

令和 3 年 8 月 26 日現在

機関番号：14501
 研究種目：基盤研究(B) (一般)
 研究期間：2018～2020
 課題番号：18H01587
 研究課題名(和文)大振幅地震動対応アクティブ系振動制御構造と非線形ハイブリッドシミュレーション検証

研究課題名(英文)Active, semi-active structural control against large ground motion and non-linear real-time hybrid simulation

研究代表者
 藤谷 秀雄(Fujitani, Hideo)
 神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：10344011
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：地震災害に対し都市のレジリエンスを向上させるためには、人命保護のみならず、建物の損傷を制御し、建物機能を維持する必要がある。また長周期地震動や断層近傍のパルス性地震動が作用することが予測されている。

これらに対して免震構造に生じる積層ゴムのハードニングによる非線形挙動に追従するセミアクティブ制御、RC造およびS造のフレーム構造の非線形挙動に追従するAMDの制御を行い、機能の維持を図ることを目的とした。提案した制御を検証する方法として、2つの加振器を同時に制御するデュアル・リアルタイムハイブリッド実験システムを構築し、その動作補償を行い、有効な制御方法の提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

デュアル・リアルタイムハイブリッド実験は、世界でも事例の少ない実験方法で、非線形性を持つ構造部材や研究途上でモデル化が困難な2つの制御装置を実時間で加振することによって、速度依存性の影響も反映して建物全体の性能検証が実施できるシステムである。これに対し、PID制御による動作補償と時系列補償器によるむだ時間に対する補償を実施して、その動作の信頼性を高めた。

得られた成果として、免震構造では積層ゴムがハードニングして非線形挙動した場合でも、線形挙動と同程度に床加速度を低減できるセミアクティブ制御を提案し、基礎固定のフレーム構造においては、AMDによって応答変位を低減することが可能になった。

研究成果の概要(英文)：Buildings are required to protect human lives, reduce damage and keep functions according to the use of the building. The occurrence of the long period ground motions and pulse ground motions is predicted. The important buildings have to keep function, even if those are excited by such ground motions.

In this study, researches on the semi-active control of base-isolation system and the active control by large mass damper were conducted for the purpose mentioned above. In those researches, a new verification method of the real-time hybrid simulation using shaking-table and hydraulic actuator (we call this "Dual real-time hybrid simulation") was proposed and response compensation was developed.

In conclusions, a semi-active control method for non-linear base-isolation system to reduce the floor acceleration unaffected by hardening of isolators and an active control method to reduce the response displacement were proposed.

研究分野：建築構造学

キーワード：長周期長時間地震動 パルス性地震動 デュアル・リアルタイムハイブリッド実験 動作保証 非線形
 セミアクティブ免震 大質量AMD

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地震災害に対し都市のレジリエンス(回復力)を向上させるためには、人命保護のみならず、建物の損傷を制御し、建物の機能を維持する必要がある。また長周期長時間地震動や断層近傍のパルス性地震動(これらを合わせて大振幅地震動という)を受けた構造骨組は、大きく塑性化し非線形挙動を示す。免震構造においても積層ゴムがハードニングを起こすと予想される。これらの非線形挙動に対してもアクティブ制御やセミアクティブ制御を用いて応答制御を行うことが有効であり、都市のレジリエンスを向上させるために、本研究で開発するシミュレーション技術で検証された高機能構造物を実現することが期待されていた。

2. 研究の目的

本研究では、アクティブ・セミアクティブ制御を用いて、大振幅地震動(長周期長時間地震動とパルス性地震動)に対して人命保護のみならず、建物の損傷を制御し、重要な機能を維持する方法を提案することを目的とする。このとき、構造骨組や制御装置の部材を著しく縮小しないで、性能検証をリアルタイムで行うことを目的とする。構造部材(構造骨組や免震積層ゴム)が非線形化した後の挙動に対してもアクティブ・セミアクティブ制御の効果を検証するために、2つの加振装置によるリアルタイム・ハイブリッドシミュレーション(RTHS)による検証システム(デュアルRTHSシステム。以下、DRTH実験という。)を提案する。研究項目は以下の3つである。

- 1)デュアルRTHSシステムの開発
- 2)免震構造の非線形応答時にも高い性能を確保できる非線形セミアクティブ免震構造の提案
- 3)大制御力を発揮する大質量比アクティブマスダンパー(大質量比AMD)制振構造の提案

