

原子力発電所における 機器・配管系への制震装置の適用について

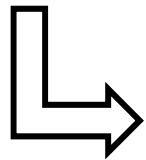
中国電力株式会社

蔵増 真志

1. 概要
2. 粘性ダンパの構造および特徴
3. 配管系における粘性ダンパの効果の確認
4. 粘性ダンパを用いる場合の耐震設計法の妥当性確認
5. 実機配管系に粘性ダンパを設置した場合の効果
6. 機器・配管系への制震装置適用による耐震安全性の向上
7. まとめ

【検討の背景】

- 近年，建築構造分野では，従来の耐震構造に加えて，構造物に応じて免震構造や制振構造を採用することにより，地震に対する構造物の安全性を向上させている。
- 海外の原子力発電所を含む発電プラントでは，制振装置の一種である粘性ダンパを適用した機器・配管系の設計が行われている。

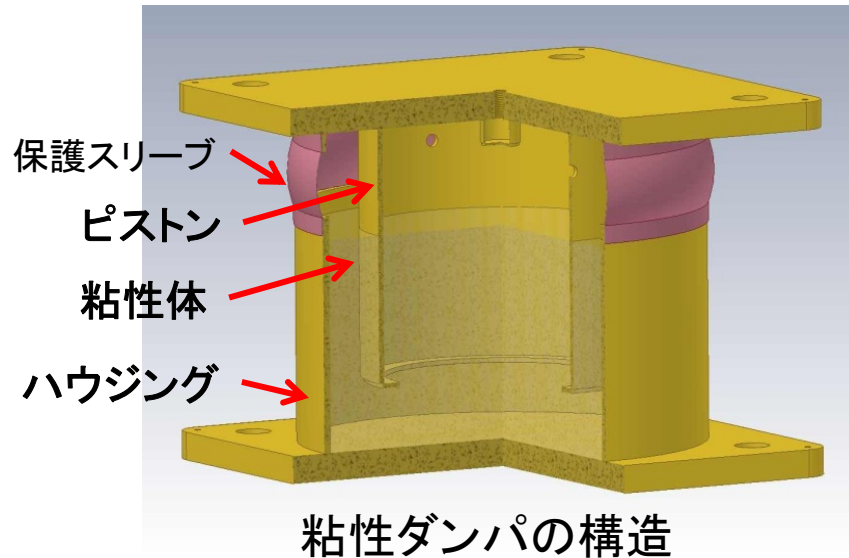


国内原子力発電所の機器・配管系における粘性ダンパの採用に向けて，以下の取り組みを実施。

- ①配管系に粘性ダンパを設置した場合の効果を確認するため，粘性ダンパを設置した配管系の振動試験を実施
- ②粘性ダンパ単体の性能，特性を把握するため，性能試験，特性試験を実施
- ③粘性ダンパの性能，特性を考慮した耐震設計法の検討
- ④粘性ダンパを実機配管系に設置することによる耐震性の向上について解析により確認

2. 粘性ダンパの構造および特徴

■ 粘性ダンパの構造



- 高粘度の粘性体にピストンが挿入されており、荷重は粘性体を介して伝達される。
- 減衰力は、粘性体とピストン間に相対運動が生じることで、相対運動の逆向きに発生する抵抗力として作用する。

