

簡易振動計を用いた小口径配管の振動応力評価手法

Method of Estimating Vibration-Induced Stress of Small-Bore Piping Using Portable Vibrometer

野田 満靖 ¹⁾	Michiyasu NODA	Non-Member
鈴木 道明 ²⁾	Michiaki SUZUKI	Non-Member
藤田 勝久 ¹⁾⁽³⁾	Katsuhisa FUJITA	Non-Member

¹⁾(株)原子力安全システム研究所 ²⁾カワサキプラントシステムズ(株) ³⁾前大阪府立大教授

This paper proposes the method of estimating vibration-induced stress for the complex small-bore piping with general piping. The method consists of the vibration measurements and the finite element method (FEM). The stresses are estimated using the FEM model optimized by the values of vibration measurements. Vibration test is performed to validate the method. As the results, the estimated stress using the second proposal method became to be from 0.5 to 2 times to the measured one. Since the vibration-induced stress is estimated easily and quickly using portable vibrometers, it can be said to use as primary screening although having a deviation.

Keywords: Small-Bore Piping, Vibration Stress, Portable Vibrometer, Finite Element Method

1. 緒言

小口径配管の振動に伴う疲労破壊による漏えい事象は、原子力発電所で生じるトラブルの一つである。この事象は発電所の計画外停止につながることもあり、原子力発電所の安全・安定運転の実現のために解決すべき課題の一つである。

このトラブルの原因としては、従来は設計・施工時における溶接不良や振動影響の検討不足と考えられるものが多かった。しかし、最近では保全作業や改修工事のあと、仮設配管使用時にも漏えい事象が生じている。この主な原因としては、各種の保全作業にともない配管系の振動特性が変化し、過大な振動応力が生じたためと推定される。原子力発電所の高経年化にともない、保全作業の増加も予想されるため、現場で簡単かつ迅速に振動測定を行い、振動応力を評価する手法が今後必要になると考えられる。

振動測定については、加速度計やひずみゲージを用いて供試体に直接貼付して測定するよりも、簡易振動計を用いて供試体に単に押し付けるだけで測定する方が、簡単かつ迅速に結果が得られる。小口径配管の振動応力評価手法として、簡単な形状については評価方法が提案されており[1]、良い結果を得ている。複雑形状の小口径配管に対しては、付根部の速度または変位を最大応力と関連付ける方法[2][3]もあるが、口径と材

料が同じ場合に許容応力が同じとなる弱点がある。また、詳細な加速度測定に基づく方法[4]もあるものの、詳細測定は簡単ではなく迅速性にも課題があると考えられる。

本研究では、簡易振動計を用いて任意形状の小口径配管の振動応力を迅速に評価する方法の開発を目的とする。具体的には、実際の振動測定で得た値と有限要素(FEM)プログラムをベースとして開発した、任意形状の小口径配管の振動応力を推定する方法の提案と、その方法の妥当性確認のために行った、モックアップ試験体を用いた加振試験の結果について報告するものである。

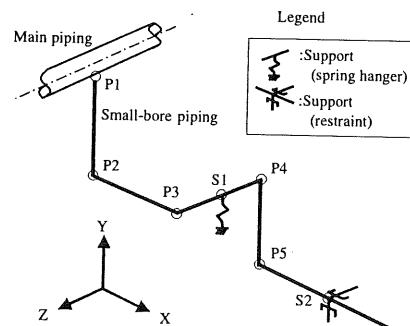
2. 任意形状小口径配管の振動応力評価手法

複数の曲がり、分岐、接続からなる図 1 に示すような任意形状の小口径配管の場合、形状だけでなく振動特性も複雑になるため、一般的に有限要素法(FEM)を用いて振動応力は評価される。本報告で提案する評価手法は、Excel をベースとし、FEM に基づく構造解析プログラムの一つである SAP を利用した評価手法である。その評価手法の具体的な手順を図 2 に示す。ここで、小口径配管の振動は、剛体的な動きによる母管自身の振動成分および小口径配管の振動モードによる応答する振動成分の組み合わせと考える。この組み合わせを合成比率と定義する。手順の詳細は、以下のとおりである。

手順 1 : 配管形状やサポート情報を含む FEM モデル

連絡先：野田満靖、〒919-1205 福井県三方郡
美浜町佐田 64、(株)原子力安全システム研究所、
電話: 0770-37-9110、E-mail:noda@inss.co.jp

- を作り、小口径配管付根部の振動応力に影響を与えると考えられるサポートを選定する。
- 手順 2 : FEM モデルの固有値解析結果と実際に測定した共振振動数が近づくように、手順 1 で選定したサポート剛性を最適化する。
- 手順 3 : 実際に測定した振動加速度と FEM 解析から得られる応答加速度の差が最小となるように、合成比率の値を求める。
- 手順 4 : 手順 3 で推定した振動成分の合成比率を用いて、FEM の静解析に適用して、振動応力を求める。



