

AE センサを用いた新打音検査による社会インフラ診断



企業リポート

松 本 晋 介*

Diagnosis of Social Infrastructures by New Hammering Testing
using Acoustic Emission Sensor

Key Words : Social Infrastructures, Hammering Testing, Acoustic Emission Sensor

1. はじめに

日本は高度経済成長時代から50年が経過して、社会インフラの老朽化が深刻さを増している。2020年の東京オリンピックを意識した国土強靭化が進められているが、昨今の異常気象、地震に向けた防災対策を含め、重要社会インフラに対するレジリエンス・マネジメントが国家的課題となっている。

2012年12月中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故は社会インフラ診断が注目される起点となった。国土交通省は2014年度から橋・トンネルの5年に1度の点検を自治体に義務づけた。従来はさほど関心が寄せられなかった膨大な施設の点検作業（近接目視、打音検査等の非破壊検査）が要求されると同時に、得られた大量の点検データ（ビッグデータ）の有効活用が望まれる。また、少子高齢化、人口減少時代に入り、既存施設は点検・補修により長寿命化を図ることで更新コストの抑制が期待されている。

一方で、人口動態から従来の点検作業はそれに係わる熟練者の引退により点検員が不足し、若者には3K作業として敬遠される傾向がある。

以上のような背景を踏まえて、当社では原子力発電所向けに開発した各種非破壊検査技術¹⁾、シミュレーション技術²⁾を活かして「AE センサを用いた新打音検査による社会インフラ診断」を展開している。

従来は点検員の主觀や熟練度に大きく依存した打音検査であったが、点検員に依存しないデジタル化された新打音検査について紹介する。

2. AE センサを用いた新打音検査による社会インフラ診断3本柱

当社では種々の社会インフラに対して施工品質評価、経年変化に伴う健全性評価を効率よく実施する「社会インフラ診断三本柱」を提供している（図1）。

2.1 AE 打音現場検査装置の設計・製作

AE センサを用いた新打音検査を現場で高速に実現するハンディタイプの装置を設計・製作している。AE センサを検査対象に手で軽く設置し、ハンマで加振して得られた信号から検査対象の施工品質や経年変化をその場で捉える。注目すべきは、検査対象に対して事前処理（表面平滑化、水分、ペイント等の除去）を全く必要としないことで、高速なスクリーニング検査が可能となる。さらに現場で撮影された写真、手書きメモが検査結果と紐づけられてデジタル保存されるため、検査後のデータ整理の時間を大幅に短縮する。

AE センサを用いた新打音検査はわずか数時間のトレーニングにより誰にでも簡単に実施でき、定量性、客観性、記録性のある検査結果が得られる。

2.2 検査データ解析サービス

複数の現場検査装置が収集した大量の検査データをクラウドサーバにより集約した上で、周波数解析等の信号処理を行う。この信号処理結果と、現場検査データ、モックアップ試験、理論解析に基づき事前に定められた判定基準との比較によって、検査対象の健全性が判定される。判定結果は全自動報告書作成機能により顧客に提供される。また必要に応じて保存されている過年度の検査結果との比較により、判定精度を高める。

* Shinsuke MATSUMOTO

1954年2月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 精密工学
専攻修士課程（1978年）
現在、原子燃料工業（株）取締役
修士 精密工学
TEL：03-5479-7581
FAX：03-5479-7589
E-mail：s-matsu@nfi.co.jp



