

# ボルト簡易診断法の開発研究（２）

## Developing a simplified diagnosis method for anchor bolts (2)

中部電力(株) 原子力安全技術研究所	松井 計雄	Kazuo MATSUI	Member
原子燃料工業(株)	藤吉 宏彰	Hiroaki FUJIYOSHI	Member
原子燃料工業(株)	小川 良太	Ryouta OGAWA	Member
原子燃料工業(株)	磯部 仁博	Yoshihiro ISOBE	Member

**Abstract:** We have developed a simplified diagnosis method of hammering inspection using AE (Acoustic Emission) sensor applicable to chemical anchors in nuclear power plants. The database was created to identify improper installation and aging of the anchors. We have also confirmed its applicability to other types of anchor (e.g. anchor bolts, mechanical anchors). The details of development process are described in this paper.

**Keywords:** anchor bolt, hammering inspection, AE sensor, non-destructive inspection

### 1. 緒言

原子力発電所の機器・構造物は、コンクリート基礎に固定するため、様々なボルトが用いられている。具体的には、埋め込み基礎ボルトと後打ちアンカに大別され、後打ちアンカには、ケミカルアンカとメカニカルアンカがある。これらのボルトの健全性を確認する簡易診断法として、音響（AE）センサを用いた打音検査（以下、AE法）が有望であると考えられる。

先行研究では、アンカーボルトの種類・サイズに応じた模擬試験体を作製し、AE法による計測試験により、経年劣化や施工不良パターンを判別する信号波形データベースを構築してきたが、経年劣化モードに樹脂の加水分解を考慮していなかったため、2017年度に浸漬試験体を作製し、AE法による加水分解の検出性について確認した。

本方法は、検査員の熟練度に依存しない客観的な診断が可能であり、検査結果のデジタル保存・データベース管理ができるため、検査の合理化が可能である。

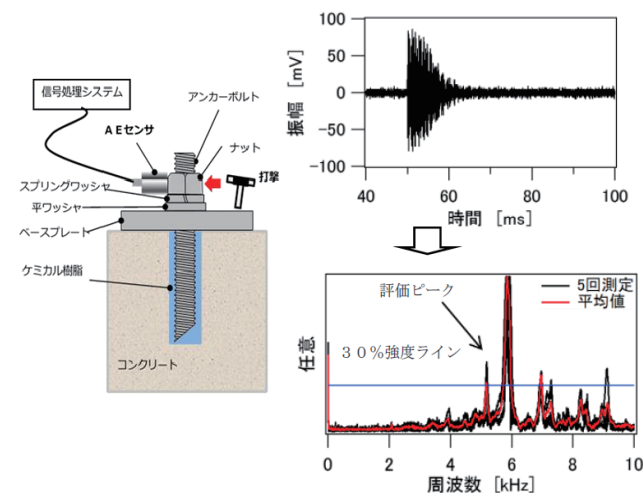


図1 測定・解析方法

### 2. AE法の特徴と研究結果の概要

#### 2.1 AE法の特徴

AE法は、図1に示すようにAEセンサをナット側面部に当て、ハンマー等でナット対面を打撃することにより得られる打音信号を周波数解析し、最大強度の30%強度ラインを超える固有周波数（評価ピーク）を判別し、ボルトの診断を行うことができる。

#### 2.2 先行研究の結果

アンカーボルトの施工不良状態、経年劣化状態を模擬して、AE法による計測試験を実施し、今後診断を行う上で必要となるデータベースを構築した。

一例として、図2に施工不良模擬試験体のうち、上向き施工時の樹脂量を変化させた周波数分布を示す。健全な試験体に比べ樹脂量が減少するに従い評価ピークの周波数が低下した。

また、図3に計測試験結果のまとめを示す。健全なケミカルアンカ試験体に対し、施工不良および経年劣化を模擬した試験体では、概ね固有周波数が低下した。

連絡先：松井計雄、〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561  
中部電力株式会社 原子力安全技術研究所  
E-mail: Matsui.Kazuo@chuden.co.jp

