

# AE センサを用いた鋼棒、鋼管の健全性評価技術の開発 2

## (1)実験的検討

Development of a new inspection system for steel rod and pipe using AE sensor 2

(1) Experimental approach

原子燃料工業株式会社	松永 嵩	Takashi MATSUNAGA	Member
原子燃料工業株式会社	小川 良太	Ryota Ogawa	Member
原子燃料工業株式会社	匂坂 充行	Mitsuyuki SAGISAKA	Member
株式会社アトリー	鶴飼 康史	Yasufumi UKAI	
原子燃料工業株式会社	磯部 仁博	Yoshihiro ISOBE	Member

### Abstract

For evaluating the soundness of steel rods and pipes, which are installed in nuclear power plants, we have developed a new inspection system using an AE (acoustic emission) sensor. This report described the results of studies for the detection of defects in the steel pipe and steel rod using a new inspection system.

Keywords: non-destructive inspection, AE sensor, steel rod, steel pipe

## 1. 緒言

原子力発電所では、多数の基礎ボルトや配管が用いられている。これらの基礎ボルトや配管などの鋼棒、鋼管は、周辺環境（設置場所や内部流体、機械振動など）により経年劣化（腐食、摩耗、き裂など）が発生する可能性が潜在している<sup>1-2</sup>。従って、機器・構造物の安全性・信頼性を確保する観点より、鋼棒、鋼管の経年劣化を検出する非破壊検査技術が望まれている。

このような鋼棒、鋼管の健全性を検査する手法として、一般的には、目視検査や打音検査、超音波検査が採用されている<sup>3-7</sup>。しかしながら、目視検査では、たとえば基礎ボルトではナットより下部が、配管では保温材等がまかれている部分が、容易に確認できない。また、打音検査は、ハンマーで打撃し、その時の打撃音とハンマーを通した打感との二つから、検査員が異常の有無を判定する手法であるが、検査精度は検査員の熟練度に依存しており、また、周囲の環境による影響を受けるため、客観的な基準を設けることが困難である。超音波検査は露出部に超音波センサを設置し、反

射信号に基づいて、腐食や傷などの欠陥の位置や大きさを検出する手法であり、詳細検査として一般的に広く使用されているが、検査対象部位に保温材等が巻かれている、超音波センサの設置面が平滑でない、製造方法（鋳造、溶接部）によっては超音波が効率よく伝播しない、形状が複雑で超音波の反射波が得られない等により、検査出来る範囲は限定的である。

本研究では、超音波検査のような詳細検査に比べて、より効率的で簡便かつ短時間で実施できるスクリーニング検査を目指し、従来の打音検査での課題点である検査員の熟練度、客観的な基準について、客観性、記録性のある検査手法としてAE(acoustic emission)センサを用いた鋼棒、鋼管健全性評価技術を開発している<sup>8</sup>。

前報<sup>9</sup>では、鋼棒、鋼管に対して模擬的に減肉やき裂を付与した試験体の評価試験結果に基づき、欠陥の検出性について述べた。本報では、現場適用を想定して、配管の内面腐食に着目し、①欠陥の検出性、②振動計測位置の影響を評価するため、鋼管の内面を機械加工により減肉させながら、様々な計測位置で評価した結果を報告する。

連絡先：松永嵩、〒590-0451 大阪府泉南郡熊取町  
朝代西1-950、原子燃料工業株式会社  
E-mail: tk-matsunaga@nfi.co.jp

## 2. 試験

### 2.1 試験概要

鋼棒、鋼管の非破壊検査の一例として、配管の内面腐食を想定した試験を実施した。配管はφ140 mmの炭素鋼鋼管を用いた。この鋼管の内面を機械切削により減肉を付与しながら、本検査システムを用いた振動測定を行った。

本検査システムは、AEセンサ、計測ボックス、タブレットPCなどより構成されている(Fig 1)。本装置は検査対象物を打撃し、振動を加えて、その振動をAEセンサで取得する。取得した振動信号は、検査対象物の振動特性の情報が含まれ、施工状態や経年変化に依存する。したがって、この振動信号を解析することで、検査対象の健全度を評価する。

