

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02285

研究課題名(和文)歴史的組積造建造物の耐震評価における変形限界と地盤・建物の動的相互作用効果

研究課題名(英文) Deformation limit and dynamic soil-structure interaction for seismic safety evaluation of historical masonry buildings

研究代表者

花里 利一 (Hanazato, Toshikazu)

神奈川大学・付置研究所・客員教授

研究者番号：60134285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：歴史的組積造建造物の耐震評価における変形限界に関して、模型レンガ造構造物を用いた振動台実験により、面内せん断に対する損傷限界は約1/400以上保有する性能があり、非倒壊限界はそれを超える変形角になることを確認した。要素試験により、動的変形限界の評価においてひずみ速度が変形限界に及ぼす効果を検証した。実建造物の地震モニタリングと動的解析により、地盤・建造物の動的相互作用による逸散減衰効果、常時微動測定により基礎の入力損失効果を明らかにした。常時微動測定から耐震補強による変形性能の向上効果を確認した。また、変形性能が異なる木軸組と組積造を接合した木骨石造建造物では、鋸接合が耐震安全性に寄与する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歴史的建造物の耐震対策では最小限の補強が原則であり、耐震診断においては保有する耐震性能を考慮することが肝要になる。従来、無補強の歴史的組積造建造物では、耐震的に脆弱であるという通念もあり、耐震診断において変形クライテリアをかなり小さく設定してきたが、本研究により変形限界をより合理的に評価する道筋を示した。また、動的変形限界と静的変形限界の差異について、ひずみ速度が要因となり得ることを示した。また、歴史的組積造建造物の耐震診断・補強計画において、地盤・構造物の動的相互作用効果の考慮は最小限の補強原則に資することを示した。さらに、現存する歴史的木骨石造建造物の保存活用計画に有用な知見を与えた。

研究成果の概要(英文)：Regarding the deformation limit in the seismic evaluation of historical masonry buildings, shaking table experiments using the model brick structures showed that the damage limit against in-plane shear is more than approximately 1/400, and that the non-collapse limit is a deformation angle exceeding this limit. Element tests verified the effect of strain rate on the deformation limit in the evaluation of dynamic deformation limit. Seismic monitoring and dynamic analyses of the existing buildings showed the dissipative damping effect due to dynamic interaction between the soils and the building, as well as, microtremor measurements revealed the input loss effect at the foundation. Microtremor measurements verified the effect of seismic reinforcement on improving deformation performance. It was also clarified that the traditional iron joints "Kasugai" would contribute to seismic safety for the timber-framed stone heritage structures.

研究分野：建築構造学

キーワード：歴史的建造物 組積造 地震 変形限界 動的相互作用 地盤 耐震診断 耐震補強

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

一般に無補強歴史的組積造建造物は耐震的に脆弱であるとされているが、近年の実験的研究によれば、一定の変形性能を有することがわかってきた。研究代表者らの実大組積造住宅模型の振動台実験や歴史的組積造建造物の実大模型振動台実験によれば面内・面外ともに非倒壊限界変形角は約 1/60-1/70 であった。さらに、国内外の無補強組積造試験体の面内方向静的加力試験の報告例を参照すれば、面内変形の非倒壊限界は約 1/150 程度は見込める結果も示されていた。歴史・文化的な価値をもつ歴史的建造物の耐震対策の原則のひとつは、その価値を損なわない最小限の補強である。そのためには、保有する耐震性能を十分に活かすことが求められるが、耐震診断では非倒壊変形限界に過小な値が用いられてきていた。国内の歴史的建造物の耐震診断には、文化庁文化財部・重要文化財建造物耐震診断指針が主に用いられている。その実施要領では、木造建物の非倒壊限界変形角の目安 1/30 が耐震診断のクライテリアとして示されている。しかし、同指針ではクライテリアを含む組積造建造物の具体的な要領は示されていない。保有する変形性能を適切に評価した歴史的組積造建造物の変形限界に関する指標は最小限の補強が要求される文化財組積造建造物の耐震診断上の課題である。また、研究代表者らで実施した実大模型建造物の振動台実験から得られた非倒壊限界変形角は組積造壁の静的加力試験による限界変形角より大きい。このことが科学的に検証されれば、動的解析では静的実験から得られている変形限界をより大きなクライテリアとすることができ、さらに合理的な耐震診断が可能になる。また、動的挙動に及ぼす影響要因に地盤・建造物の動的相互作用が挙げられる。比較的剛な組積造建造物にとって地盤との動的相互作用現象は、逸散減衰効果が期待できるため耐震性能上の利点である。研究代表者らは歴史的組積造建造物の常時微動測定において、動的相互作用現象を確かめている。実地震時における地盤・建造物の動的相互作用現象の確認や地震応答解析における動的相互作用の評価法が課題となっていた。

