

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360260

研究課題名（和文） 建築物の地震時損傷制御を目的とした同調粘性マスダンパー制振システムの開発

研究課題名（英文） Development of a tuned viscous mass damper system for seismic damage control of building structures.

研究代表者

五十子 幸樹（IKAGO KOHJU）

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20521983

研究成果の概要（和文）：

本研究では、減衰こまと呼ばれている既往の回転増幅機構粘性ダンパーに 1 ton 程度の円筒型フライホイールを取り付けることで、見かけ上 5,000 ton の質量効果を与えることに成功した。その効果は実物大実験によっても確認している。これを利用した同調粘性マスダンパー制振システムは、主系のモード応答性状を変化させずに、指定モードの減衰のみを任意に設計できる。また、実用的な減衰評価法とそれを用いた SRSS 法に基づく地震時応答評価法を提案し、実建物の設計に応用した。

研究成果の概要（英文）：

This research project succeeded in imparting an apparent mass effect of 5,000 t to a conventional rotary viscous damper, which is referred to as the rotary damping tube (RDT), by attaching a cylindrical flywheel having an actual mass of about 1 t. Shake table tests using a real-life damper verified the mass amplifying effect. It is also elucidated that a seismic control system using this damper, the tuned viscous mass damper, can impart arbitrary damping only to the specified mode and almost never changes the mode shapes of all the modes. A simple seismic response evaluation method based on the SRSS method and a practical damping evaluation method is proposed and is applied to a structural design in practice.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2010 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2011 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	10,200,000	3,060,000	13,260,000

研究分野：耐震工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：同調粘性マスダンパー、制振構造、ダイナミック・マス、TMD、定点理論

1. 研究開始当初の背景

建築構造物の耐震設計は、建築物の水平剛性・耐力を部材断面の設計により調整することを基本として行われるが、近年は減衰部

材（ダンパー）を付加して主フレームの地震時における損傷を制御する方法がとられることが多くなっている。減衰部材としては、速度依存ダンパー（オイルダンパー等）や、

履歴型ダンパー等が多く用いられている。これに対し、古橋・石丸は鋼材の降伏や粘性体によるエネルギー吸収に依存しない地震時応答の低減手法として、建物の質点間(層間)に擬似質量を設けることで主フレームへの見掛け上の地震入力を低減する方法を提案し、この擬似質量を慣性接続要素と呼んでいる。慣性接続要素とは、接続する質点間の相対的な加速度差に応じて慣性力を生じる要素であり、実質量の小さな質点の相対変位(加速度)を増大させる機構により見掛け上の慣性質量効果を増幅することで実現される。このような要素に対応するものの一つとして減衰こまと呼ばれる装置が実現化されている。この装置は慣性接続要素に粘性減衰要素を並列配置した粘性マスダンパーである。

井上らは建築物に粘性マスダンパーを取り付けるための支持部材の剛性を、慣性接続要素の等価質量に対応して調整することで建物周期に同調した付加振動系を構成する画期的なパッシブ制振システム=同調粘性マスダンパーを提案した。また、井上らは定点理論に基づき一自由度系伝達関数のピークを最小化する付加質量、支持部材バネ剛性、付加減衰係数に関する最適解を提示し、多質点系に対しても一自由度近似に基づく設計法を提案している。しかしながら、同調粘性マスダンパーを実建物へ適用するには実用化に向けた更なる理論の構築と技術開発が必要不可欠である。特に最大減衰力 500kN～2500kN 級の製品を製作するための技術、500kN～2500kN 級の減衰力を支持しながら粘性体の大振幅を実現する支持部材設計技術、本システムを利用した構造物全体の設計技術の確立が強く求められている。

