

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05224

研究課題名(和文)世界遺産組積造建造物の耐震性評価に関わる非破壊調査法の展開

研究課題名(英文)Development of Non-Destructive Test of Masonry World Heritage Structure for Seismic Evaluation

研究代表者

花里 利一 (Hanazato, Toshikazu)

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：60134285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,600,000円

研究成果の概要(和文)：世界遺産等歴史的組積造建造物の耐震性評価を行うための構造調査では、原則として非破壊調査が要求される。本研究では、国内外の歴史的組積造建造物を対象として、常時微動測定、新たに開発した加速度センサー等による地震モニタリング、亀裂変位モニタリング、GPSモニタリングなどを行い、耐震性に関わるデータを収集するとともに、解析的なアプローチによる評価も行った。得られた非破壊調査データから、地盤-構造物の動的相互作用の効果、水平面内剛性の影響を把握した。さらに、地震で被災した歴史的組積造建造物の保存修復に有用なデータを得た。

研究成果の概要(英文)：Non-destructive tests are required, in principle, to survey heritage structures of masonry for assessment of their seismic safety. In the present research, heritage structures were investigated for seismic or structural diagnosis by employing non-destructive tests such as microtremore measurements, earthquake monitoring utilizing newly-developed accelerometers, crack-displacement monitoring and GPS monitoring. At the same time, analytical approach was introduced to assess seismic safety. On the basis of those data, dynamic soil-structure interaction effect on improvement of their seismic safety, as well as, horizontal in-plane rigidity were investigated. Furthermore, non-destructive test data of earthquake-damaged heritage structures were successfully obtained for their structural restoration.

研究分野：地震工学

キーワード：歴史的建造物 組積造 非破壊調査 地震 世界遺産

1. 研究開始当初の背景

組積造建造物は地震に対して脆弱であるとされている。海外の地震国においても、数多くの歴史的組積造建造物があり、とくに歴史・文化的に価値の高いものは世界文化遺産に登録されている。世界遺産組積造建造物を地震災害から守るためには、歴史・文化的な価値を損なわないように必要最小限の耐震補強を施すことになるが、文化財建造物の構造補強の原則である、『最小限の補強』のためには、まず、その建造物の耐震性能を正確に把握することが肝要となる。しかし、新築の建造物とは異なり、もともと工学的な設計に基づいて建設されていない上、長い歴史の間に、経年変化した材料・変形や亀裂、さらに、構造内部が未知な場合もあり、正確な耐震性能評価には構造に関わる調査は必須である。世界文化遺産等の重要な文化財建造物であれば、調査は、原則として非破壊もしくは微破壊でなければならない。研究代表者らは、これまで世界遺産や国指定重要文化財等の文化財組積造建造物の耐震研究を進めてきたなかで、常時微動測定、地震観測および亀裂変位モニタリングを適用してきたほか、新技術として素粒子探査技術も世界遺産文化財建造物の内部構造の把握に用いた。耐震性能評価には、これらの調査技術を単独で用いる場合もあるが、構造解析と合わせて実施されることも少なくない。

ICOMOS 等の国際的な指針では、世界遺産建造物の調査は『非破壊もしくは微破壊調査』によることとしているが、具体的な技術指針はないのが現状である。2011年東日本大震災や2016年熊本地震では、多くの歴史的組積造建造物が被災した。国内においては、文化庁指針などの技術指針が整備されている木造の文化財建造物の耐震診断法に比べて、組積造建造物は未整備な状況にある。とくに、組積造建造物の地盤—構造物系の動的相互作用効果、水平面内剛性の役割は、研究課題となっていた。

