

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00788

研究課題名（和文）多様な地震動に備える次世代高機能免震構造の開発

研究課題名（英文）Development of next-generation high-performance seismic isolation system to prepare for earthquake ground motions with various properties

研究代表者

菊地 優（Kikuchi, Masaru）

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：50344479

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,810,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、地震防災の有効な手段である免震構造を社会に広く普及させるべく、新たな免震構造の提案を目的とする。海溝型巨大地震による長周期地震動および内陸直下型地震による大振幅パルス性地震動という多様な地震動に対して所要の性能を確実に発揮できる免震構造の実現を目指して、具体的には長周期地震動による大変形・多数回繰り返し変形にも免震性能を維持できる高耐久型免震構造と、大振幅地震動でも限界変形を超えずに加速度低減効果を発揮できる変位抑制型免震構造の2つの高機能免震構造の開発を行った。本研究で提案した高機能免震構造は、今後の地震防災対策の一翼を担う次世代型免震構造となることが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

免震構造は1995年兵庫県南部地震でその有効性が実証されたことを契機に、建物と内部収容物の両方を震害から守る構法として広く普及してきた。一方、日本では南海トラフ沿いの巨大地震の発生が懸念される一方で内陸直下型地震にも頻繁に見舞われ、長周期構造物である免震構造の安全性への懸念が生まれている。本研究では、その懸念を払しょくすべく、長周期地震動や大振幅パルス性地震動という多様な特性を有する地震動に対して所要の性能を確実に発揮できる新たな免震構造を提案した。従前の免震構造に高耐久性と変位抑制という2つの機能を付与した高機能免震構造の基本コンセプトを確立し、その有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：In this work, we proposed a seismic isolation system that harnesses cutting-edge seismic isolation technology to form an effective structural system for earthquake disaster prevention. Our aim is to create a seismic isolation structure that is sufficiently robust to a variety of ground motions, such as long-period motions caused by mega subduction earthquakes and large-amplitude pulse-like motions caused by inland earthquakes. We developed two high-performance isolation systems: a highly durable isolation system that can maintain operation even for large and repeated deformations, and a displacement-controlled isolation system that can reduce acceleration without exceeding the deformation limit even for large-amplitude seismic ground motions. The proposed systems will form a vital part of the next-generation structural systems for future earthquake disaster prevention.

研究分野：建築構造

キーワード：免震構造 積層ゴム 弾性すべり支承 回転慣性装置 振動実験 画像解析 長周期地震動 大振幅地震動

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

免震構造は建物基礎部に設置する免震装置によって地震の揺れを遮断し、建物内部の揺れ(加速度)を劇的に低減する。構造躯体の損傷防止に加え、什器・家具の転倒による人的被害を低減し、美術品や精密機器の損傷を回避できる。免震構造は1995年阪神淡路大震災を契機に急増し、2004年新潟県中越地震では地震後の事業継続の観点からも有効であるとの認識が広まった。2011年東日本大震災では免震構造の防災拠点が震動被害を免れ建物機能を維持したことで、被災者の救護活動を継続できた。それ以降、防災拠点建物の免震化が一気に進み、免震構造に対する社会の期待は非常に大きい。

地震観測網の充実や地震動予測研究の進展により、様々な特性を有する地震動の発生が懸念されるようになってきた。南海トラフ沿いの巨大地震のような海溝型地震では継続時間の長い地震動が予測され、多数回繰り返し変形により免震装置の性能が劣化し想定以上の変形が生じる可能性が指摘されている。また、長周期構造物である免震建物が長周期地震動を受けることで、共振現象による免震装置の損傷や擁壁への衝突なども想定され、図1のような極限事象への対応が必須となっている。一方、2016年熊本地震では内陸直下型地震に特有な大振幅長周期パルス性地震動によって、設計想定以上の変形を生じた免震建物があった。過大変形抑制対策として多量のダンパー増設が検討されているが、減衰過多により免震構造の本来の長所である加速度低減効果が損なわれてしまうなど、現有技術では対処困難な課題が多く提起されている。

