

機関番号：14501
 研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2010～2010
 課題番号：20560521
 研究課題名 (和文) リアルタイム・ハイブリッド実験によるセミアクティブ制振構造の減衰性能評価
 研究課題名 (英文) Evaluation of damping effect of semi-active controlled structure by real-time hybrid test
 研究代表者
 藤谷 秀雄 (FUJITANI HIDEO)
 神戸大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：10344011

研究成果の概要 (和文)：セミアクティブ制御装置である MR ダンパー (可変ダンパーの一種) だけを試験器で加振して制御力を検出し、制御対象の構造物が制御された応答をコンピュータによるシミュレーションで求め、その応答変位と応答速度を試験器で制御装置に再現すると同時に制御計算も行い MR ダンパーを制御するというリアルタイム・ハイブリッド実験手法を確立した。これによってセミアクティブ制振構造の応答低減効果を検証した。このとき等価サイクル数を減衰性能を評価する指標として採用し、その有効性を示した。

研究成果の概要 (英文)：Authors use Magneto-rheological fluid damper (MR damper) for the semi-active control, and conducted the real time hybrid test that considers the uncertainty of modeling of the MR damper. The results of the real time hybrid test are compared with those of shaking table test and analytical simulation. Thus, the effectiveness of the evaluation of the semi-active control in the base isolation system by the real time hybrid test is verified. It was clarified by the real-time hybrid test that the equivalent cycle numbers was effective to evaluate the response reduction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：構造制御

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：リアルタイム・ハイブリッド実験、セミアクティブ制御、減衰性能評価

1. 研究開始当初の背景

(1) 建築構造の安全性・機能性・居住性の向上を目的として、建築構造の振動制御を行うことが有効であり、実際の多くの建築物に適用されてきた。実際の建築物については、個々の建築物の目的に応じて、地震や風に対する応答変位や床応答加速度の目標値を設定し、それを達成することを目指して実施されてきた。(以下、振動制御された建築構造

を「制振構造」と呼ぶ。)

(2) これに対して、振動制御の効果を統一的な物理量で評価する試みも行われていた。例えば、等価粘性減衰定数 h_{eq} によって評価しようとする考え方や、制振構造による耐震補強に関しては、耐震診断の I_s 指標に換算する方法もあった。

(3) 申請者は、MRダンパー (磁場の作用で粘性の変化する磁気粘性流体 (MR流体) を

使用した可変ダンパー)を用いたセミアクティブ制振構造および可変オイルダンパーによる制振構造の研究を実施してきたが、課題となっていたのは、可変ダンパーによるセミアクティブ制振構造の減衰性能をパッシブ制振構造に準じた手法で示すことであった。すなわち、ケースバイケースの最大応答変位や最大床応答加速度の比較にとどまらず、建築物と可変ダンパーの特性からセミアクティブ制振構造の減衰効果を説明できる評価方法あるいは応答予測方法を提案することが課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、セミアクティブ制振構造の減衰効果を、パッシブ制振構造と同じ指標を用いて減衰性能を評価し、セミアクティブ制振構造の応答予測を可能にすることが目的であり、結果として、適切な減衰性能評価方法によって、セミアクティブ制振構造とパッシブ制振構造を統一的に評価できる性能評価法(応答予測方法)を提案し、今後の制振構造の発展に資することを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) まずセミアクティブ制御の制御効果を検証する手法として考えていたリアルタイム・ハイブリッド実験を完成させる。
- (2) リアルタイム・ハイブリッド実験の結果と振動台実験の結果を比較することによって、リアルタイム・ハイブリッド実験の妥当性の検証を行う。
- (3) 複数のセミアクティブ制御手法において、制御効果の評価できる指標を探索し、その指標による評価の制度を検証する。

4. 研究成果

- (1) リアルタイム・ハイブリッド実験
リアルタイム・ハイブリッド実験は、モデル化に不確定要素を含む構造部材を試験体として用い、それ以外の部分である構造体

(図1の1点鎖線部)はモデル化してコンピュータ上で地震応答解析を行う。特に、制御構造では制御部材を試験体としており、本研究ではMRダンパーを試験体とする。図2にその概念図を示す。

つまり、MRダンパーに取り付けたロードセルによって計測される荷重値を制御力として加えた運動方程式をコンピュータ(DSP)で数値積分し、かつMRダンパーの制御力を決定するために時々刻々(1/100s)制御演算を行い、MRダンパーに直流電流を印加しリアルタイムで加振を行う。

