

応力評価のための配管ひずみセンサーの開発

Development of Piping Strain Sensor for Stress Evaluation

(株)原子力エンジニアリング	高濱 庸道	Tsunemichi TAKAHAMA	
(株)原子力エンジニアリング	西村 一真	Kazuma NISHIMURA	
(株)原子力エンジニアリング	二宮 聖一郎	Seiichiro NINOMIYA	
(株)原子力エンジニアリング	松本 善博	Yoshihiro MATSUMOTO	Member
(株)原子力エンジニアリング	原田 豊	Yutaka HARADA	Member

Abstract

In a small diameter piping, stresses are generated due to internal fluid or pump vibrations especially around the welding parts. Authors have successfully developed a pipe strain sensor which is able to measure such stresses. Unlike conventional methods using strain gages and adhesive bond, the sensor can measure the strain without putting adhesive bond on the piping surface. However, the strain sensor can provide measurements with a level of accuracy equivalent to that of conventional method using strain gages and adhesive bond. Accordingly, the strain sensor can significantly reduce the working time without any loss of the measurement accuracy.

Keywords: Strain Gauge, Piping, Vibration, Stress, Strain Sensor

1. 緒言

プラントにおける小口径配管は、内部流体やポンプの振動によって振動する。この振動が大きい場合、溶接部近傍で疲労破壊を起こすことがある^[1]。そこで、この疲労破壊を予防するために、多くのプラントで、小口径配管の溶接部近傍での、振動による応力が評価されている。この応力評価方法には、加速度計で測定した加速度から応力を算出する方法^[2]、変位計で測定した変位から応力を算出する方法^[3]、及びひずみゲージで測定したひずみから応力を算出する方法などがある。

加速度計で測定した加速度から応力を算出する方法では、予め測定対象となる配管やサポートをモデル解析ができるようにモデル化し、そのモデルに測定した加速度を与えることで、モデル全体の応力分布を計算することができる。しかしこの方法では、モデル化のために特定すべきパラメータが多い上に、摩擦係数

や減衰係数などのパラメータは、特定するのが容易では無い。また非線形要素がある場合などは、特に高度な専門知識を有することが必須で、応力算出するまでに多大な労力を要する。

変位計で測定した変位から応力を算出する方法は、測定から算出までを、簡便に行うことができる。しかしプラント環境の中では、三次元的な変位を測定することが難しいため、その多くが二次元的な測定となる。またレーザー変位計などを用いる場合、振動による応力が高くなる配管は高温配管に多いが、その高温配管への適用が難しいという問題もある。

ひずみゲージを配管に接着してひずみを測定し、その測定値から応力を算出する方法は、その測定値が正確で、かつ応力算出も極めて簡単であることから、弊社の現在の小口径配管振動点検工事でも採用されている。しかしこの方法では、対象となる箇所を研磨し、脱脂してから、接着剤でひずみゲージを正確な位置に接着する必要がある。このため、測定準備に多くの労力と高い熟練度を必要とするだけでなく、測定対象周りに、研磨接着をするための作業スペースが必要で、狭隘部では測定できないことがある。また測定後には、ひずみゲージを剥がし、再度研磨して接着剤を剥がす

連絡先: 高濱 庸道
〒550-0001 大阪市西区土佐堀 1-3-7
(株)原子力エンジニアリング
Email: ttakahama@neltd.co.jp

作業も必要となる。さらに原子力プラントにおける被ばく線量の高い場所では、多くの時間を要する接合作業自体が困難となることもある。

この他、接着剤を用いない摩擦型ひずみゲージを使用する方法⁴⁾などがあるが、ジグ重量が大きく測定時の振動モードが通常時と変わってしまう、ジグのサイズが大きく狭隘部での測定が困難などの問題がある。

そこで筆者らは、接着されたひずみゲージと同等の測定精度を持ちながら、対象とする配管に簡単に装着して配管のひずみを測定できる「配管ひずみセンサー」を開発した。本稿では、この配管ひずみセンサーの測定精度—従来通り接着されたひずみゲージによるひずみ測定値との差—について報告する。