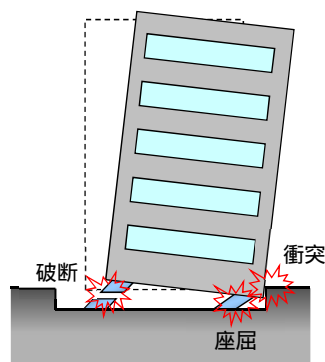


図1 免震構造の極限事象

以上の状況に鑑み、今後も免震構造が地震防災対策の一翼を担うには、多様性を極める地震動に対処できる次世代型の高機能免震構造の実現が急務と考え、本研究を遂行するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多様な特性を有する地震動に対処可能な次世代型の高機能免震構造の創出である。この目的に沿い、従前の免震構造に高耐久と変位抑制という2つの機能を付与した高機能免震構造の基本コンセプトを確立する。高耐久免震構造とは海溝型地震が発する長周期地震動に対処するためのものであり、長い地震継続時間における多数回の繰り返し変形に対しても性能低下を起こさない免震装置を開発する。一方、変位抑制免震構造とは内陸直下型地震に特有な大振幅長周期パルス性地震動に対処するためのものであり、加速度低減効果を損なうことなく応答変位を抑制して擁壁衝突などの極限事象を回避する方策を考える。

3. 研究の方法

本研究では、高耐久免震構造と変位抑制免震構造の開発を並行して実施するとともに、別途、両免震構造の性能検証に必要な地震動の作成を行い、最後に研究の総括として高機能免震構造の設計体系化を試みる。以下、各研究プロセスの概要を示す。

(1) 高耐久免震構造

免震装置が多数回の繰り返し変形によって性能劣化する要因は、履歴減衰で吸収した熱エネルギーが蓄積することによる装置内部の温度上昇と金属の塑性変形による累積疲労損傷に大別される。主要な免震装置のうち、高減衰積層ゴム(HDR)、鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)、錫プラグ入り積層ゴム(SnRB)、高摩擦すべり支承(SLD)は前者を要因とし、免震U型ダンパー(UDP)は後者を要因とする。本研究では、このうち、LRB、SnRB、SLD、UDPを対象に繰り返し変形による力学特性の変化をシミュレーションするための解析システムの開発から始め、続いて解析システムを用いて繰り返し変形による特性変化の現象把握と長周期地震動による免震建物の応答への影響把握を行う。さらに、性能劣化の要因となる熱の蓄積と温度上昇を抑制する方策について提案を行う。

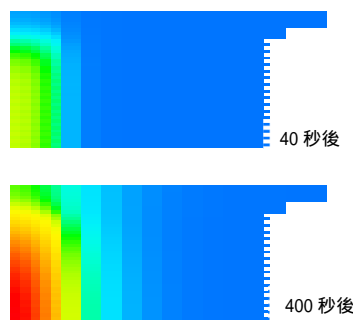


図2 繰り返し変形によるLRBの熱・力学連成挙動

繰り返し変形による力学特性の変化を予測するには、免震装置の熱伝導解析と力学解析を組み合わせた熱・力学連成解析システムが必要となる。本研究では米国UC Berkeleyで運用されているオープンソース構造解析システムOpenSeesをプラットフォームとして、解析システムを開発する。これにより図2のように免震装置の内部温度分布の把握が可能となる。併せて、積層ゴムの大変形時のひずみ分布を評価するためのデジタル画像解析による光学的3次元変形計測システムの開発にも着手する。このシステムで積層ゴムのひずみ分布を可視化し把握することで、破断の起点となるひずみ集中を抑制する形状の提案など、積層ゴムの高耐久化が可能となる。

(2) 変位抑制免震構造

本研究で提案する変位抑制免震構造とは、図3のように回転慣性装置による長周期化と硬化型復元力装置による高剛性化を組み合わせた免震システムである。建物周期は従来の免震構造と同程度となり加速度低減効果は維持でき、大変形時には硬化型復元力により剛性を増加させて変位を抑制し擁壁衝突を回避する。

回転慣性装置と硬化型復元力装置の組み合わせによる変位抑制免震構造の着想は本研究遂行前に得ており、本研究では変位抑制効果を加振試験により検証する。加振試験は2か年度で実施し、初年度は質量20kg程度の縮小試験体による基礎検討を実施し、次年度は質量4ton程度の大型試験体による性能検証を行う。

加振試験と並行して、熱・力学連成解析システムの開発プラットフォームとして用いるOpenSeesに回転慣性装置と硬化型復元力装置の材料特性の実装作業を行い、加振試験のシミュレーション解析に備える。加振試験は限られた条件での検討となるため、加振試験結果をOpenSeesで再現することで解析手法の妥当性を得た後に、回転慣性装置と硬化型復元力装置の最適諸元の探索をOpenSeesによって解析的に行うこととなる。