2. 研究の目的

研究代表者らがこれまで適用してきた歴史的組積造建造物の非破壊調査法のうち、常時微動測定、地震モニタリング及び亀裂変位モニタリングを、さらに新たに展開もしくは継続し、それらの有効性を検証、さらに系統的に整理する。国際的な技術指針の提案に向けた検討を行う。また、組積造建造物の耐震性能のうち、地盤と建物の動的相互作用は、逸散減衰の効果が期待できる。とくに、マッシブな建造物であれば、その効果は大きいと考えられる。水平面内の剛性も、耐震性能に大きく影響する要因である。本研究は、非破壊調査を通じて、耐震性能に影響を及ぼすこの2要因に着目し、その効果を明らかにする。本研究では、地震や火災で被災した世界遺産等の歴史的組積造建造物の耐震性能を評価するための非破壊調査法も喫緊の課題として取り扱う。

文化財建造物の耐震分野における日本のプレゼンスを維持し、引き続き主導的な役割を果たすため、本研究の成果を国際的な技術指針の提案を目標として活動を行う。

3. 研究の方法

国際的、かつ、建築構造、建築史、計測工学の専門家から構成される学際的な研究体制で実施した。

(1) 常時微動測定

常時微動測定は、建造物の耐震調査あるいは

地震動評価に従来から多用されてきた手法であり、高感度速度計を用い、多点観測を実施した。本研究では、研究期間において、マッシブな文化財組積造建造物の耐震調査として、フィリピン・セブ島に残る石造教会堂群の測定を行った。また、水平面内剛性の効果の確認を主目的として、ギリシャ・世界遺産ビザンチン教会堂の測定を行った。地震で被災した歴史的な文化財建造物の微動調査では2011年東日本大震災で被災した石造建造物として福島市指定有形文化財写真美術館、2016年熊本地震で被災した煉瓦造建造物として登録有形文化財P S オランジュリの測定を実施した。2015年ネパール地震で被災した世界遺産建造物において微動測定を実施した。

(2) 地震モニタリング

マッシブな文化財石造建造物の耐震調査のため、史跡和田岬砲台(神戸市)において、引き続き地震モニタリングを実施した。この建造物では、すでに常時微動測定を実施済である。歴史火災による損傷を受けているギリシャ・パルテノン神殿では、アテネ工大およびアクロポリス修復事務所の協力のもと、地震計を増設して地震モニタリングを行った。ギリシャでは、微動測定を行った世界遺産ビザンチン教会堂において、アテネ工大と共同で地震観測を行っている。また、高精度かつ取り扱いが簡便で、長期のヘルスマニタリングにも適したMEMS型加速度計を開発し、地震で被災した登録有形文化財福島市写真美術館、ネパール・世界遺産ニヤタボラ寺院五重塔などに設置して、地震モニタリングを行った。

(3) 亀裂(ひび割れ)・変位モニタリング

熊本地震で被災した登録有形文化財P S オランジュリでは、煉瓦壁にひび割れが多数生じた。ひび割れ部にII型変位計を設置するとともに、室内・屋外に温度計を設置して、損傷した建造物の構造安定性を確認するための長期のモニタリングを実施した。

(4) GPS 変位モニタリング

インドネシア世界遺産ボルブドール遺跡では、長期の変位変動が問題になっている。この遺跡の長期変位を測定するため、GPS 観測を実施した。観測機器はすでにユネスコが設置したものであり、その観測を引き継いだ。

(5) 材料調査

耐震評価の上で、構造材料特性の理解は基本である。削孔などでサンプルの採取が許可された建造物では、力学的な性質、さらに、化学的な分析も行った。このうち、フィリピン・ボホール地震で被災した石造教会堂の材料調査では、マッシブな石造壁を構成する外部石材と内部のラブルコンクリートの強度とX線解析による成分分析を行った。歴史火災による損傷を受けたパルテノン神殿の耐震評価では、組積柱の火害深さを推定するために、歴史火災の規模などを把握する必要がある。本研究では、パルテノン神殿の修理に用いられている大理石の熱力学的な性質を求め、熱伝導解析による火害シミュレーションを行った。

(6) 構造解析

耐震評価上の要因となる地盤—構造物系の動的相互作用効果を把握するためには、構造解析は有力な手段である。地震モニタリング記録が得られた史跡和田岬砲台および地震で被災した市指定有形文化財福島写真美術館、登録有形文化財P S オランジュリの地震応答解析を行った。

