

加速度センサを用いた蒸気チューブリーク検出手法の開発

Development of detection method for a steam tube-leak in a boiler using acceleration sensors

日立製作所	古市 肇	Hajime FURUICHI
日立製作所	綿引 直久	Naohisa WATAHIKI
日立製作所	高橋 志郎	Shirou TAKAHASHI
日立製作所	小林 啓信	Hironobu KOBAYASHI

A steam tube-leak is a very critical issue in industrial plants because the steam jet from the damaged point immediately causes damage to the surrounding tubes. Therefore, an early detection of the tube leak is important to reduce the maintenance cost and the outage time. In this study, we conducted a detection test of the steam tube leak using acceleration sensors; they are expected to catch a radial tube-vibration induced by acoustic propagation. Through the test, we found that the sensor detected a radial tube-vibration induced by the steam leaking from a 1mm-hole with 67.2m-distance. Moreover, localization method of the tube leak was examined calculating cross-correlation of two time-series data.

Keywords: Thermal power station, Boiler, Steam, Tube leak, Leak detection, Acceleration sensor

1. 緒言

火力・原子力発電所などの効率的で安定な運転のためには、機器の故障予知と異常検出により、プラントの緊急停止を回避することが重要である。特に、配管等の耐圧部で生じる蒸気漏洩（蒸気リーク）は、短時間に高温蒸気の噴流が周囲に拡大し二次被害をもたらす[1]ため、蒸気リーク発生 of 早期検出技術が求められる。

本研究では、加速度センサを用いた蒸気リークの検出手法を開発する目的で、蒸気リーク検出試験を実施した。加速度センサの利点は、同じ配管ライン上であれば遠方で発生したリークを検知可能な点や、リーク位置を管経路上の距離のみで推測して素早く特定可能な点である。しかし、加速度センサを蒸気リーク検出に適用した例はほぼ無い。そこで本研究では、火力発電ボイラ伝熱管の形状を模擬した配管ライン上で、模擬損傷口から最大2MPaの蒸気を噴出させ、管内伝播振動の加速度センサによる検出有無を確認した。試験では、模擬損傷口の面積、蒸気圧力をパラメータとして、噴出流量に対する振動特性を評価した。また、2つの加速度センサから取得した時系列データを用い、相互相関処理によるリーク位置特定手法を検証した。

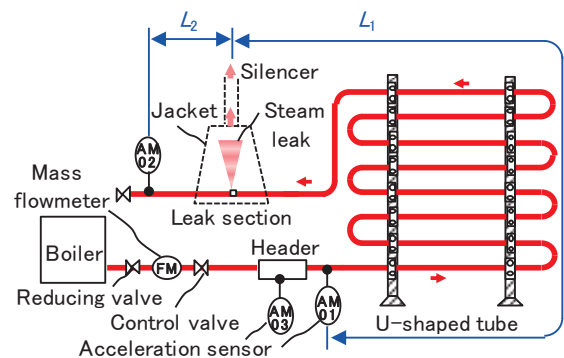


Fig.1 Schematic of leak detection test

2. 蒸気リーク検出試験

配管減肉または亀裂によってチューブリークが発生した場合、高温高圧の蒸気が臨界流として損傷口から噴出する。この際、周囲の空気との摩擦などにより騒音（リーク音）が発生し[2]、圧力脈動として管内を伝播する。本研究では、伝播した圧力変動に起因する配管径方向振動（リーク振動）を、管表面に取り付けた加速度センサによって測定した。Fig.1に蒸気リーク検出試験の概略図を示す。ボイラから飽和蒸気を供給し、ヘッダ部・U字管を介してリーク部に設けた模擬損傷口から大気へ放出する。配管は火力発電所ボイラの伝熱管仕様（外径60.7mm、肉厚4.2mm、炭素鋼）を参考にした。加速度センサはリーク部を挟むように上・下流側に配置し、上流側センサはリーク位置から最大67.2mの距離（管長）に設置した。計

測時には減圧弁と流調弁で所定の圧力・流量条件に設定後、1分間の定常データを記録した。

入口蒸気圧力 0.5~2.0MPa, 温度 180~230 °Cの範囲で試験を実施した。模擬損傷口の形状は、リークの原因とされる減肉損傷を想定した穴状と、亀裂損傷を想定したスリット状とし、それぞれ穴径 D_h , スリット長さ L_s の異なる試験体で測定した (Fig.2)。

