

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01577

研究課題名(和文)変位制御設計に有効な複素減衰を模擬する免震用高性能パッシブ減衰デバイスの開発

研究課題名(英文)Development of a passive rate-independent linear damping device effective in displacement control of seismic isolated buildings

研究代表者

五十子 幸樹 (IKAGO, Kohju)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：20521983

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：免震効果と長周期地震動に伴って発生する恐れのある過大変形抑制効果の両立を目指し、複素減衰に着目して、その利点を活用するパッシブ制御装置の開発を行った。Maxwell型の減衰要素と負バネの組み合わせにより精度良く複素減衰を近似できることを理論的・実験的に確かめた。更に、Scott-Blairモデルと呼ばれる分数階減衰モデルとバネを直列結合した要素に更に負バネを直列接続することで近似精度を高められることを発見した。この分数次導関数モデルでは、複素減衰の因果的モデルとして個別に提案されていた既往の3つのモデル統一的に表現できるモデルであることを発見し、複素減衰に関する因果的近似の統一理論を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、近年解決すべき社会的課題の一つとなっている長周期長時間地震動によって生じる超高層建物や免震構造物のような長周期構造物の振動制御に有効な複素減衰の実デバイスとしての実装を検討した。複素減衰が長周期構造物の床応答加速度などを増大させずに同時に過大変形を抑制することに有効であることは理論的に示されていたが、これを物理的にかつパッシブ機構として実装する方法は見出されていなかった。本研究は、非因果性を有する複素減衰について、その利点を損なわずに因果的に精度良く近似する効果的な方法を提案し、上記の社会的課題解決の端緒を開いたことに意義がある。

研究成果の概要(英文)：A passive control system that mimics the performance of rate-independent linear damping (RILD) to achieve simultaneous reduction of floor response acceleration and excessive deformation that may be caused by long-period ground motion is developed. Theoretical and experimental study confirmed that a combination of a Maxwell element and a negative stiffness can accurately approximate RILD. In addition, it is found that a combination of the Scott-Blair model, a series connection of a fractional derivative damping model and a spring, and a negative stiffness element in parallel arrangement improve the accuracy of the approximation. Further, the proposed fractional-order derivative model is found to be a model that can unify the three previously proposed causal models for RILD, developing a unifying theory of causal approximation for RILD.

研究分野：耐震工学

キーワード：複素減衰 構造 Maxwellモデル Biotモデル 長周期地震動 長周期構造物 変位制御設計 免震構造 制振

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

1994年カリフォルニア州ノースリッジ地震では、免震構造を採用していた南カリフォルニア大学病院で、1995年阪神・淡路大震災でも同様に免震構造を採用していた郵政省 WEST ビルで免震効果が確認され、我が国におけるそれ以降の免震構造の普及の契機となった。一方でノースリッジ地震では長周期パルスが観測され、その免震構造物への影響が指摘された(Heaton *et al.* 1995)。我が国でも近年、免震構造物の過大変形を誘発する恐れのある長周期地震動が観測されると共に、東日本大震災を契機に大振幅地震動に対する対策が求められていた。実際、国土交通省は平成28年に「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」を取りまとめ地方公共団体等の関係各団体宛に通知した。この国土交通省通知は、南海トラフ沿いの巨大地震により発生することが予測される地震動について検討用の資料を提示したものであって、具体的な対策は今後の研究開発や設計者に委ねられている。まさに、長周期地震動や大振幅地震動に対する長周期構造物制御に有効な制御理論の構築と、具体的な対策技術の提案が求められる状況にあった。

米国では、免震効果を損なうことなく免震層変形を抑制する方法として、免震層の変形に応じて制御力を増大させる制御方法が提案されていた(例えば Kelly *et al.* 1980; Inaudi 1997; Zargar *et al.* 2013)。我が国でも本研究課題における研究連携者の井上と研究代表者の五十子が「変位制御設計」(五十子・井上 2012)という概念を提唱して、性能可変オイルダンパー、連結機構付き摩擦ダンパー(Zou *et al.* 2013, Hori *et al.* 2013, 2014)、セミアクティブダンパーの変位制御則(Kanno, Shimada, and Ogawa 2006, 菅野・堀・井上 2008, 佐上・堀・井上 2008, Kanno, Hori, and Inoue 2008)を提案した。この他にも、免震効果を維持しながら免震層の地震時過大变位を抑制する装置開発への関心が広がりを見せており、実物大装置(例えば 長島 2015)の研究開発も活発化していた。

