AE センサを用いた鋼棒、鋼管の健全性評価技術の開発 2
(2) 理論的検討

Development of a new inspection system for steel rod and pipe using AE sensor 2
(2) Theoretical approach

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	松永　嵩	Takashi MATSUNAGA	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	鵜飼　康史	Yasufumi UKAI	
原子燃料工業株式会社	礒部　仁博	Yoshihiro ISOBE	Member

Abstract

A new inspection technique using AE (acoustic emission) sensor has been developed for the purpose of evaluating the integrity of steel rods and pipes, and sensitivity analyses were made for degradations of steel rods and pipes from a theoretical viewpoint.

Inner surface corrosion model of the piping changing the corrosion contents were simulated frequency distribution by dynamic analysis using the finite element method, and comparisons with experimental results obtained from mockups with simulated degradations were reported.

Keywords: hammering test, steel pipe, Finite Element Method, nondestructive inspection

１．緒言

原子力発電所では、非常に多くの配管や基礎ボルトが用いられている。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 [1]。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、一般的には詳細検査として超音波検査やスクリーニング検査として目視検査や打音検査が採用されている [2-4]。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、レーザーを用いた加振・検出方法による非破壊探傷法 [5] や鉄球とマイクロフォンを用いた打音検査法 [6] が研究されている。打音法の研究では、固有値解析や周波数応答解析 [5]、音響解析 [6]、動的解析 [7] などをデータ取得方法に合わせた理論解析が用いられており、実験と比較されている。

本研究では、鋼管や鋼棒等の部材の健全性評価を詳細検査に比べて、より効率的で簡便に実施できるスクリーニング検査手法として AE(acoustic emission)センサを用いた部材の状態評価方法を構築した。

前報では、鋼棒、鋼管に対する固有値解析および周波数応答解析による実験との比較を報告した。

本報では、鋼管に対し健全なモデルと配管内面の腐食減肉を模擬したモデルを作製し、有限要素法を用いた時刻歴応答解析を実施して打撃時の固有周波数の変化について時刻歴応答解析を用いて検討した。また、本検査システムを用いた鋼管の健全性評価による実験結果とも比較し、妥当性を検討した。

２．解析対象およびモデル、解析条件

解析対象とした鋼管は、直径 139.8mm、長さ 1005mm、板厚 4.5mm の鉄製 (SS400 : ヤング率 2.06×10^{5}[MPa]、ポアソン比 0.3、材料密度 7.9×10^{-9}[ton/mm^{3}]) とし、健全および全周腐食（10mm 幅 1mm、2mm 減肉）をモデル化した（図 1）。作成したモデルの条件およびメッシュ分割後の節点および要素数を表 1、2 に示す。

打撃は、7.5×10^{-5} 秒間 100N の荷重を設定し、時刻歴応答解析として 2.5×10^{-5} 秒刻みで 5.0×10^{-3} 秒まで計算した。

連絡先 ： 小川良太、〒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:　ryo-ogawa@nfi.co.jp

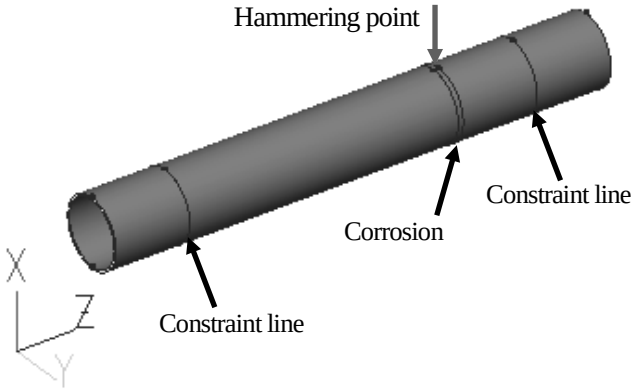

Fig.1 Model dimensions of the steel pipe.

Table1 Finite element model.

Corrosion location	300mm from the end, width 10mm.
Corrosion depth	1mm or 2mm depth.
Constraints	150mm from both ends.
Hammering point	On the corrosion part.

Table2 Number of node and element.

	Node	Element
Soundness	820,397	3,542,576
1mm corrosion	827,996	3,554,764
2mm corrosion	825,979	3,544,886

※The mesh was resolved using tetrahedral primary element.

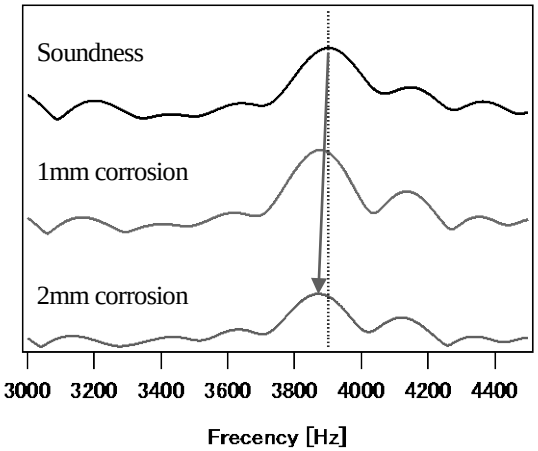

Fig.2 Dynamic analysis results of the steel pipe.

３．解析結果と考察

AE センサを用いた部材の状態評価法は、AE センサが設置されている検査対象が発する打音信号を受信することにより部材の状態評価を実施する。

AE センサは主に速度に応答していることから、AE センサの設置位置の節点速度を抽出し、実験と同様に FFT（高速フーリエ変換）を実施して周波数分布を得た。健全および 1mm 腐食、2mm 腐食モデルの周波数分布を図 2 に示す。図 2 では横軸に周波数を示し、縦軸はそれぞれの周波数分布における最大値で規格化した値を示す。腐食量の増加に従い、ピーク周波数が低周波側にシフトする傾向が得られた。また、実験の健全な鋼管のピーク周波数は約 3650Hz と、概ね一致した結果が得られ、モデルの妥当性が確認できた。

４．結言

本研究では、鋼管の健全および全周腐食を模擬した FEM 解析モデルを作成し、時刻歴応答解析を実施することにより、以下の結果が得られた。

(1) 健全な鋼管モデルに比べ、腐食を模擬したモデルは、打撃により得られるピーク周波数が低周波側にシフトする傾向が得られた。

(2) 健全モデルにおいて、実験と概ね一致する結果が得られたため、モデルの妥当性が確認できた。

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] 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.

[3] 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

[4] 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

[5] 橘肇, 中本啓介, “リモートセンシングを用いた非破壊探傷法の研究（その 2）”，駒井ハルテック技報, Vol.5(2015), pp37-42

[6] 園田佳巨, 中山歩, 三好茜, “音響解析を用いた回転式打音検査法の診断メカニズムに関する基礎的研究”，構造工学論文集, Vol.54A(2008 年 3 月), pp599-606

[7] 浅野雅則, 鎌田敏郎, 国枝稔, 六郷恵哲“コンクリート内部欠陥の寸法および深さと打音特性値の定量的関係”，コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1(2001), pp589-594