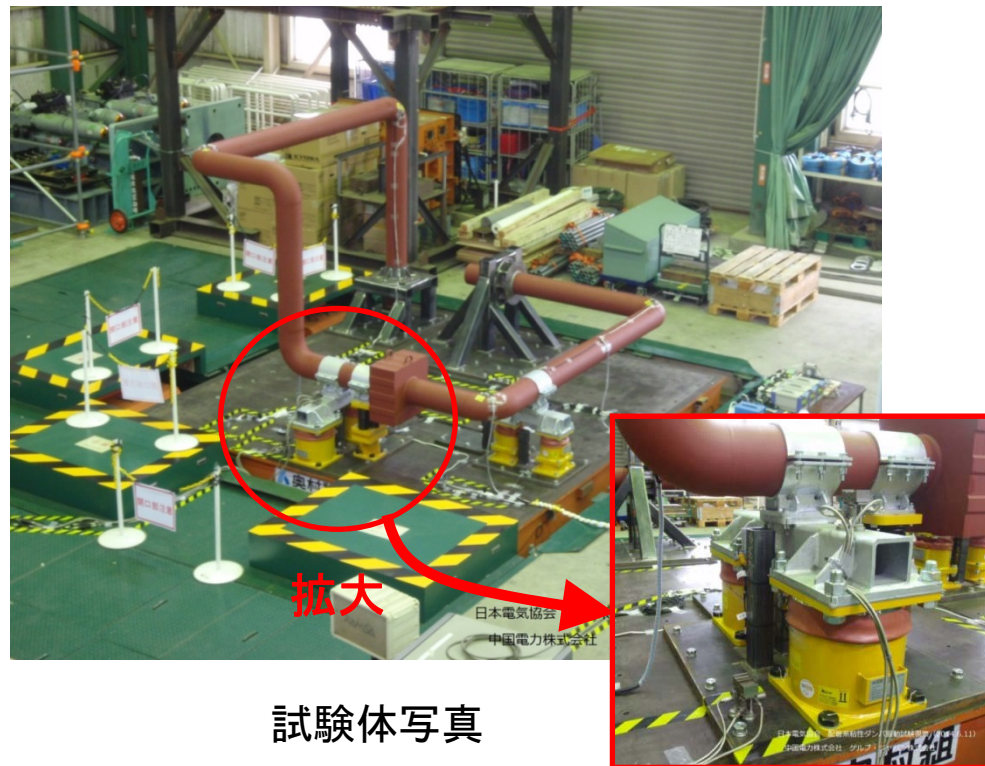
■ 粘性ダンパの特徴

- 並進3方向に減衰機能を発揮する。
- 機械的な摩擦、摺動部がない。
- 微小変位に対しても時間遅れなしで減衰力を発揮する。
- 自重等の静的荷重は支持しない。また、熱変位のような低速度の運動を拘束しない。

3. 配管系における粘性ダンパの効果の確認(1/3)

配管系に粘性ダンパを設置した場合の効果を確認するため、「配管系粘性ダンパ性能確認試験」を実施した。

- 試験内容:
粘性ダンパを設置した配管系を試験体として振動試験を行い、粘性ダンパを設置した場合の振動性状を確認する。
- 実施場所: 奥村組技術研究所(茨城県つくば市)
- 試験期間: 平成26年6月9日～6月13日



試験体写真

振動台寸法	4m × 4m
配管径	200A
粘性ダンパ台数	4台
計測項目	加速度 変位
加振波	正弦波掃引 地震波

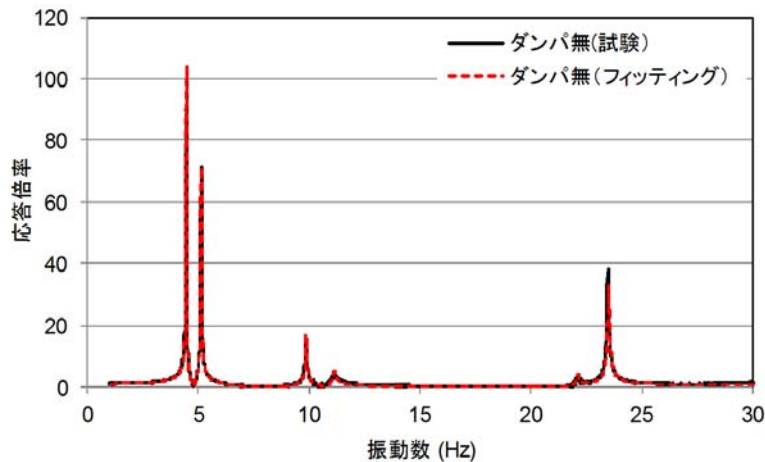
3. 配管系における粘性ダンパの効果の確認(2/3)