以上の当初の背景とともに、無補強組積造建造物の耐震対策上、耐震補強に関する知見も重要であり、とくに、実建造物の補強効果の検証も課題に挙げられていた。また、2015 年ネパール地震では木軸組をもつ歴史的木骨組積造建造物が大きな被害を受けていた。日本にも歴史的木骨組積造建造物が数多く現存しており、2018 年北海道胆振東部地震では震源域において被災している。変形性能が異なる木軸組と組積造の混構造の耐震性も変形限界の評価に関連する課題として、喫緊の課題となっていた。

### 2. 研究の目的

歴史的組積造建造物の構造形態は建設材料も含めて多様である。本研究では、代表的な構造形態の無補強建造物としてレンガ造建造物と石造建造物とした。石造建造物は目地を有する建造物と空積の建造物を対象とした。研究開始時における主たる目的として、以下の 3 項目を挙げた。

歴史的組積造建造物の耐震診断に有用な変形限界に関するクライテリアの提示  
変形限界に関する動的、静的クライテリアの差異の検証とその動力学的な原因の検討  
地盤・建造物の動的相互作用による減衰効果と耐震診断における評価法の提示

さらに、変形限界の評価法に関連して、以下の 2 項目を追加した。

変形限界に関連した無補強組積造建造物の耐震補強効果の確認  
変形限界が異なる木軸組と組積造が一体化した歴史的木骨組積造建造物の耐震性能評価

### 3. 研究の方法

模型建造物の振動台実験と関連する載荷試験、実建造物の常時微動測定・地震モニタリング及び地震応答解析によって研究を遂行した。

研究目的 ① では、模型建造物を用いた振動台実験とそれに関連する載荷試験と動的解析を行った。研究目的 ② では、実建造物における地震モニタリング、常時微動測定および地震応答解析を行った。研究目的 ③ では、実建造物における地震モニタリング、常時微動測定を行った。さらに、研究目的 ④ では、実建造物の常時微動測定、地震モニタリングおよび動的解析を行った。

具体的には、レンガ造模型建造物を用いた振動台実験について、当初研究計画ではアテネ工科大学の振動台において 2020 年度に実施する予定としていたが、新型コロナウイルス感染拡大の影響により渡航が困難な状況が長く続いたため、2022 年度に神奈川大学の振動台実験施設で実施することとした。関連して試験体の室内加力実験(対角圧縮試験など)を神奈川大学で実施した。実建造物の常時微動測定では、2011 年東日本大震災により被災した石造の福島市有形文化財・福島写真美術館、2016 年熊本地震で被災したレンガ造(一部 RC 造)国登録有形文化財 PS オランジュリ、重要文化財レンガ造建造物・旧田中邸洋館(川口市)、石造重要文化財旧日本郵船小樽支店、小樽市歴史的建築物の石造建造物・オルゴール堂で測定を行った。さらに、歴史的木骨石造建造物の常時微動測定として、2018 年北海道胆振東部地震で被災した安平町有形文化財・小林倉庫、明治時代に建造された旧小樽倉庫、旧木村倉庫、昭和初期に木骨石造に改変された東京都選定歴史的建築物・渡邊家蔵の測定を実施した。これらのうち、福島写真美術館、PS オランジュリおよび旧日本郵船小樽支店では、耐震補強が施されており、補強前・補強後のデータを得た。実建造物における地震モニタリングは、上記の建造物のうち、福島写真美術館、PS オランジュリ、旧小樽倉庫、渡邊家蔵で実施している。さらに、海外では空積の石造世界遺産建造物・ギリシャ・パルテノン神殿において地震モニタリングを実施している。

動的解析では、3次元有限要素モデル(線形解析)を模型振動台実験、福島写真美術館に適用した。さらに、組積造構成則を考慮した非線形地震応答解析をオルゴール堂と小林倉庫の解析に適用した。簡易な質点系モデルを用いた解析法も適用し、旧田中邸洋館、PS オランジュリの地震応答解析を行った。ギリシャ・パルテノン神殿の地震応答解析では、幾何学的非線形解析が可能な3次元拡張個別要素法を適用した。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 模型構造物を用いた振動台実験による変形限界の評価