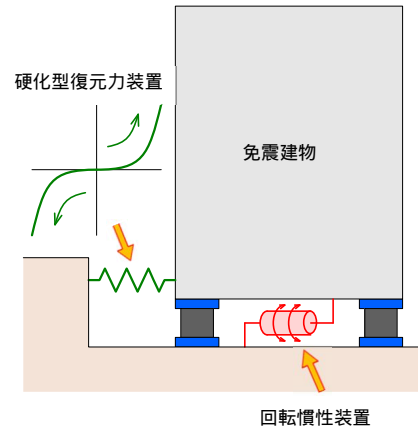


図3 変位抑制免震構造のコンセプト

(3) 地震動予測

本研究で提案する高機能免震が対峙すべき多様な地震動としては、海溝型巨大地震と内陸活断層沿いの地震の双方を対象とする。検討用地震動としては、過去の地震観測記録、既往の予測地震動に加えて、新たに地震動を予測する。海溝型巨大地震としては、相模トラフ沿いの地震、南海トラフ沿いの地震(関西以西の地域)や千島海溝沿いのM9クラス地震の地震動を予測する。内陸活断層沿いの地震に関しては2016年熊本地震で観測された長周期パルスの再現を試みる。

4. 研究成果

(1) 高耐久免震構造

繰り返し変形による特性変化を再現するための解析モデル(力学モデルおよび熱伝導モデル)をOpenSeesに実装した。これにより以下に示す免震装置について、その特性変化を考慮した免震建物の地震応答解析が可能となった。

- ・鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)
- ・錫プラグ入り積層ゴム(SnRB)
- ・高摩擦すべり支承(SLD)
- ・免震U型ダンパー(UDP)

上記の免震装置のうち、免震U型ダンパー以外は熱・力学連成挙動を表現するために、熱伝導解析モデルが必要となる。LRB、SnRBでは丸型断面の場合には図4の軸対称モデルとなる。SLDでは図5のように発熱箇所となる摺動部の水平2方向の移動を考慮し、かつすべり板からの空気中への放熱を考慮する特殊な熱伝導解析モデルを新たに構築した。UDPについては、熱伝導解析モデルは必要とせず、累積変形による損傷評価モデルを構築した。加えて、SnRBとUDPについては大変形領域まで対応可能な復元力モデル(力学モデル)を新たに構築した。(LRB、SLDの復元力モデルは、先行研究で構築済み)

解析システムの妥当性を検証するために、SnRBの繰り返し载荷試験を再現した結果を図6に例示する。ゴム外径700mmのSnRBにせん断ひずみ178%の水平変形を150サイクル繰り返し载荷した試験結果について、荷重が徐々に低下している状況が良好に再現されていることを確認した。

次に、高耐久化を施した免震装置について示す。繰り返し载荷試験や上記の熱・力学連成解析システムによる結果から、繰り返しによる性能劣化を抑制するには免震装置内部の温度上昇を抑えることが最も効果的であることが明らかとなった。温度上昇を抑える方策としては、発熱量を減らすこと、あるいは放熱性を改善することの2つが考えられる。本研究で検討対象としたプラグ挿入型積層ゴムのうち、LRBについては先行研究にて後者の方策を採用し、図7のように鉛プラグを複数本化して分散配置したマルチプラグタイプが実用化されている。一方、SnRBにつ

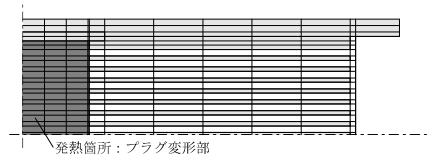


図4 LRB, SnRBの熱伝導解析モデル

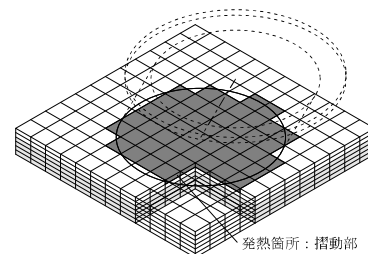


図5 SLDの熱伝導解析モデル

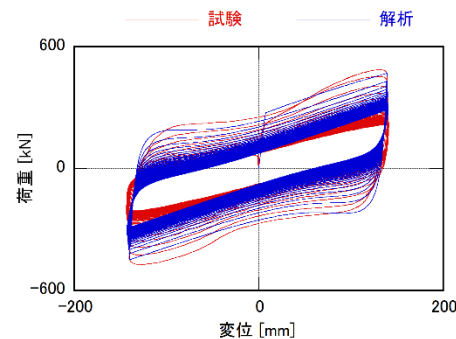


図6 SnRB 繰り返し载荷試験結果の再現

いては、錫の降伏耐力が鉛より高いことで本来的に発熱量が多いために、前者の方策すなわち発熱量を減らすことを考え、錫プラグの細径化を図った。これについては、前掲の図6で行った加力試験において細径化による効果を確認した。