■ 正弦波掃引試験結果

粘性ダンパ無

No.	固有振動数 (Hz)	モード減衰比 (%)
1	4.5	0.22
2	5.1	0.26
3	9.9	0.26
4	11.1	0.55
5	22.1	0.30
6	23.5	0.15

固有振動数とモード減衰比(粘性ダンパ無)

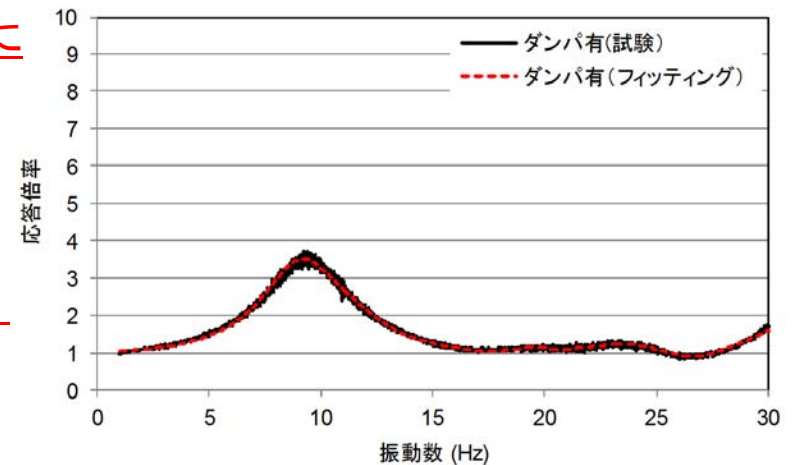


応答倍率(粘性ダンパ無)

粘性ダンパ有

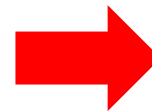
No.	固有振動数 (Hz)	モード減衰比 (%)
1	9	20
2	13	20
3	17	20
4	19	20
5	23	20
6	25	20

固有振動数とモード減衰比(粘性ダンパ有)



応答倍率(粘性ダンパ有)