###### 4.1.1 実験方法と試験体

振動台実験では、弾性変形範囲内に収まる予備実験を実施後、試験体の終局状態までの本実験を実施した。振動台と試験体のセットアップを図 4.1.1 および試験体(本実験)を図 4.1.2 に示す。試験体はレンガ、目地モルタルおよび頂部の木製臥梁からなり、正方形断面で、厚さ方向は一層の長手積みで製作した。レンガは市販の普通レンガである。目地用セメント・モルタルは後述するように低強度となるように配合を調整した。測定は、LED・紙マーカを用いた3次元画像計測により動的変位を記録した。さらに、加速度計を設置した。なお、予備実験では4壁面、本実験では2壁面の試験体を製作した。加振は壁面内方向を対象に一方方向加振である。入力波は振幅を調整した地震波 JMA 神戸 NS 波 (相似則を考慮し、時間軸を 1/5 に縮小)および固有振動特性を知るためのステップ波(0.5mm)を使用した。

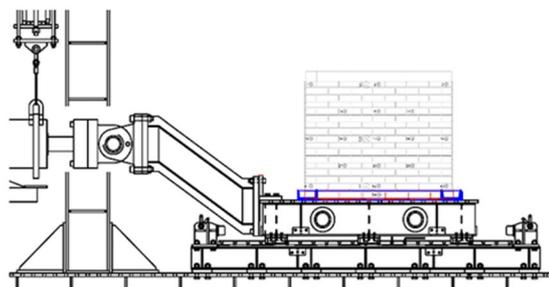


図 4.1.1 振動台と試験体のセットアップ

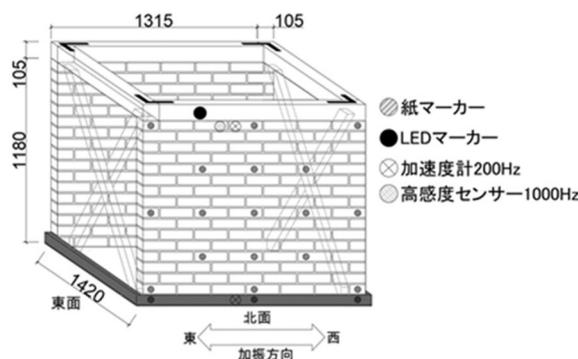


図 4.1.2 本実験の試験体と測定

###### 4.1.2 予備実験

材料強度特性はレンガ単体の圧縮強度  $51.1\text{N/mm}^2$ 、目地モルタルの圧縮強度  $26.8\text{N/mm}^2$ 、引張強度  $2.53\text{N/mm}^2$ 、目地とレンガ付着強度  $1.37\text{N/mm}^2$  であった。歴史的建造物としては過大な強度のため、本実験ではモルタルの配合比を調整し、試験体を製作することとした。

図 4.1.3 に JMA 神戸 NS 波 100mm の加振時の加振方向に平行な壁面の変位状況を示す。頂部変位が最大の時刻における相対変位を示す。弾性範囲において最大変形角  $1/250$  程度である。

###### 4.1.3 本実験と解析

レンガ材料には、低強度レンガを用いた(圧縮強度  $11\text{N/mm}^2$ )。セメントモルタルの配合比を調整した結果、目地モルタル圧縮強度  $0.33\text{N/mm}^2$ 、引張強度  $0.06\text{N/mm}^2$  となり、目標値を満足した。組積体の2面せん断試験から付着強度は  $0.07\text{N/mm}^2$ 、摩擦係数は  $0.34$  と求まった。また、組積体の直接引張試験による引張強度は  $0.08\text{N/mm}^2$  であった。

JMA 神戸 NS 波振幅  $5\text{mm} \sim 30\text{mm}$  では試験体の表面に損傷はみられなかった。同波振幅  $50\text{mm}$  加振時において、試験体表面にひび割れは観察されなかったが、ステップ加振により固有振動数が  $29\text{Hz}$  から  $25\text{Hz}$  に低減していたことから試験体に微細なひび割れが発生していたと推定される。図 4.1.4 に JMA 神戸 NS 波振幅  $50\text{mm}$  入力時の最大変形を示す。振幅  $80\text{mm}$  加振時に試験体は崩壊には至らなかったが最下段の水平レンガ目地に滑り破壊がみられたことから、損傷(弾性)限界の変形角に対応するものである。この加振条件において、レンガ組積体の剛性を  $14,000\text{N/mm}^2$  とし、3次元弾性有限要素モデルを用いたシミュレーション解析を行った。解析による壁頂部の動的最大変形は  $5.4\text{mm}$  で実験値とほぼ合致する結果が得られた。