高摩擦すべり支承（SLD）の高耐久化については、前掲図5の解析モデルの検証から始めた。摩擦係数は温度依存性を有するが、それ以外に面圧や速度による依存性がある。よって、摩擦係数に及ぼす因子（温度、面圧、速度）を分離して評価することで、解析精度の向上を図った。そのため、図8のように速度と温度の多様な組み合わせを実現した「変速・温度漸増試験」を新たに考案し、高摩擦すべり支承の繰り返し試験を実施した。

SLDの摺動部（すべり材）の温度上昇を抑制するには、LRBと同様に発熱部となる摺動部の分散配置が効果的である。図9のようにすべり材を2通りに配置した場合には、実大部材に対して累積変位100mの加振を行った際に生じる最高温度について、約80の温度差が生じることを解析的に確認した。双方を用いた免震建物モデルの地震応答解析では、すべり材を分散配置した場合に、温度上昇の抑制効果により最大変位を1割程度低減できた。

デジタル画像解析による積層ゴムのひずみ分布計測については、7台のカメラで構成される多視点同時撮影装置を開発した。形状を3通りに変えた積層ゴムの加力試験を実施し、積層ゴム側面を撮影した画像から図10のようなひずみ分布を得て、変形の増大に伴うひずみの局所集中を確認することができた。

(2) 変位抑制免震構造

変位抑制免震構造の性能検証を行うため、加振試験を実施した。図11に初年度に使用した縮小試験体を示す。加振試験では、スイープ加振により共振曲線を求めることで、変位抑制免震構造の基本特性の把握を行った。また、特性の異なる10波以上の地震動を入力し、提案システムの応答変位を評価した。地震波加振の結果から、既往の免震建物を想定したモデルでは応答変位が極端に増大してしまう長周期パルス地震動に対して、変位抑制免震構造を再現したモデルでは高い変位抑制効果を確認することができた。

次年度には、図12に示す大型試験体を用いて加振試験を実施した。大型試験体の可動範囲は実大の免震クリアランスに相当し、こちらも、基本特性として共振曲線を求めるためのスイープ加振および地震波加振を実施した。さらに、大型試験体で計測した力学特性や摩擦要素を反映した解析モデルを作成した。作成した解析モデルを図13に示す。地震波加振による時刻歴応答変位波形を対象に、時刻歴応答解析が提案システムの試験結果を良好に再現できることを確認した。

時刻歴応答解析の妥当性を確認できたことにより、図13の解析モデルをベースに硬化型復元力と回転慣性質量の最適化を行った。最適なパラメータの導出にあたり、地震波加振による応答変位と応答加速度にクライテリアを設けてパラメータの選別を行った。応答変位のクライテリアは、免震層のクリアランスを75cmと想定し、クリア