解析モデルは、多質点系モデルを基本的に用い、福島写真美術館および PS オランジュリの解析では、有限要素法を適用した。

4. 研究成果

本研究では、多くの歴史的建造物に非破壊調査法を適用・展開して研究を進めた。

(1) ギリシャ世界遺産ビザンチン教会

世界遺産オシオス・ルーカス修道院(10世紀, 写真 4.1.1 参照)および同ダフニー修道院(11世紀)において、常時微動測定を実施した。オシオス・ルーカス修道院では地震モニタリングも実施している。



写真 4.1.1 オシオス・ルーカス修道院

両修道院ともに、ドームを有する建造物であるが、オシオス・ルーカス修道院は、中間高さに回廊がある(図 4.1.1 参照)が、ダフニー修道院には中間高さに回廊はない。1999年アテネ地震

では、ダフニー修道院は大きな被害を受けたが、オシオス・ルーカス修道院は 1981年コリンス地震でも顕著な被害を受けていない。その理由として、中間高さにある回廊床の水平面内剛性が考えられた。この水平面内剛性の効果を確かめることを主目的として、常時微動測定を行った。表 4.1.1 に伝達関数から求めたオシオス・ルーカス修道院の固有振動数を示す。

| 構造物 | EW | NS |
|-------|-------|-------|
| カソリック | 3.7Hz | 3.5Hz |
| パナギア | 5.9Hz | 4.3Hz |

表 4.1.1 微動測定による固有振動数(オシオス・ルーカス)

図 4.1.2 は、オシオス・ルーカス修道院のカソリックのドームベースの最下階床に対する伝達関数である。図に示すように、建物の EW 方向 1 次固有振動数 3.7Hz に顕著なピークがみられるとともに、ドームベースでは、パナギアの固有振動数 5.9Hz にもピークがみられる。構造的には十分に一体化していないが、隣接して建つ構造物応答の影響を受ける連成効果が生じていることを示している。また、オシオス・ルーカス修道院カソリックにおける建物中間高さの回廊床の水平面内剛性を確かめるために、床面各点の応答倍率(固有振動数における伝達関数ピーク値)を求めた結果、パナギアに近い測定点では 4.2~5.0、パナギアから離れた測定点では、10.0~12.0 を示した。これらの結果から、カソリックに比べて剛性が大きいパナギアに近い部分では、その影響が顕著にみられること、水平面内剛性は必ずしも十分に剛ではないものの、一定の効果の可能性もあることが示唆された。中間レベルの水平構面の効果については、さらなる検討が必要である。一方、ダフニー修道院では地盤と建物の動的相互作用による応答倍率(ドーム頂部の 1 階床, 地表面に対する伝達関数ピーク値の比較)の約 25%低減がみられた。ダフニー修道院では、地盤の卓越周期(0.15~0.18 秒)と建物の固有周期がほぼ一致し、共振現象が主たる被害の要因であると推定された。

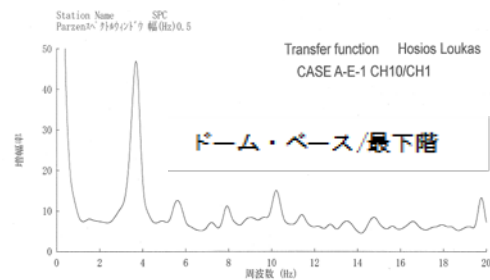


図 4.1.2 オシオス・ルーカス修道院最下階床に対する測定点の伝達関数

(2) ギリシャ・パルテノン神殿

パルテノン神殿には、本研究以前から、北東隅のベース(自然岩盤上)と組積柱頂部に地震計を設置して、地震観測を実施してきたが、新たに南西隅に近い場所のベース(大理石ブロックを積み上げた地盤上)に新たに地震計を設置した。本研究期間ではアテネの地震活動度は低かったが、2017年12月31日と2018年1月15日に小地震の記録を得ることができた。この記録により、地震動によっては、パルテノン神殿を支持している基壇の基礎地盤条件(岩盤と石積)の影響を受けることがわかった。ピーク加速度を表 4.2.1 に示す。