(2) リアルタイム・ハイブリッド実験の検証

振動台実験とリアルタイム・ハイブリッド実験の結果を比較し、リアルタイム・ハイブリッド実験の妥当性を検証した。入力地震波は、“ELCENTRO 1940 NS 原波”、“HACHINOHE 1968 NS 原波”、“JMA KOBE 1995 NS (500mm/sに基準化)”を使用した。図3に、各地震波におけるセミアクティブ制御のリアルタイム・ハイブリッド実験(赤色実線)、振動台実験(青色実線)、解析(緑色点線)での絶対加速度(acc)、応答速度(vel)、応答変位(displacement)、ロードセルで計測されたダンパーの荷重値(force)の時刻歴波形を示す。

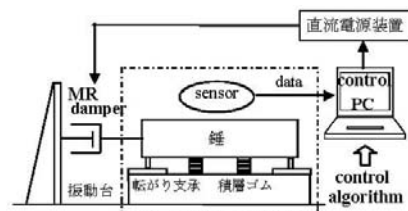


図1 振動台実験概要

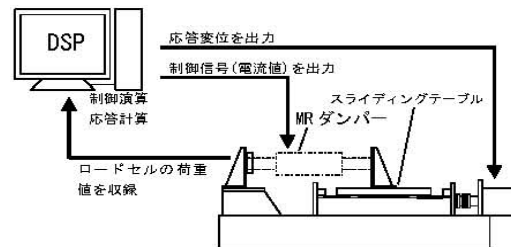
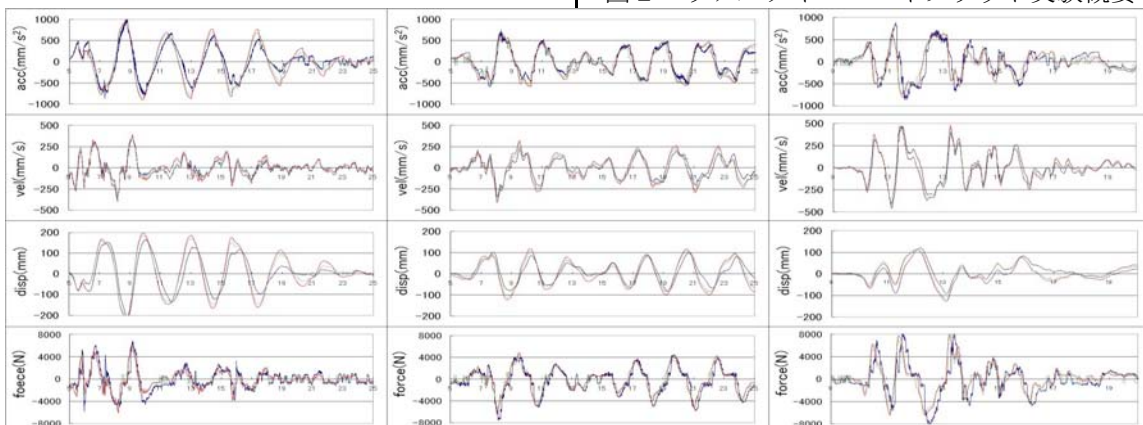


図2 リアルタイム・ハイブリッド実験概要



(a) ELCENTRO 1940 NS 原波 (b)HACHINOHE 1968 NS 原波 (c)JMA KOBE 1995 NS 0.5m/s

図3 時刻歴波形

時刻歴波形(図3)では、3つの検証手法による応答の概略は一致している。特に、絶対加速度(acc)と荷重値(force)はリアルタイム・ハイブリッド実験(以下、RH実験)と振動台実験がよく一致している。多くの場合で各入力地震波において時刻歴波形の主要動付近を概観すると、比較的長い時間で《RH実験結果>解析結果>振動台実験結果》の関係がある。地震継続時間全体においては、応答値が小さい時にRH実験・解析結果共に多少の相違(主に応答変位)が見られた。結果として解析結果は振動台実験の結果に近くはなっているが、RH実験が主体構造のモデル化の不確定さだけを含んでいることに比べ、解析は主体構造のモデル化及びMRダンパーのモデル化やその接合部(ピン接合)の不確定さも含むので《RH実験結果>解析結果》となるのは妥当である。また、継続時間内で応答を評価した場合に、振動台結果が大きく出ている箇所より小さい値となる解析は危険側の評価になっている。