###### 4.1.5 対角圧縮試験によるひずみ速度効果の検証

振動台実験に関連して、変形限界に及ぼすひずみ速度の影響を対角圧縮試験(せん断試験の一種)で実験的に検討した。 $340\text{mm}$  角の試験体は振動台本実験で用いた低強度レンガと目地モルタルで作成した。疲労試験機により、静的载荷に相当す

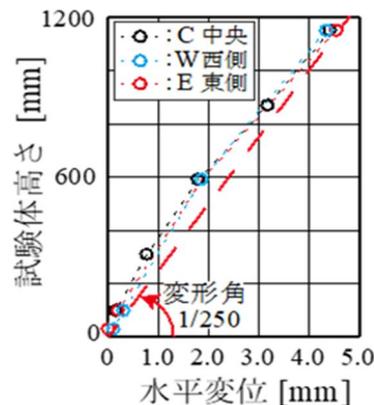


図 4.1.3 予備実験によるせん断変形(JMA 神戸 NS 振幅 100mm 入力)

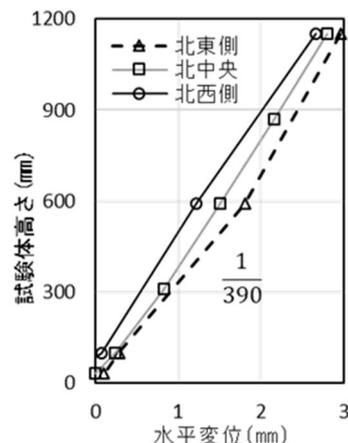


図 4.1.4 本実験によるせん断変形角(JMA 神戸 NS 振幅 50mm)

るピーク速度 0.05mm/s、動的載荷に対応するピーク速度 8mm/s による繰り返し載荷を行った(振幅 8mm)。その結果、静的実験に比べて動的実験による変形限界(および耐力・剛性)が大きくなることを確認した。

#### 4.2 地震モニタリングおよび常時微動測定による動的相互作用効果・耐震補強効果に関する調査

重要文化財旧田中邸洋館(川口市,レンガ造 3 階建,1923 年竣工,写真 4.2.1)において、高精度 3 成分 MEMS 型加速度センサーを用いて地震モニタリングを実施した。同洋館は無補強レンガ造建造物である。加速度センサーは、接続する伝統工法の和館(重要文化財)も含めて計 12 台設置した。また、常時微動測定も行い、基本的な振動特性を把握している。

2019 年度から地震観測を始め、2021 年度には表 4.2.1 に示すように計 3 回震度 レベルの地震を記録した。レンガ構造頂部と地盤および 1 階床の伝達関数からピーク振動数を求めた結果を表 4.2.2 に示す。地盤・構造物系の固有振動数は頂部と地盤の伝達関数から、構造物系の固有振動数は頂部と 1 階床の伝達関数の伝達関数から求めたものである。表に示すように、地盤との動的相互作用によりピーク振動数(固有振動数を示す)が低下している。図 4.2.1 に E3 地震による伝達関数(振幅)を例示する。2019 年度にも PGA 約 9~48Gal の地震記録を得ている。1 質点系を仮定したモデルを用いて伝達関数から減衰定数を同定すると、1 階に対しては約 3.0-6.5%と求まり、地盤に対してその値より平均で 1.7% 大きな減衰定数が得られた。動的相互作用効果である地盤・建造物の動的相互作用は解析モデルによる検討が有用である。本研究では、図 4.2.2 に示す質点系モデルを仮定した。基礎固定と動的相互作用モデルの伝達関数を図 4.2.3 に示す。地震観測記録とおおむね対応した結果が得られた。地盤ばねを用いた質点系モデルは動的相互作用効果の評価に有用である。

地盤・建造物の地震時動的相互作用効果に関しては、2011 年東日本大震災で被災した福島写真美術館(1922 年竣工,福島市,国見石,写真 4.2.2 参照)の耐震解析において、3 次元有限要素モデル(図 4.2.4 参照)を用いた解析で、基礎板を剛と仮定した地盤ばねを考慮した。東日本大震災の福島市内の地震観測記録を入力した応答解析結果によれば、動的相互作用を考慮することにより、最大応答変位は約 20-25% 低減した。福島写真美術館では、保存修理事業前に地震モニタリングを行うとともに、主に PC 鋼棒を用いたプレストレス工法による耐震補強前後において常時微動測定を実施し、固有振動数の増大による補剛効果と応答倍率(応答変