### 2. 研究の目的

本研究課題では先ず理論的な検討に基づいて従来の地震時応答制御とは異なる原理に基づく制御方法を提案し、発生頻度の高い一般的な地震動から低頻度巨大地震に至るまで効果的に制御可能な震動制御デバイスを開発することを目的とした。

国土交通省が発表した南海トラフ沿いの巨大地震では、在来型の震動減衰装置である速度依存型ダンパーや履歴型ダンパーの数を増やすような対策では高い効果が得られないばかりか却って危険な場合もある。既往の対策技術の延長で速度依存型ダンパーや履歴型ダンパーの量を増やす対策を実施しても、発生頻度が高く短周期成分が卓越する一般的な地震動を受けた時に、大きな床応答加速度を生じてしまうことで建物内部の家具什器の転倒を誘発し、震動制御効果を却って劣化させてしまう恐れがあるからである。このように、従来のエネルギー吸収の考え方に則った地震時応答制御の考え方の延長では長周期地震動対策が困難と考え、新しい原理に基づく対策技術を開発することを目指した。一方でこれまでの研究で、複素減衰を免震構造物に組み込んだ時、既往の制御技術で免震効果が得られる上限を超えて臨界減衰比で30%以上まで制御量を増大させても地震時床応答加速度を増大させることなく構造物の地震時変形を効果的に抑制できることを理論的に解明していた(図1, Ikago and Inoue 2014)。

従来の構造物震動制御の考え方は、地動から構造物へ入力する破壊エネルギーの一部をダンパーと呼ばれるエネルギー消費装置で吸収し、構造物の損傷に寄与するエネルギーを低減する考え方に基づいていた。このエネルギー吸収の考え方では、全周波数領域で全体としてのエネルギー吸収を大きくすることを目標としており、1990年代以降の我が国における制振構造や免震構造の普及に大きく貢献した。これに対し本研究課題では、長周期地震動に対してはエネルギーの高振動数成分入力効率を下げ、低振動数成分の消費率を向上させるような周波数成分毎の制御を目指した。

### 3. 研究の方法

研究は、理論と実験の両面からのアプローチで実施した。理論に関しては、先ず既往の研究を再整理するところから実施した。本件研究課題で長周期構造物の変位制御に有効であることから着目している複素減衰に関する既往研究としては、Biot (1958) によるものが有名である。これに加えて Makris (1997)による精力的研究による発展にも注目した。Makris のモデルが特殊な場合に Biot のモデルに一致することや、これらモデルが一般化 Maxwell モデル(または Maxwell-Wiechert モデル)に帰着することから、複素減衰の一般統一理論の足がかりを得た。一方で、減

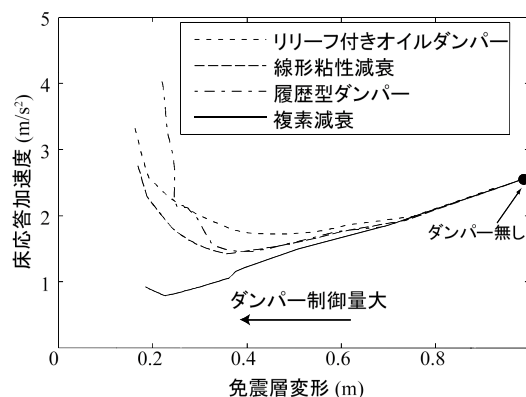


図1 複素減衰の高い制御効果

衰要素について，その抵抗力が変位の一階微分である速度に比例する場合に限らず，変位の分数階微分に比例する場合に理論を拡張することを検討した。

実験的アプローチでは，線形のオイルダンパーとコイルばね試験体を製作して Maxwell 要素試験体を構成し，リアルタイム・ハイブリッド実験によって提案モデルが理論で期待される効果を発揮するかどうかを確認し，実物大の装置を開発するにあたりどのような課題があるかを抽出することとした。

#### 4. 研究成果

理論面では，理論モデルである複素減衰を因果的・物理的に実装する場合の近似精度向上を目的として検討に取り入れた分数階減衰モデルが，実はこれまでに知られていた複素減衰の因果的近似モデルを統一的に説明するモデルとなることを発見した。

