

# ボルト簡易診断法の開発研究

## Developing a simplified diagnosis method for anchor bolts

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

We have developed a simple diagnosis method using an AE (Acoustic Emission) sensor applicable to chemical anchors in nuclear power plants. With purpose of its application to the field, waveform database to identify improper installation or ageing was constructed. We also confirmed applicability of the diagnosis method to other types of anchor (e.g. anchor bolts, mechanical anchors). Details of development chronology are described in this paper.

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

### 1. 緒言

2012年12月に発生した中央自動車道笹子トンネル天井落下事故は、天井板を固定するために用いられていたケミカルアンカーボルトの施工不良や経年劣化が落下の原因であると推定されている。

一方、原子力発電所においても機器・構造物を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、アンカとコンクリートを樹脂で固めて固定するケミカルアンカとアンカの打ち込みによってアンカ先端をテーパ化して固定するメカニカルアンカがある。

原子力発電所の機器・構造物の安全性・信頼性を確保する観点から、これらのボルトの施工不良や経年劣化を簡易に診断する検査技術のニーズが高まっており、打音検査時のボルトの固有周波数を音響センサでピックアップして診断する技術の開発が進められている。

本研究では、音響 (AE) センサを用いた打音検査 (以下、AE法) によるボルト診断を実機適用するにあたり必要となるボルト診断のデータベースを整備した。まず、ケミカルアンカ (サイズ: M16, M20) についてのデータベースを構築し、次にアンカーボルト全般への適用性を確認した。

また、計測試験では実現が困難なアンカーボルトに対してデータ解析により補間できるように、FEMを用いた理論解析と計測試験との対応について評価した。

### 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に接触させ、ハンマー等によりナット対面を打撃する簡単な操作で、ボルトの状態や周囲からの拘束の変化を検出する方法である。装置が軽量で、周辺環境 (騒音等) に影響を受けにくいという特徴を有している。AEセンサで取得した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、ボルト診断に利用する。

本方法は、検査員の熟練度に依存しない客観的な診断を可能とし、また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、検査の合理化につながると考えられる。

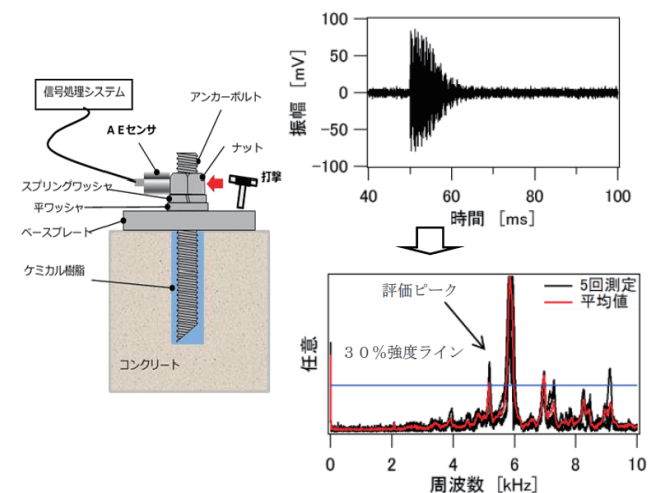


図1 測定・解析方法

## 2.2 ケミカルアンカ模擬試験体の作製

AE法によるボルト診断データ取得の計測試験を行うため、図2に示すようなケミカルアンカの施工不良模擬試験体と経年劣化模擬試験体を作製した。

施工不良模擬試験体	経年劣化模擬試験体
下向き樹脂量変化 80%、40%、20%	ボルト/樹脂間の剥離 80%、40%、20%
横向き樹脂量変化 80%、40%、20%	コンクリートひび割れ
上向き樹脂量変化 80%、40%、20%	樹脂劣化(バーナー加熱)
ななめ施工	コンクリート強度低下

図2 試験体(例)

