高速実用炉 1 次系ナトリウム配管用粒状体充填型二重管の 制振効果に関する研究*

新榮 邦彦^{*1}, 奈良林 直^{*2}, 辻 雅司^{*3}

Study on Vibration Deadening of Double Pipe-Filled Bead for Primary Piping System in Fast Breeder Reactor

Kunihiko ARAE^{*1}, Tadashi NARABAYASHI and Masashi TSUJI

^{*1} Hokkaido Univ. Dept. of Energy and Environment System
Kita-13 nishi-8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, Japan

There are a lot of earthquakes in Japan. For this reason, it is very important to evaluate the soundness of piping of a nuclear power plant for adequate safety of seismic design. Additionally, piping in nuclear power plant confronts the effect of aging. The object of this study is to clarify relations between damping characteristics of piping and several conditions of pipe. In this study, thickness of pipe test, support type test, damaged pipe test and double pipe-filled glass bead test were conducted with impact system. The results obtained through the study are as follows; (1) Pipe thickness and support type contribute to the damping characteristics of pipe. (2) Damaged pipe don't affect the damping, but the frequency of pipe decrease as damage grew. (3) Double co-axial pipe has high damping ratio. Especially, the damping ratio when glass bead are filled between the inner pipe and outer pipe is about 10%.

Key Words : Damping Ratio, Damping Characteristics, Double Pipe, Damaged Pipe, Seismic Design

1. 緒 言

2011 年 3 月, 太平洋三陸沖を震源とした東北地方太平洋地震が発生し, 地震および津波が福島第一原子力発電所に甚大な影響を及ぼした。それに伴い, 原子力発電所の耐震尤度評価を含めた地震動, 津波評価に対する再考が求められている。今回の地震を含め, 1995 年兵庫県南部地震や 2007 年新潟県中越沖地震といったように日本は地震大国であるため地震による応答に対する対策は他国にも増して必要不可欠である。

配管の減衰はその材料内部の特性, 粘性抵抗, 摩擦などの多くの要素が複雑に組み合わさって生じているため, 減衰の大きさを表す減衰定数は, 実験, 実測データによって定められているのが現状である⁽¹⁾⁽²⁾。原子力発電所の配管系の形状は多岐に渡っており, その振動特性もさまざまであるためより多くの実験データが必要であり, その大きさ, 傾向および定量的な評価手法が求められている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

本研究では, 肉厚の異なる配管, U 字ボルトやステンレスブロックによる両端固定の固定方法, 高速炉で使用されているような二重配管の内管と外管の間にガラスビーズを充填させた配管といった原子力発電所配管系で想定される条件下における配管系の振幅, 固有振動数, 減衰定数といった耐震設計条件および振動特性に着目し, 耐震尤度のひとつのパラメータである減衰定数評価を目的とした配管打撃試験を行った。

2. 試験方法

振動試験装置の外観および形状を図 1 に示す。打撃装置は強固なコンクリート基礎に固定された鋼材上に固定されており, 衝撃力を可変できるばねを用いて先端にゴムが取り付けられているステンレ

* 原稿受付 2011 年 8 月 29 日

^{*1} 学生員, 北海道大学院工学院エネルギー環境システム部門 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

^{*2} 正員, 北海道大学院工学院エネルギー環境システム部門

^{*3} 北海道大学院工学院エネルギー環境システム部門

E-mail: ak-fly@eng.hokudai.ac.jp

ス製打撃棒を高速で発射し、配管を水平方向に打撃する仕組みとなっている。全試験で固定間距離は 2000mm とし、打撃方法はこの打撃装置を用いて 30~870N の 10 段階で配管の軸中心を打撃した。振動測定は非接触型レーザー変位計を用いて配管軸中央打撃点と周方向に相対する測定点で配管の水平方向変位を計測した。レーザー変位計のサンプリング時間は 0.0001s(10kHz)、サンプリング数は 65536 点とした。

Fig.1 Experimental facility

本研究では、高速フーリエ変換により振幅スペクトルを算出し、この振幅スペクトルにおける最大スペクトル(ピークスペクトル)時の振動数を配管の 1 次固有振動数とした。なお、本研究では 1 次振動の振動特性を評価している。1 次固有振動数を中心に帯域幅 20Hz でバンドパスフィルタをかけ、逆フーリエ変換することによって 1 次減衰振動を抽出・再現した。最後にこの得られた 1 次減衰振動から最小二乗法によるフィッティングで最大振幅、減衰定数を算出した。

2・1 配管肉厚の違いによる振動特性評価試験

材料は配管用ステンレス鋼材 SUS304 で、外径が等しく肉厚が異なる健全配管(長さ 2.5m) 2BSch20S(外径: 60.5mm, 肉厚: 3.5mm), 2BSch80(外径: 60.5mm, 肉厚: 5.5mm)を用いてステンレスブロック(材料 SUS304, 長さ 150mm, 幅 130mm 高さ 104mm)固定下で振動試験を行い、肉厚の違いによる振動特性を評価した。

2・2 配管固定方法の違いによる振動特性評価試験

ステンレス鋼配管 2BSch80 を使用し、図 2 に示すようなステンレスブロック、または U 字ボルトで配管を固定し、それぞれの固定条件下での振動特性の違いを評価した。