3. 研究の方法

研究組織を図1に示す。神戸大学と今回の研究に不可欠の非線形RTHSに研究実績のある防災科研兵庫耐震工学研究センターが共同で申請し、海外のトップレベルの研究者と技術者の協力を得て、研究期間内に以下の研究を達成する。

- 1) DRTH実験の開発
 - 1-1)非線形セミアクティブ免震構造を対象(H30)
 - 1-2)大質量比AMD制振構造を対象(H31)
- 2)非線形セミアクティブ免震構造
 - 2-1)積層ゴムのせん断歪が300-400%になるハードニング領域でも、上部構造の床応答加速度を制御する制御アルゴリズムを開発(H30)
 - 2-2)複数の制御方法を組み合わせた高性能な非線形セミアクティブ免震構造を提案(H31)
- 3)大質量比AMD制振構造
 - 3-1)振動台のみを用いたAMDのRTHSを実施(H31)
 - 3-2)大質量比AMDのDRTH実験を構築(H31)
 - 3-3)RC骨組と鋼構造骨組の制御アルゴリズムを開発(H32)

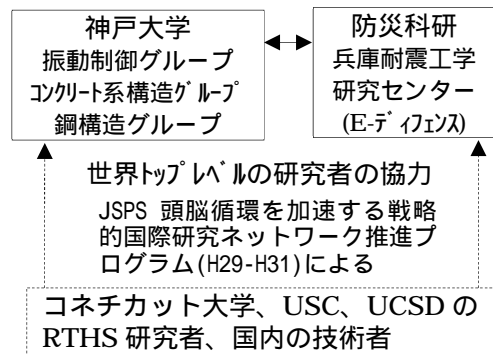


図1 研究組織

4. 研究成果

4.1 デュアルRTHSシステムの開発

セミアクティブ免震を例に、DRTH実験について示す。リアルタイムハイブリッド(RTH)実験は、モデル化において不確定要素を含む部材は実際に加振を行い、それ以外のモデル化が可能な部分は応答解析を行う検証方法である。

本研究で実施したDRTH実験では一例としてMRダンパーと積層ゴムを試験体とし、それぞれ振動台とアクチュエータを用いて加振を行う。図2にDRTH実験の概要を示す。本実験では免震構造を対象とし、1質点系モデルとして扱う。まずコンピュータ(マスター側DSP)内の建物モデルに地震動を入力し応答解析を行うことで次ステップの免震層変位 x を算出する。

次に、免震層変位 x の計算値に基づき振動台(写真1)とアクチュエータ(写真2)へ目標値を指令(x_t)する(ただし、図中の x_c^{ST} 、 x_c^{HA} は、各加振機の動特性に応じた補償信号を表す¹⁾)。このときアクチュエータへの指令はLANケーブルを通じて、マスター側DSPよりスレーブ側DSPに送られる。

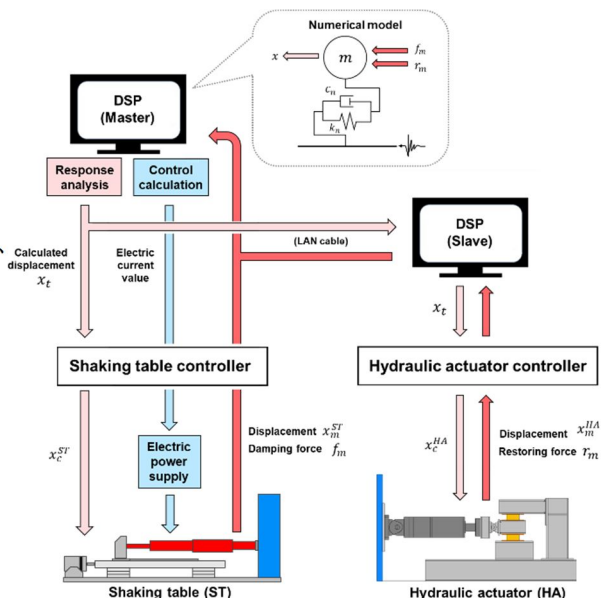


図2 デュアルRTHSシステムの構成

そしてMRダンパーと積層ゴムに取り付けられたロードセルから減衰力(f_m)と復元力(r_m)の計測値を収録し、それらを建物モデルの運動方程式に加算して次ステップの応答解析を行う。