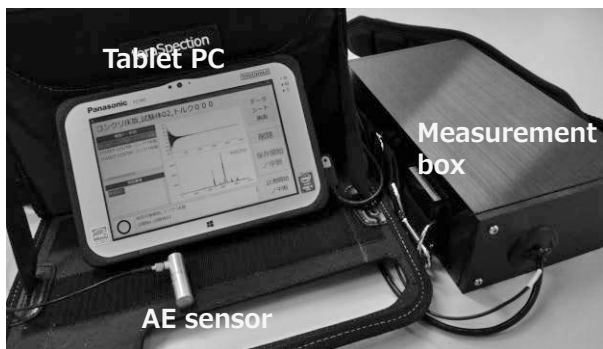


Fig 1 Portable Inspection Equipment

### 2.2 試験体の作製

内面腐食の検出を目的とした試験体の外観を Fig 2 に、内面減肉の外観を Fig 3 に示す。内面減肉の付与度合は、初期状態から減肉厚を 0.5 mm ずつ増やし、減肉 1 (0.5 mm) 減肉 2 (1 mm) 減肉 3 (1.5 mm) の 3 段階変化させながら、振動を取得した。

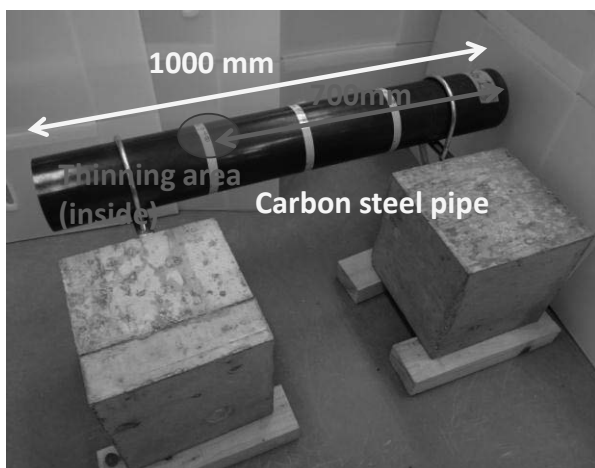


Fig 2 Dimension of the specimen for carbon steel pipe

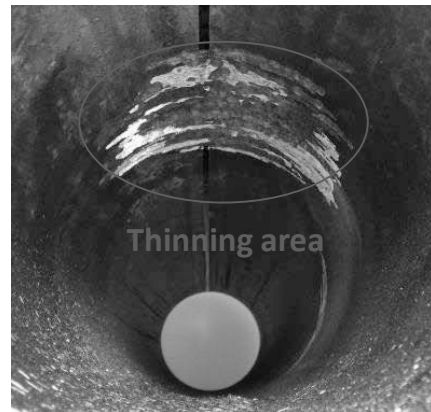


Fig 3 Overview of thinning area

### 2.3 試験方法

AEセンサを試験体に設置し、ハンマーで打撃することで、振動信号を得る。打撃位置については、センサ設置位置(計測位置)近傍とし、計測位置については、減肉を付与した面を0°として、周方向90°間隔で4か所、軸方向300 mm、500 mm、700 mmの3か所の計12か所で振動を取得した。計測位置の例を Fig 4 に示す。減肉部はAの位置の内面に付与した。



Fig 4 Example of measurement location

### 2.4 信号解析方法

ハンマー打撃により信号が発生し、時間の経過とともに減衰する信号波形が得られる。次に、この得られた信号波形にFFT(高速フーリエ変換)を実施し、信号波形の周波数情報を得る。信号例を Fig 6 に示す。この周波数情報と減肉度合を比較・検討した。