| 方向 | 基礎地盤条件 | 2017年 12月31日 地震 | 2018年 1月15日 地震 |
|----|--------|-----------------------|----------------------|
| X | 岩盤 | 1.6 | 3.6 |
| | ブロック積 | 1.7 | 4.2 |
| Y | 岩盤 | 2.3 | 3.9 |
| | ブロック積 | 2.3 | 7.3 |

表 4.2.1 パルテノン神殿の基壇基礎(石積/岩盤)の地震動ピーク加速度(水平)の比較

(3) インドネシア・世界遺産ボロブドゥール遺跡

インドネシア・世界遺産ボロブドゥール遺跡は 9 世紀半ば頃に仏教寺院として創建された建造物(写真 4.3.1 参照)であり、自然の土の上に版築土を盛り、創建当時は目地材を用いずに安山岩の石材を積み上げた組積造建造物である。長い歴史のなかで火山灰に覆われ廃墟となっていたが、20 世紀になり、調査・復原事業がなされ、保存修復事業が続けられている。しかし、修復事業で用いられたコンクリート材料の経年変化や雨水の浸透による土粒子の流出などにより、長期の変形が問題となっている箇所がある。本研究では、このような問題に有効な非破壊調査法として GPS システムを用いた長期観測を実施した。GPS 観測は、基準点アンテナを保存事務所付近に設置し、遺跡にアンテナを 4 か所設置して実施した。観測記録の 1 例を図 4.3.1 に示す。この図は、観測点 3 と 5 間の相対変位の変動を示している。観測記録を総合的に検討した結果、構造的にはおおむね安定していると判断したが、



写真 4.3.1 ボロブドゥール遺跡

さらに、長期のデータを得ていく必要がある。また、このような広い面積を有する遺跡建造物の非破壊調査法として、GPS 観測は有効であることが示された。

(4)ネパール世界遺産建造物

2015 年ネパール地震では、多くの歴史的建造物が大きな被害を受けた。これらの構造的な特徴は、木の骨組を有する煉瓦造であり、煉瓦の目地は、土モルタルもしくは石灰モルタルである。2009 年には、塔婆建築の常時微動測定を実施していたが、2015 年ネパール地震で倒壊もしくは大破した。一方、損傷はしたものの、倒壊もしくは大破を免れた塔婆建築もあった。その代表が、歴史都市バクタブルの世界遺産ニャタポラ寺院五重塔である(写真 4.4.1 参照)。本研究では、その五重塔の常時微動測定を行うとともに、新たに開発した高精度 MEMS 型加速度センサー(写真 4.4.2 参照)を設置し、地震モニタリングを実施した。2017 年 12 月 8 日に五重塔から約 30km 東で発生したマグニチュード 5.0 地震の計測波形を図 4.4.1 に示す。観測記録によれば、固有振動数の変位依存性がみられ、小さい地震動に対しては約 1.6Hz、より大きな地震動(図 4.4.1 参照)に対しては約 1.48Hz の 1 次固有振動数を示した。新たに開発した加速度センサーが長期モニタリングに有用であることが確認された。



写真 4.4.1 ニャタポラ寺院五重塔

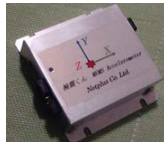


写真 4.4.2 新たに開発した MEMS 加速度センサー

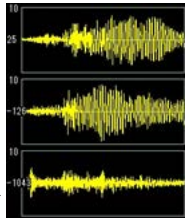


図 4.4.1 地震観測記録の例

(5)フィリピン石造教会堂

フィリピンで 16 世紀以降建てられた石造教会の特徴は、壁厚が非常に厚く強固な壁式無補強組積建造物である。しかし、2013 年ボホール地震では、この石造教会堂が甚大な被害を受け、その耐震性が大きな課題になっている。マッシブな壁構造を有することから、地盤・構造物系の動的相互作用に着目しつつ、常時微動測定を実施した。さらに、ボホール地震で被災した石造教会堂の材料調査では、採取した石材および中詰ラブルコンクリートの圧縮強度および X 線解析を実施した。常時微動測定を行ったセブ島・を写真 4.5.1 に示す。図 4.5.1 は、側壁直交方向の伝達関数を示したものである。この常時微動測定により、固有振動数および振動モードを求めるとともに、地盤と建物 1 階床に対す