ELCENTRO 1940 NS 原波や JMA KOBE 1995 NS(500mm/sに基準化)といった、やや短周期成分を含む地震動における急な応答変化が生じる箇所でも、RH実験は解析に比べて安全側の評価をしている。また、ELCENTRO 1940 NS 原波と長周期成分を多く含む HACHINOHE 1968 NS 原波では、ピーク値発生時刻のずれも小さい。ただし、断層近傍の地震波である JMA KOBE 1995 NS ではピーク値発生時刻が振動台実験に比べてやや遅れている。

絶対加速度の最大値は、解析結果と比べてRH実験の方が振動台の結果に近い値となっている。応答速度、応答変位の最大値でも、RH実験が概ね安全側の評価になっているといえる。

履歴ループの一例を図4に示すが、振動台実験の結果に対して良く近似している。

以上のことから、セミアクティブ制御では、ダンパーのモデル化の複雑さや電気信号による時間遅れの評価を必要とする解析より、実物のMRダンパーを使ったRH実験が有効である。

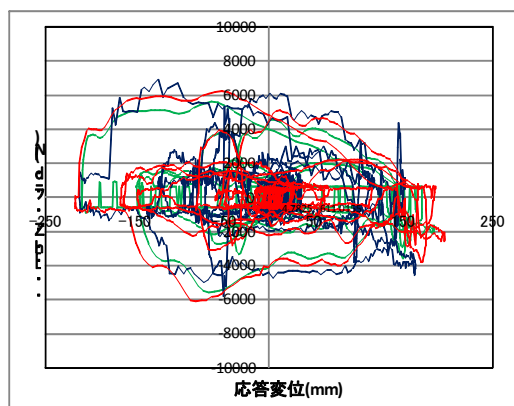


図4 履歴ループ(ELCENTRO)

(3) 等価サイクル数による定量化手法

等価サイクル数は、地震動の継続時間中に制振ダンパーがエネルギー吸収した累積エネルギー吸収量 E_d を、定振幅正弦波における制振ダンパーの履歴ループ1サイクルあたりの面積 E_v で除することにより算出する指標である。

ここで、 E_v を算出するにあたり、構造物の最大層間変位および最大層間速度を用いて定振幅正弦波の諸元を決定する必要がある。対象となる正弦波のパラメータ(振動数)を求め、その際の振幅、振動数における制振ダンパーの力学モデルより履歴ループ1サイクルあたりの面積を算定した。

解析・実験で使用した入力波は、ELCENTRO 1940 NS、HACHINOHE 1968 NS、JMA KOBE 1995 NSで、入力レベルは最大加速度をそれぞれ $2m/s^2$ 、 $3m/s^2$ に基準化した。

最適制御における重みを全て1とし、スライディングモード制御ではチャタリング平滑化関数 γ を 1000、切替ゲイン η を 2000、4000、6000 の3種類とした。以降スライディングモード制御に関して、採用した切替ゲイン 2000、4000、6000 ごとに SMC2000、SMC4000、SMC6000 と表記する。

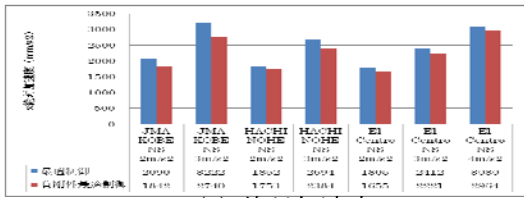
低減効果の比較の一例として、負剛性最適制御(赤色)と最適制御(青色)の解析結果と実験結果を図5と図6に示す。解析において負剛性最適制御は最適制御と比較して応答変位、絶対加速度ともに低減効果が増していることがわかる。また実験値からも負剛性最適制御が絶対加速度上昇を抑えながら変位低減効果を増加させていることがわかる。しかし、実験値では ELCENTRO において、負剛性最適制御は最適制御に比べ、絶対加速度が上昇している。