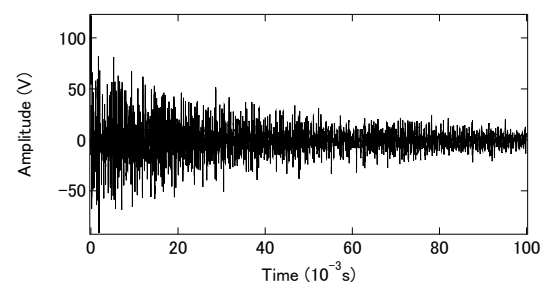


Fig 5 Example of an AE signal for steel pipe

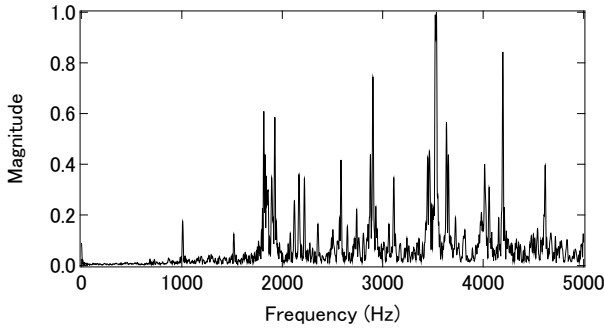


Fig 6 Example of frequency distribution for steel pipe

### 3. 結果と考察

#### ①欠陥の検出性

段階的に減肉を付与させながら、A位置で振動を計測した結果を Fig 7 に示す。複数の周波数ピークが減肉に伴い低周波側にシフトし、また、減肉量に対し、単調減少していることがわかった。したがって、配管の内面減肉を検出する可能性が示された。

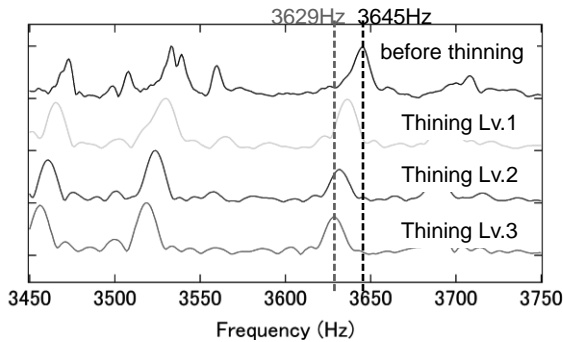


Fig 7 Frequency distribution (position A)

#### ②計測位置による影響

計測位置A、B、Cのそれぞれの位置において、減肉付与前と最大減肉後（減肉3）の周方向4点の計測結果を Fig 8、Fig 9、Fig 10 に示す。

どの計測位置においても、減肉に伴う周波数変化は同じ傾向が得られた。また、前報では、周方向に不均一な欠陥が生じた場合は、周方向での計測位置によって有意な差が生じることを述べたが、今回の内面減肉の範囲ではその差はみられなかった。この結果は、周方向で振動モードの差が生じるほどの内面減肉ではなかったと推測される。

この試験より、30%程度（減肉厚1.5 mm程度）の局所的な減肉であれば、どの計測位置で評価しても同様の結果が得られるため、配管のスクリーニング検査としての運用が期待できる。

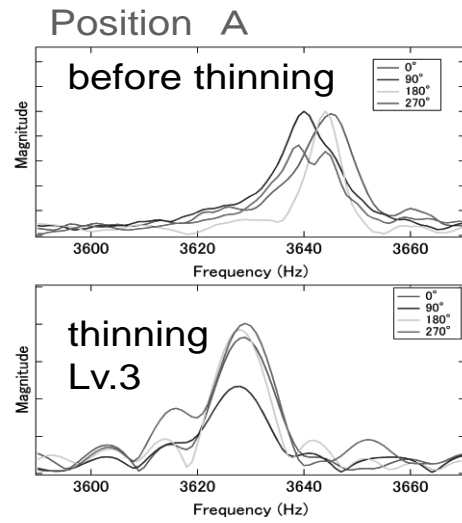


Fig 8 Frequency distribution (position A)