写真 4.2.1 重文・旧田中邸洋館  
表 4.2.1 地震記録(2021-2022 年)

発生日時	震源地	M	PGA(gal)	
			X	Y
2021/10/28(E1)	茨城県南部	4.6	57.5	53.8
2021/12/2(E2)	茨城県南部	5	27.1	27.2
2022/3/16(E3)	福島県沖	7.4	50.5	47.1

表 4.2.2 伝達関数のピーク振動数(EW 方向)

	1 次固有振動数(Hz)		
	E1	E2	E3
地盤 - 構造物系	3.30	3.16	3.18
構造物系	3.72	3.70	3.60

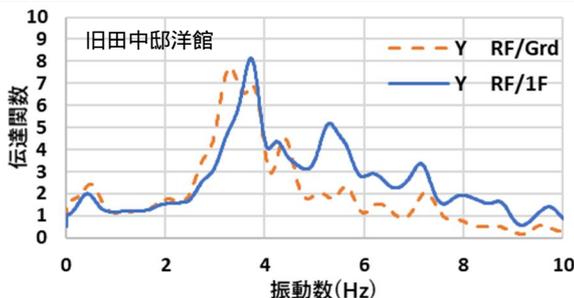


図 4.2.1 レンガ造頂部の地盤および 1 階床に対する伝達関数(EW 方向)

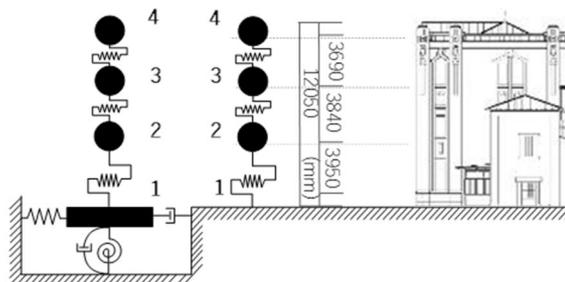


図 4.2.2 質点系解析モデル(基礎固定と地盤ばねを用いたモデル[旧田中邸洋館])

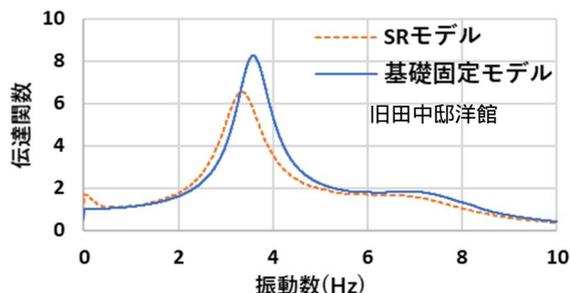


図 4.2.3 解析モデルによるレンガ造頂部の地盤および 1 階床に対する伝達関数



写真 4.2.2 市有形文化財福島写真美術館

位)の低減を確認した。図 4.2.5 に耐震補強前後の微動測定による伝達関数(石造壁頂/基礎)を示す。

同様に、2016 年熊本地震で被災したレンガ造建造物・PS オランジュリ(1919 年竣工,熊本市,写真 4.2.3 参照)において地震モニタリングおよび耐震補強前後において常時微動測定を実施し、福島写真美術館と同様に補強効果を確認した。PS オランジュリでは主に PC 鋼棒挿入工法による耐震補強がなされた。

さらに、重要文化財石造建造物・旧日本郵船小樽支店(1906 年竣工,小樽産軟石,写真 4.2.4)の耐震改修前後において、常時微動測定を実施した。主にアラミドロッド挿入による耐震補強がなされた。その効果を伝達関数(石壁頂/基礎)で確認するとともに、地盤との動的相互作用効果、とくに高振動数域における入力損失効果を明らかにした。

#### 4.3 空積の歴史的組積造建造物における地震モニタリングと耐震解析

地震国ギリシャのパルテノン神殿(写真 4.3.1)において、サーボ型高精度加速度センサーによる地震モニタリングを実施している。センサーは、基壇 2 か所(露岩,石積上)、頂部 1 か所に設置している。2019 年 7 月 19 日に震度 V レベル (PGA=88Gal) の地震記録を得た。観測記録から、大理石ドラムで構成される組積柱は減衰の要因となる幾何学的非線形性(接触・非接触)を伴いながら、複雑な応答特性を示すことが明らかになった。3 次元拡張個別要素法を適用し、この地震記録を入力動として解析を行うとともに、1995 年兵庫県南部地震・神戸海洋気象台記録(3 方向)を入力とした解析を行った(図 4.3.1)。その結果、JMA 神戸波入力において、幾何学的非線形性を伴いながら応答し、残留変形は残るが倒壊は免れた。これらの結果は、アクロポリス修復委員会に報告する予定であり、神殿の保存修理事業に貢献が期待される。今後、実大模型構造物を用いた大型振動台実験による検証が待たれる。