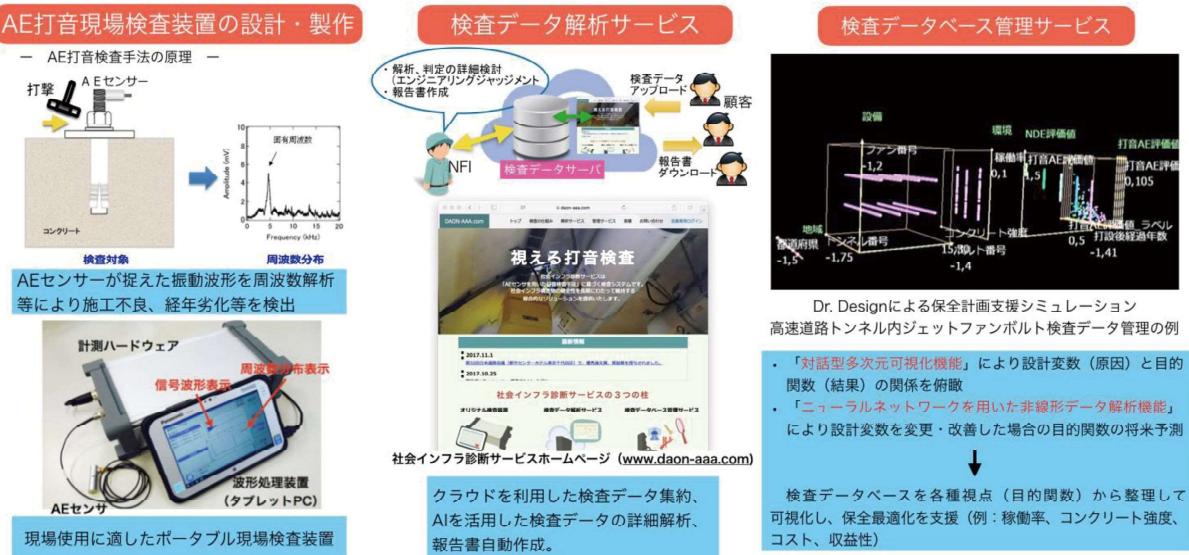


図1 社会インフラ診断3本柱

2.3 検査データベース管理サービス

設計変数（検査対象の仕様、施工環境因子）と目的関数（検査結果）の関係を俯瞰する当社独自の「対話型多次元可視化」機能と、人工知能（ニューラルネットワーク）を用いた「将来予測」機能を統合した意志決定支援ツール（Dr. Design）により、次回点検のタイミング、点検頻度など保全計画の最適化を支援する。

3. 実験、理論、現場に基づく科学的根拠ある新打音検査技術

非破壊検査技術の検証は、一般的には健全および不健全を模擬したモックアップ試験体を作製して実験により実施されている。しかしながら、検査対象の寸法の制約や、意図する施工不良や経年劣化の模擬が困難なため、試験体を作製できない場合がある。

そのためAEセンサを用いた新打音検査の検証は、試験体を用いた実験だけでなく、FEM解析による理論計算も実施している。理論計算では図2に示すように検査対象をモデル化し、境界条件を入力して振動解析を実行することで周波数応答を評価する。試験体を用いた実験と理論計算の比較により、実験結果の正当性を確認すると共に、解析モデルの妥当性を確認して、科学的根拠に基づいた診断基準を設定する。また、実験では再現が困難な施工不良や劣化形態を理論解析によりシミュレーションすることで、診断基準と施工不良や劣化形態の対応について

