

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 21 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360095

研究課題名(和文)大型自立円筒構造物群の地震時衝突および転倒に対する安全化技術の最適化研究

研究課題名(英文) Study on Safety Technology for Impact and Overturning of Large Scale Self-standing Cylindrical Structures at the Seismic Events

研究代表者

伊藤 智博 (ITO, TOMOHIRO)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60347507

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,000,000円、(間接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大型の自立した2重円筒構造物群の地震時の衝突および転倒を確実に抑制することを目標として、簡便かつ実用的な制振化手法(高粘性流体利用およびジャイロスコープの設置)について、それらの効果を実験・解析両面から検証するとともに新たな免震構造についてもその効果を検証し、最適化を行い耐震安全化技術を構築することを目的として実施した。その結果、提案した2重円筒構造アニュラス部に高粘性流体を満たした制振装置は十分なすべり変位制振効果を有すること、および最適化が重要であることが判明した。また、ジャイロスコープによるロッキング制振効果は十分であることを、実験・解析両面から明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to suppress excessive sliding motion and overturning of the large scale self-standing cylindrical structures at the seismic events, we proposed simple and realistic damping devices utilizing coaxial circular cylinders with high viscous liquid and gyro system. Simplified test model was fabricated and shaking table tests were conducted. Effects of these damping devices on suppressing sliding and rocking motions were investigated experimentally and analytically.

As a result, it was found that the proposed sliding suppression device is very effective, but some optimization is necessary in order to reducing response acceleration. Furthermore, the experimental and analytical studies clarified that proposed rocking suppression device is very effective in reducing rocking motion.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：大型自立円筒構造 地震応答 すべり変位 ロッキング 2重円筒構造 高粘性流体 ジャイロスコープ 制振

1. 研究開始当初の背景

(1) 我が国では、原子力発電所から排出される使用済み核燃料を一時的に保管するための中間貯蔵プラントの建設が予定されている。使用済み核燃料は直置き自立した大型2重円筒構造物内に収納され、この円筒構造物が多数林立したものとなっている。一方、近年、新潟県中越沖地震など大規模な地震が頻発しており、これら使用済み核燃料貯蔵容器の耐震安全性の確保が非常に重要となっている。使用済み核燃料貯蔵容器は大型かつ自立型であるため、大規模地震時にはすべりやロッキングと言った強非線形応答を示し、容器相互の衝突や転倒などの問題が懸念されている。しかしながら、このような大型の構造物に適用可能な制振手法はほとんど検討されていないのが現状である。

(2) 研究代表者らは、これまでに、大型2重円筒構造物に適用可能な、強い非線形運動の抑制手法の提案を行った。すべり運動については、2重円筒構造のすきま部に液体を封入しその流体連成効果により制振する手法を提案している。また、ロッキング運動については、円筒上部にジャイロスコープを設置することにより、ロッキング運動が抑制可能であるとの基礎的な知見を得ている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、地震動を受ける大型自立2重円筒構造物群のすべりおよびロッキング現象による衝突や転倒について、それらを防止する技術の創出を目的としている。

(2) すでに解析的基礎検討により有効性を把握済みの簡便かつ実用的な制振手法(流体封入およびジャイロスコープの設置)について、それらの効果を実験的に検証するとともに新たな免震構造についてもその効果を検証し、耐震安全化技術を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 簡便な2重円筒構造体を製作し、小型振動台による水平加振を行う。すべり運動については、液体を封入しない場合と液体を封入した場合の、正弦波、地震波に対する応答を把握し、流体連成効果によるすべり運動の制振効果を検証する。ロッキング運動については、小型ジャイロスコープを製作し、円筒上部に設置した場合と設置しない場合について振動台加振を行い、制振効果を検証する。

(2) これらの非線形現象が精度よくシミュレーション可能な解析技術の整備を行ない、解析によりこれらの制振構造の最適化を行う。これらの結果を総合し、大型自立円筒構造物群の大規模地震時の衝突・転倒防止を確実に防止する耐震安全化技術の構築を行う。