Points P1, P2, P3 etc.: Representative points
Points S1 and S2: Support points

Fig.1 The example model for explaining how to calculate the vibration-induced stress

3. 加振試験

3.1 試験体と試験方法

本報告で提案する振動応力の推定方法の妥当性確認のため、モックアップ試験体を用いて加振試験を行った。試験体の形状と各種センサーによる計測位置を図 3 に示す。試験体は、小口径配管(1 インチ)、サポート、おもりで構成され、試験体の付根部を加振機が接続する台に固定した。サポートを交換することで、サポート剛性の条件を変更した。おもりは、配管長を補うために用いた。

最初に、打撃試験を行ない、各条件における試験体の固有振動数を測定した。

次に、正弦波とランダム波を用いて X 方向に加振を行なった。各加振時には、試験体に取り付けた各種センサーによる計測以外に、各曲がり部の X、Y、Z 方向の加速度を簡易振動計で測定した。

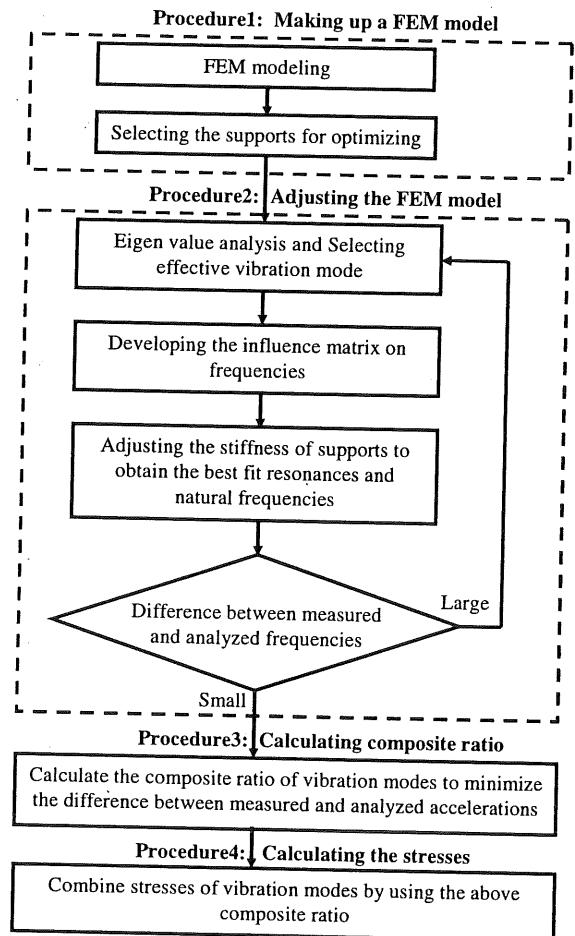


Fig.2 Procedure to calculate vibration induced stress in small-bore piping with general piping configuration

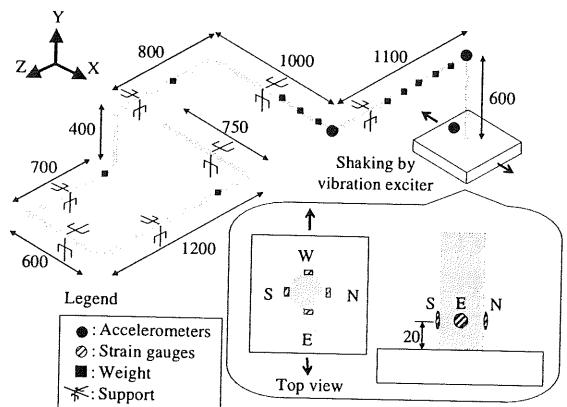


Fig.3 The mock-up pipe and measuring point

3.2 試験結果

図 2 に示すように、本提案手法は、2 つの最適化機能により構成される。1 つ目の最適化機能の内容は、上述の手順 2 で示す固有振動数を一致させる最適化である。また、2 つ目の最適化機能は、上述の手順 3 で

示す振動加速度値を一致させる最適化である。おののの最適化機能について、その具体的なやり方を以下に説明する。

まず、手順 1 に従い、図 3 に示す試験体の FEM 解析モデルを作成し、全てのサポートを対象として最適化する。それから、手順 2 に従い、打撃試験により実際に固有振動数を測定する。この値と FEM による固有値解析の結果を比較し、収束性を図りモデリングの精度を上げる。図 4 および図 5 はこの一例を示す。図の横軸は打撃試験から得た固有振動数、縦軸は FEM 解析から求めた最適化前後の固有振動数を示す。