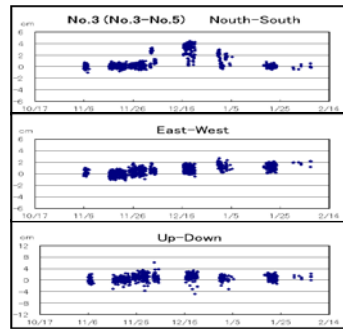


図 4.3.1 観測記録(観測点 3,5 の相対変位,2016 年 11 月~2017 年 2 月)

る頂部の伝達関数から地盤・構造物の動的相互作用現象を確認した。さらに、崩壊した石造教会堂の材料を採取し、X 線解析、EPMA 分析お



写真 4.5.1 サンギジェルモ教会堂

よび圧縮試験を実施した。マッシブな壁構造の特徴であり、耐震性の要因となる中詰めラブルコンクリートの X 線解析の例を図 4.5.2 に示す。

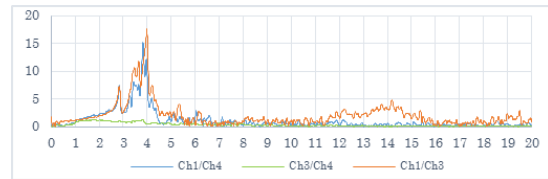


図 4.5.1 サンギジェルモ教会堂の微動測定による伝達関数(側壁直交方向)

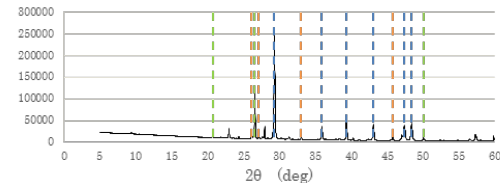


図 4.5.2 X 線解析(ロボック教会)

中詰めラブルコンクリートの材料特性は 6 教会堂でばらつきはあるが、密度 1.6-2.0g/cm³、圧縮強度は 0.6-1.2(kN/cm²) であり、低い密度と強度を示した。

(6)史跡和田岬砲台

国史跡和田岬砲台は神戸市内の沿岸部に現存し、1864 年に完成した(写真 4.6.1 参照)。高さ約 11.5m の直径は約 15m の円筒形の建築物である。構造に関しては内部の木造架構と外部の石造で構成されている。壁厚は約 1.2m である。史跡和田岬砲台では、内部の木構造に関する保存修理事業時に常時微動測定を実施している。しかし、常時微動では、ひずみレベルが小さく、地震時の挙動正確に把握するためには、地震観



写真 4.6.1 和田岬砲台

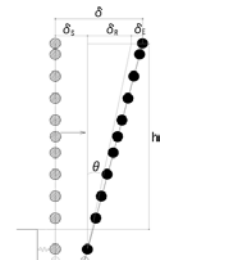


図 4.6.1 解析に用いた多質点系 Stick モデル

測が必要であった、本研究は保存改修事業後から

地震観測を行い、マッシブな石造建造物の動的相互作用現象を明らかにすることを目的とし、図 4.6.1 に示す多質点系 Stick モデルを用いて、地震記録のシミュレーション解析を実施した。解析では、基礎固定モデルと動的相互作用ばね(スウェイ・ロッキングモデル)による解析を行った。本研究の観測期間では計 5 地震記録が得