4.2 アクチュエータと振動台の動作補償

本研究で実施したDRTH実験ではDSP内での数値モデルに対する応答解析結果と2台の加振器(振動台と油圧アクチュエータ)の動作をリアルタイムで同期させる必要がある。これらの加振器の変位がDSPからの指令信号を受けて、目標値に到達するまでに、振動台では0.02秒程度、油圧アクチュエータは0.05秒程度の時間遅れを生じる。今回の実験では、振動台、油圧アクチュエータのいずれに対しても図3に示すように、目標変位入力 x_t に対する、出力の計測値 x_m の誤差に対して、PID制御による誤差フィードバック系を導入する。さらに、これと並列に、目標信号の時系列モデルを用い、それぞれの加振器の動作時間遅れに対応して、制御時刻 t において時間経過時の目標値を予測し、これを目標入力とするフィードフォワード型の動作補償器を導入した。

(1) PID制御のパラメータ設定

振動台、および油圧アクチュエータに対するPID制御による動作補償器の設計パラメータを表1に示す。振動台はP制御、油圧アクチュエータはPI制御とした。

(2) 時系列補償器のパラメータ設定

PID制御は、目標変位と応答変位との誤差補正に有効であるが、加振器のむだ時間が比較的大きいため、時間遅れの改善には十分ではない。そこで、時系列補償器により、むだ時間に対する動作補償を検討した。ここでは、時間遅れ τ [s]の値を事前に評価するものとし、時間 τ 後までの目標値増分を各制御ステップの目標変位の値に積み増して動作させる入力補償を行う¹⁾。任意の時刻 t において、時間遅れ τ 後の目標変位 $r(t+\tau)$ をテイラー級数展開の2次の項までを取って、式(2)のように τ の多項式で近似する。図2に示す時系列補償器は、式(3)により与える。今回の実験において、振動台に対しては、 $\tau = 0.02$ 、 $A_1=1$ 、 $A_2=0$ とし、油圧アクチュエータに対しては、 $\tau = 0.044$ 、 $A_1=1$ 、 $A_2=0.4$ とした。

$$r(t+\tau) = r(t) + \dot{r}(t)\tau + \frac{1}{2!}\ddot{r}(t)\tau^2 \quad (2)$$

$$r(t+\tau) \cong r(t) + A_1\tau \cdot \dot{r}(t) + 0.5A_2\tau^2 \cdot \ddot{r}(t) \quad (3)$$

加振器の動作補償の結果の一例として、図4に、0.5 Hzのサイン波を入力した場合の油圧アクチュエータの目標変位と、出力変位の計測値(補償時、および補償なしの場合)との比較を示す。0.05 s程度の時間遅れは、補償器により0~0.002 s程度に短縮された。振動台においても、0.028 s程度の時間遅れが0~0.008 s程度に短縮されることを確認した。

4.3 非線形セミアクティブ免震構造

(1) 建物とMRダンパーのモデル

免震建物を1質点系にモデル化し、直径225 mm、ゴム総厚27.2 mmの天然ゴム系積層ゴムを4台使用するものと仮定した。単体試験結果(図5)より、初期線形時とハードニング後の剛性をそれぞれ2401 kN/m、4271 kN/mとした。過去の実験との連続性から上部構造質量を853tとした結果、固有周期は3.74 sとなった。免震層に配置するMRダンパー(1台の最大減衰力が10 kN(図6))は、40台分用いた。MRダンパーの減衰力 F_{MR} [kN]を式(4)で示す。

$$F_{MR} = (-0.220I^2 + 2.546I + 0.209)\text{sgn}(v) + (0.753I + 0.535)v \quad (4)$$

v : ピストン速度[m/s], I : 印加電流値[A]