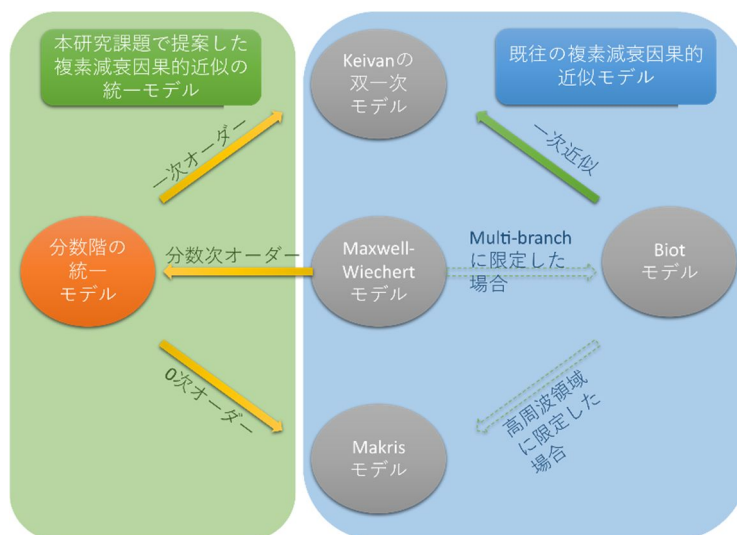


図2 本研究課題で提案した複素減衰因果近似の統一モデルと既往モデルの関係

本研究課題で提案した複素減衰の因果的近似モデルは分数階導関数に従う減衰要素と線形バネを直列に接続した Scott-Blair モデルに更に負バネ要素を並列結合したものである。このモデルは理想的な複素減衰の近似精度向上を目的として図2に整理するように，Maxwell-Wiechert モデルの減衰要素を分数階モデルに置き換えたものに相当するが，その1次要素のみを取り出して更にオーダーを一次とすると Keivan (2017)のモデルに，0次オーダーとすると Makris (2017)が提案したモデルに一致することを発見した。このことから，本研究課題では提案分数階モデルにより複素減衰の因果的近似モデルについて統一理論を提示できたことを意味する。複素減衰の因果的近似理論に関して新たな視点を与え，見通しを良くした本研究の学術的な意義は高い。

実験的検討では，複素減衰近似の基本要素である Maxwell 体をオイルダンパーとコイルばねの縮小試験体として製作し(図3)，リアルタイム・ハイブリッド実験を実施した。実験では，短周期成分が卓越する地震動に対して，物理的に実現した装置縮小試験体が，複素減衰の性能を良く近似することを確認した一方で，長周期地震動に対してはバネ要素部の摩擦の影響により複素減衰の近似精度が劣化する場合があることを明らかにした。以上より，今後実建物へ適用可能な規模のデバイスを開発するに当たっての課題を抽出するなど有用な知見を得ることが出来た。



図3 Maxwell型ダンパー試験体を用いたリアルタイムハイブリッド実験

#### 参考文献

- Heaton, TH., Hall, JF., Wald, DJ., Halling, MV. (1995). Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical Mw 7.0 blind thrust earthquake, *Science* **267**, 206-211.
- Kelly, JM., Beucke, KE., Skinner, MS. (1980). Experimental Testing of a Friction Damped Aseismic Base Isolation System with Fail-safe Characteristics, EERI Report No. UCB/EERC-80/18.
- Inaudi, J. (1997). Modulated Homogeneous Friction: A Semi-active Damping Strategy, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, **26**, 361-376.

Zargar, H., Ryan, K.L., Marshall, J.D. (2013). Feasibility study of a gap damper to control seismic isolator displacements in extreme earthquakes, *Structural Control and Health Monitoring*, **20**, 1159 – 1175.

井上・五十子 (2012) ,建築物の変位制御設計 - 地震に対する免震・長周期建物の設計法 - ,丸善出版

Zou Shuang, Masahiro Ikenaga, Norio Hori, Kohju Ikago, Norio Inoue (2013) Development of friction damper with coupling mechanism for displacement control of base-isolated system, *AIJ Journal of Technology and Design*. **19**(43); 855-860.

N.Hori, S.Zou, M.Ikenaga, K.Ikago, N.Inoue (2013) Control of Seismic Response Displacement of Base Isolated Structure Specimen by Friction Damper with Coupling Mechanism, *Proceedings of 13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures*, Sendai, Japan, paper 881275.

N.Hori, M.Ikenaga, K.Ikago, N.Inoue (2014) Multistage Friction Damping to Control the Response of a Base Isolated Structure, *Proceedings of the Twelfth International Conference on Computational Structures Technology*, Naples, Italy, paper 223.

Kanno, Shimada, Ogawa (2006) Study on a MR damper utilizing magnetorheological fluid composed of different size of particles, *Theoretical and applied Mechanics Japan*, **55**; 91-96.