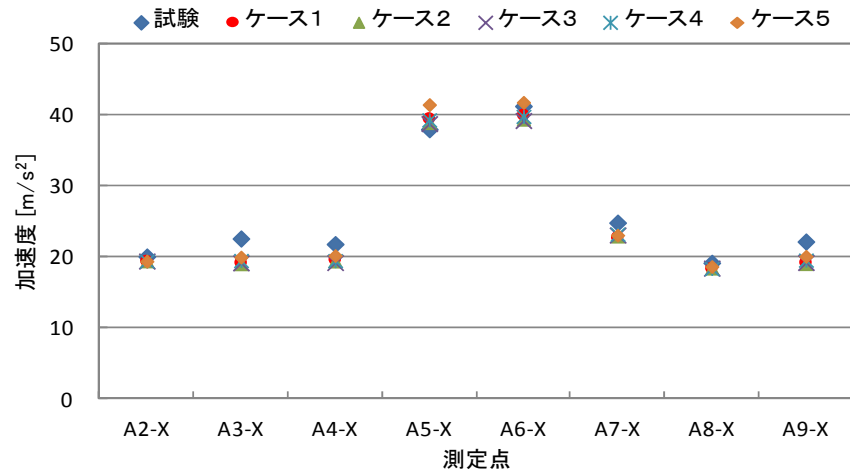
減衰比が非常に大きくなる



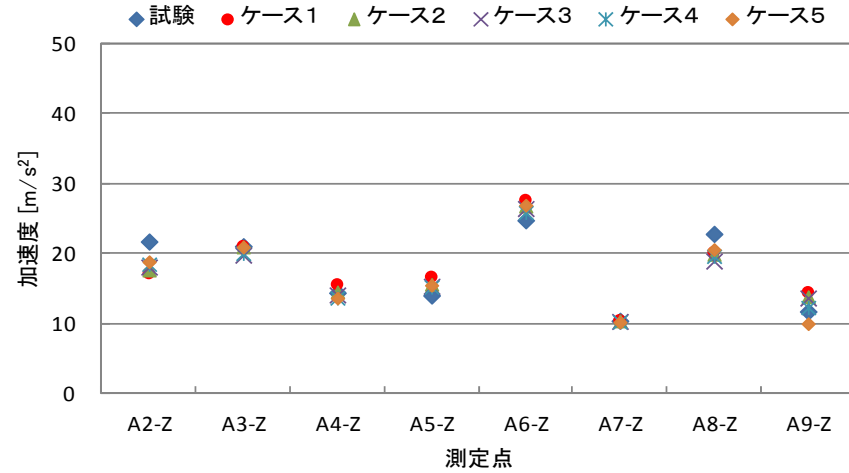
応答が25分の1に低減

4. 粘性ダンパを用いる場合の耐震設計法の妥当性確認

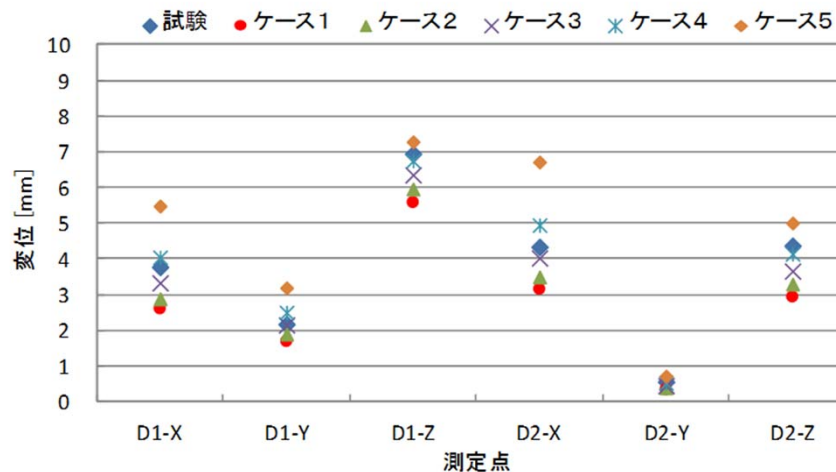
粘性ダンパの性能，特性を考慮した耐震設計法を適用して，振動試験条件での応答解析を行った。解析結果は，試験結果に対してよく一致している。



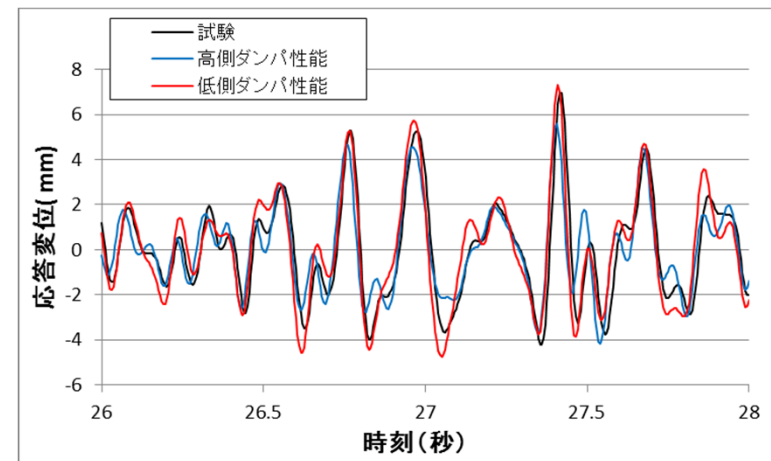
応答加速度(水平方向)



応答加速度(鉛直方向)



応答変位



応答変位時刻歴の例(D1Zの最大値付近)