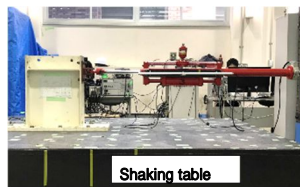


写真1 Shaking table



写真2 Actuator

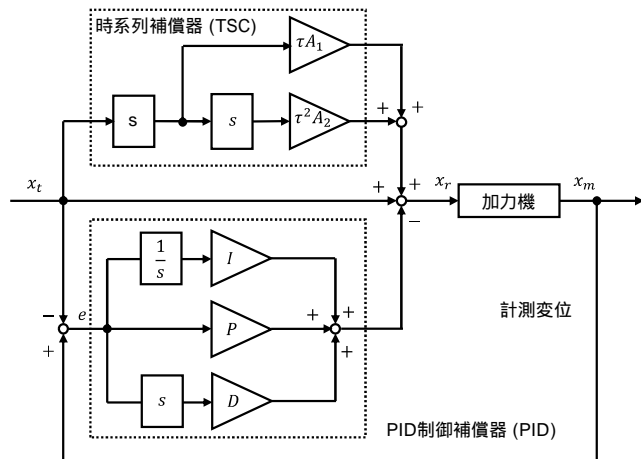


図3 加振器の時間遅れ補償を含むブロック線図

表1 PID制御器の設計パラメータ

加振器	P	I	D
振動台	0.2	0	0
油圧アクチュエータ	1.93	0.047	0

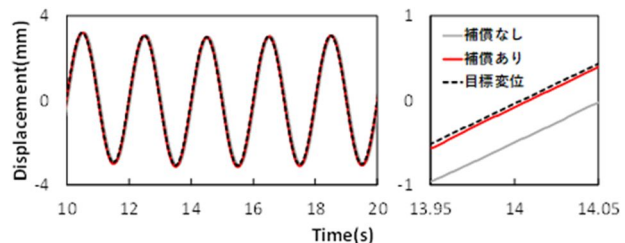


図4 油圧アクチュエータの動作補償の結果

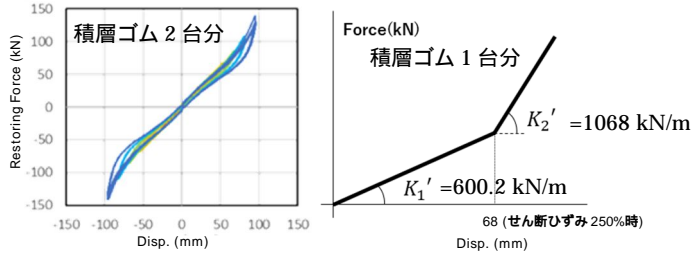


図5 積層ゴム単体試験結果とモデル化

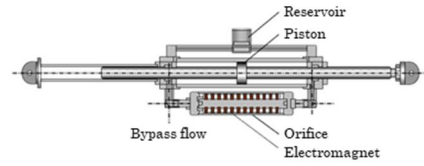


図6 MRダンパー

(2) DRTH 実験結果と解析結果の比較

図7にEl Centro NS 100%入力時のDRTH 実験結果と数値解析結果の比較を示す。なお数値解析では、MR ダンパーのダンパー力は1次遅れ系としてモデル化した。実験と解析は概ね一致していることが確認できる。

