

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19206058

研究課題名（和文） 建物の制振効果を損なう種々要因の分析と解決法の提案

研究課題名（英文） Characterization and Treatment of Various Factors Detrimental to Passive Control Effectiveness for Buildings

研究代表者

笠井 和彦 (KASAI KAZUHIKO)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・教授

研究者番号：10293060

研究成果の概要（和文）：

制振構造の実際の損傷限界や安全限界が、予測法より遥かに劣ることがあり得る。本研究は、このような誤差をもたらす種々要因の分析に基づき、より高精度の性能予測法を構築した。その内容は、以下の2つに大別できる。

(1) 様々な架構とダンパーの組合せやバランスを考慮し、その緻密な解析、微小から大振幅までを与える実大実験、既存の制振建物の加振実験を行い、実際の制振性能を明らかにした。

(2) 上記検討に基づき、架構と各種ダンパーからなる制振構造に関して、設計法、評価法、解析法を展開すると共に、制振効果を損なうような種々の問題の解決法も提示した。

研究成果の概要（英文）：

Incorrect and unconservative estimates for either damage or safety limit can result during design of passive control system for buildings. The present study has characterized and treated various factors detrimental to passive control effectiveness in the following two ways:

(1) Effects of balance between frame and damper are clarified based on their detailed analyses and full-scale experiments.

(2) Various methods are proposed for design, evaluation, and analysis of the passively-controlled buildings, as well as for treatment of various factors detrimental to passive control effectiveness.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2008年度	12,700,000	3,810,000	16,510,000
2009年度	10,600,000	3,180,000	13,780,000
2010年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
年度			
総計	34,800,000	10,440,000	45,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：鋼構造制振、柱梁接合部、合成梁、ガセットプレート、鋼材ダンパー、粘弾性ダンパー、粘性ダンパー、オイルダンパー

1. 研究開始当初の背景

(1) 制振構造を大地震に対して損傷限界内に保つための設計法や評価法は、部材・接

合部を弾性と仮定した簡便なものが典型的だが、例えば鉄骨架構とダンパーの組合せという最も典型的な制振構造の場合、実際には

梁の剛性に及ぼすスラブの合成効果に存在する正負曲げの異方向性と早期ひび割れによる非線形性の評価、ならびに、ダンパーが取り付く構面のカセットプレートやパネルゾーンに代表される接合部の剛性寄与の評価が難しいことなど、精度面で未解決の問題が多かった。

(2) 極大地震では、スラブの損傷や梁との相対変位による剛性や慣性力伝達機構の変化、部材の塑性化による様々な不安定挙動、梁・柱やカセットの接合部の破壊などが起こり得るが、その挙動の詳細や波及効果は明らかでなく、よって安全限界内に保たれるか否かの評価法も具体性を欠いていた。簡便性のため、全体挙動を完全弾塑性と仮定した評価法も見受けられたが、明らかに不合理である。

2. 研究の目的

(1) 様々な架構とダンパーの組合せやバランスを考慮し、その緻密な解析、微小から大振幅までを与える実大実験、既存の制振建物の加振実験を行い、実際の制振性能を明らかにする。

(2) 上記検討に基づき、架構と各種ダンパーからなる制振構造に関して、設計法、評価法、解析法を展開すると共に、制振効果を損なうような種々の問題の解決法も提示する。

3. 研究の方法

(1) 様々な制振装置、架構、あるいはそれらの結合体に、微小から大振幅までを与える実大実験を行い、実際の制振性能を明らかにした。

(2) 実大の鉄骨柱梁とカセットプレートの接合部、そして時には床スラブも含めた試験体多数を用いてパラメトリックな実験およびその検証解析も行った。

(3) 偏心建物の動的挙動を数学的に理解・把握した上で、効率的な制御効果について検討した。新たなスペクトル法を開発して、最大応答の予測を時刻歴解析に頼らず理論的に行った。

(4) 弾性架構を対象とした研究者らの過去の様々な設計・評価手法を、架構の様々な塑性挙動を加味した制振設計法に拡張した。架構の塑性化による制振構造全体の剛性の減少、等価減衰の増加を考慮した。

(5) 制振構造の簡易な解析に用いるバネ系モデルの作成法を、研究者らの一層制振構造に関する過去の方法に基づき、多層制振構造に拡張した。また、これをどのような履歴特性をもつダンパーを用いても適用可能な方法に一般化した。

4. 研究成果

(1) 本科研費により、これまでにないユニークな実験を様々でき、また、並行して実大の5層制振建物を、世界最大のE-Defense震動台により実験する機会も頂き、これまでにない有用なデータを得ることができた。鋼材、粘性、オイル、粘弾性という日本の代表的な4種のダンパーの精緻かつ簡易な解析法を検証できた。また、合成スラブをもつ鉄骨構造、接合部に釘やビスを用いる柔らかな材質の木質構造などの、局所の非線形挙動を精度良く再現し、震動台実験結果と良く合う制振架構の解析法を提案した。