5. 実機配管系に粘性ダンパを設置した場合の効果

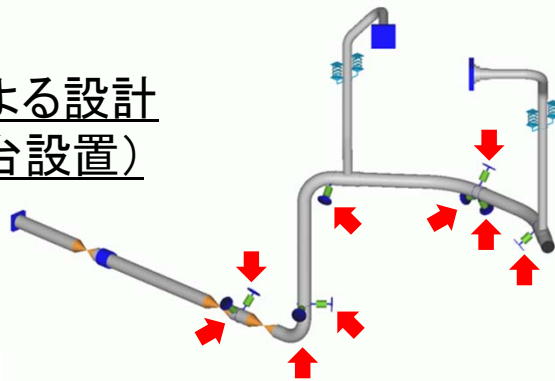
島根2号機給水系配管を対象として、粘性ダンパを用いた設計とスナツバによる耐震構造の設計を比較した。

粘性ダンパを用いた設計の特徴として、以下が確認された。

- 耐震構造の設計と同等以上の耐震性を確保できる。
- 減衰比が非常に高い。
- 耐震構造の場合と異なり固有振動数が低い。

耐震構造による設計
(スナツバ9台設置)

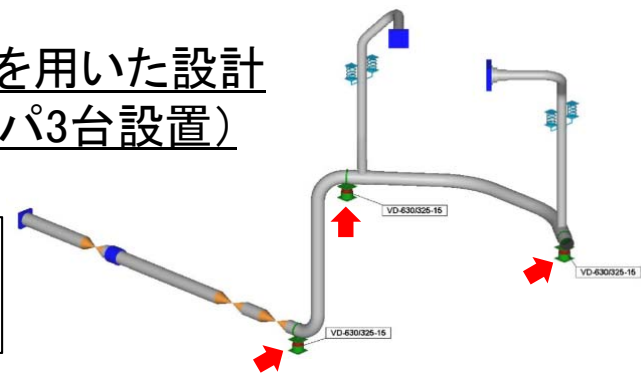
配管応力
裕度1.85



モード	固有振動数(Hz)	モード減衰比(%)
1	10.3	2.5
2	11.0	2.5
3	15.1	2.5
4	15.8	2.5
5	16.9	2.5

粘性ダンパを用いた設計
(粘性ダンパ3台設置)

配管応力
裕度2.04



モード	固有振動数(Hz)	モード減衰比(%)
1	3.2	58.2
2	4.2	45.5
3	5.1	30.6
4	6.3	35.2
5	6.3	8.7

6. 機器・配管系への制震装置適用による耐震安全性の向上

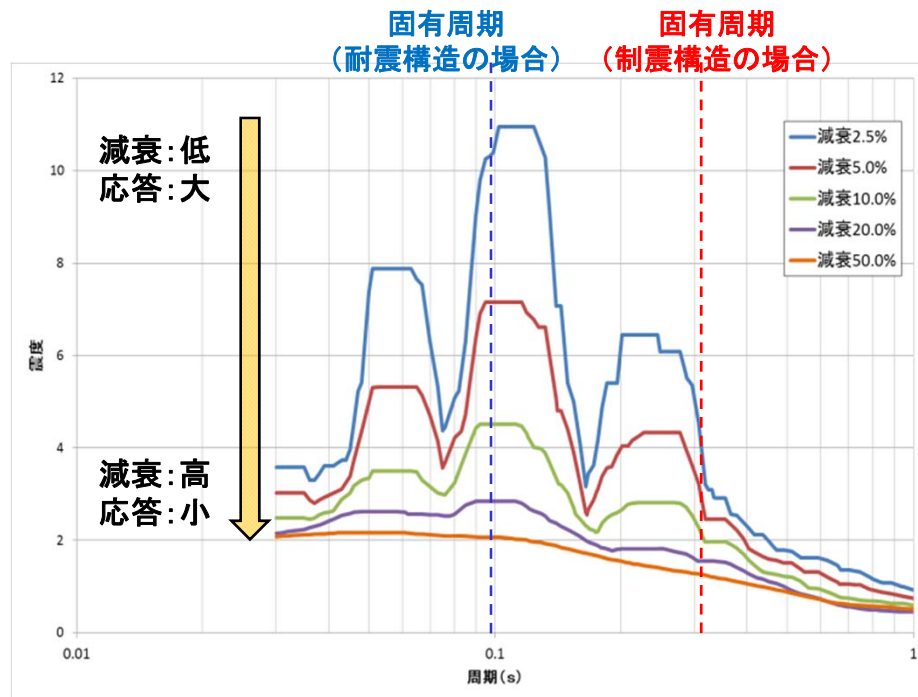
機器・配管系への制震装置適用は、以下に示すとおり、プラントの耐震安全性の向上に寄与するものである。