詳細なデータベースを構築している^{3),4)}。

さらに、新規の検査対象に対しては、AEセンサを用いた新打音検査技術の有効性、検出性能を理論計算により事前に見当をつける事も可能である。

以上のように実験、理論、現場に基づき科学的根拠ある新打音検査技術の適用を効率的に進めている。

AEセンサを用いた打音検査手法により得られる計測データを、
有限要素法に基づく理論解析を用いて検証可能

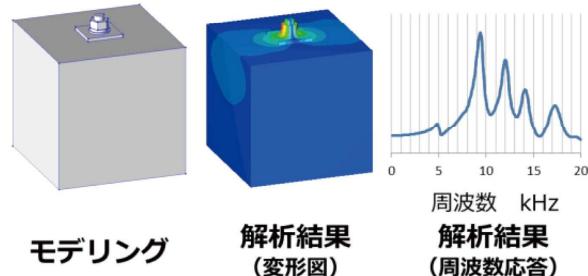


図2 FEMを用いた理論計算の流れ

4. 診断適用例

AEセンサを用いた新打音検査は、金属系設備としては、あと施工アンカ、基礎ボルト、標識柱、ガードレール、配管などの鋼管、またコンクリート系構造物としては、橋梁、高架橋、トンネルなどの幅広い対象を同一の装置で実施する（図3）。ここでは、多数の診断適用例の中で、篠子トンネルの天井板崩落事故の原因となったケミカルアンカの健全性診断、トンネル内重量物であるジェットファンを固定して

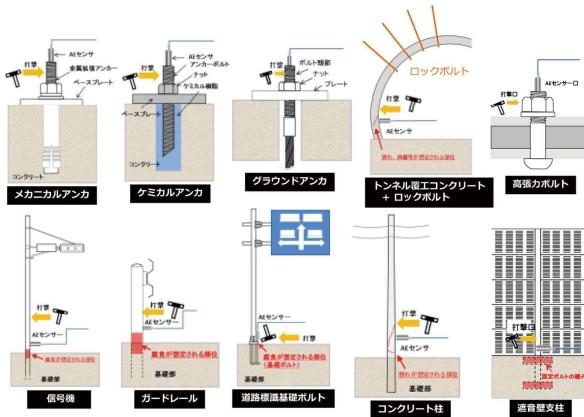


図3 検査可能な対象例

いるメカニカルアンカの軸力診断、そしてコンクリート構造物の診断例として橋脚の剥離診断を紹介する。

4.1 ケミカルアンカの健全性診断

図4はケミカルアンカの健全性診断に用いる施工不良と経年劣化の様々な形態と、AEセンサを用いた新打音検査で得られる固有振動数との関係を示すデータベースの例である⁵⁾。このデータベースは寸法がM16のケミカルアンカを対象としたものであり、健全な場合は固有振動数が6KHz程度であるのに対し、施工不良および経年劣化が発生すると、概ね固有振動数が低下することがわかる。このような診断データベースを整備、拡充することで、信頼性の高い健全性診断を目指している。

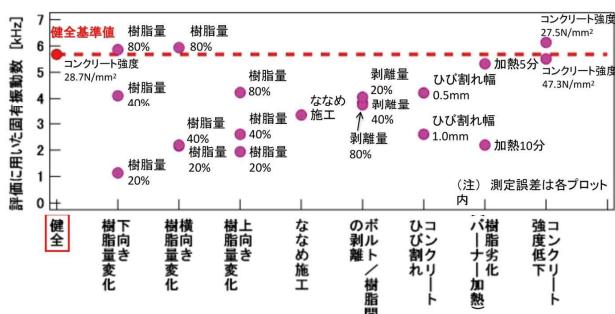


図4 ケミカルアンカの診断データベースの例

4.2 ジェットファンアンカボルトの軸力診断

トンネルジェットファンのアンカボルトの軸力は、機械振動によるナットの緩みや、周囲のコンクリートの劣化によるアンカボルトの引き抜けなどにより低下する可能性がある。そこで、AEセンサを用いた新打音検査技術により、実際のアンカボルトを検査し、固有振動数を測定した(図5)⁶⁾。測定はア

ンカボルト1本につき数十秒で完了し、固有振動数が低かった一部のアンカボルトについてはトルクレンチにより締付力を測定したところ、既定の締付力には達しておらず、アンカ軸力が簡易的に評価可能であることが実証された。

