

ボルト簡易診断法の開発研究

現場での使用に適した簡便な方法を開発

Development of a Diagnosis Method for Anchor Bolts

A simple method suitable to diagnose field anchor bolts was developed

(原子力安全技術研究所 プラントG)

(Plant Group, Nuclear Safety Research and Development Center)

ケミカルアンカの劣化診断として、AE（音響）センサを用いた固有周波数計測装置を実機適用するにあたり、施工不良状態および経年劣化状態を判別する信号波形データベースを構築した。また、ケミカルアンカ以外のアンカーボルト全般についての適用性を確認した。

In order to diagnose chemical anchor bolts in nuclear power station by a resonance frequency measurement device with an AE (Acoustic Emission) sensor, waveforms from bolts simulating construction failure and bolts simulating aged deterioration were collected. Furthermore, the applicability of this method to other types of anchor bolt was tested.

1 背景と目的

2012年12月に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故は、調査・検討委員会の事故報告によると、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AE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、AEセンサを用いた打音検査法（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データを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。

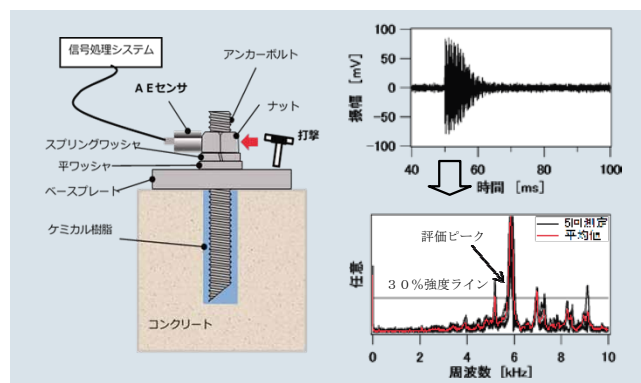
2 AE法の特徴と研究結果の概要

(1) AE法の特徴

AE法は、第1図に示すように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便な操作で、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。



第1図 測定・解析方法

(2) ケミカルアンカ模擬試験体の作製

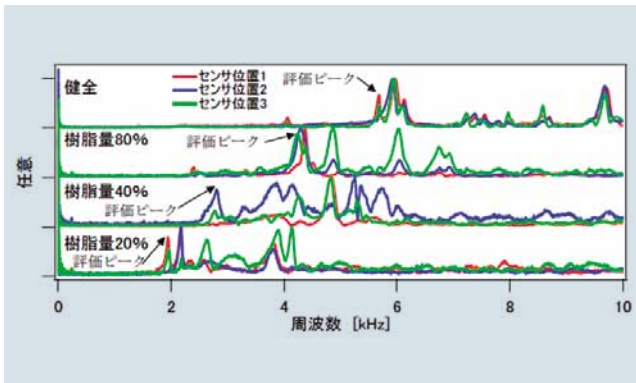
AE法によるボルト診断データ取得の計測試験を行うため、第2図に示すようなケミカルアンカの施工不良模擬試験体と経年劣化模擬試験体を作製した。

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

第2図 試験体(例)

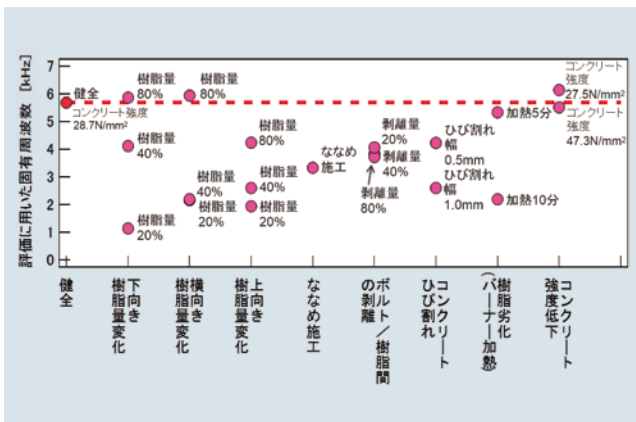
(3) ケミカルアンカ計測試験結果

模擬試験体を用いた計測試験結果の一例として、第3図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する傾向が確認された。



第3図 上向き樹脂量変化の周波数分布

第4図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。



第4図 計測試験結果のまとめ

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。計測試験結果は、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分かった。これらの結果は、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。

(4) メカニカルアンカおよび基礎ボルトへの適用性

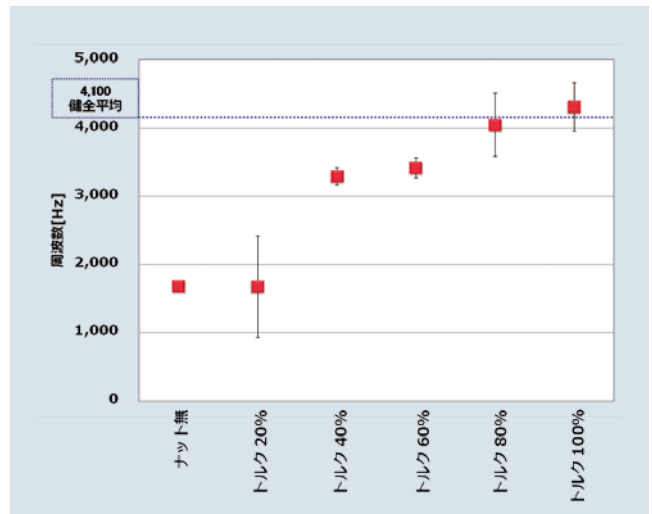
AE法がケミカルアンカ以外のメカニカルアンカおよび基礎ボルトに適用可能かを確認するため、ケミカルアンカの場合と同様に模擬試験体による計測試験を行った。

その結果、第5図に示すようにメカニカルアンカ

(M16) の締付トルク低下を模擬した試験体では、締付トルク60%以下から固有周波数が低下した。

また、基礎ボルト (M12) 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トルク低下や腐食などの劣化状態をAE法により検知することが可能であり、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。



第5図 トルク低下に対する固有周波数 (メカニカルアンカ: M16)

(5) 解析試験結果

ケミカルアンカについて、計測試験を模擬したモデルを構築しFEMを用いて動的応答解析を行った。その結果、計測試験結果との間にわずかな数値の違いはあったものの、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で用いられている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。

また、AE法がメカニカルアンカおよび基礎ボルトにも適用可能であることを確認した。

今後は、コンクリートの加水分解を模擬した試験体を作製し、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し、その有効性を検証する。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。



執筆者 / 松井計雄