4. 研究成果

(1) 2重円筒隙間部の流体連成効果によるすべり変位抑制効果の検討：

図1に示すような2重円筒構造モデルを作成し、振動台で水平加振を行い、隙間部流体

の流体連成効果によるすべり変位抑制効果を検証した。その結果、図2に示すように、流体の効果によって、容器のすべり変位を大幅に低減可能であることが確認できた。

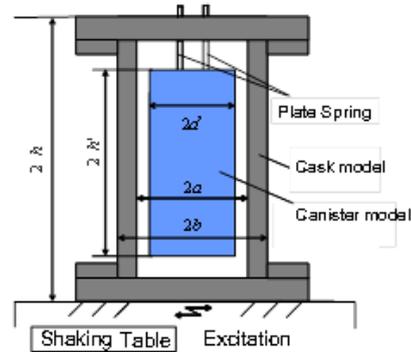


図1 2重円筒流体連成効果によるすべり変位制振試験モデル

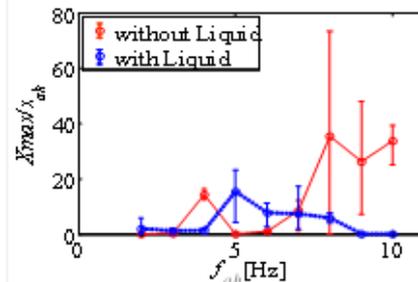


図2 試験によるすべり変位制振効果

(2) 2重円筒と高粘性流体によるすべり変位制振装置の効果の検討：

2重円筒アニュラス部に高粘性流体を満たした制振装置を製作し、すべり変位制振効果を検討した。まず、図3に示す簡易な制振装置を用いて、流体の付加減衰、付加質量を実測し、それらに対する流体粘性と隙間の大きさの影響を把握した。その結果、図4に一例を示すように、隙間が小さくなるとともに急減に付加減衰が増大することを確認した。

また、この制振装置を4個搭載した図5に示すようなすべり免震装置を作成し振動台に搭載して免震実験を実施し、すべり変位抑制効果と応答加速度の傾向を把握した。その結果、図6に一例を示すように、流体の粘度を増すとともにすべり変位は十分抑制されることが確認できた。一方、応答加速度は増加傾向を示し加振加速度に漸近する傾向があることが確認できた。すなわち、変位の制振と加速度の低減とは相反する傾向を示すため、最適化が重要であることを確認した。