2. 研究の目的

本研究は、慣性接続要素と粘性減衰要素の並列機構に支持バネを直列に接続した新しい建築構造用制振装置(以下同調粘性マスダンパーと呼ぶ)の開発と、その実建物への適用のための設計法の構築を目的とする。同調粘性マスダンパーはパッシブ制振システムであり、回転慣性質量とダンパー支持部材が構成する同調付加振動系により粘性体を大振幅で運動させることで、従来の粘性ダンパーと同等の減衰力より大きなエネルギー吸収能力を発揮する。そのため、この装置を従来の粘性ダンパーと置き換えるだけで、主架構への減衰抵抗力による負荷を増大させることなく、より大きな(数倍程度の)地震時応答低減効果を期待できる。本研究課題では、同調粘性マスダンパーを実建物に適用するための理論構築と技術開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題では、課題を大きく次の四項目に分けて検討する。

- (1) 実物大ダンパーを実現するに当たって、製作可能寸法や建物への納まりを考慮した寸法諸元の検討
- (2) 実大ダンパーの設計と試作及び単体実大実験
- (3) 多自由度構造物に提案ダンパーを適用した場合のモード応答性状の解明
- (4) 実用的設計法の構築

下記に、各項目に対する研究の方法を示す。

(1) 実大ダンパーの寸法諸元の検討

提案ダンパーは、既存のダンパーを改造することで実現できるが、より性能を高めるために、ボールねじのリード長の変更などが必要となる。まず、初期的な検討としてダンパー製作上の各寸法の限界値を整理する。また、建築的な納まりから決定されるダンパーの外形寸法についても検討を加え、実大ダンパーの寸法的な制約を決定する。

(2) 実大ダンパーの設計と試作・実大実験

上記(1)の知見を元に、ダンパーの設計と試作を行う。実験は、規模が大きくなるのでダンパー単体のみの実験とし、これにより設計通りの性能が得られることを確認する。

(3) モード応答性状の解明

同調粘性マスダンパー付き多層構造物は非比例減衰系となるので、複素固有値解析が必須となるが、これにより提案制振システムの固有値・固有モード性状を明らかにする。

(4) 設計法の構築

提案制振システムについて、これまで一自由度系や限られた条件を満足する多自由度系に対する設計法は提示されているが、一般に通用する設計法は未だ示されていない。最適設計手法を用いた汎用的な設計法の提示について検討する他、上記③の知見に基づく実用的な設計法の構築を目指す。

4. 研究成果

本研究課題では、下記の成果を得た。

(1) 実大ダンパーの寸法諸元の決定

ダンパーの外形寸法として、既往のダンパーを置き換えることが出来るように、中立長さを2 m以下、最大外径を $\phi 600$ mm以下とした。これにより、最大で得られる見かけの軸方向質量効果は5000 ton程度と決定した。

(2) 実大ダンパーの設計と試作・実大実験
 上記(1)の知見を元に、実大ダンパーを設計、製作し、単体の実大実験により所用の性能を発揮することを確認した。
 実大ダンパーの模式図を下記に示す。

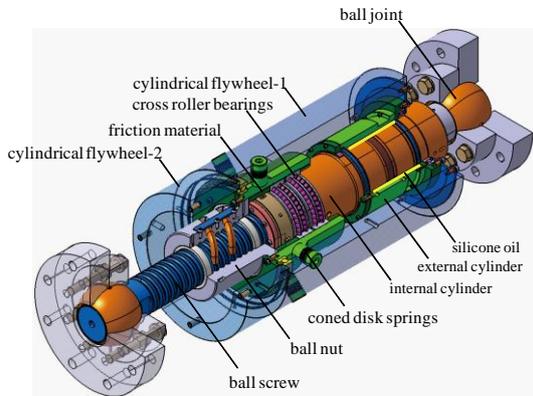


図 1. 実大ダンパー模式図

ダンパーを実用化するためには、過大な軸力が発生した場合に、それを制限するフェールセーフ機構が必要である。図 1.には回転摩擦機構を用いた軸力制限機構も示されている。