菅野秀人,堀則男,井上範夫 (2008) 磁気粘性流体ダンパーを用いた層間変形情報に基づくセミアクティブ制御に関する実験的検討, 構造工学論文集, **54B**; 617-622.

佐上瑤子,堀 則男,井上範夫 (2008) 磁気粘性流体ダンパーを用いた免震建物の応答制御手法の検討及び提案, 日本建築学会構造系論文集, **73**(627); 709-716.

Hideto Kanno, Norio Hori, Norio Inoue (2008) SEMIACTIVE CONTROL OF SEISMIC RESPONSE BASEDON STORY DISPLACEMENT USING MAGNETORHEOLOGICAL FLUID DAMPER, *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper ID 05-06-0032.

長島他 (2015) ,可変減衰オイルダンパーを用いた免震構造物のスライディングモード制御, 日本建築学会構造系論文集, **75**(649), 511–519.

Ikago, K., Inoue, N. (2014) Behavior of Rate-independent Linear Damping Incorporated into Long-period Structures Subjected to Strong Ground Motions, *Proceedings of the 6th World Conference on Structural Control and Monitoring*, Barcelona, Spain, 1116-1124.

Biot, M. A. (1958). "Linear thermodynamics and the mechanics of solids." Proc., 3rd U.S. National Congress of Applied Mechanics, ASME, New York, 1–18.

Makris, N. (1997). Causal Hysteretic Element, *J. Eng. Mech., ASCE*, **123**(11); 129-1214.

Keivan, A., Phillips B.M., Ikenaga M., Ikago K. (2017) Causal Realization of Rate-Independent Linear Damping for the Protection of Low-Frequency Structures, *J. Eng. Mech., ASCE*, **143**(9); 04017058.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Xie Liyu, Ban Xinlei, Xue Songtao, Ikago Kohju, Kang Jianfei, Tang Hesheng	4. 巻 9
2. 論文標題 Theoretical Study on a Cable-Bracing Inerter System for Seismic Mitigation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4096 ~ 4096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app9194096	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 該当する
1. 著者名 Keivan Ashkan, Zhang Ruiyang, Keivan Darioush, Phillips Brian M., Ikenaga Masahiro, Ikago Kohju	4. 巻 0
2. 論文標題 Rate-Independent Linear Damping for the Improved Seismic Performance of Inter-Story Isolated Structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 1 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13632469.2019.1693444	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Sugiura Keita, Watanabe Yuta, Asai Takehiko, Araki Yoshikazu, Ikago Kohju	4. 巻 26
2. 論文標題 Experimental characterization and performance improvement evaluation of an electromagnetic transducer utilizing a tuned inerter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Vibration and Control	6. 最初と最後の頁 56 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1077546319876396	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 該当する
1. 著者名 Zhang Ruifu, Zhao Zhipeng, Pan Chao, Ikago Kohju, Xue Songtao	4. 巻 27
2. 論文標題 Damping enhancement principle of inerter system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Structural Control and Health Monitoring	6. 最初と最後の頁 e2523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/stc.2523	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keivan Ashkan, Phillips Brian M., Ikago Kohju	4. 巻 167
2. 論文標題 Adaptive causal realization of rate-independent linear damping	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 256 ~ 271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2018.04.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Luo H., Ikago K., Chong C., Keivan A., Phillips B.M.	4. 巻 181
2. 論文標題 Performance of low-frequency structures incorporated with rate-independent linear damping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 324 ~ 335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engstruct.2018.12.022	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 該当する

1. 著者名 Luo Hao, Ikago Kohju	4. 巻 0
2. 論文標題 Unifying causal model of rate independent linear damping for effectively reducing seismic response in low frequency structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earthquake Engineering & Structural Dynamics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/eqe.3450	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 該当する