2. 配管ひずみセンサー

2.1 概要

筆者らは、配管の振動によるひずみを簡単に測定できる配管ひずみセンサーを開発した(特許 5541759)。本センサーはひずみゲージを利用したものであるが、従来の測定方法とは異なり、測定対象に直接ひずみゲージを接着する必要が無く、以下のように使用する(図 1 参照)。

測定対象となる小口径配管サイズに応じた配管ひずみセンサーを用意し、ブラケット部を、固定用ネジで固定する。配管ひずみセンサーの設置位置が確定したら、送りネジで送りナットを配管中心へ向かって移動させ、ナット先端にある弾性体を配管の表面に押し付ける。弾性体表面にはひずみゲージが接着されており、弾性体が配管に押し付けられることで、ひずみゲージが配管表面に密着する。この状態で、従来と同等の方法で、ひずみを測定する。

2.2 特徴

この配管ひずみセンサーは、以下のような特徴を持つ。

- ① 設置時間が数分と極めて短く、再設置も容易。
- ② 配管に直接接着しないので、同一のひずみゲージを(損傷するまで)何度でも使用できる。ゴミも出ない。
- ③ 四半円点のうちの任意の点での、正確な 90 度毎のひずみ測定が可能。
- ④ 撤去も容易で、接着のための研磨や接着剤の除去をする必要が無いので、配管へ与えるダメージも無い。
- ⑤ 高温配管(200℃以上)にも適用可能。

⑥ 軽量である。配管呼び径 15A 用のものを、アルミ合金で製作した場合 80g 程度、耐熱性温度が 270℃程度である PAI 樹脂(ポリアミドイミド樹脂)で製作した場合、50g 程度となる(共に、ひずみゲージリード線重量を除く)。

⑦ 小型である。配管軸方向に 10mm 程度、配管径方向には幅 80mm 程度(呼び径 15A の場合)のスペースがあれば、設置可能(図 1 参照)。

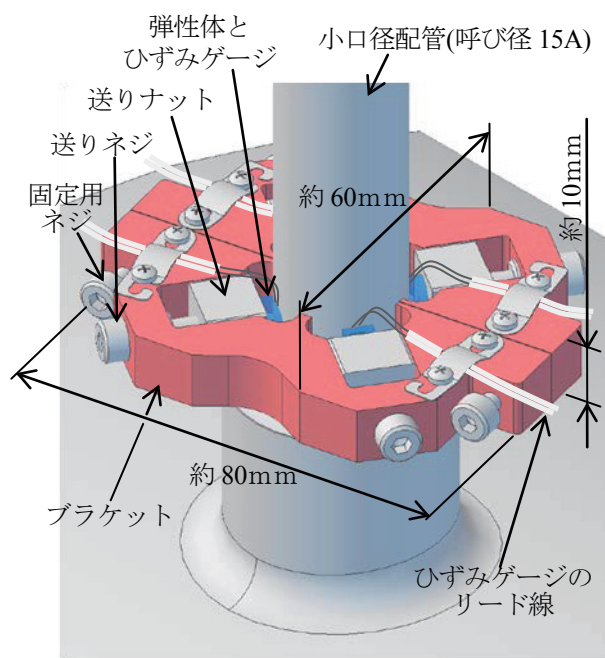


図 1 配管ひずみセンサー(配管呼び径 15A 用)

3. 試験方法

3.1 静ひずみの測定値比較試験の方法

図 2 に、静ひずみの測定値比較試験の概要を示す。

水平に片持ち状態で固定された配管(呼び径 15A、肉厚 3.0mm、材質はステンレス鋼 SUS304TP)の先端に静荷重を与えた。静荷重が与えられた状態で、配管根元近辺の静ひずみを配管ひずみセンサーで測定し、その対面に接着されたひずみゲージによる測定値と比較した。六角ソケットで配管を延長して、与える静荷重の位置を変えたり、静荷重の大きさを変えたりすることで、種々のひずみ測定値を得た。