#### 4.5 歴史的木骨石造建造物の耐震調査

2018 年北海道胆振東部地震で被災した小林倉庫(安平町,1931 年)、旧小樽倉庫(1893 年)、旧木村倉庫(1891 年)において常時微動測定を行った。旧小樽倉庫では地震モニタリングも実施している。これらの測定によって銕接合によって構造的に接合している、伝統的な貫工法を特徴とする木軸組と軟石で構成される石壁の動的挙動における一体性が明らかになった。さらに、銕接合の室内力学実験を行い、耐震的な役割を持つことを明らかにした。小林倉庫の耐震性に関しては、組積造の構成則を考慮した DIANA を用いた 3 次元非線形地震応答解析を行い、2018 年北海道胆振東部地震のシミュレーション解析を行った。以上の木骨石造建造物の建築形態は倉庫型である。店舗・住宅型として、東京都選定歴史的建築物・渡邊家蔵(江戸末期頃,1930 年木骨石造改修)において常時微動測定と地震観測を行い上述の一体性を確認するとともに、開口部が動的変形特性に及ぼす影響を明らかにした。



図 4.3.1 3 次元拡張個別要素法による解析モデル

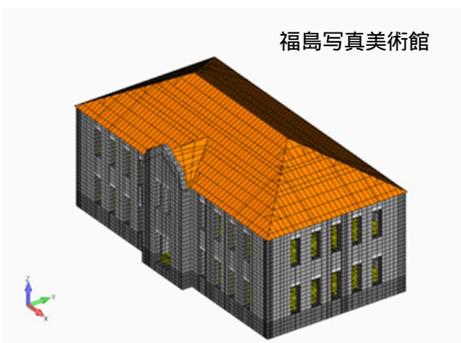


図 4.2.4 3 次元有限要素モデル

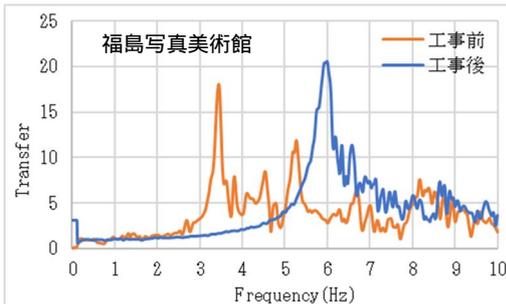


図 4.2.5 補強前後における常時微動記録の伝達関数



写真 4.2.3 登録有形文化財 PS オランジュリ



写真 4.2.4 重文・旧日本郵船小樽支店



写真 4.3.1 ギリシャ・パルテノン神殿

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 花里利一	4. 巻 Vol.52 No.6
2. 論文標題 歴史的建物の耐震改修における基礎補強の歴史的背景と課題	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 基礎工	6. 最初と最後の頁 11 ~ 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 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 Yohei Endo, Yuta Waki, Yasushi Niitsu and Toshikazu Hanazato	4. 巻 2
2. 論文標題 Dynamic Identification Tests of 20th Century Historic Buildings in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geohazards 2021	6. 最初と最後の頁 332 ~ 351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/geohazards20040018-031	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 -
1. 著者名 Toshikazu Hanazato, Hiroyuki Tanaka, Yasufumi Uekita and Yoyok Subroto	4. 巻 2
2. 論文標題 Seismic Structural Evaluation of Candi Siva, Prambanan World Heritage Temple, by Introducing Miography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc.of 4th International Conference on Protection of Historical Constructions	6. 最初と最後の頁 1443 ~ 1454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-90788-4	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 Chhabi Mishra, Kentaro Yamaguchi, Tingyn Jing, Toshikazu Hanazato, Yohei Endo and Manjip Shakya	4. 巻 2
2. 論文標題 Numerical Investigation of the Properties of Unreinforced Nepalese Historical Brick Masonry Structure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Structural Analysis of Historical Constructions RELEM Bookseries 46	6. 最初と最後の頁 125 ~ 139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-39450-8	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 Toshikazu Hanazato, Hayato Suzuki, Hideaki Takahashi, Shigenori Kita and Tomoaki Suzuki	4. 巻 2
2. 論文標題 Restoration of Architectural Stone Heritage Damaged by 2011 Great East Japan Earthquake	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Structural Analysis of Historical Constructions RELEM Bookseries 46	6. 最初と最後の頁 26 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-39450-8	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 -