## 2.3 ケミカルアンカ計測試験結果

模擬試験体の一例として、図3に施工不良模擬試験体(M16)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。健全な試験体では評価ピークの周波数が6KHz程度であるのに対し、樹脂量を減少させた試験体では評価ピークの周波数が樹脂量に比例し低下した。

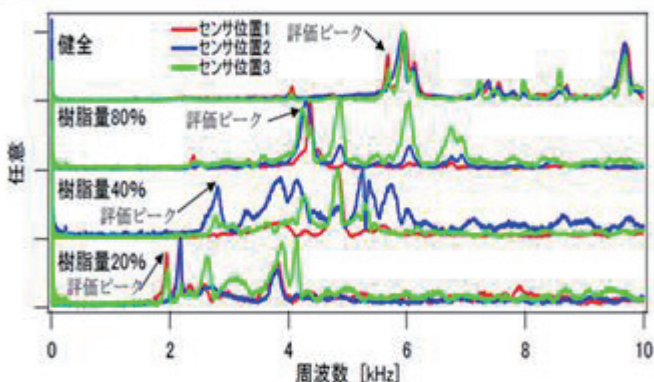


図3 上向き樹脂量変化の周波数分布

図4に計測試験結果のまとめ(M16)を示す。健全なケミカルアンカ試験体の固有周波数が6KHz程度であるのに対し、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。

計測試験はM16およびM20の2種類のケミカルアンカで実施した。結果は、どちらも施工不良および経年劣化を模擬した試験体の固有周波数が健全を模擬した試験体より低下することがわかり、今後の診断において重要な役割を果たすことから、劣化と固有周波数の関係をデータベース化した。

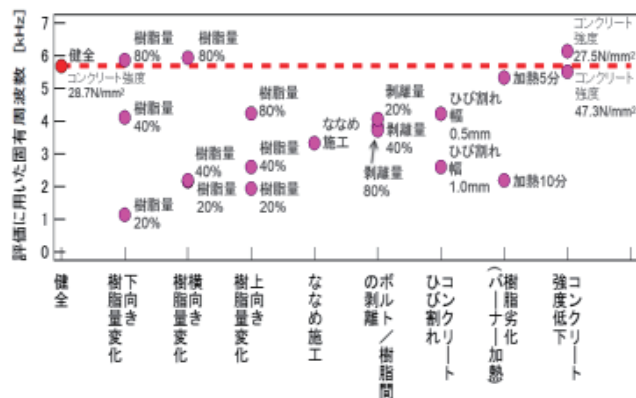


図4 計測試験結果のまとめ

## 2.4 メカニカルアンカおよび基礎ボルトへの適用性

AE法がケミカルアンカ以外のメカニカルアンカおよび基礎ボルトに適用可能かを確認するため、ケミカルアンカの場合と同様に模擬試験体による計測試験を行った。

その結果メカニカルアンカの締付トルク低下を模擬した試験体では、締付トルクの低下に伴い固有周波数も低下した。また、基礎ボルトのボルト腐食を模擬した試験体では、腐食の程度が大きくなるに従い固有周波数が徐々に低下した。

以上から、メカニカルアンカおよび基礎ボルトについてもAE法により腐食および劣化の検知が可能であり、ボルト全般への診断手法として適用できることを確認した。

## 2.5 解析試験結果

FEMを用いて動的応答解析を行った結果、計測試験と僅かな数値の違いはあったが、理論解析により計測試験を概ねシミュレーションできることを確認した。

## 3. まとめ

AE法を供用中の原子力発電所のケミカルアンカの劣化診断に適用するため、過去に経験した、あるいは今後想定される施工不良状態、経年劣化状態を計測試験および理論解析から評価し、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。

今後は、コンクリートの加水分解を模擬した試験体で、劣化のデータベースを拡充させるとともに、浜岡原子力発電所1、2号機で取得した実機ケミカルアンカのAE法による計測データを解析評価する。将来的には浜岡原子力発電所3～5号機のボルト管理への適用を目指す。