次に、実施したリアルタイム・ハイブリッド実験結果に対して、簡易定量化手法の適用を試みた。以降の検討は、図7に示す実行フローにおける①~⑧の手順に沿って実施した。

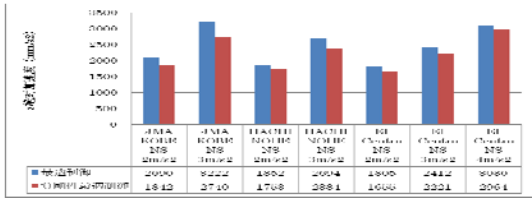
変位低減率は制御時の最大応答変位を非制御(無印加)時の最大応答変位で除することにより求めたもので、値が小さいほど変位低減効果が高いことを示す。図8に等価サイクル数—変位低減率関係を示す。スカイフック制御、負剛性最適制御についてばらつきがみられるが、全体的に等価サイクル数が多いほど変位低減率が小さい傾向がみられる。



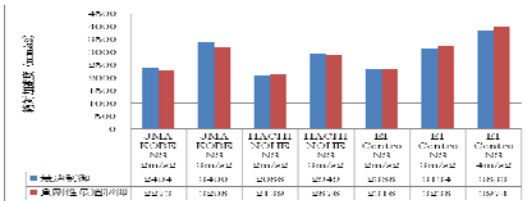
(a) 応答変位



(b) 絶対加速度
図5 解析結果



(a) 応答変位



(b) 絶対加速度
図6 実験結果

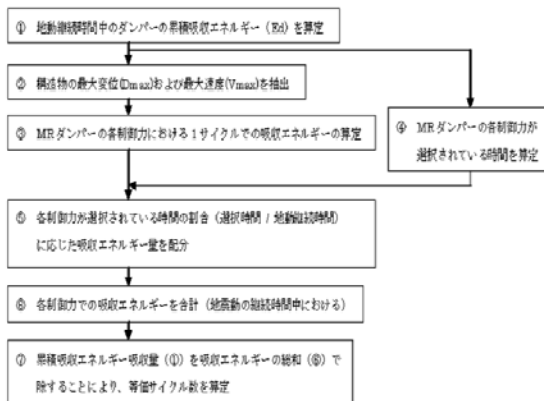


図7 実行フロー

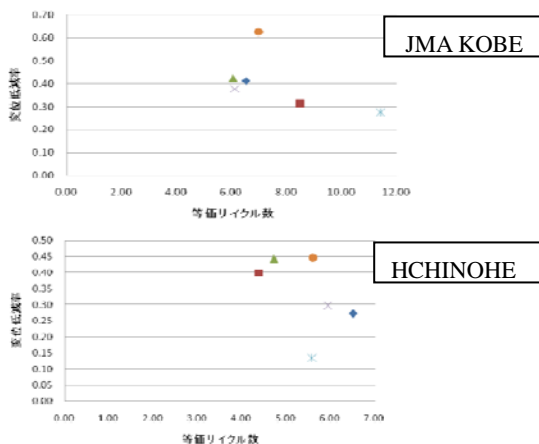


図8 等価サイクル数-変位低減率関係

以上のことから、非制御と比較してMRダンパーによるセミアクティブ制御の減衰性能の向上と、等価サイクル数の間に相関関係があることが確認できた。

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6件)

- ① 伊藤彰浩、川崎瑠衣、藤谷秀雄：セミアクティブ制御免震構造のリアルタイム・ハイブリッド実験の有効性、日本建築学会構造系論文集、査読有、第76巻、第663号、pp. 891-897、平成23年5月。
- ② A. Ito, R. Kawasaki, H. Fujitani and N. Inoue : Verificatiuon of Accuracy of Real-time Hybrid Test And Efficacy of Semiactive Control, 査読有, Proc. Of 5WCSCM, July 12-14, 2010, No. 124.
- ③ H. Fujitani, H. Sakae, M. Ito, R. Kawasaki, A. Masutani, H. Fujii and T. Hiwatashi : THE CAPABILITY OF THE MR DAMPER VERIFIED BYSHAKING TABLE TESTS AND REAL TIME HYBRID TESTS, 査読有, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, No.11-0088, 2008.10.

〔学会発表〕(計4件)

- ① 藤井嵩広、藤谷秀雄：MRダンパーの等価サイクル数による減衰性能の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造II、平成23年8月。
- ② 伊藤彰浩、藤谷秀雄、川崎瑠衣：セミアクティブ免震構造でのリアルタイム・ハイブリッド実験の有効性、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造II、No.21044、pp. 87-88、平成22年9月。

〔図書〕(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.arch.kobe-u.ac.jp/research/structure/s4/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤谷 秀雄 (FUJITANI HIDEO)

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10344011