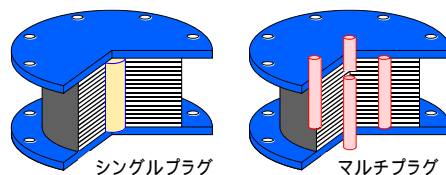


図7 積層ゴム挿入プラグの配置

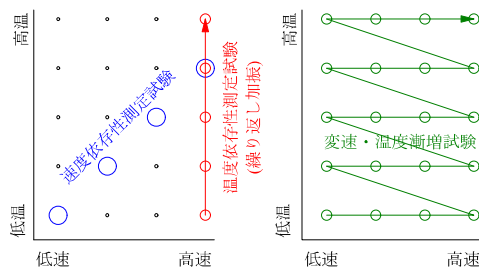


図8 高摩擦すべり支承の繰り返し試験

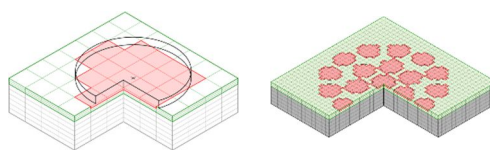


図9 すべり材の分散配置

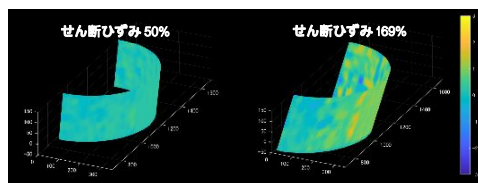


図10 画像解析による積層ゴムのひずみ分布

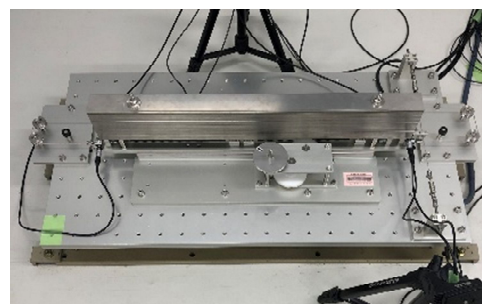


図11 変位抑制免震構造の縮小模型

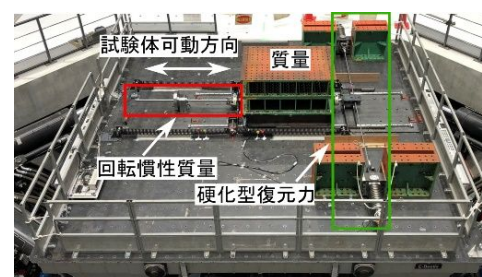


図12 変位抑制免震構造の大型試験体

ランス範囲内に抑えられる条件とした。応答加速度については、硬化装置と回転慣性質量を付加していない状態の免震建物を基準に、応答加速度を2倍範囲内に抑えられる条件でパラメータを絞った。加振波はパルス性の地震動から長周期長時間地震動まで多様な地震波12波を用いた。また、入力倍率を0.5、1.0、1.5倍とした3パターンを検証することで、提案システムの汎用性を高めた。図14は以上の条件により抽出できた硬化型復元力と回転慣性質量の最適なパラメータを示している。最適化に関する検証では、さらに、最適なパラメータを決定づける地震動の特性を明らかにした。また、対象とする免震建物の固有周期による応答低減効果の違いも確認した。この結果より、硬化型復元力を単体で備えるよりも回転慣性質量と併用することで、広範囲の固有周期の免震建物において応答加速度の低減が可能であることが分かった。

(3) 地震動予測

高機能免震構造の性能検証に用いるべく予測した地震動のうち、千島海溝沿いの巨大地震による地震動予測結果について報告する。図15に示す850km×170kmの領域の断層モデルを設定し、アスペリティは走向方向に等間隔に配置し、断層深さ方向中央付近とした基本ケースと深い側に寄せた陸側ケースの2通りを設定し、破壊開始点は断層南端部、中央付近、北端部の3ケースを設定した。経験的グリーン関数法を用い、要素地震としては同領域で発生した M_w 5以上の18地震の観測記録を採用した。図16は釧路で予測される基本ケースの地震動であり、最大加速度は約600Gal、継続時間は3分を超える結果となった。

(4) 高機能免震構造の性能評価

高機能免震構造として位置付けた変位抑制免震構造の性能を検証するために、多様な地震動として選択した長周期地震動の基整促波3波(SZ1、CH1、OS1)とパルス性地震動2波(JMA神戸:JK、熊本地震一の宮KMM004:KM)、告示波3波(八戸位相:AH、神戸位相:AK、ランダム位相:AR)そして本研究で新たに予測した千島海溝沿いの地震動1波(釧路、基本ケース、case1:K1)の計9波を用いて地震応答解析を行った。図17に従来の免震構造と変位抑制免震構造の最大応答値を比較する。最大応答加速度は両者であまり差がみられず、変位抑制免震構造が従来の免震構造と同等な応答加速度低減効果を有していることがわかる。一方、最大応答変位については、いずれの地震波についても変位抑制免震構造の方が低減できている。特に、パルス性地震動の特性が顕著な熊本地震KMM004波では半分以下に応答変位を低減できた。以上により、本研究で提案した高機能免震構造が加速度低減効果を損なうことなく応答変位を抑制できるという、当初の研究目的を達成できたことを確認した。

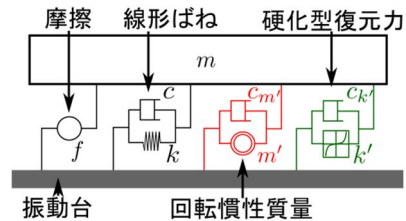


図13 変位抑制免震構造の解析モデル

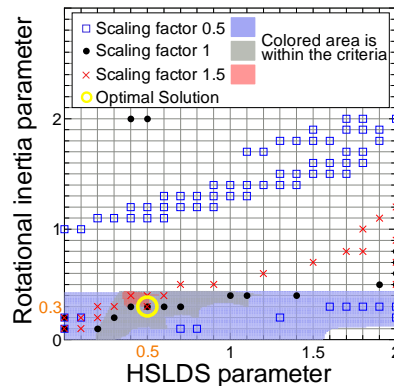


図14 変位抑制免震構造の最適化

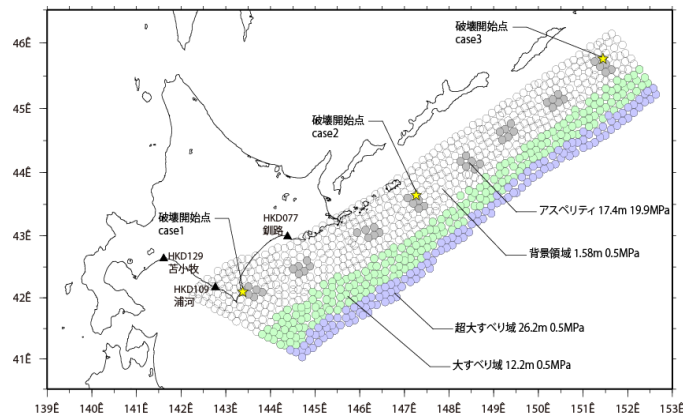


図15 千島海溝沿いの巨大地震の断層モデル (基本ケース)