(3) モード応答性状の解明

同調粘性マスダンパー付き多層構造物は非比例減衰系となるので、複素固有値解析が必須となるが、通常の制振設計の範囲では、同調粘性マスダンパーは非減衰主系の固有モード形を殆ど変化させず、同調モードの減衰のみを変化させることを明らかにした。非減衰固有モードの内、同調モードは、固有値が近接したダンパーの効果により、制振系では近接したモードに分裂することも明らかにしている。一方で、制振系近接モードの単純和が同調モードの非減衰モードに近いことも明らかにした (図 2)。

(4) 設計法の構築

一自由度建物の同調粘性マスダンパーシステムの付加質量比と等価減衰定数の関係から同調モードの減衰定数を知ることが出来る。非同調モードの減衰定数はダンパーが無い場合から殆ど変化しない。上記③の知見から、提案制振システムの各モード形 (同調モードについては、分裂したモードの総和) は非減衰主系の固有モードで近似できる。以上から、本研究では、同調粘性マスダンパー制振システムの地震時最大応答は、非減衰固有値解析結果を用いた SRSS 法で精度良く近似できることを明らかにし、実用的な設計法を提案した。

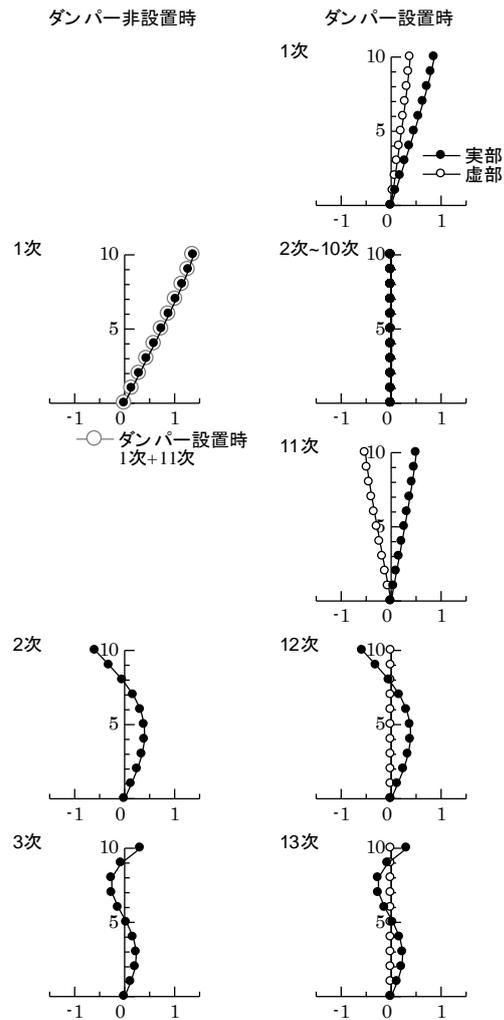


図 2. モード応答性状の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Kohju Ikago, Kenji Saito, Norio Inoue: Seismic control of SDOF structure using tuned viscous mass damper, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2011(査読有), vol. 41, pp.453-474., doi: 10.1002/eqe.1138.
2. 中南滋樹、木田英範、五十子幸樹、井上範夫: 軸力制限機構付き粘性マスダンパーの免震構造物への適用とその有効性、*日本建築学会構造系論文集*, 第 76 巻, 第 670 号 (査読有), pp.2077-2086, 2011 年 12 月.
3. 杉村義文、五十子幸樹、後藤航、斉藤賢二、井上範夫: 同調粘性マスダンパーの鉄筋コンクリート造建物への有効性の検討、*日本建築学会技術報告集*, 第 17 巻, 第 37 号 (査読有), pp.841-846, 2011 年 10 月