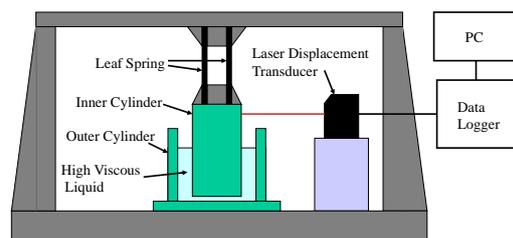


図3 2重円筒と高粘性流体による制振装置

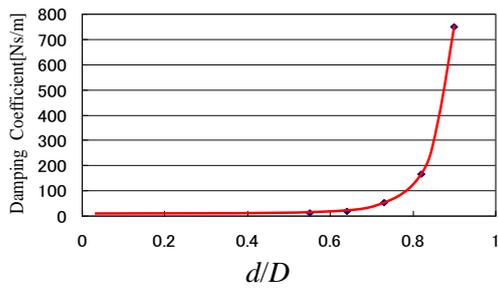


図4 付加減衰係数と隙間比の関係

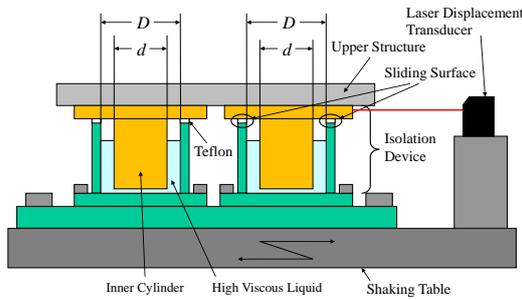


図5 制振装置を搭載した免震実験装置

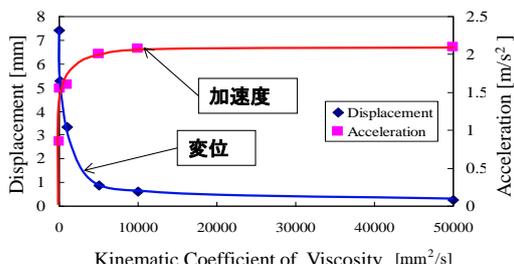


図6 すべり変位抑制効果と粘性係数

(3) すべり変位に対する内筒の偏心の影響：
 上述の検討で、提案したすべり変位制振装置は十分な効果を有することが判明した。しかしながら、内筒の偏心によって、付加減衰や付加質量が変化することが分かっている。そこで、図3に示す装置を改良した図7に示す装置を用いて、内筒の偏心率をパラメータとし、付加減衰、付加質量に対する偏心効果を検討した。その結果、図8に示すように、偏心率が增大するとともに、付加減衰が増加することが判明した。また、流体粘度が大きいほど増加傾向が大きいことが判明した。また、図8で得られた偏心率と付加減衰係数の

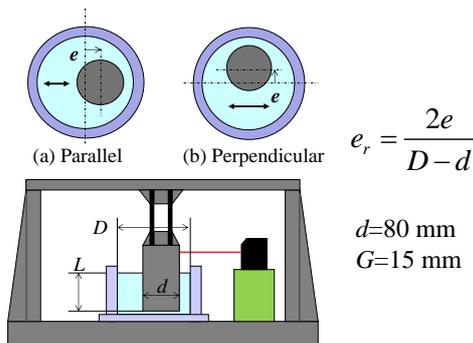


図7 偏心効果の影響検討実験装置

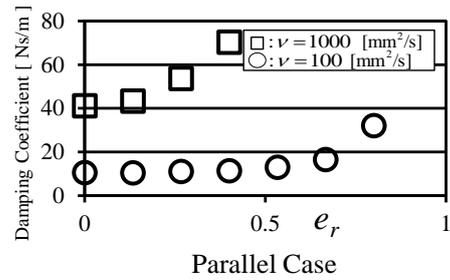


図8 付加減衰における偏心の影響

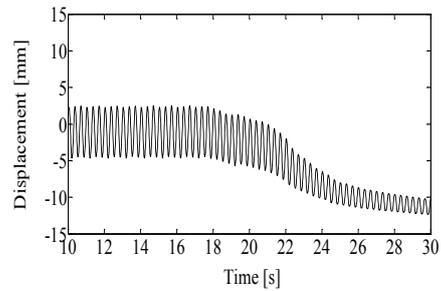


図9 偏心効果を考慮したすべり変位

関係を関数近似し、この偏心効果を考慮してすべり免震解析を実施した結果、図9に示すように、内筒が外筒壁面に近づくにつれて付加減衰係数の増大によりすべり変位振幅は減少することを確認した。この傾向は実験結果とも非常によく一致することを確認した。

(4) ジャイロによるロッキング制振効果：

図10に示すジャイロ機構によるロッキング制振装置を製作し、実験・解析両面からロッキング制振効果を確認した。その結果、図11に示すように、提案した制振装置は十分な効果を有することを確認した。