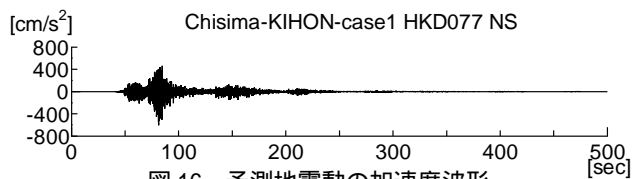


図16 予測地震動の加速度波形 (釧路、基本ケース、case1)

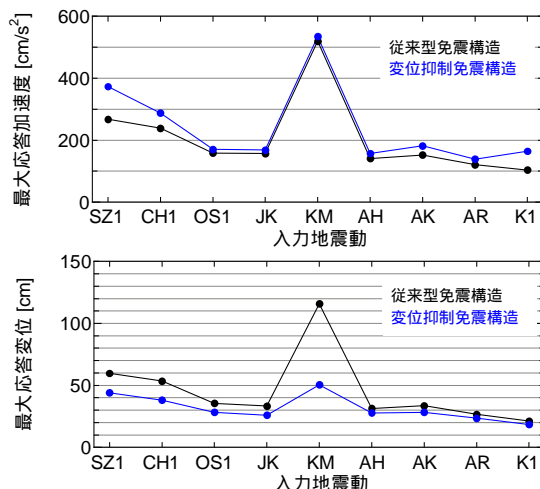


図17 変位抑制免震構造の応答性状

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 柳勝幸, 清水美雪, 齊木健司, 安永亮, 菊地優	4. 巻 67B
2. 論文標題 錫プラグ入り免震積層ゴムの大変形復元力モデルに関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 519 ~ 529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 射場淳, 渡辺宏一, 石井建, 菊地優	4. 巻 67B
2. 論文標題 硬化型復元力と回転慣性質量を組み合わせた変位抑制型免震構造に関する基礎的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 539 ~ 548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 荻野伸行, 菊地優, 岡本真成, 中原学	4. 巻 67B
2. 論文標題 大振幅地震動に対する免震用多段速度依存型可変減衰オイルダンパーに関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 549 ~ 556
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 壇一男	4. 巻 86
2. 論文標題 強震動と永久変位の再現と予測のための断層モデルに関する研究のレビュー - 2016年熊本地震で明らかになったことを中心に -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 1495 ~ 1506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Jihyun PARK, Kazutaka SHIRAI, Masaru KIKUCHI	4. 巻 157
2. 論文標題 A Seismic Mass Damper System Using Scrap Tire Pads: Loading Tests on Mechanical Properties and Numerical Assessment of the Response Control Effects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soil Dynamics and Earthquake Engineering	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) なし	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 -

1. 著者名 WAKE Tomotaka, ISHII Ken, KIKUCHI Masaru	4. 巻 84
2. 論文標題 IMPROVED THERMO-DYNAMIC BEHAVIOR OF LEAD-RUBBER ISOLATION BEARINGS DUE TO DISTRIBUTED LEAD-CORE CONFIGURATIONS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 1187~1197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.84.1187	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 -