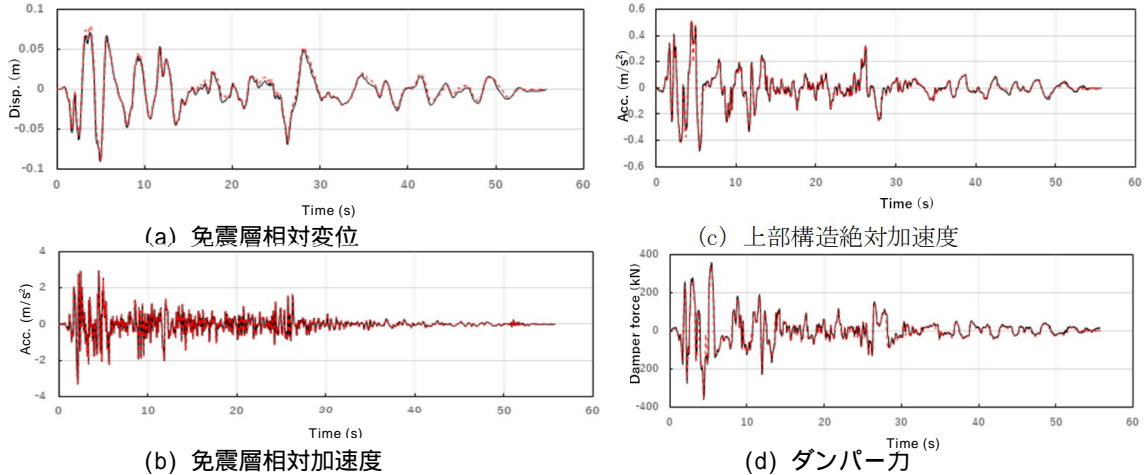


図7 DRTH 実験結果と数値解析結果の比較

(3) DRTH 実験によるセミアクティブ制御の検証

DRTH 実験では、アクチュエータのストロークが±100 mm であることから、すべての制御ケースで最大応答変位が約 90 mm となるように入力地震動倍率を設定した。図8に地震動—最大絶対加速度応答の関係を示す。全ケースで最大応答変位が同程度となるように入力レベルを変えているので、地震動をより大きく入力できたケースが、より絶対加速度を低減したと考えられる。したがって、5つのセミアクティブ制御はいずれも、減衰20%相当のパッシブ制御を適用した場合に比べ加速度低減効果が大きく、特にEF履歴制御は制御効果が高いことが分かる。

(4) 積層ゴムのハードニングのセミアクティブ制御への影響

セミアクティブ制御に対する積層ゴムのハードニングによる影響を検証するため積層ゴムをリニアモデルおよびバイリニアモデルとして解析を行い、両ケースを比較する。入力地震動は、El Centro 1940 NS、JR 鷹取 1995 NS、BCJ-L2、苫小牧 2003 NS の4波とし、入力地震動倍率はそれぞれ120%、25%、50%、60%とした。またセミアクティブ制御の比較対象として、オイルダンパーを模擬した減衰30%のパッシブ制御の解析を行った。バイリニアモデル使用時の最大応答変位をリニアモデル使用時の最大応答変位で除した値を横軸に、バイリニアモデル使用時の最大絶対加速度をリニアモデル使用時の最大絶対加速度で除した値を縦軸にプロットしたものを図9に示す。すべてのケースにおいて縦軸の値が1を上回っており、積層ゴムの

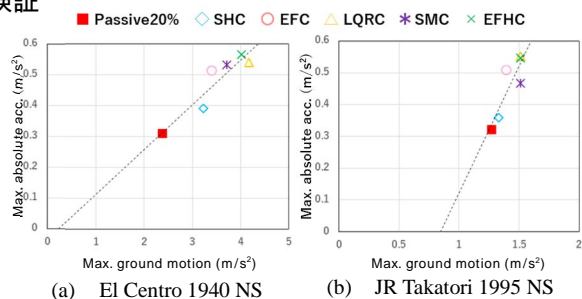
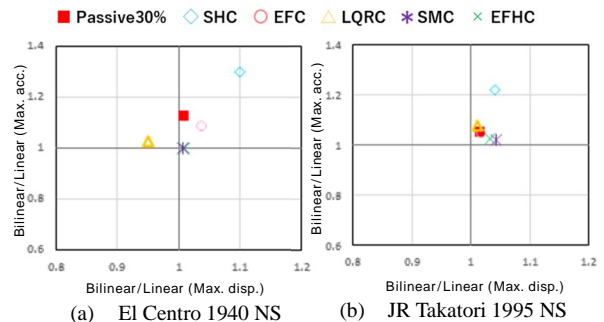
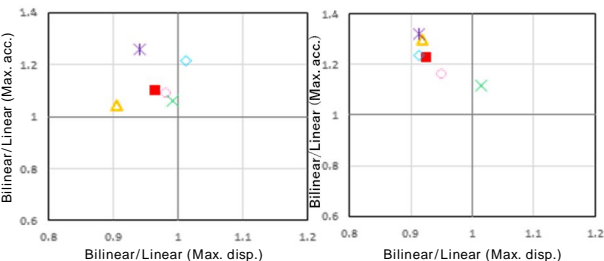


図8 地震動—最大絶対加速度応答の関係



(a) El Centro 1940 NS

(b) JR Takatori 1995 NS



(c) BCJ-L2

(d) Tomakomai 2003 NS

図9 ハードニングを表すバイリニアモデルとリニアモデルの比較

ハードニングによって絶対加速度が上昇することがわかる。しかし EF 履歴制御に関しては、どの地震動においても縦軸の値がともに 1 に近く、ハードニングによる絶対加速度の上昇を小さく抑えられている。パッシブ制御と比較してもハードニング時の最大絶対加速度は小さい。この結果から、EF 履歴制御(EFHC)が、積層ゴムがハードニング領域に入った際に、免震効果に及ぶ影響を受けにくい制御法であることが確認できた。