1. 著者名 Endo Yohei, Hanazato Toshikazu	4. 巻 1
2. 論文標題 Seismic Behaviour of a 20th Century Heritage Structure Built of Welded Tuff Masonry and Timber Frames	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Architectural Heritage	6. 最初と最後の頁 1 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15583058.2022.2113572	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 -

1. 著者名 Endo Yohei, Hanazato Toshikazu	4. 巻 20
2. 論文標題 Seismic assessment of two multi-tiered pagodas damaged by the 2015 Nepal earthquake	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earthquake Engineering and Engineering Vibration	6. 最初と最後の頁 453 ~ 469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11803-021-2031-x	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 -

1. 著者名 Mishra Chhabi, Yamaguch Kentaro, Araki Keisuke, Ninakawa Toshihiko, Hanazato Toshikazu	4. 巻 19
2. 論文標題 Structural Behavior of Brick Wall Specimens Reinforced on the Surface with RC Walls under Horizontal Loading	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 593 ~ 613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.19.593	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 -

1. 著者名 Yohei Endo, Kentaro Yamaguchi, Toshikazu Hanazato and Chhabi Mishra	4. 巻 109
2. 論文標題 Characteristics of mechanical behavior of masonry composed of fired bricks and earthen mortar	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, ELSEVIER	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfailanai.2019104280	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 花里利一	4. 巻 510
2. 論文標題 外国における歴史的建造物の耐震対策	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 建築防災	6. 最初と最後の頁 13-21
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 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 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 花里利一, 白井祐樹, 高橋直子, 西川忠, 上北恭史, 新津靖, 遠藤洋平, 駒木定正, 東田秀美
2. 発表標題 小樽市歴史的木骨石造建造物の耐震調査 (その4) 店舗型木骨石造建造物の歴史・構造調査
3. 学会等名 建築学会学術講演梗概集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 花里利一
2. 発表標題 巨大地震による文化財建造物の被災とその対策-地震災害と建築法制度・基準類の歴史
3. 学会等名 日本イコモス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshikazu Hanazato
2. 発表標題 CASE STUDIES OF CONSERVATION OF 20th CENTURY HERITAGE STRUCTURES - SEISMIC REINFORCEMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE IN JAPAN
3. 学会等名 2022 Innovative Technology and Application of Architectural Heritage Protection Webiner (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshikazu Hanazato
2. 発表標題 Structural Restoration of Heritage Structures of Masonry
3. 学会等名 International Conference on Historical Constructions, Keynote Lecture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 C. Mishra, K. Yamaguchi, Y. Endo, T. Hanazato, and M. Shakyia
2. 発表標題 STUDY ON SHEAR AND FLEXURAL BEHAVIOR OF NEPALESE MASONRY WALLS AND WITHOUT REINFORCEMENT
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 花里利一, 新津靖, 上北恭史
2. 発表標題 歴史的建造物の耐震性に関わる構造モニタリング
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小瀧亮介,花里利一,駒木定正,新津靖,上北恭史,石井建,北垣亮馬,東田秀美
2. 発表標題 小樽市歴史的木骨石造建造物の耐震調査(その2)-2018年胆振東部地震で被災した建築遺産調査と接合部実験-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花里利一,遠藤洋平,新津靖,上北恭史,松本彩楓,駒木定正
2. 発表標題 木骨石造が地震に強いつて本当かな？
3. 学会等名 歴史的木骨石造建築物耐震調査研究会報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花里利一
2. 発表標題 歴史的木骨石造建造物の耐震調査研究報告会