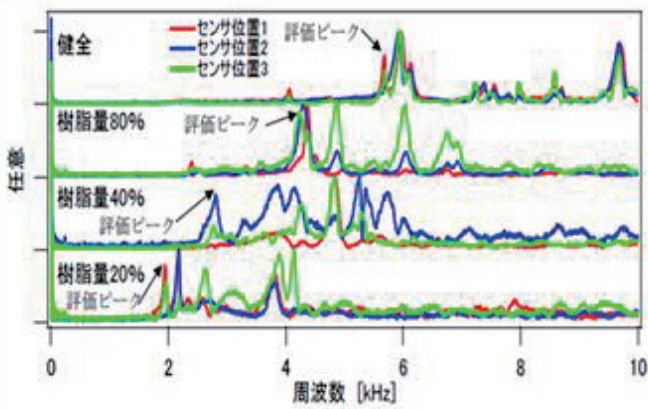


図2 上向き樹脂量変化の周波数分布

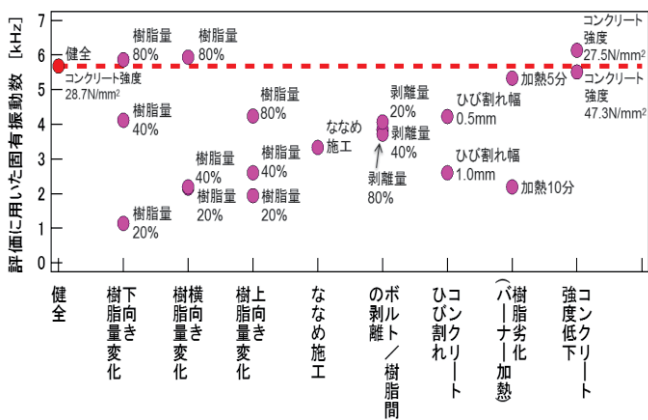


図3 計測試験結果のまとめ

## 2.3 加水分解の検出性確認

### 2.3.1 モックアップ試験体による浸漬試験結果

AE法による加水分解の検出性を確認するため、モックアップ試験体を用いた浸漬試験を実施し、AEセンサを用いた固有周波数計測を行った。試験体は200 mm角のコンクリートブロックにM16サイズのケミカルアンカを打設した試験体を4体製作し、水に浸漬した。

モックアップ試験体についてAE打音検査を毎週実施するとともに、浸漬試験中の試験体重量から含水率を算出し、吸水による固有周波数への影響を評価した。

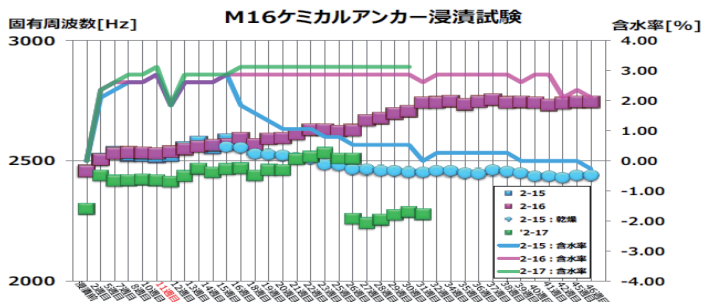


図4 浸漬試験計測結果

図4の浸漬試験計測結果から、固有周波数および含水率に以下のような変化が見られた。

- ① 試験体2-15 (浸漬3ヶ月) は、浸漬中は固有周波数が上昇した。3ヶ月程度で空中に上げ乾燥させたところ、固有周波数は緩やかに低下していき、最終的には試験開始時の計測値まで低下した。
- ② 試験体2-16 (浸漬1ヶ月) は、浸漬8ヶ月まで固有周波数は上昇し、250Hz程度上昇した後、一定となった。
- ③ 試験体2-17 (浸漬8ヶ月) は、浸漬により固有周波数は上昇した。固有周波数が急激に下がっているのは、浸漬6ヶ月で加水分解分析用サンプルを採取したことによるものである。
- ④ 含水率については、試験体3体いずれも浸漬開始から1週間で2%程度まで急上昇し、その後3%程度に上昇した後、一定となった。また、試験体2-15のとおり、乾燥により含水率が0%になるまで6ヶ月程度要することが分かった。

また、加水分解の分析結果、各試験体をフーリエ変換赤外線分光法(FT-IR)により分析した結果、加水分解度合いの指標となる吸光度比の傾向から、浸漬直後より加水分解が発生していることを確認した。

### 2.3.2 実機データの評価結果

廃止措置中の浜岡原子力発電所1, 2号機実機ではアンカーボルトの経年劣化調査を実施し、引抜きに対する強度が確保されていることを確認している。この際、AE打音信号、ケミカルアンカの樹脂分析データ等を取得しており、一部の樹脂に加水分解が認められたものがあったため、本研究でこれまでに蓄積してきたデータベースを基に評価を実施した。その結果、加水分解による樹脂劣化が確認されたケミカルアンカは他の劣化モードと同様に固有周波数が基準より低い値を示していた。

## 3. まとめ

浸漬試験体の樹脂の加水分解は確認できたが、AE法で得られた固有周波数は樹脂の膨潤の影響で上昇しており、本研究で実施した条件では想定していた低下傾向を確認できなかった。しかしながら、加水分解が確認された実機のアンカーボルトでは、固有周波数が低下する傾向が確認できたため、加水分解についても固有周波数の低下として検出できるものと推定する。今後は実際の加水分解状態を模擬して検出性を再確認する必要がある。