1. 著者名 壇一男, 藤堂正喜, 小穴温子	4. 巻 19
2. 論文標題 強震動予測のための巨視的断層パラメータと微視的断層パラメータをつなぐ平均応力降下量の算定式に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 96~110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 小穴温子, 壇一男, 宮腰淳一, 藤原広行, 森川信之	4. 巻 19
2. 論文標題 2016年熊本地震を対象とした震源断層近傍における強震動評価手法に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 76~90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計37件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 菊地優, 高橋慶太, 渡辺厚
2. 発表標題 免震U型ダンパーの復元力モデルに関する研究 (その2 標準型式の復元力モデル構築)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋慶太, 菊地優, 渡辺厚
2. 発表標題 免震U型ダンパーの復元力モデルに関する研究 (その3 他型式への拡張)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木瑛大, 渡辺宏一, 宮本皓, 射場淳, 石井建, 菊地優
2. 発表標題 硬化型復元力と回転慣性質量を組み合わせた過大变位抑制型免震構造に関する基礎的研究 (その4) 大型免震試験体と解析モデル概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺宏一, 宮本皓, 射場淳, 石井建, 菊地優
2. 発表標題 硬化型復元力と回転慣性質量を組み合わせた過大变位抑制型免震構造に関する基礎的研究 (その5) 実験と時刻歴解析結果の比較
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 射場淳, 宮本皓, 渡辺宏一, 石井建, 菊地優
2. 発表標題 硬化型復元力と回転慣性質量を組み合わせた過大变位抑制型免震構造に関する基礎的研究 (その6) 非線形現象の再現
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荻野伸行, 石井建, 菊地優, 岡本真成
2. 発表標題 大振幅地震動に対するオイルダンパーの繰り返し依存性を考慮した時刻歴応答解析に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高山峯夫, 笠井和彦, 牟雨, 菊地優, 石井建
2. 発表標題 鉛プラグ入り免震ゴム支承の力学特性の寸法効果に関する実験と解析 その2 実大実験・解析結果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 入澤祐太, 和氣知貴, 石井建, 菊地優, 高田悠大
2. 発表標題 弾性すべり支承の速度依存性と温度依存性の同時評価 (その1) 実験計画
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田悠大, 石井建, 菊地優, 入澤祐太, 和氣知貴
2. 発表標題 弾性すべり支承の速度依存性と温度依存性の同時評価 (その2) 実験結果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井建, 菊地優, 高田悠大, 入澤祐太, 和氣知貴
2. 発表標題 弾性すべり支承の速度依存性と温度依存性の同時評価 (その3) シミュレーション解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaru Kikuchi, Ken Ishii, Takahisa Mori, Ryotaro Kurosawa, Hiroshi Sugiyama, Takahiro Koizumi
2. 発表標題 Thermal-Mechanical Coupled Analysis Model for Matrix Sliding Bearings
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Yanagi, Miyuki Shimizu, Yuto Kobashi, Akira, Yasunaga, Masaru Kikuchi
2. 発表標題 An Analytical Model for Tin Rubber Bearings under Large Shear Deformations
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken Ishii, Masaru Kikuchi, Masanori Iiba, Toshihide Kashima
2. 発表標題 Evaluation of effective seismic energy input rates based on long-term earthquake observation records
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaru Kikuchi, Mineo Takayama
2. 発表標題 Scale Effect on Mechanical Behavior of Lead Rubber Bearings for Seismic Isolation
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jihyun Park, Kazutaka Shirai, Masaru Kikuchi
2. 発表標題 A Seismic Mass Damper Using Scrap Tire Pads: Experiment on Mechanical Property and Analysis of Control Effect
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺宏一, 射場淳, 石井建, 菊地優
2. 発表標題 硬化型復元力と回転慣性質量を組み合わせた過大变位抑制型免震構造に関する基礎的研究(その1)開発の背景と免震試験体概要
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 滝沢勇武, 渡辺宏一, 射場淳, 石井建, 菊地優
2. 発表標題 硬化型復元力と回転慣性質量を組み合わせた過大变位抑制型免震構造に関する基礎的研究 (その2) 振動台実験による検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 射場淳, 渡辺宏一, 石井建, 菊地優
2. 発表標題 硬化型復元力と回転慣性質量を組み合わせた過大变位抑制型免震構造に関する基礎的研究 (その3) シミュレーション解析による検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤隆典, 石井建, 射場淳, 菊地優
2. 発表標題 デジタル画像解析を用いた免震積層ゴムの光学的三次元変形計測 (その1 計測実験の概要と変位計測結果)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳勝幸, 清水美雪, 齊木健司, 安永 亮, 菊地優
2. 発表標題 錫プラグ入り積層ゴムの大変形挙動解析モデルに関する研究 その2 : せん断復元力モデルと地震応答評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田澤優介, 石井建, 鈴木康介, 菊地優, 飯場正紀, 鹿嶋俊英
2. 発表標題 免震建物における観測記録に基づく地震入力エネルギーの算定(その1) ARXモデルを用い解析した結果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井建, 鈴木康介, 田澤優介, 菊地優, 飯場正紀, 鹿嶋俊英
2. 発表標題 免震建物における観測記録に基づく地震入力エネルギーの算定(その2) 窓関数を用い解析した結果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木康介, 田澤優介, 石井建, 菊地優, 飯場正紀, 鹿嶋俊英
