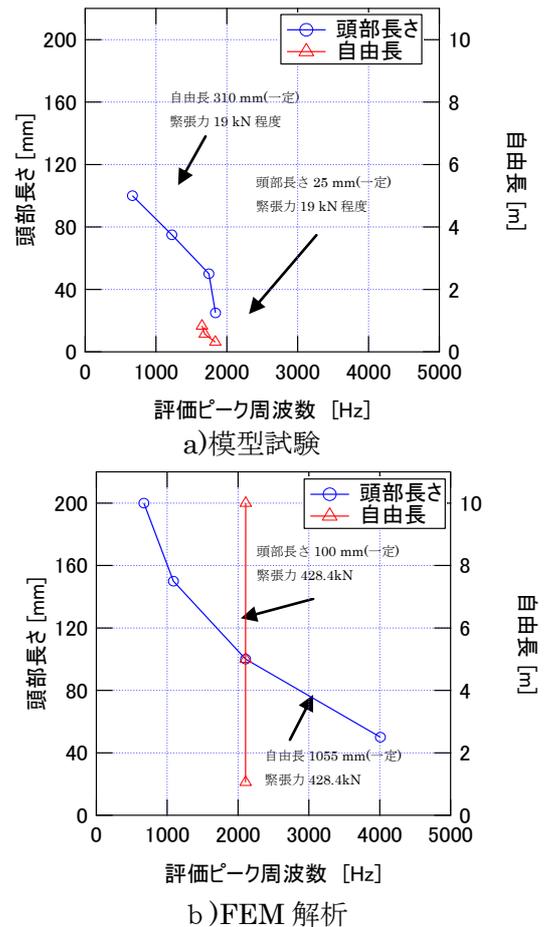


図4 形状因子と固有振動の関係

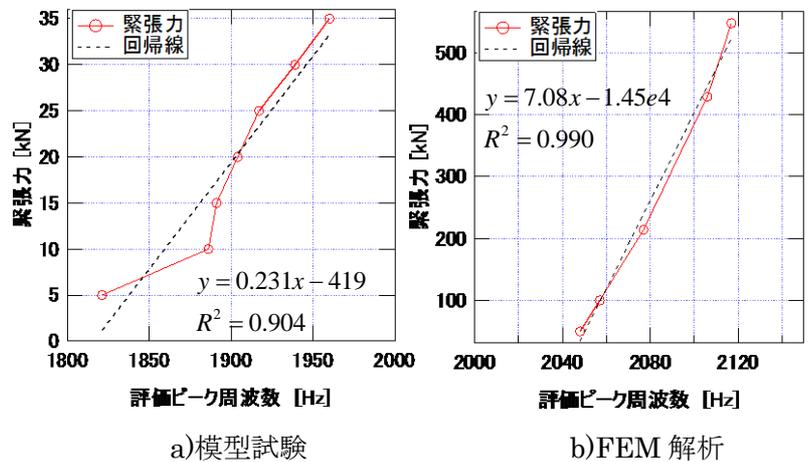


図5 緊張力と固有振動の関係