られた。その記録のうち 2016 年 10 月 21 日鳥取県中部地震では震度Ⅲで、和田岬砲台での地動最大加速度は 124Gal であった。建物頂部の水平変位は、動的相互作用による基礎のスウェイとロッキングおよび構造物の弾性変形から成る。建物頂部の水平変位に占める相互作用による変位は、解析結果から算出した場合は約 80%、観測結果から算出した場合は約 60% を占めた。

(7) 市指定有形文化財福島市写真美術館

2011 年東日本大震災で被災した福島市写真美術館は、1922 年に国の電気施設として建てられた石造建造物である。構造は石造の壁式構造であり、地元産凝灰岩系の国見石が用いられている。この国見石は比重約 1.2 と軽いのが特徴である。目地は、石灰目地であるが、コア抜きサンプリングによれば、充填率は十分ではないことがわかった。被害状況は、石造壁の一部にひび割れが生じ、内部の木刷壁および木刷天井の漆喰が落下した。福島市写真美術館では、常時微動測定および地震モニタリングを実施した。常時微動測定の結果、基礎に対する壁頂部の伝達関数より、北側と南側(長辺方向)について固有振動数が約 4.6Hz であった。また、東側と西側(短辺方向)について、東側が約 3.5Hz、西側が約 4.5Hz と求められた。さらに、3次元有限要素モデルを用いて、時刻歴応答解析を行った。解析モデルを図 4.7.1 に示す。このモデル底面に地盤バネを設置し、地盤の動的相互作用を考慮した解析を行い、福島市写真美術館の地震時応答を検討する。また、基礎固定モデルとの比較により動的相互作用の効果を確かめる。バネ定数の評価では、常時微動測定で得られた固有振動数に一致するように同定した。入力地震動は、2011 年東日本大震災において、福島市桜木町で観測された強震記録を用いた。動的相互作用の効果を把握するため、基礎固定モデルによる解析も行った。図 4.7.2 に応答変位の解析結果を示す。赤線は、基礎固定モデル、青線は動的相互作用モデルの最大応答変位である。図に示すように、動的相互作用効果を考慮することにより、応答変位がほぼ 1/2 になっている。地盤一構造物系の動的相互作用が組積造の地震応答に及ぼす影響は無視できないことがわかった。耐震評価の上で、動的相互作用の効果を適切に評価することにより、より正確な評価が可能になることが確かめられた。

新たに開発した MEMS 型加速度計を設置し、地震観測を行い、16 回の地震動が観測さ

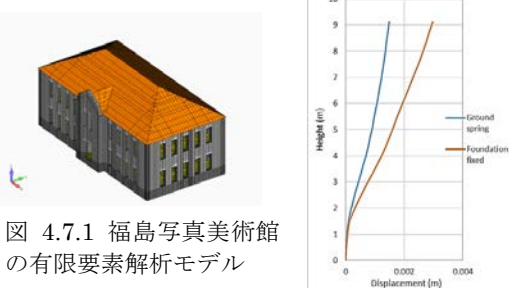


図 4.7.1 福島写真美術館の有限要素解析モデル

図 4.7.2 3次元有限要素法による地震応答解析結果(基礎固定モデルと動的相互作用モデル)

2017 年 10 月 6 日に発生した地震では、EW 方向 1 階 44gal、壁頂 178Gal、NS 方向 1 階 56Gal、壁頂 84Gal の地震記録が得られた。この観測記録を用い、石層を縮合して動的相互作用を考慮し

た多質点系 Stick モデルに置換し、解析を行った。その結果、おおむね観測記録を再現できることを確認した。さらに、東日本大震災における福島市内の地震動記録を用いた解析を行った。その結果、石層間の地震層せん断力係数は組積体の力学試験で求めた摩擦係数を下回ることを確認した。東日本大震災時に、石材の横ずれ変位が生じていないことと整合した。