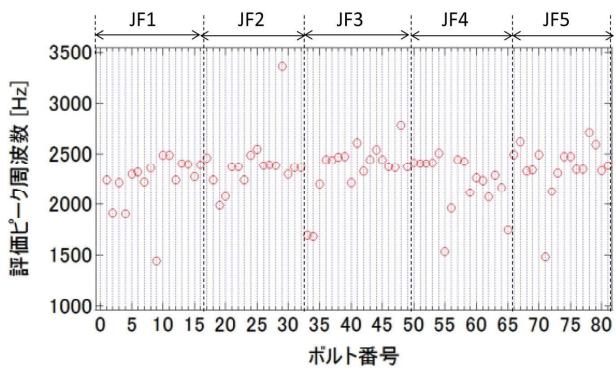


図5 ジェットファンアンカボルトの軸力診断例

4.3 コンクリート構造物（橋脚）の剥離診断

コンクリート系構造物の経年劣化事象の一つである剥離診断の例を図6に示す⁷⁾。橋脚の中央部の固有振動数が低下している領域は、従来の打音点検によって剥離が生じていると判断された場所である。AEセンサを用いた新打音検査を橋脚平面において格子状に実施した結果は、固有振動数の分布をヴィジュアルに平面コンタとして把握することができるため、補修範囲の特定、経年変化等を定量的に管理できることが画期的である。

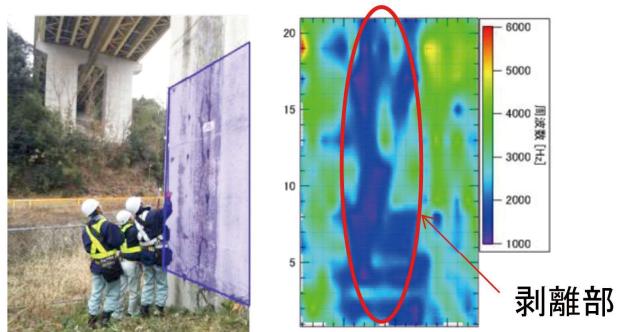


図6 コンクリート橋脚の剥離診断例

5. おわりに

デジタル化されたAEセンサを用いた新打音検査は、現在、原子力施設、高速道路、空港、建設現場他で適用範囲を拡大している。従来は点検員の主観や熟練度に大きく依存する打音検査であったが、新打音検査は定量性、客観性、そして経済合理性においても優れている。

誰でも検査が容易に実施できるため、関係機関と協力して検査対象別の診断基準を整備するために「質の高いデータベース」の構築に向けた取り組みを継続している。

参考文献

- 1) 松永 嵩, 江藤淳二, 稲川 聰, 磯部仁博: 逆止弁診断システムの開発, 日本原子力学会, 2014年春の年会 予稿集, I40, p.571 (2014)
- 2) 吉村 忍, 古田一雄, 磯部仁博, 勾坂充行, 野田満靖, 秋葉 博: 軽水炉保全最適化のための総合型シミュレータ Dr. Mainte の開発, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 9, No. 2, p.125-138 (2010)
- 3) 小川良太, 松永 嵩, 勾坂充行, 鵜飼康史, 磯部仁博: AEセンサを用いた鋼棒、鋼管の健全性評価技術の開発 (2) 理論的検討, 日本保全学会第12回学術講演会要旨集, pp.175-178 (2015)
- 4) 小川良太, 藤吉宏彰, 松永 嵩, 勾坂充行, 磯部仁博: コンクリート構造物の非破壊検査技術開発 (2) 有限要素法による理論的検討, 日本原子力学会, 2017年秋の大会 予稿集, p.2B20 (2017)
- 5) 松井計雄, 藤吉宏彰, 小川良太, 磯部仁博: ボルト簡易診断法の開発研究, 日本保全学会第14回学術講演会 要旨集, pp.33-34 (2017)
- 6) 岡本智文, 三宅 徹, 清水 寛, 松永 嵩, 磯部仁博: AEセンサを用いた打音検査装置によるジェットファンアンカーボルト健全性評価, 第32回日本道路会議, 論文集, 6014 (2017)
- 7) 小川良太, 藤吉宏彰, 勾坂充行, 磯部仁博: コンクリート構造物診断のための非破壊検査システム開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.557-558 (2017)