(2) 様々な接合部仕様が制振構造接合部の力学的挙動に及ぼす影響を把握し、制振構造におけるカセットプレートの設計方法の提案の基盤とした。ダンパーの種類(鋼材ダンパーと粘弾性ダンパー)の違いが主架構に及ぼす影響(歪分布など)はそれほど顕著でないこと、梁の幅厚比の違いが耐力の低下と疲労寿命(層間変形角1/33、定振幅載荷)に大きく影響すること、梁やカセットプレートに取り付けたスチフナがカセットプレートの垂直ハンチ部材としての効果を高める一方、局部的な応力(歪)の集中を生じることが明らかとなった。カセットプレート周辺の応力状態を設定し、ミーゼスの降伏条件式を基本としたカセットプレートの設計式を得た。

(3) 建物の水平面内に剛性が偏在して振れ振動が伴い易い偏心建物の、各種ダンパーを如何に効果的に配置するかという、制振構造の未解決の課題に、始めて解を提示した。それにより、制振部材と他の部材のバランスを間違えると、振れ振動抑制の効果が全く出ない場合もあることを示した。これまでは、主に時間積分による応答解析を用いた試行錯誤的検討がなされていたが、ここで新たなスペクトル法を用い、偏心建物に顕著な減衰が付加された場合の簡易な応答予測手法を提示し、それにより、上記の検討が成された。

(4) 架構が弾性の場合に比べ、塑性化すると層間変形が特定の層に集中し易く、建物全体として顕著な損傷を極力抑えるという制振の効果が損なわれることがあり、本研究では、目標層間変形における各層の等価剛性を理想的な分布にするよう制振部材の設定をすると、層間変形もほぼ各層均一になることを発見し、それから新たな制振設計法を提案した。架構が弾塑性バイリニア型(例えば通常の鋼構造)、弾塑性スリップ型(例えば軽量鉄骨構造や木質構造)、剛性劣化型(例えば鉄筋コンクリート造)の場合へと展開した。

(5) これまで作成法が曖昧で、時には制振効果を過大評価することもあった制振構造全体の時刻歴解析モデル化の問題に対し、ひとつの解決策を提示できたと思われる。架構のせん断・曲げ変形の両者をせん断棒で模擬

することができ、それゆえ既往せん断棒モデルと対比して、合理的、正確、簡便なモデル化手法を提案することができた。せん断棒モデルに固執した理由は、設計時に架構とダンパー（あるいは支持部材との直列結合である付加系）は並列に考えることが殆どであり、本せん断棒モデル化が、時刻歴解析だけでなく、制振の設計法にも有用なためである。今後は、これを現実的な設計例に適用し、設計マニュアルなどにも記述したい。これにより、実務での健全な制振構造の普及に寄与できればと考えている。

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 34 件）

①松田和浩, 笠井和彦, 坂田弘安: フレームモデルによる木質制振架構の地震応答解析, 日本建築学会構造系論文集, 661号, pp. 609-618, 2011年3月, 査読有

②山崎義弘, 笠井和彦, 坂田弘安, 大木洋司: 剛性偏心した木質立体架構の粘弾性ダンパーによる振れ応答制御, 日本建築学会構造系論文集, 655号, pp. 1691-1700, 2010年9月, 査読有

③笠井和彦, 小川良典, 蒲武川, 清川貴世: 粘弾性ダンパーをもつ制振構造の架構の塑性化を考慮した応答制御設計法, 日本建築学会構造系論文集, 655号, pp. 1625-1634, 2010年9月, 査読有

④大熊潔, 笠井和彦: 多質点弾性・弾塑性架構における粘弾性ダンパーの Kelvin 体への置換方法 (Kelvin 体による線形粘弾性ダンパー簡易モデル化と精度に関する考察 その2), 構造系論文集, 652号, pp. 1089-1098, 2010年6月, 査読有

⑤笠井和彦, 蒲武川: 多層スリップ型架構に粘弾性ダンパーを用いた制振構造の応答制御設計法, 日本建築学会構造系論文集, 650号 pp. 781-790, 2010年4月, 査読有

⑥笠井和彦, 西原耕作, 蒲武川, 大木洋司, 坂田弘安, 松田和浩: スリップ型特性をもつ構造に粘性系ダンパーを用いる場合の最大応答予測法, 日本建築学会構造系論文集, 646号, pp. 2227-2236, 2009年12月, 査読有

⑦石井正人, 笠井和彦: 多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案, 日本建築学会構造系論文集, 647号,

pp. 103-112, 2010年1月, 査読有

⑧Maison, B. F., Kasai, K. and Deierlein, G.: ASCE-41 and FEMA-351 Evaluation of E-Defense Collapse Test, Earthquake Spectra, Vol. 25, No. 4, pages 927-953, Nov. 2009, 査読有

⑨Kasai, K., Nakai, M., Nakamura, Y., Asai, Y., Suzuki, Y., and Ishii, M.: Building Passive Control in Japan, Journal of Disaster Research, Vol. 4 No. 3, pp. 261-269, Jun. 2009, 査読有