(8)登録有形文化財 PS オランジュリ

1919 年に銀行として建てられ、現在は事務所建物として使用されている。煉瓦造を主体構造とし、屋根スラブや一部の空間は RC 構造を併用した混構造である。煉瓦壁は無補強とされているが、のちの調査により鉄筋による補強も施されていることがわかった。2016 年熊本地震では、煉瓦壁に多数のひび割れが生じるとともに、木刷天井の漆喰が落下する被害を受けた。図 4.8.1 は、建物の東西方向断面と微動計の設置位置を示したものである。本研究では、この建物の基本的な振動特性を明らかにするとともに、ひび割れが生じた建物の構造安定性を確認するために、亀裂・変位モニタリングを実施した。

常時微動測定の結果、固有振動数(東西方向並進 1 次)は、4.4Hz と求められ、内部の RC 構造と伝達関数(図 4.8.1 参照)はほぼ一致したことから、煉瓦造と内部の RC 構造は一体化した挙動を示すことを確認した。固有振動数は、別途実施された有限要素法による地震応答解析に用いられた。ひび割れ変位の変動は構造の健全性を評価する上で有用なデータになりうる。また、亀裂変位は温度の影響を受けるため、温度変化との関係を明らかにする必要がある。以上の点を踏まえ、亀裂変位を把握し、建物の健全性を評価すること、加えて室内外の温度を把握し、亀裂変位に及ぼす温度変動の効果を明らかにすることを目的とし、パイ型変位計と温度計を用い、南東隅角部に生じたひび割れを対象として、長期モニタリングを実施した(写真 4.8.1 参照)。

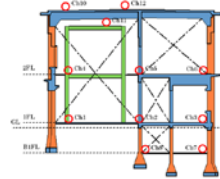


図 4.8.1 東西断面と微動計設置位置

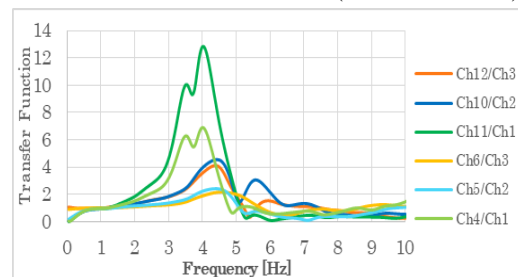


図 4.8.2 1 階床に対する伝達関数(東西方向)

観測期間のうち、2017 年 3 月 13 日から 10 日間の記録を図 4.8.3 に示す。変位計は、ひび割れ幅の変動を測るよう設置するとともに、ひび割れ無の部分も同時に測定した。また、温度はひび割れ部近くの室内及び屋外に熱電対を設置して測定している。図に示すように、ひび割れ幅は、温度の影響を受けて変動するが、経日的な変化はみられない。2017 年 9 月 8 日 14 時 20 分



に熊本中央区で震度3の地震が発生

写真 4.8.1 ひび割れ変位のモニタリング

したが、ひび割れ幅は大きな変化が見られなかった。これらの結果から、煉瓦構造はひび割れを生じているが、安定していると判断した。

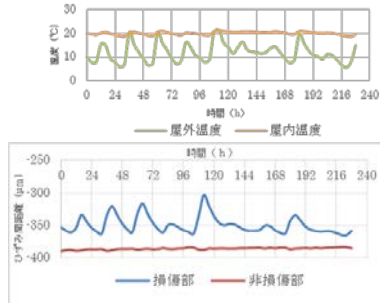


図 4.8.3 ひび割れ変位・温度モニタリング記録

(9) パルテノン神殿の歴史火災調査

写真 4.9.1 に示すように、パルテノン神殿は3世紀および16世紀に大火災による災害を受け、現在もその損傷状況を見ることが出来る。このような過去の災害は、組積造建造物の耐震性に影響を及ぼすと考えられる。本研究では、歴史火災による損傷を対象とし、パルテノン神殿について、解析的な検討を行った。熱伝導率、比熱等はすでに得ており、熱的材料特性を用いて汎用ソフトウェア ANSYS による解析を行った。