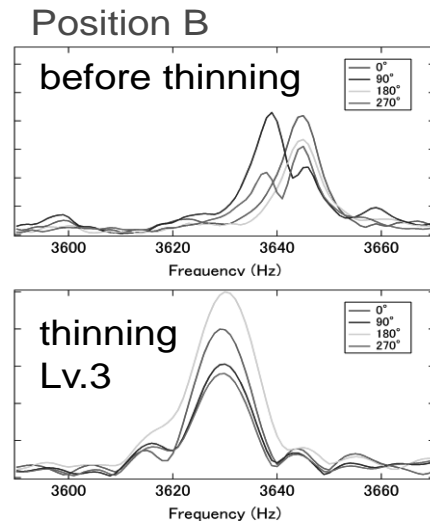


Fig 9 Frequency distribution (position B)

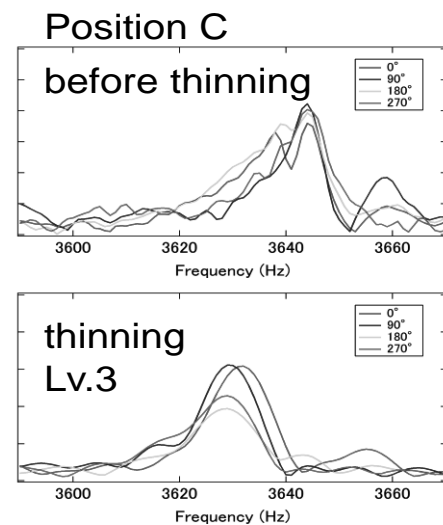


Fig 10 Frequency distribution (position C)

#### 4. 結言

鋼管に対して、減肉を段階的に付与しながら本検査システムを用いた試験を実施し、①欠陥の検出性、②計測位置の影響について検討した。その結果を以下にまとめる。

##### ① 欠陥の検出性

機械加工によって内面減肉させた試験体は、減肉付与前の試験体と比べて、周波数ピークが低周波側にシフトする傾向が得られるため、ピーク周波数を指標とすることで、配管の内面減肉による劣化を検出しようの可能性を見出した。

##### ② 計測位置の影響

前報で、周方向に不均一な欠陥が生じた試験体は、周方向の計測位置において、振動計測結果に差が生じることを述べたが、今回の試験範囲（内面減肉量30%程度）では周方向計測位置での試験結果の差はみられなかった。これは、周方向で振動モードの差が生じるほどの内面減肉ではなかったと推測される。しかしながら、計測位置によらず、一定の試験結果が得られるため、配管の内面減肉を簡易的に検査するスクリーニング検査としての運用が期待できる。

#### 参考文献

- [1] ”高浜発電所3号炉 高経年化技術評価書”『関西電力株式会社(2014).
- [2] “女川原子力発電所1号炉 高経年化技術評価書”『東北電力株式会社(2013).
- [3] 林山, 福富広幸, 熊野秀樹, 伊藤圭介, ”埋め込み基礎ボルトにおける減肉欠陥の検出及びその深さの推定”『日本機械学会論文集(A編), 77巻783号, pp.1851-1858, 2011.
- [4] 小平小次郎, 米谷豊, 河野尚幸, 馬場淳史, 黒崎裕一, “基礎ボルトの超音波探傷技術の適用と開発”『非破壊検査第59巻6号, pp.254-258, 2010.
- [5] 秋山哲治, 清宮理, 北澤壮介, 内藤英晴, ”合成部材でのコンクリート充填性検査としての打音法の適用性”『コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, 2003
- [6] 熊野秀樹, 伊藤圭介, 山本千秋, 加古晃弘, 藤尾武成, 城下悟, 林山, 福富広幸, ”基礎ボルトの減肉検査技術開発”『日本保全学会第7回学術講演会要旨集, (2010), pp.58-60
- [7] 竹之内博行, 榎園正義, 谷倉泉, 半澤貢, ”ボルトの疲労き裂検出に対する超音波探傷法の適用性”『土木学会論文集, No.404(1989), pp443-449
- [8] 原子燃料工業株式会社, ”部材の状態評価方法”『特願2014-2501
- [9] 松永嵩, 小川良太, 匂坂充行, 鶴飼康史, 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 (1)実験的検討” 日本保全学会第12回学術講演会要旨集