- 地震応答の低減

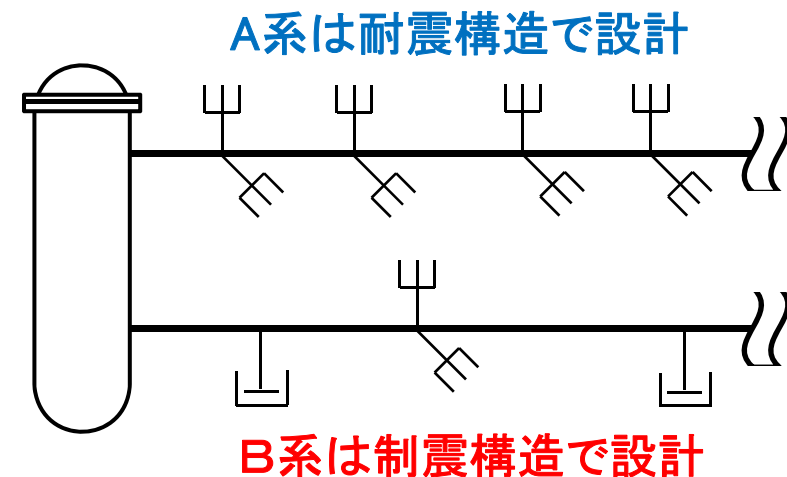
地震力が大きく、耐震構造による設計が困難となる場合においても、地震応答を低減することで有効な耐震補強を可能とする。

- 設計の多様性確保

制震装置を用いた設計は、耐震構造による設計とはメカニズムが異なるため、耐震設計の多様性を確保できる。



評価用床応答スペクトルの例



耐震設計の多様性を確保することで、
A系、B系の同時機能喪失リスクを低減

耐震設計の多様性確保のイメージ

7. まとめ

- 配管系粘性ダンパ性能確認試験を行い、粘性ダンパを設置することにより配管系に高い減衰が付加され、配管の地震応答が大幅に低減されることを確認した。
- 粘性ダンパの性能、特性を考慮した耐震設計法を確立した。
- 実機配管系に粘性ダンパ設置した場合の解析結果から、粘性ダンパを用いた設計により、耐震構造による設計と同等以上の耐震性を確保できることを確認した。
- 機器・配管系の設計における制震構造の採用により、地震力が大きい場合でも応答を低減させ有効な耐震補強を可能となる。また、耐震設計の多様性を確保することができる。

- (1) 三方向粘性ダンパを適用した機器・配管系の地震応答解析法に関する確性試験報告書
(平成28年3月, 一般財団法人発電設備技術検査協会)
- (2) V.Kostarev, I.Tamura, M.Kuramasu, F.Barutzki, P.Vasilev, Y.Enomoto, Y.Namita, S.Okita, Y.Sato,
SHAKING TABLE TEST OF A PIPING SYSTEM WITH VISCOELASTIC DAMPERS
SUBJECTED TO SEVERE EARTHQUAKE MOTIONS, ASME 2016 Pressure Vessels and Piping
Conference, PVP2016-64004
- (3) I.Tamura, M.Kuramasu, F.Barutzki, D.Fischer, V.Kostarev, A.Berkovskiy, P.Vasilev, T.Inoue,
S.Fujita, Y.Namita, DYNAMIC ANALYSIS OF NPP PIPING SYSTEMS AND COMPONENTS
WITH VISCOELASTIC DAMPERS SUBJECTED TO SEVERE EARTHQUAKE MOTIONS,
ASME 2016 Pressure Vessels and Piping Conference, PVP2016-64029