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 五十子幸樹, 羅浩, 福田伊織, 李大偉
2. 発表標題 A first-order approximation of Biot's model to realize rate-independent linear damping Part1: A review of the state of the art
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羅;浩, 福田伊織, 李大偉, 五十子幸樹
2. 発表標題 A first-order approximation of Biot's model to realize rate-independent linear damping Part2: Dynamic behavior of structures with different models
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 半澤吉将, 倉重万梨乃, 五十子幸樹
2. 発表標題 減衰性能可変オイルダンパーによる免震構造物の地震時応答変位制御
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤拓海, 倉重万梨乃, 五十子幸樹
2. 発表標題 減衰性能可変オイルダンパーによる免震構造物の地震時応答変位制御 その1 実物大部分試験体を用いた動的加振実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉重万梨乃, 伊藤拓海, 五十子幸樹
2. 発表標題 減衰性能可変オイルダンパーによる免震構造物の地震時応答変位制御 その2 性能可変オイルダンパーまたは既往セミアクティブダンパーを適用した設計比較
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 木田英範, 池永昌容, 中南滋樹, 五十子幸樹, 井上範夫
2. 発表標題 液圧で駆動する歯車モータを利用した回転慣性質量ダンパーの開発 その5 可変質量効果を持つiHGD 試験体の概要
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池永昌容, 木田英範, 中南滋樹, 五十子幸樹, 井上範夫
2. 発表標題 液圧で駆動する歯車モータを利用した回転慣性質量ダンパーの開発 その6 可変質量効果を持つiHGD 試験体の加振実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hao LUO, 福田伊織, 半澤吉将, Dawei LI, 五十子幸樹
2. 発表標題 A causal fractional-order filter to approximate the performance of rate-independent linear damping Part 1: The proposed model
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 半澤吉将, Hao LUO, 福田伊織, Dawei LI, 五十子幸樹
2. 発表標題 A causal fractional-order filter to approximate the performance of rate-independent linear damping Part 2: Impulsive response of structure systems with the proposed model
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年



1 . 発表者名 Brian Phillips, Ashkan Keivan, Kohju Ikago
2 . 発表標題 ADAPTIVE APPROXIMATION OF RATE-INDEPENDENT LINEAR DAMPING FOR LOW-FREQUENCY STRUCTURES
3 . 学会等名 The 11th National Conference on Earthquake Engineering ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Luo, C. Chong, K. Ikago, A. Keivan, B.M. Phillips
2 . 発表標題 PASSIVE IMPLEMENTATION OF RATEINDEPENDENT LINEAR DAMPING USING A NEGATIVE STIFFNESS ELEMENT
3 . 学会等名 The 11th National Conference on Earthquake Engineering ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Luo, C. Chong, H. Higano, K. Ikago, N. Inoue
2 . 発表標題 Feasibility study of passive energy dissipation devices for the seismic protection of low-frequency structures
3 . 学会等名 The 7th World Conference on Structural Control and Monitoring ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Hao Luo, Yoshimasa Hanzawa, Kohju Ikago
2 . 発表標題 Seismic performance enhancement of a baseisolation structure by using a passive rateindependent damping model
3 . 学会等名 The 7th Asia Conference on Earthquake Engineering, Bangkok, Thailand ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 倉重万梨乃, 日向野颯, 五十子幸樹
2. 発表標題 ダイナミック・マス - パネ - ダンパー直列システムによる複素剛性ダンパー模擬
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十子幸樹, 佐々木裕一
2. 発表標題 応答周期適応型低次因果的デジタルフィルタによる免震用複素剛性ダンパーの実現
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日向野颯, 五十子幸樹
2. 発表標題 ダイナミック・マス - パネ - ダンパー直列システムによる複素剛性ダンパー模擬
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉重万梨乃, 佐々木裕一, 五十子幸樹
2. 発表標題 応答周期適応型低次因果的デジタルフィルタによる免震用複素剛性ダンパーの実現
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hao Luo, Kohju Ikago
2. 発表標題 A generalized model of approximated rate-independent linear damping incorporated into base-isolated structure
3. 学会等名 The 17th World Conference on Earthquake Engineering ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 羅浩, 劉威, 五十子幸樹
2. 発表標題 Numerical implementation of a fractional-order filter for approximating rate-independent linear damping
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 羅浩, 劉威, 五十子幸樹
2. 発表標題 An order reduction technique for nonlinear dynamic analysis of a structural system incorporated with rateindependent linear damping Part 1: Formulation of the technique
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 劉威, 羅浩, 五十子幸樹
2. 発表標題 An order reduction technique for nonlinear dynamic analysis of structural system incorporated with rateindependent linear damping Part 2: Numerical verification
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020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	薛 松濤 (XUE Songtao) (70236107)	東北工業大学・建築学部・教授  (31303)	
研究分担者	堀 則男 (HORI Norio) (60292249)	東北工業大学・建築学部・教授  (31303)	
研究分担者	菅野 秀人 (KANNO Hideto) (20336449)	秋田県立大学・システム科学技術学部・教授  (21401)	
研究分担者	池永 昌容 (IKENAGA Masahiro) (50552402)	関西大学・環境都市工学部・准教授  (34416)	

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	フロリダ大学			
中国	同済大学			