ここで、配管ひずみセンサーは、配管の天側を測定できるように設置されており、その対面の地側の配管表面に、ひずみゲージを接着している。よって理想的には、両測定値は正負逆で絶対値が等しくなる。

また対照試験として、配管の天側と地側の両方にひずみゲージを接着し、天側と地側の測定値の関係が、

配管ひずみセンサーを用いた場合と同等になるか否かを確認した。

3.2 動ひずみ測定値比較試験の方法

図3に、動ひずみの測定値比較試験の概要を示す。

静ひずみの試験と同様に、水平に片持ち状態で固定された配管(呼び径 15A、肉厚 3.0mm、材質はステンレス鋼 SUS304TP)の動ひずみを、配管ひずみセンサーで測定し、その対面に接着されたひずみゲージによる測定値と比較した。測定の際には、配管の先端をハンマーで打撃し、打撃直前からのひずみ波形を記録した。

ここで、配管ひずみセンサーは、配管の天側を測定できるように設置されており、その対面の地側の配管表面には、ひずみゲージが接着されている。よって理想的には、両動ひずみの時間軸波形は正負逆で絶対値が等しくなる。

図3に示す配管構成の場合、1次モード以外の振動モードが表れにくい。そこで、2次以上の振動モードでのひずみ測定値の比較を行うため、六角ソケットを介して配管を延長した配管構成で、同様の試験を行った(図4参照)。