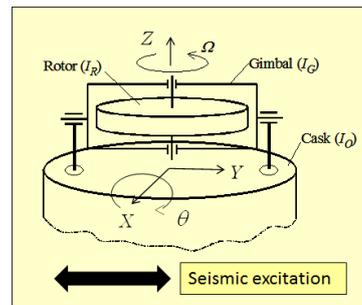


図10 ジャイロ機構による制振システム

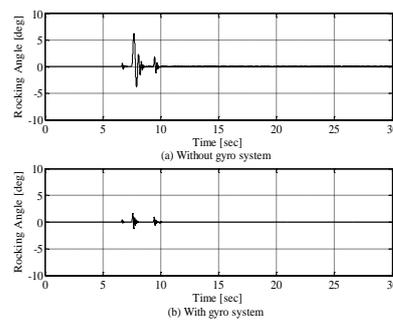


図11 ロッキング制振効果

(5) 結論と今後の展望

本研究では、大型の自立構造物が大規模地震を受けた時に生じるすべりとロッキングについて、その制振システムの有効性を解析と実験両面から評価し、最適化を行うとともに安全化技術を構築した。すべり変位の制振手法としては、2重円筒構造のアニュラス部に液体を封入することによる手法と、2重円筒構造と高粘性流体を用いた制振装置による手法の2つについて検討した。その結果、前者による手法は有効であることを実験・解析両面から確認した。また、後者についても非常に変位の制振効果が大きいことを実験・解析両面から確認した。また、偏心依存性が大きいことも判明した。しかし、流体粘性を増加させた場合、変位の制振効果は増大するが、応答加速度は逆に増加する傾向にあることが判明した。従って、ロッキングの抑制や内部構造物の健全性確保の観点からは応答加速度の低減にも着目した最適化が非常に重要であることが判明した。ロッキングについては、提案したジャイロを用いた制振手法は有効であることを実験・解析両面から確認した。

以上の通り、提案した制振手法や装置はいずれも非常に有効であることを確認したが、すべり変位の抑制とロッキングの抑制とは相反する傾向にあることが判明したことから、すべりとロッキングの両者を同時に評価する手法の開発と制振手法の最適化、さらにはそれらを考慮した統合的な制振手法の開発が今後の課題であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4件)

① Tomohiro Ito, Yasumasa Ishikawa, Atsuhiko Shintani and Chihiro Nakagawa, Fundamental Study on Mitigation of Rocking Motion of a Cask System by a Gyro System, Proceedings of ASME 2013 15th ICM Conference, 査読有, CDROM No. ICM2013-96026, 2013, 6 pages.

② Tomohiro Ito, Naoto Nishimatsu, Atsuhiko Shintani and Chihiro Nakagawa, Study on the Control of Displacement for Base Isolation Systems Utilizing High-Viscous Liquid (Effects of Eccentricity), Proceedings of 2013 ASME PVP Conference, 査読有, CDROM No. PVP2013-97072, 2013, 8 pages.

③ Tomohiro Ito, Atsuhiko Shintani and Chihiro Nakagawa, Study on Sliding Base Isolation System Utilizing High Viscous Liquid with Large Damping Effects, Proceedings of 15th WCEE, 査読有, CDROM No. 2878, 2012, 10 pages.

④ Tomohiro Ito, Yoshihiro Fujiwara, Atsuhiko Shintani, Chihiro Nakagawa and Kazuhisa Furuta, Mitigation of Sliding Motion of a Cask-Canister by Fluid-Structure Interaction in an Annular

Region, Proceedings of ASME ICM2011, 査読有, CDROM No. ICM2011-59208, 2011, 7 pages.

〔学会発表〕(計 4件)

① Tomohiro Ito, Yasumasa Ishikawa, Atsuhiko Shintani and Chihiro Nakagawa, Fundamental Study on Mitigation of Rocking Motion of a Cask System by a Gyro System, ASME 2013 15th ICM Conference, September 8-13, 2013, Brussels, Belgium.

② Tomohiro Ito, Naoto Nishimatsu, Atsuhiko Shintani and Chihiro Nakagawa, Study on the Control of Displacement for Base Isolation Systems Utilizing High-Viscous Liquid (Effects of Eccentricity), 2013 ASME PVP Conference, July 14-18, 2013, Paris, France.

③ Tomohiro Ito, Atsuhiko Shintani and Chihiro Nakagawa, Study on Sliding Base Isolation System Utilizing High Viscous Liquid with Large Damping Effects, 15th WCEE, September 23-27, 2012, Lisbon, Portugal.

④ Tomohiro Ito, Yoshihiro Fujiwara, Atsuhiko Shintani, Chihiro Nakagawa and Kazuhisa Furuta, Mitigation of Sliding Motion of a Cask-Canister by Fluid-Structure Interaction in an Annular Region, ASME ICM2011, September 25-29, 2011, Reims, France.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 智博 (Ito Tomohiro)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60347507

(2) 研究分担者

新谷 篤彦 (Atsuhiko Shintani)

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：90295725

中川 智皓 (Chihiro Nakagawa)

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：70582336