Fig.2 Support (U-bolt, Stainless block)

2・3 二重配管における振動特性評価試験

図 3 に示すように二重配管は外管(材料 SUS304, 長さ 1.97m, 外径 85.4mm, 肉厚 3.2mm), 内管(ステンレス鋼配管 2BSch80)で構成されており、外管は内管に固定具によって固定されている。振動緩衝材としてガラスビーズ(材料 ソーダガラス直径約 1~2mm)を外管と内管の間に充填させた。振動の評価対象は内管であり、外管に内管を打撃および測定できるよう窓が設けられている。試験はガラスビーズを充填していない場合と充填させた場合の条件下で振動評価を行った。なお、固定方法はステンレスブロック固定とした。

Fig.3 Double co-axial pipe structure

3. 試験結果

図 4 から図 6 は試験 2.1～2.3 の 1 次減衰振動の減衰定数および固有振動数の最大振幅に対する推移をそれぞれ示したものである。一般に、配管の減衰振動は加振によって最初に与えられる歪エネルギーがさまざまな形でエネルギー散逸することによって起こると考えられ、減衰効果としては固定具と配管間の摩擦、材料特性による減衰、大気との粘性抵抗、地下逸散減衰効果などが考えられる。

試験 2.1 では、肉厚が厚い配管が薄い配管に比べ減衰定数が高い結果が得られ、要因として配管重量による固定位置での垂直力の増加による摩擦力が大きく材料の粘性が大きいことが考えられる。

次に試験 2.2 の結果から固定方法がステンレスブロックであるときに比べ U 字ボルトによる固定時の減衰定数が高く、U 字ボルト固定では、配管の振幅が増大するのに伴って減衰定数が大きく増加し、その増加傾向も最大振幅に対して比例的であることが確認された。固定方法による減衰定数の差は、摩擦によるエネルギー散逸の差が主因であると考えられる。

試験 2.3 では、健全配管、二重配管（ガラスビーズ無充填）、二重配管（ガラスビーズ充填）の順に減衰定数が増加することが確認され、二重配管構造および緩衝材としてのガラスビーズが内管振動の減衰に大きく影響を与えている結果を示した。単管およびガラスビーズを充填した二重配管の振動波形を図 7 に示す。

Fig.4 Relation between damping ratio and pipe thickness

Fig.5 Relation between damping ratio and support

Fig.6 Damping ratio of double co-axial pipe

Fig.7 Waveform

4. 結 言

本研究では、耐震余裕最適化のための配管減衰特性評価目的とした一連の配管打振試験を行った。試験結果に基づいて結論づけられることは以下のとおりである。

- (1) 肉厚の異なる配管を用いて振動試験を実施し、肉厚が大きい配管ほど減衰効果が大きい結果が得られた。また、振幅に比例して減衰定数が増加することが確認された。
- (2) ステンレスブロック固定および U 字ボルト固定の 2 つの固定方法における振動特性試験を実施し、U 字ボルト固定はステンレスブロック固定と比較して減衰定数が大きい値を取ることが確認され、U 字ボルト固定においては、振幅が大きくなるに伴い減衰定数の増加率が顕著であることが明らかとなった。この現象は U 字ボルトと配管間での摩擦が主因であると推察される。
- (3) 二重配管構造および充填物としてガラスビーズを用いて試験を実施し、二重配管の減衰定数は単管時の値に比べて何も充填していない場合は約 4 倍、ガラスビーズを充填させた場合は約 10 倍に増加した。ガラスビーズのような粒状物を外管と内管の間に充填することで、その耐震性は著しく上昇することが明らかとなった。

謝 辞

北海道大学本田准教授、堀江技術員から試験指導とデータ処理の支援をいただいたことに謝意を表する。

文 献

- (1) 渡辺鉄也, 三森友彦, 鈴木浩平, 清水信行, 小川信行, 箕輪親宏 “摩擦サポートを有するプラント配管系の振動試験”, 日本機械学会論文集C編, Vol. 58, No. 552 (1991), pp17-23
- (2) 二川正敏, 菊池賢司, “二重配管構造の固有振動特性”, 日本原子力学会誌, Vol. 27, No. 6 (1985), pp65-74,
- (3) Shibata, H., Ikeda, T., Shiraki, K., Niino, T., and Gunyasu, K., . “Investigation on the design damping values for seismic analysis of nuclear power plant piping systems”, 5thSMiRTConf., Berlin, WestGermany, K11/3 (1979)
- (4) Shibata, H., Makiguchi, M., Ito, A., Tanaka, K., Niino, T., Gotoh, N., “Test and Evaluation About Damping Characteristics of Hanger Supports for Nuclear Power Plant Piping Systems(Seismic Damping Ratio Evaluation Program) ”, 6th SMiRT Conf., Paris, France, K6/4(1981).
- (5) Shibata, H., Makiguchi, M., Ito, A., Hayashi, T., Chiba, T., Kobayashi, H., Kitamura, K., Ando, K., Koyanagi, R., “An Experiental Study of Damping Characteristics with Emphasis on Insulation for Nuclear Power Plant Piping System(Seismic Damping Ratio Evaluation Program) ”, ibid, K6/5(1982).