2. 発表標題 免震建物における観測記録に基づく地震入力エネルギーの算定(その3) 非免震、免震建物における算定手法の有効性
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 具典淑, 壇一男, 宮腰淳一, 小穴温子, 藤原広行, 森川信之
2. 発表標題 南海トラフ沿いの巨大地震による東海・近畿地方の地震動評価
3. 学会等名 日本建築学会大会パネルディスカッション構造部門(振動)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小穴温子, 壇一男, 宮腰淳一, 具典淑
2. 発表標題 相模トラフ沿いの巨大地震による首都圏の地震動評価
3. 学会等名 日本建築学会大会パネルディスカッション構造部門(振動)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和氣知貴, 菊地優, 石井建, 長弘健太
2. 発表標題 LRBの降伏荷重評価法に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長弘健太, 和氣知貴, 菊地優
2. 発表標題 LRBの減衰材分散配置による熱力学特性改善効果(その1 加力試験による検証)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 滝沢勇武, 和氣知貴, 菊地優, 石井建
2. 発表標題 LRBの減衰材分散配置による熱力学特性改善効果(その2 熱・力学連成挙動解析による検証)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田 菜, 菊地 優, 石井 建, 中南 滋樹, 安永 亮, 福田 滋夫
2. 発表標題 長周期地震動に対する錫プラグ入り積層ゴム免震建物の応答評価精度に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊地 優, 石井 建, 小林 直暉, 長濱 温子, 黒沢 亮太郎, 杉山 洋, 小泉 貴宏
2. 発表標題 複数枚のすべり材を使用した弾性すべり支承の熱・力学連成挙動(その1)切出し供試体の加力実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 直暉, 石井 建, 菊地 優, 長濱 温子, 黒沢 亮太郎, 杉山 洋, 小泉 貴宏
2. 発表標題 複数枚のすべり材を使用した弾性すべり支承の熱・力学連成挙動(その2)加力実験のシミュレーション解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井 建, 菊地 優, 小林 直暉, 長濱 温子, 黒沢 亮太郎, 杉山 洋, 小泉 貴宏
2. 発表標題 複数枚のすべり材を使用した弾性すべり支承の熱・力学連成挙動(その3)免震建物の地震応答解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Ishii, Masaru Kikuchi
2. 発表標題 Mechanical behavior of sliding bearings for seismic isolation under cyclic loading
3. 学会等名 16th world conference on seismic isolation, energy dissipation and active vibration control of structures, Saint-Petersburg, Russia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wake Tomotaka, Masaru Kikuchi, Ken Ishii
2. 発表標題 New Evaluation Formulae for Shear Strength of Lead-Rubber Bearings
3. 学会等名 16th world conference on seismic isolation, energy dissipation and active vibration control of structures, Saint-Petersburg, Russia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru Kikuchi, Ken Ishii, Hideaki Kato, Masahiro Nakamura
2. 発表標題 An Analytical Model for Low-shear Modulus High-damping Rubber Isolation Bearings under Large Shear Deformation
3. 学会等名 16th world conference on seismic isolation, energy dissipation and active vibration control of structures, Saint-Petersburg, Russia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru Kikuchi, Ken Ishii
2. 発表標題 An Advanced Hysteresis Model of High-Damping Rubber Bearings for Seismic Isolation
3. 学会等名 7th Structural Engineers World Congress 2019, Istanbul, Turkey (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊地優
2. 発表標題 繰り返し載荷を受ける免震部材の熱力学連成挙動
3. 学会等名 シンポジウム「巨大地震に備えて免震・制振技術に期待すること」, 日本建築学会近畿支部 (招待講演)
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	渡辺 宏一 (WATANABE Koichi) (10811094)	清水建設株式会社技術研究所・その他部局等・研究員 (92605)	
研究分担者	白井 和貴 (SHIRAI Kazutaka) (20610968)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	石井 建 (ISHII Ken) (50840550)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	
研究分担者	壇 一男 (DAN Kazuo) (90393561)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授 (17401)	
研究分担者	齊藤 隆典 (SAITO Takasuke) (90586497)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部 北方建築総合研究所・主査 (80122)	

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	小穴 温子 (OANA Atsuko) (60811172)	株式会社大崎総合研究所・研究部・研究職（主任研究員） (92646)	
研究分担者	宮本 皓 (MIYAMOTO Kou) (20904717)	清水建設株式会社技術研究所・その他部局等・研究員 (92605)	
研究分担者	飯場 正紀 (IIBA Masanori) (40344006)	北海道大学・工学研究院・特任教授 (10101)	

	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
研究協力者	和氣 知貴 (WAKA Tomotaka)		
研究協力者	柳 勝幸 (TANAGI Katsuyuki)		
研究協力者	加藤 秀章 (KATO Hideaki)		
研究協力者	マッケンナ フランク (MCKENNA Frank)		

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
---------	---------