⑩笠井和彦, 山下忠道, 山崎義弘, イグサタケル: 振れ振動をともなう1層高減衰構造のスペクトル応答予測法, 日本建築学会構造系論文集, 636号, pp. 225-234, 2009年2月, 査読有

⑪笠井和彦, 伊藤浩資, 小椋崇之: オイルダンパーの等価剛性調節による制振構造の応答制御手法, 日本建築学会構造系論文集, 630号, pp. 1281-1288, 2008年8月, 査読有

⑫笠井和彦, 小椋崇之, 鈴木陽: 非線形粘性ダンパーの等価剛性調節による制振構造の応答制御手法, 日本建築学会構造系論文集, 第618号, pp. 97-104, 2007年8月, 査読有

⑬笠井和彦, 湊直生, 櫻井馨: 粘弾塑性ダンパーの等価剛性調節による制振構造の応答制御手法, 日本建築学会構造系論文集, 第618号, pp. 23-31, 2007年8月, 査読有

〔学会発表〕（計 177 件）

①Kasai, K., Lu, X., Pu, W., Weng, D., Wada, A. and Zhou, Y.: China-Japan (NSFC-JST) Research on Use of Dampers for Repair of RC Building Damaged During 2008 Wenchuan Earthquake Part 2: Design Method for RC Building Repair Using Dampers, 8th CUEE Conference, March 8th 2011, Tokyo Japan

②Kasai, K.: Dynamic Behavior and Property of Damped/Undamped 5-story Buildings Learned from Full-Scale Shake Table Tests, 3rd ASIA Conference on Earthquake Engineering, Dec. 2nd 2010, Grand Millennium Sukhumvit Thailand

③笠井和彦: 大型震動台実験から分かった鋼構造制振建物の動的特性と挙動, 日本鉄鋼連名, 2010年10月28日, マツダホール(東京)

④ Kasai, K.: Report on E-Defense Shake Table Tests of Full-Scale Five Story Building with or without Dampers, US-Japan Collaborative Meeting on the Seismic Response of Nonstructural Systems, Oct. 21th 2010, University of Nevada Reno USA

⑤ Kasai, K.: Shaking Table Tests on a Full-scale Building with Dampers, The 3rd Kwang-Hua World Forum on Sustainable Civil Engineering, Oct. 9th 2010, Tongji Univ. 中国

⑥ 笠井和彦: 5層実大制振建物の震動台実験, 日本建築学会大会 パネルディスカッション, 2010年9月11日, 富山大学

⑦ 笠井和彦, 西澤恵二: 鋼材ダンパーの実験結果と速度依存性を考慮した動的解析法 E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その59, 日本建築学会大会学術講演, 2010年9月11日, 富山大学

⑧ Kasai, K., Ooki, Y., Ito, H., Motoyui, S., Ishii, M., Ozaki, H., Hikino, T. and Kajiwara, K.: Full-scale E-defense Shake Table Tests on 5-story Steel Building with Various Dampers, 9th NCEE and 10th CCEE Joint Conference, July 25th 2010, Tronto Canada

⑨ Kasai, K., Motoyui, S., Ozaki, H., Ishii, M., Ito, H., Kajiwara, K., and Hikino, T.: Full-Scale Tests of Passively-Controlled 5-Story Steel Building Using E-Defense Shake Table, Part 1: Test concept, method, and building specimen, STESSA 2009, Aug. 17th 2009, Philadelphia USA

⑩ 笠井和彦, 小澤秀允, 山崎久雄, 金子洋文, 貞末和史, 小野喜信: 繰返し応力を受ける鋼材の曲線履歴型モデル その7 解析モデルの改良, 日本建築学会大会学術講演, 2008年9月19日, 広島大学

⑪ 笠井和彦, 石井正人: 多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案 (その1), 日本建築学会大会学術講演, 2007年8月29日, 福岡大学

[図書] (計 1 件)

① 竹内徹, 笠井和彦, 三木千壽: 朝倉書店, 都市構造物の損害低減技術, 2011年3月, pp. 45-74

[産業財産権]

○取得状況 (計 3 件)
名称: 制振部材の設計方法
発明者: 笠井和彦
権利者: 東京工業大学
種類: 特許
番号: 特許第 4245258 号
取得年月日: 2009年1月16日
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

<http://www.serc.titech.ac.jp/~kasailab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笠井 和彦 (KASAI KAZUHIKO)
東京工業大学・応用セラミックス研究所・教授
研究者番号: 10293060

(2) 研究分担者

元結 正次郎 (MOTOYUI SHOJIRO)
東京工業大学・総合理工学研究科・准教授
研究者番号: 60272704

坂田 弘安 (SAKATA HIROYASU)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・准教授
研究者番号: 80205749

大木 洋司 (OOKI YOJI)

東京工業大学・総合理工学研究科・特任助教
研究者番号: 20323842

石原 直 (ISHIHARA TADASHI)

国土技術政策総合研究所・建築研究部・主任研究官
研究者番号: 50370747

(3) 連携研究者

該当者無し