3. 学会等名 北海道建築技術協会会報 No,18 2022年1月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花里利一,新津靖,小瀧亮介,遠藤洋平,小林直弘
2. 発表標題 歴史的建造物の耐震性に関わる構造モニタリング -その2 地震モニタリングによる組積造建造物の地盤・建物の動的相互作用-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小瀧亮介,花里利一,駒木定正,新津靖,上北恭史,遠藤洋平,東田秀美
2. 発表標題 小樽市歴史的木骨石造建造物の耐震調査(その3)-石壁材料試験および木柱-石壁接合部せん断実験-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新津靖,小瀧亮介,遠藤洋平,小林直弘,花里利一
2. 発表標題 歴史的建造物の耐震性に関わる構造モニタリング -その3 煉瓦造を主とする複合的構造の地震時挙動-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陳政,白井佑樹,花里利一,新津靖,佐藤宏貴,島崎和司
2. 発表標題 歴史的組積造建造物の動的安全変形限界-その1 面内破壊モデルの予備加振実験-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小瀧亮介,花里利一,新津靖,遠藤洋平,小林直弘
2. 発表標題 歴史的建造物の耐震性に関わる構造モニタリング -その4 地盤・建物の動的相互作用を考慮した解析モデルによる検討-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Hanazato, K. Fujita, K. Yamaguchi, Y.Endo,Y. Niitsu,N.Prakash Bhandari,M.Morii(7),S. Ando, H.Saito,N.Kobayashi, O.Goto,Y. Uekita,N.Inaba,C. Mishra and M. Shakya
2. 発表標題 Structural Survey for Restoration of Architectural Heritages - Damaged by Nepal Earthquake of 2015
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 新津靖,花里利一
2. 発表標題 ギリシャ・パルテノン神殿の振動モニタリングと地震応答
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口謙太郎,MISHRA Chhabi,遠藤洋平,花里利一
2. 発表標題 耐震的に脆弱な文化財組積造建造物の被災後の保存修復法
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MIHIRA Chhabi, YAMAGUCHI Kentaro, ENDO Yohei and HANAZATO Toshikazu
2. 発表標題 Restoration of Seismically-vulnerable Historical Masonry Structures Struck by an Earthquake Part 14. Diagonal Compression Test on Nepalese Masonry Walls with and without Reinforcement
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張燁, バイチレゲル, 花里利一, 三島直生, 和藤浩
2. 発表標題 デジタル画像相関法による煉瓦組積体の圧縮試験のひずみ分布計測に関する実験的研究 その1 実験概要
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 バイチレゲル, 花里利一, 和藤浩, 張燁, 三島直生
2. 発表標題 デジタル画像相関法による煉瓦組積体の圧縮試験のひずみ分布計測に関する実験的研究 その2 実験結果とその考察
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花里利一, 加藤心彩
2. 発表標題 海外の世界遺産組積造建造物の歴史火災による損傷評価 -ギリシャ神殿建築の歴史火災による火害シミュレーション-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張燁, 花里利一, 山口謙太郎, 新津靖
2. 発表標題 地震被害を受けた歴史的組積造建造物の構造修復調査-熊本県登録有形文化財PSオランジュリの修理前後における振動特性-
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本彩楓,花里利一,駒木定正,角幸博,新津靖,上北恭史,飯場正紀,北垣亮馬,東田秀美
2. 発表標題 小樽市歴史的木骨石造建造物の耐震調査
3. 学会等名 建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Toshikazu Hanazato, Yuga Kariya, Yusuke Nishikawa, Satoshi Nishioka, Kazuyuki Yano and Hajime Yokouchi	4. 発行年 2023年
2. 出版社 ICOMOS Japan	5. 総ページ数 201
3. 書名 EARTHQUAKE DISASTER PREVENTION OF CULTURAL HERITAGES -EXPERIENCE AND DEVELOPMENT IN JAPAN-	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>NHK総合テレビ番組『歴史探偵』世界史スペシャル古代ギリシャ 2024年1月10日放映において、研究分担者(中川貴文京大准教授)と出演し、パルテノン神殿における地震観測調査と拡張個別要素法による地震シミュレーション解析について紹介した。 研究成果の紹介と還元を目的に、一般市民向けの報告会『木骨石造が地震に強いつて本当かな?』を2021年11月27日に小樽市運場プラザ三番庫においてオンラインとのハイブリッドで開催した。</p>	
---	--

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	上北 恭史  (Uekita Yasufumi)  (00232736)	筑波大学・芸術系・教授   (12102)	

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	山口 謙太郎  (Yamaguchi Kentaro)  (10274490)	九州大学・人間環境学研究院・教授    (17102)	
研究分担者	中川 貴文  (Nakagawa Takafumi)  (60414968)	京都大学・生存圏研究所・准教授    (14301)	
研究分担者	新津 靖  (Niitsu Yasushi)  (70143659)	東京電機大学・システムデザイン工学部・教授    (32657)	
研究分担者	遠藤 洋平  (Endo Yohei)  (90772864)	信州大学・学術研究院工学系・助教    (13601)	

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		
ギリシャ	国立アテネ工大	アクロポリス修復事業所	