また対照試験として、配管の天側と地側の両方にひずみゲージを接着し、天側と地側の測定値の関係が、配管ひずみセンサーを用いた場合と同等になるか否かを確認した。

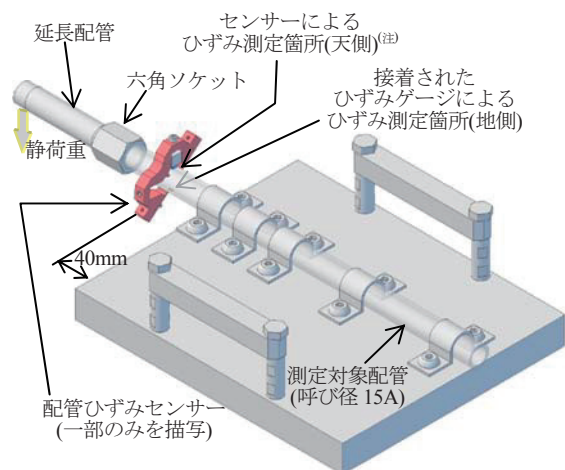


図2 配管ひずみセンサーによる静ひずみ測定値(天側)と配管に接着されたひずみゲージによる静ひずみ測定値(地側)の比較試験

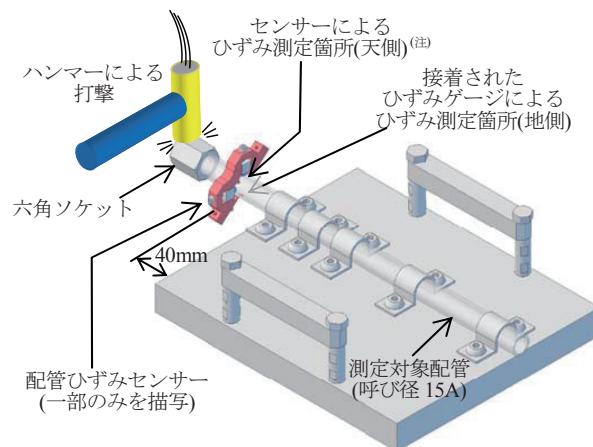


図3 配管ひずみセンサーによる動ひずみ測定値(天側)と配管に接着されたひずみゲージによる動ひずみ測定値(地側)の比較試験—配管の延長なし—

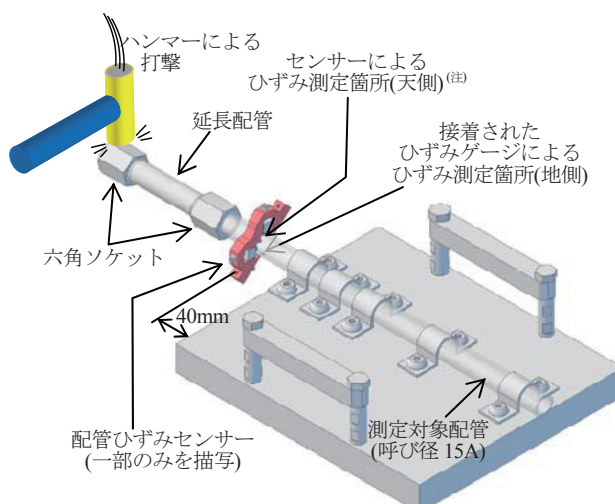


図4 配管ひずみセンサーによる動ひずみ測定値(天側)と配管に接着されたひずみゲージによる動ひずみ測定値(地側)の比較試験—配管の延長あり—

4. 試験結果

4.1 静ひずみ測定値比較試験の結果

図5-1に、静ひずみの測定値比較試験の結果を示す。横軸は接着されたひずみゲージで測定された地側の静ひずみ測定値の正負を反転させた値を、縦軸は配管ひずみセンサーで測定された天側の静ひずみ測定値を示す。

両者の値はほぼ等しいが、比例係数は1.025となり、配管ひずみセンサーで測定された天側の静ひずみ測定値が、わずかに高いひずみ測定値となることがわかる。

また同一静荷重での2回の測定値(静荷重を増やしていく際と、減らしていく際とでの測定値)が良く一致

しており、再現性が高いことも確認できる。

図 5-2 に、静ひずみの測定値比較の対照試験の結果を示す。横軸は地側の静ひずみ測定値の正負を反転させた値を、縦軸は天側の静ひずみ測定値を示す。両者はともに、接着されたひずみゲージで測定された値である。

この対照試験の場合も、両者の値はほぼ等しいが、比例係数は 1.020 となり、天側の静ひずみ測定値が、わずかに高いひずみ測定値となることがわかる。

地側の接着されたひずみゲージによる測定値に対して、配管の天側の静ひずみを；

- ・配管ひずみセンサーで測定すると、 約 1.025 倍
 - ・接着されたひずみゲージで測定すると、 約 1.020 倍
- となり、両者の差は約 0.5% である。

これに対して、本試験で使用したひずみゲージの、メーカーが指定するゲージ率許容差は±1.0% である。

また天側と地側では、配管支持部の境界条件が異なるため、厳密に絶対値が一致するわけではない。

これらのことを考えると、両者の差は有意ではなく、配管ひずみセンサーで、ひずみゲージを接着する場合と、同等の静ひずみ測定値が得られたと判断できる。

4.2 動ひずみ測定試験結果

図 6-1 に、動ひずみの測定値比較試験の結果を示す。

配管ひずみセンサーによる天側での測定波形と、接着されたひずみゲージによる地側での測定値の正負反転波形が、一致していることがわかる。

またこの対照試験の結果である図 6-2 からは、接着されたひずみゲージによる天側での測定波形と、地側での測定値の正負反転波形も、一致することがわかる。

図 7-1 からは、1 次モード以外の振動モードを多く含む場合でも、配管ひずみセンサーによる天側での測定波形と、接着されたひずみゲージによる地側での測定値の正負反転波形が、一致していることがわかる。

また、この 1 次モード以外の振動モードを多く含む場合の対照試験の結果である図 7-2 からは、接着されたひずみゲージによる天側での測定波形と、地側での測定値の正負反転波形も、一致することがわかる。