写真 4.9.1 大理石組積柱の歴史火災による損傷

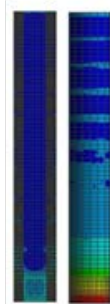


図 4.9.2 ANSYS による熱伝導解析結果

(10) まとめ

世界遺産等の歴史的組積造建造物の耐震性評価に関わる調査において、文化財建造物の構造調査の原則である非破壊調査法を適用し、耐震性に関わる基本的な知見を得た。本研究では、非破壊調査法として、常時微動測定、地震モニタリング、亀裂変位モニタリング、GPS モニタリングを用い、構造解析の有用性も示した。耐震性に関わる基本的な知見として、基本的な振動特性である固有振動数や振動モードのほか、地震時の実挙動を記録した。さらに、マッシブな壁構造を有する組積造建造物の地盤-構造物の動的相互作用効果を明らかにするとともに、水平面内剛性の影響を調べた。対象とした組積造建造物には、地震で被災した建造物や歴史火災で損傷した建造物もあり、災害による損傷評価にも有用であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

①斎藤祥裕, 宮本慎宏, 花里利一 地震観測に基づく歴史的石造建築物の動的相互作用に関する研究, 構造工学論文集, 査読有, 64B, 493-500 (2018)

②T.Hanazato, Y. Uekita et.al. Seismic Evaluation Based on muon monitoring of Prambanan World Heritage Temple Damaged by Central Java Earthquake(査読有). 16th World Conference on Earthquake Engineering(2017)

〔学会発表〕(計8件)

①花里利一, 新津靖, 上北恭史 世界遺産組積造建造物の耐震性に関わる非破壊調査-ドームを有するギリシャ・ビザンチン教会堂の動的挙動-建築学会大会 (2018)

②浅井真直, 下田一太, 花里利一, 上北恭史, 増成友宏 世界遺産組積造建造物の安定性に関わるモニタリング調査-ボルブドール遺跡におけるGPSによる変動モニタリング調査-建築学会大会 (2017)

③新津靖, 花里利一 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-その15 ニヤタボラ寺院五重塔の加速度モニタリング- 建築学会大会 (2018)

④今西美香, 花里利一, 山口謙太郎, 浅井真直 2016年熊本地震で被災した歴史的組積造建造物の構造修復調査-登録有形文化財 PS オランジュリ-建築学会大会 (2017)

⑤森藤祥裕, 宮本慎宏, 花里利一 地震漢族の基づく歴史的石造建築物の動的相互作用に関する研究 建築学会 (2017)

⑦山田真生, 花里利一, 鈴木淳一 海外の世界遺産組積造建造物に用いられている大理石材料に関する研究その3 パルテノン神殿の歴史火災による火害のシミュレーション解析 建築学会大会 (2016)

⑧今西美香, 花里利一, ヒメネス・ベルデボ・ホアン・ラモン, 山田真生 マッシブな石造壁を有するフィリピン歴史的建造物の構造・材料調査 建築学会大会 (2016)

〔図書〕(計3件)

① 花里利一 ほか 26名 日本イコモス国内委員会 Report of the Damage to the Cultural Heritage The Kumamoto Earthquake. 総ページ 95 (2017)

② 花里利一 ほか 日本建築学会 2016年熊本地震災害調査報告書, 総ページ 405 (2018)

③ 花里利一 ほか 日本建築学会 2015年ネパール・ゴルカ地震災害調査報告書 総ページ数 381 (2016)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花里利一 (HANAZATO Toshikazu)
三重大学・工学研究科・教授
研究者番号: 60134285

(2) 研究分担者

上北恭史 (UEKITA Yasufumi)
筑波大学・芸術系・教授
研究者番号: 00232736
新津靖 (NIITSU Yasushi)
東京電機大学・環境情報学部・教授
研究者番号: 70143659

(3) 連携研究者

宮本慎宏 (MIYAMOTO Mitsuhiro)
香川大学・創造工学部・准教授
研究者番号: 80505694

(4) 研究協力者

ムザキス・ハリス (アテネ工科大学地震工学研究所准教授)
モデナ・クラウディオ (パドバ大学教授)