4. 木田英範、渡邊義仁、中南滋樹、田中久也、杉村義文、齊藤賢二、五十子幸樹、井上範夫：軸力制限機構付き同調粘性マスダンパーの実大加振実験とその解析的検証、日本建築学会構造系論文集、第76巻、第665号(査読有)、pp.1271-1280, 2011年7月
5. 杉村義文、齊藤賢二、五十子幸樹、井上範夫：同調粘性マスダンパーを用いた多層建築構造物の応答制御に関する一考察、構造工学論文集(査読有)、Vol.56B, pp.153-162, 2010.3
6. 木田英範、中南滋樹、齊藤賢二、五十子幸樹、井上範夫：実大加振実験に基づく同調粘性マスダンパーの解析モデルに関する検証、構造工学論文集(査読有)、Vol.56B, pp.137-146, 2010.3
7. 荒井達朗、油川健樹、五十子幸樹、堀則男、井上範夫：同調粘性マスダンパーの有効性の検証と弾塑性構造物への適用性、日本建築学会構造系論文集(査読有)、第74巻、第645号、pp.1993-2002, 2009年11月
8. 木田英範、中南滋樹、齊藤賢二、五十子幸樹、井上範夫：多重同調粘性マスダンパー制振システムとその応答制御法、日本建築学会構造系論文集(査読有)、第74巻、第643号、pp.1575-1583, 2009年9月
9. 荒井達朗、油川健樹、五十子幸樹、井上範夫：ソフトストーリーに同調粘性マスダンパーを設置したRC建物の地震応答性状、コンクリート工学年次論文集(査読有)、Vol.31, pp.961-966, 2009

[学会発表] (計 51 件)

1. Kohju Ikago, Yoshifumi Sugimura, Kenji Saito, Norio Inoue, Seismic control design of tall buildings using tuned viscous mass dampers, Proceedings of the CTBUH2011 World Conference, Paper ID TS31-03, Seoul, Korea, 2011. 10.12.
2. Kohju Ikago, Kenji Saito, Norio Inoue, Optimum Multi-modal Seismic Control Design of High-rise Buildings using Tuned Viscous Mass Dampers, Proceedings of the 13th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Chania, Crete, Greece, 2011.9.7., Paper 170, doi:10.4203/ccp.96.170.
3. Kohju Ikago, Yoshifumi Sugimura, Kenji Saito, Norio Inoue, Seismic displacement control of multiple-degree-of-freedom structures using tuned viscous mass dampers, Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EURO DYN 2011, Leuven, Belgium, 2011.

7. 5, pp.1800-1807. (ISBN 978-90-760-1931-4)

4. Kohju Ikago, Kenji Saito, Yoshifumi Sugimura, Norio Inoue, Optimum Seismic Response Control of Multiple Degree of Freedom Structures using Tuned Viscous Mass Dampers, Proceedings of the Tenth International Conference on Computational Structures Technology, Valencia, Spain, 2010.9.16, Paper 164, doi:10.4203/ccp.93.164.
5. Kohju Ikago, Kenji Saito, Norio Inoue, Seismic Control of Buildings using Tuned Viscous Mass Dampers, Proceedings of JSSI 15th Anniversary International Symposium on Seismic Response Controlled Buildings for Sustainable Society (CD-ROM), Paper ID RC-5, 2009. 9. 16, Tokyo Japan

[その他]

1. 井上範夫、巨大地震に対する備え～高知能ダンパーが建物の揺れをコントロール～、第75回東北大学サイエンスカフェ、http://www.youtube.com/watch?v=j_vnUmVxx8s&feature=youtu.be
2. 高層ビルの揺れ制御装置で軽減 THK、東北大など開発、2012年4月7日、日本経済新聞朝刊 013 ページ
3. ボールネジで超高層制震、2012年4月10日、日刊工業新聞 11面
4. 長周期地震動の減衰装置、回転速度上げエネ吸収、2012年4月9日、建設通信新聞
5. オイルダンパーに比べ揺れ半減、長周期地震動減衰装置、2012年4月9日、建設産業新聞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

五十子 幸樹 (IKAGO KOHJU)
 東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20521982

(2) 研究分担者

井上 範夫 (INOUE NORIO)
 東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50250725