4.4 大質量比 AMD 制振構造

(1) 対象モデル

2 層の想定建物モデル (図 10) の諸元を表 1 に示す。なお、固有値解析により計算したモデルの 1 次および 2 次の固有周期を併せて表 2 に示す。

(2) 実験結果

ここでは、El Centro NS 20% 入力に対する結果を以下に示す。DRTH 実験は、AMD を 1 階床に設置した場合 (制御ケース) 2 階床に設置した場合 (制御ケース) の 2 通りを想定して行った。AMD の制御力は、AMD 設置階の基礎からの相対速度に比例する力 ($u_i = G\dot{x}_i$) をフィードバック力として与えるものとした。フィードバックゲインは、制御ケース、とも、 $G=1.2 \times 10^5$ Ns/m とした。なお、非制御時の応答については、AMD の相互作用力は建物モデルに作用させないものとした。

図 11, 12 に実験と解析結果の時刻歴を示す。これらの図を比較すると、AMD を 2 階に設置した制御ケース のほうが、制御ケース よりも、実験と解析結果の整合性が良い。また、図 13, 14 に DRTH 実験による、制御時と非制御時の応答の比較を示す。制御ケース より、制御ケース のほうが、応答低減効果がより高いことが分かる。

4.5 実建物への適用

4.3 で検証したセミアクティブ制御を実建物に適用して効果を検証する。

(1) 対象モデル

平面規模：30m × 30m、高さ：34.5m
 上部構造：S 造 5 階建 (上部構造は線形)
 固有周期：免震層固定時 1.28s、免震層初期剛性時 2.11s、免震層 600mm 変形時 4.14s。
 積層ゴム剛性 $K_{NRB}=10630$ kN/m、せん断歪 250% (443mm) でハードニングし、剛性は 3 倍と仮定する。

原設計建物は各方向 2 本のオイルダンパーで構成されている。BCJ-L2 を入力し、MR ダンパー (速度に比例した制御) に置き換え、同程度の減衰係数になるように MR ダンパーの本数を決定した。

(2) 応答解析結果

4.3 で検証した EF 履歴制御において制御変数の組み合わせによる免震層最大変位および最大絶対加速度の関係を図 15 に示す。原設計よりも EF 履歴制御の方が変位および加速度を低減できる制御変数があることが確認できた。

4.6 まとめ

振動台と高速アクチュエータを用いたリアルタイムハイブリッド実験によって、大振幅地震動に対して提案した制御の妥当性が検証された。

<引用文献>

- 1) Mukai Y., Yokoyama A., Fushihara K., Fujinaga T., Fujitani H.: Real-time Hybrid Test Using Two-Individual Actuators to Evaluate Seismic Performance of RC Frame Model Controlled by AMD, Frontiers in Build Environment 6, 2020.11.

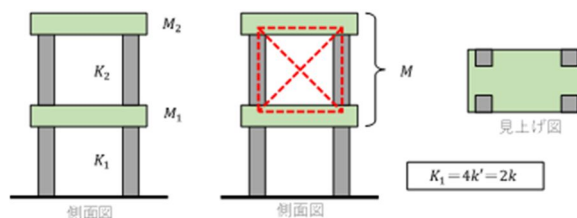


図 10 2 層の想定建物モデル

表 2 想定建物モデルの構造諸元

層 / 次数	固有周期	質量	剛性	減衰係数
	T_i [s]	M_i [kg]	K_i [N/m]	C_i [Ns/m]
1	0.61	8,000	2.5×10^7	1.41×10^5
2	0.25	8,000	1.7×10^7	1.18×10^5

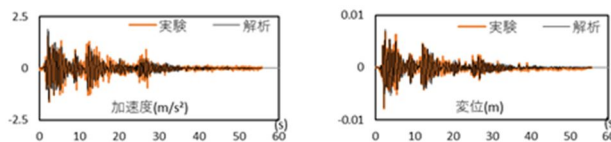


図 11 実験・解析結果の比較 (制御ケース)

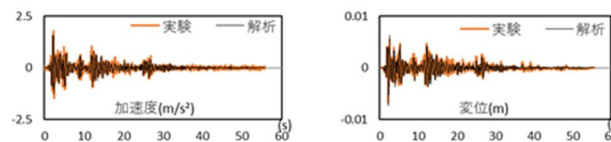


図 12 実験・解析結果の比較 (制御ケース)