図 4 は、図 3 に示すモックアップ配管を対象にして最適化を行った結果であるが、最適化の前後であまり変化が認められない。また、図 5 は、解析モデルの最適化機能の有効性の確認のために、剛性の初期値を柔らかい値とし、かつ剛性の変化率を小さくして最適化を行った結果である。この場合は最適化前後で、モデリングが修正され、非常に精度が向上していることが分かる。図 4 の変化のない原因は、FEM 解析モデルの最適化機能が有効に働いていないか、初期値として入力した剛性値が真値に近く十分に最適化されているかの 2 つの相反する事由が考えられる。このように初期値の設定や変化率の選定によって、最適化が有効に働く場合と働かない場合があることが理解でき、図 2 の手順 2 の条件設定が重要であることが分かった。

さらに、手順 3 に従い、実際に測定した振動加速度と FEM 解析の応答加速度の差が最小となるように合成比率を最適化し、手順 4 に従い振動応力を推定した。その結果を図 6 に示す。ここで、横軸はひずみゲージから求めた測定応力、縦軸は実際に加速度計と簡易振動計で測定した加速度を用いて求めた推定振動応力である。この図の破線は、測定応力に対する推定振動応力の比が $1/2$ 倍、1 倍、2 倍であることを示す。

図 6 から、振動応力が非常に小さい範囲では過大評価の傾向が見られるが、それ以外の範囲では $1/2$ 倍から 2 倍の範囲でばらつくことが分かる。簡易振動計および加速度計で測定した場合でも同様にばらつきを示すことが分かる。

このように本提案手法では、振動応力の推定値が $1/2$ 倍から 2 倍にばらつく結果となったものの、振動に関する専門知識のない作業員が、現場で簡単か

つ迅速に振動応力を推定できることが分かる。従って、健全性評価の観点から、推定値にばらつきがあるけれども、一次スクリーニング法として十分に適用できる方法であると言える。

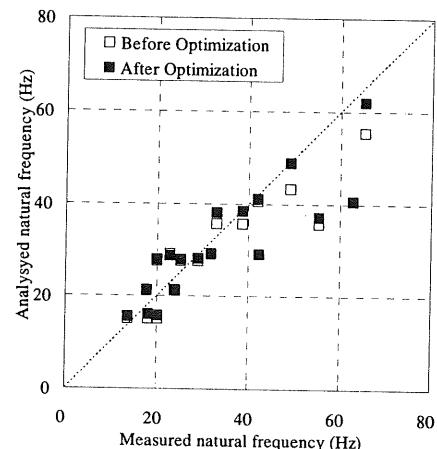


Fig.4 Measured natural frequency vs. measured one

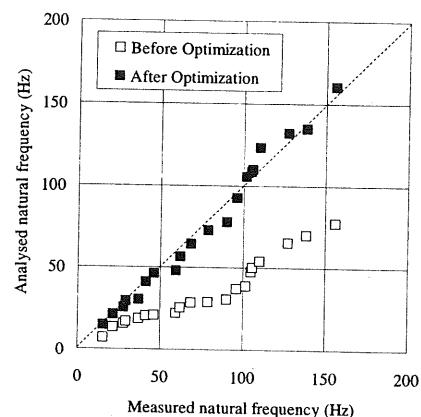


Fig.5 Measured natural frequency vs. measured one

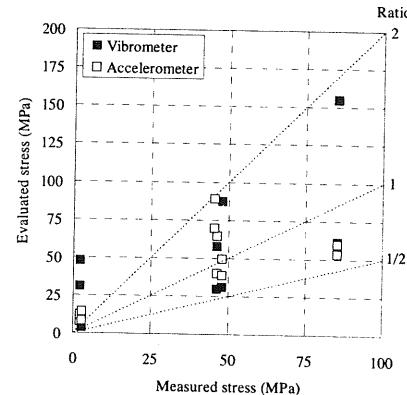


Fig.6 Measured stress vs. Evaluated one

4. 結言

本研究により、以下のことがわかった。

- (1)複雑形状の小口径配管については、FEM モデリングを提案し、実際に測定した固有振動数と応答加速度を用いて最適化し、振動応力を推定する方法を提案した。
- (2)複雑形状の小口径配管に対する FEM モデリングの方法では、推定応力にばらつきがあることが分かったが、専門知識のない作業員が現場で簡単かつ迅速に振動応力を推定する、一次スクリーニング法として十分に適用できると言える。

謝辞

本研究を行なうにあたり、カワサキプラントシステムズ(株)の佐々木亨氏、高橋常夫氏には多大なるご助言・ご協力を賜りました。ここに心から感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 平松美樹、佐々木亨, “小口径配管の振動応力評価に関する研究”, INSS Journal, Vol.8, pp.92-99.
- [2] Moussou, P., “An Excitation Spectrum Criterion for the Vibration-Induced Fatigue of Small-bore Pipes,” IMECE2002-32847, Proceedings of ASME-IMECE ,2002.
- [3] Wachel, J.C., “Displacement Method for Determining Acceptable Piping Vibration Amplitudes,” ASME-PVP, Vol. 313-2, pp. 197–208, 1995.
- [4] 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, pp.278-281, 1996.