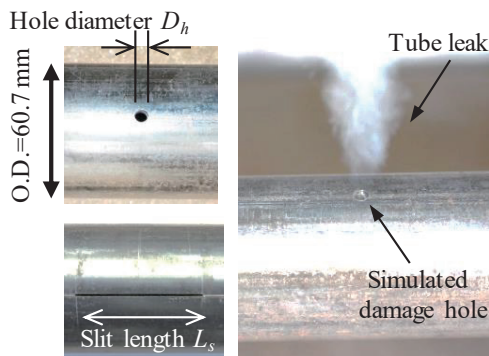


Fig.2 Photos of leak section

3. 試験結果

3.1 リーク振動の評価結果

加速度の測定値からリーク振動レベル X_{leak} [-] を次式で評価した。

$$X_{leak} = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} \frac{|X_1(f)|}{|X_0(f)|} df \quad (1)$$

$|X_1|$ [m/s^2] はリーク振動測定結果の振幅スペクトルであり、短時間フーリエ変換から算出した時間平均スペクトルである。 $|X_0|$ [m/s^2] はリーク無しの振幅スペクトルである。 f_1, f_2 [Hz] は評価範囲を表す周波数であり、本研究ではリーク振動を最も強く検出した範囲を対象とした。

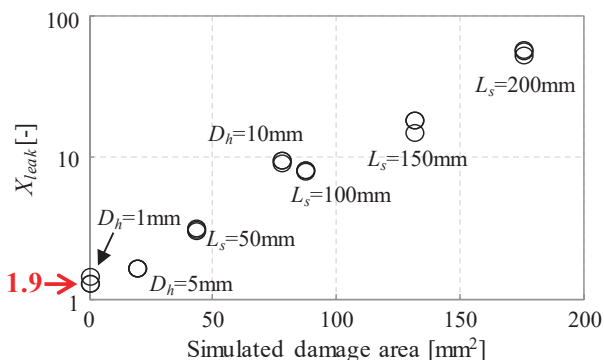


Fig.3 Leak vibration level versus simulated damage area

Fig.3 に、圧力 2.0MPa, 距離 67.2 m における模擬損傷口面積に対する評価結果を示す。面積増加に伴いリーク振動レベルが増加するのは、蒸気の噴出量が増加したため

である。実際の蒸気リーク発生時には短時間で損傷口が拡大するため、損傷口が小さいうちに検知することが二次被害の拡大を抑える鍵となる。同図から、最小穴径 1 mm でもリーク無しの場合に対して 1.9 倍の加速度が生じており、リークを検出可能であると判断できる。

3.2 リーク位置特定手法の検証結果

2つの加速度センサ間でリークが発生した場合、リーク位置とセンサ位置の関係を次式で表す。

$$L_1 = \frac{L_{12} + c\Delta t}{2} \quad (2)$$

L_1 [m] は上流側センサとリーク位置との距離、 L_{12} [m] はセンサ間距離、 c [m/s] は蒸気の音速、 Δt [s] はリーク振動の伝播時間差である。本研究では分割したデータ群の相互相関から Δt を算出し、そのうち最も頻度の高い Δt をリーク位置の推定値として(2)式から距離を算出した。検証の結果、Fig.4 に示すように、推定したリーク位置は実際のリーク位置 $L_1=21.5, 36.8, 52.0, 67.2$ m に対して誤差 10% 以内で一致した。以上から、既知である 2 つのセンサ間距離と検出した伝播時間差 Δt のみからリーク位置を推測できる見通しを得た。

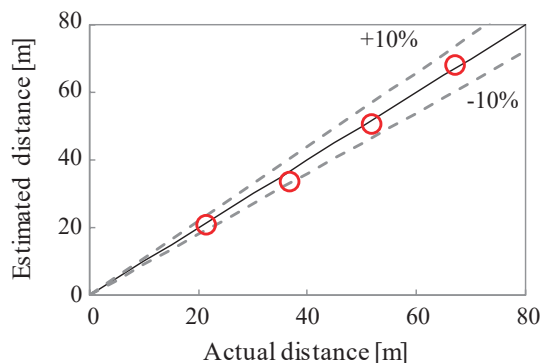


Fig.4 Estimation results of leak location

4. 結言

プラントで発生する蒸気リークの早期検出技術の開発を目的とし、加速度センサによる検出試験を実施した。最大管長 67.2 m・最小損傷口径 1 mm でもリーク無しの場合の 1.9 倍の加速度振幅を検出した。推定したリーク位置は実際の位置と 10%以内の誤差で一致した。以上から、加速度センサの有用性を確認した。

参考文献

- [1] G.J. Jung, et al., 18th international conference on composite metals, TH43-5, Aug 21-26 2011, Jeju, Korea.
- [2] 池上雄二, 安全弁騒音の予測と対策, 騒音制御, Vol51, No.2 (1977), p55.