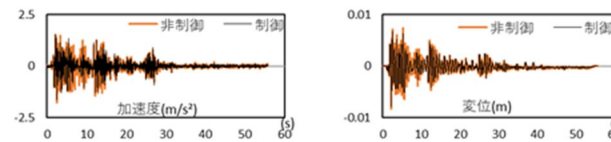


図 13 制御・非制御時の比較 (制御ケース)

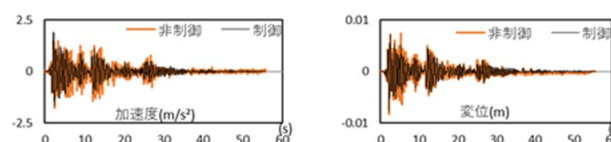


図 14 制御・非制御時の比較 (制御ケース)

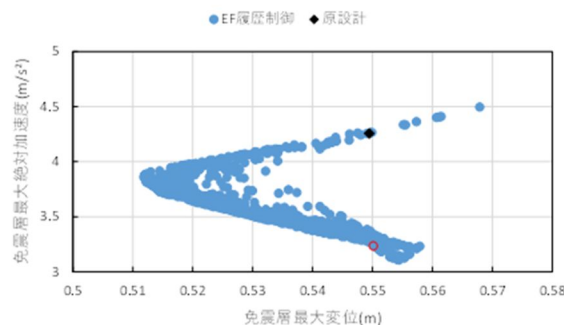


図 15 応答解析結果 (Takatori)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Mukai Yoichi, Yokoyama Ayaka, Fushihara Kohiro, Fujinaga Takashi, Fujitani Hideo	4. 巻 6
2. 論文標題 Real-Time Hybrid Test Using Two-Individual Actuators to Evaluate Seismic Performance of RC Frame Model Controlled by AMD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbuil.2020.00145	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Ayaka Yokoyama, Kohiro Fushihara, Yoichi Mukai, Takashi Fujinaga, Hideo Fujitani
2. 発表標題 Real-Time Hybrid Test Using Multi-Actuators to Estimate Response Control Performance of RC Frame Structure
3. 学会等名 Proc. of 17th World Conference on Earthquake Engineering, (2g-0089)1-11（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aoi Honma, Hideo Fujitani, Yoichi Mukai, Mai Ito
2. 発表標題 DUAL REAL-TIME HYBRID SIMULATION AND SEMI-ACTIVE BASE ISOLATION SYSTEM WITH NONLINEAR BEHAVIOR
3. 学会等名 Proc. of 17th World Conference on Earthquake Engineering, (2g-0120)1-9（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohiro Fushihara, Ayaka Yokoyama, Yoichi Mukai
2. 発表標題 Real-Time Hybrid Test System Using Shaking Table for Performance Evaluation of Active Mass Damper
3. 学会等名 Proc. of 17th World Conference on Earthquake Engineering, (2g-0144)1-9（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoichi Mukai, Hideo Fujitani, Eiji Sato, Erik A. Johnson, Richard Christenson
2. 発表標題 PERFORMANCE EVALUATION OF SLIDING MODE CONTROL FOR SEMI-ACTIVE SYSTEM ON SEISMIC-ISOLATED STRUCTURE
3. 学会等名 Proc. of 17th World Conference on Earthquake Engineering, (2g-0216)1-9 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山綾香、伏原小裕、向井洋一、藤永隆、藤谷秀雄
2. 発表標題 振動台と油圧アクチュエータを利用したリアルタイム・ハイブリッド実験 その1 1層 RC フレーム構造の応答制御を想定した予備実験
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伏原小裕、横山綾香、向井洋一
2. 発表標題 振動台を用いたAMD のリアルタイム・ハイブリッド実験システムに関する研究 その2 複数の制御則による実験結果の検証
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本間葵衣、伊藤麻衣、向井洋一、藤谷秀雄
2. 発表標題 デュアル・リアルタイムハイブリッド実験と非線形免震構造へのセミアクティブ制御の有効性 その2 数値解析による制御効果の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田雅也、横山綾香、伏原小裕、向井洋一、藤永隆、藤谷秀雄
2. 発表標題 振動台と油圧アクチュエータの同期による RC 構造建物のリアルタイム・ハイブリッド実験 (その 1 油圧アクチュエータの駆動の時間遅れ補償)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山綾香、太田雅也、伏原小裕、向井洋一、藤永隆、藤谷秀雄
2. 発表標題 振動台と油圧アクチュエータの同期による RC 構造建物のリアルタイム・ハイブリッド実験 (その 2 リアルタイム・ハイブリッド実験の概要と AMD による応答制御の検証)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伏原小裕、向井洋一