これらの試験結果より、振動モードに関わらず、配管ひずみセンサーは、ひずみゲージと同等の動ひずみ測定値を得られたと判断できる。

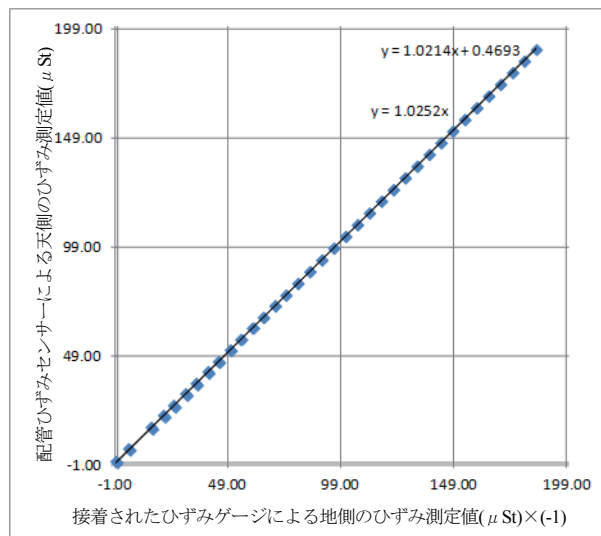


図 5-1 配管ひずみセンサーによる静ひずみ測定値(天側)と配管に接着されたひずみゲージによる静ひずみ測定値(地側)の相関

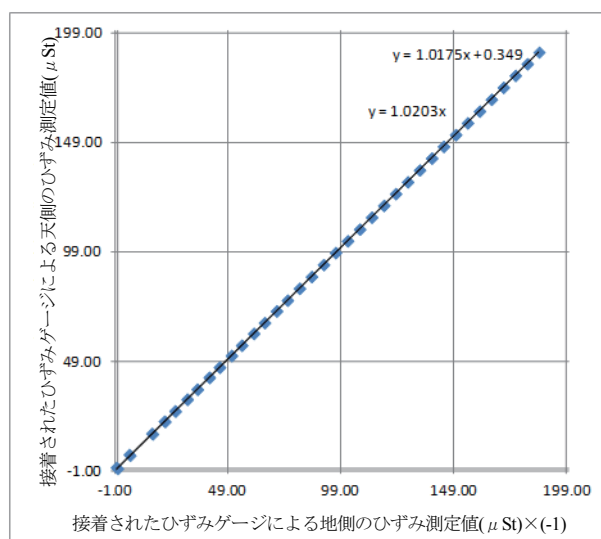


図 5-2 対照試験結果
配管に接着されたひずみゲージによる
静ひずみ測定値(天側と地側)の相関

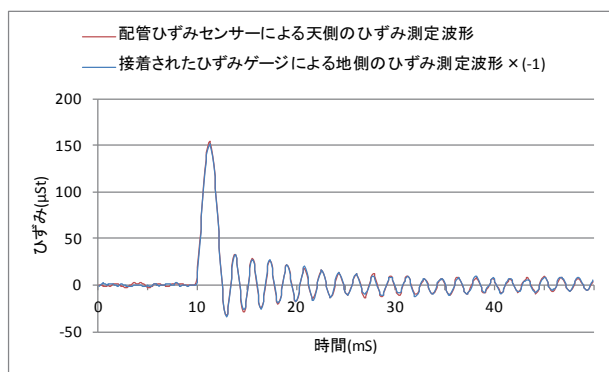


図 6-1 配管ひずみセンサーによる動ひずみ測定値(天側)と配管に接着されたひずみゲージによる動ひずみ測定値(地側)の比較(図 3 に示す打撃時の動ひずみ測定値)

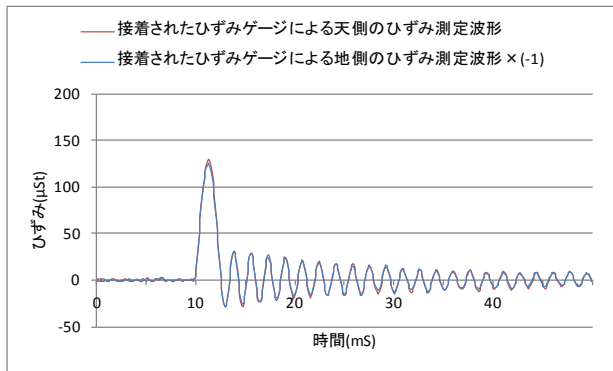


図 6-2 対照試験結果
配管に接着されたひずみゲージによる
動ひずみ測定値(天側と地側)の比較
(図 3 に示す打撃時の動ひずみ測定値)

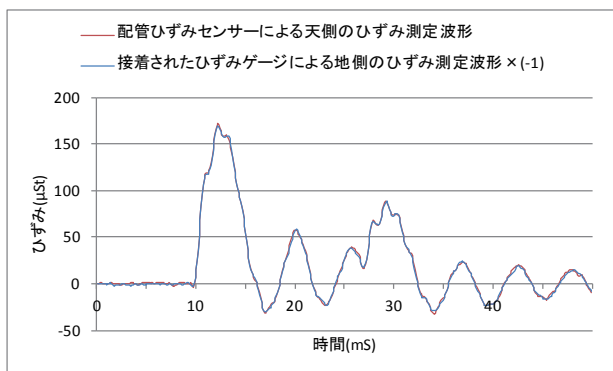


図 7-1 配管ひずみセンサーによる動ひずみ測定値(天側)と
配管に接着されたひずみゲージによる動ひずみ測定値(地側)
の比較(図 4 に示す打撃時の動ひずみ測定値)

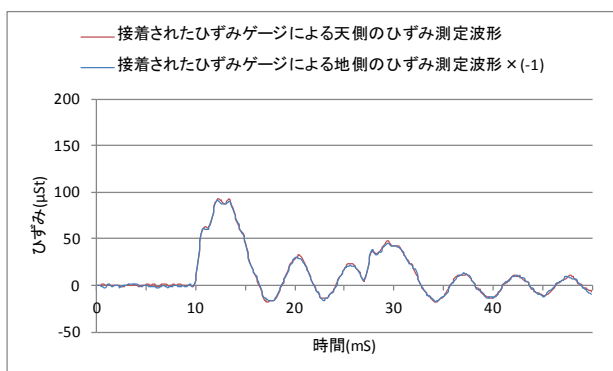


図 7-2 対照試験結果
配管に接着されたひずみゲージによる
動ひずみ測定値(天側と地側)の比較
(図 4 に示す打撃時の動ひずみ測定値)

5. 結言

筆者らは、配管の振動によるひずみを簡単に測定できる、小型軽量の配管ひずみセンサーを開発した。

従来のひずみ測定では、測定対象にひずみゲージを

接着する必要があるが、本センサーによるひずみ測定では、その必要が無い。そのため、本センサーを用いると、測定前の準備から測定後の撤収までの作業量を、大幅に軽減できる。

本センサーを試験した結果、伸縮方向のひずみは、動ひずみ静ひずみ共に、接着されたひずみゲージによる測定値と同等の結果を得られることが確認できた。

今後はせん断ひずみ(ねじりひずみ)の測定に適用できるか否かを試験で確認した後、機会があれば実機で試用し、振動中の配管に装着できるか、耐久性や現場での使用感に問題が無いかなどを検討していく。

参考文献

- [1] 例えば、関西電力株式会社 “美浜発電所 2 号機の化学体積制御系統の空気抜き配管溶接部からの漏えいに係る原因と対策について”、関西電力プレスリリース、2010、関西電力ホームページ、<http://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2010/0402-2j.html>
- [2] 田中守、猫本善統、松本一博 “配管振動診断システムの開発”、三菱重工技報、Vol. 33, No.4, 1996-7, pp.278-281.
- [3] 辻峰史、前川晃、高橋常夫 “非接触型変位計を用いた振動応力測定方法の開発(第 5 報) 一分岐配管を用いた振動実験による精度確認”、INSS JOURNAL, Vol.20, 2013, NT-6, pp.95-108.
- [4] 森圭史、“小口径配管の疲労寿命診断技術”、プラントエンジニア、Mar 2011、pp.16-24.