2. 発表標題 振動台を用いたAMD のリアルタイム・ハイブリッド実験システムに関する研究 その 2 複数の制御則による実験結果の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田雅也、横山綾香、伏原小裕、向井洋一、藤谷秀雄、藤永隆
2. 発表標題 鉄筋コンクリート造部分試験体とアクティブマスダンパーを用いた制振構造のリアルタイム・ハイブリッドシミュレーション実験
3. 学会等名 日本地震工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井俊之助、横山綾香、太田雅也、向井洋一、藤永隆、藤谷秀雄
2. 発表標題 振動台と油圧アクチュエータを利用したリアルタイム・ハイブリッド実験 その2 2層RC建物モデルの振動制御を想定したRTHS実験
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中麦空、伏原小裕、向井洋一
2. 発表標題 振動台によるAMDのリアルタイム・ハイブリッドシミュレーションに関する研究 その3 1質点系モデルのAMD制御に関する検証
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本間葵衣、藤谷秀雄、向井洋一
2. 発表標題 デュアル・リアルタイムハイブリッド実験と非線形免震構造へのセミアクティブ制御の有効性 その3 ダンパーの時間遅れを考慮した制御効果の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田雅也、藤井俊之助、向井洋一、藤永隆、藤谷秀雄
2. 発表標題 振動台と油圧アクチュエータの同期によるRC 構造建物のリアルタイム・ハイブリッド実験 (その3 リアルタイム・ハイブリッド実験の概要と遅れ時間補償)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井俊之助、太田雅也、向井洋一、藤永隆、藤谷秀雄
2. 発表標題 振動台と油圧アクチュエータの同期によるRC 構造建物のリアルタイム・ハイブリッド実験 (その4 想定する2 質点構造モデルの構成とAMD による応答制御の検証)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伏原小裕, 田中麦空, 向井洋一
2. 発表標題 振動台を用いたAMDのリアルタイム・ハイブリッド実験システムに関する研究 (その3) 1質点モデルのAMD制御に関する検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中麦空, 伏原小裕, 向井洋一
2. 発表標題 振動台を用いたAMDのリアルタイム・ハイブリッド実験システムに関する研究 (その4) 数値解析による実験結果の再現性の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本間葵衣, 伊藤麻衣, 向井洋一, 藤谷秀雄
2. 発表標題 デュアル・リアルタイムハイブリッド実験による非線形セミアクティブ免震構造の検証
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間葵衣, 伊藤麻衣, 向井洋一, 藤谷秀雄
2. 発表標題 デュアル・リアルタイムハイブリッド実験と非線形免震構造へのセミアクティブ制御の有効性
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間葵衣, 伊藤麻衣, 向井洋一, 藤谷秀雄
2. 発表標題 デュアル・リアルタイムハイブリッド実験と非線形免震構造におけるセミアクティブ制御の有効性
3. 学会等名 日本地震工学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	向井 洋一 (Mukai Yoichi) (70252616)	神戸大学・工学研究科・准教授 (14501)	
研究分担者	藤永 隆 (Fujinaga Takashi) (10304130)	神戸大学・都市安全研究センター・准教授 (14501)	
研究分担者	浅田 勇人 (Asada Hayato) (70620798)	神戸大学・工学研究科・助教 (14501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	梶原 浩一 (Kajiwara Koichi) (10450256)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震減災実験研究部門・総括主任研究員 (82102)	
研究分担者	佐藤 栄児 (Sato Eiji) (60343761)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震減災実験研究部門・主任研究員 (82102)	
研究分担者	榎田 竜太 (Enokida Ryuta) (20788624)	東北大学・災害科学国際研究所・准教授 (11301)	
研究分担者	伊藤 麻衣 (Ito Mai) (90647421)	国立研究開発法人建築研究所・国際地震工学センター・主任研究員 (82113)	
研究分担者	丸尾 純也 (Maruo Junya) (80834142)	戸田建設株式会社（価値創造推進室 技術開発センター（構造技術ユニット、環境創造ユニット、社会基盤構築・構造技術ユニット・研究員 (92673)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
	米国	コネチカット大学	南カリフォルニア大学	カリフォルニア大学サンディエゴ校