赤外線サーモグラフィーを用いたイラン聖ステファノス修道院の損傷評価の試み

金沢大学理工学域環境デザイン学類　学生会員　森田　高志
金沢大学理工研究域環境デザイン学系　正会員　池本　敏和
金沢大学理工研究域環境デザイン学系　正会員　宮島　昌克

1. はじめに

イランは我が国同様に地震国家であり，地震頻度に対して被災死亡者数が多い国である．イランでは煉瓦や石を積み上げた組積造の構造物が一般的になっており，これらの構造物は地震に対して脆弱である．このことが被害者を増加させる要因になっていると考えられる．またイランには世界遺産に登録されている歴史的な構造物が多く存在し，それらは組積造である．今回研究対象とする聖ステファノス修道院も組積造からなるUNESCOの世界遺産であり，観光客が世界中から訪れている．

また2017年11月12日にはイラン南部のイラクとの国境付近を震源とするケルマンシャー地震が発生した[1)]．アメリカ地質調査所によると，モーメントマグニチュードは7.3，震源深さは25 kmであった．被害者は死亡者が 400 人以上で負傷者は 8000 人以上となっている．この地震の震源から聖ステファノス修道院は約460 km離れており，地震による修道院への被害は報告されていないが，地震による現地での組積造構造物への影響は大きく，対策は急務であると考えられる．

そこで本研究では，組積造構造物の耐震性を評価する手段として非破壊試験である赤外線サーモグラフィーを使用し，熱画像の解析から耐震性の定性的な評価を行うことを試みる．

2. 既往の研究

赤外線サーモグラフィーを用いた研究として，橋本ら[2)]は，2016年の熊本地震により被害のあった熊本城付近で赤外線サーモグラフィーを用いて石垣表面温度分布を可視化し，剥離等の異常高温部の検出が可能かであることを示している．

3. 現地調査の概要

(1) 調査対象

本研究で調査対象とするのは聖ステファノス修道院の教会部の壁面である．修道院はイラン北西部東アザルバイジャン州，ジョルファの北西約 15km に位置し，周辺は山に囲まれている．2008 年に聖タデウス修道院とともに「イランのアルメニア人修道院建造物群」の1つとしてUNESCOの世界遺産に登録された．渓谷に沿う形で 9～10 世紀頃に建設された．地震や民族紛争などにより複数回被害を受け，その都度再建がなされてきた．

(2) 赤外線サーモグラフィー及び測定原理

本研究で使用する赤外線サーモグラフィーの仕様は**表-1** の通りである．

赤外線サーモグラフィー法では物質から放射される赤外線を検出し，放射エネルギーを温度に変換し，温度分布画像として記録する．放射エネルギーはステファン・ボルツマンの法則を用いることで温度に変換が可能である．組積造構造物の内部に空洞がある場合では，熱伝導率等の物理的性質の違いから温度差が現れる．空洞部が断熱材として働き，一般的に日中であれば健全部に比べて空洞を有している異常部は温度が高く，夜間であれば温度が低くなる．またひび割れが存在する場合は，健全部と比べひび割れによって表面積が大きくなるために太陽の輻射熱の影響を大きく受け，異常部の温度が高くなって現れると考えられる．

赤外線サーモグラフィー法では健全部と異常部に温度差を生じさせるために何らかの熱源が必要となるが，

表-1　赤外線サーモグラフィーの仕様

装置名	FLIR A315
製造会社	フリアーシステムズジャパン株式会社
測定温度範囲	-20℃～120℃
空間分解能	1.36mrad
視野角	水平25° ×鉛直18.8°
測定精度	±2℃（読取値）
画素数	320 × 240 ピクセル（7.68万画素）

一般的には太陽の日射である．理想的な測定時の気象条件としては，太陽の日射が十分に確保できる晴天であり，無風状態の昼間である．

(3) 調査方法

目視による異常部を検出し，赤外線サーモグラフィーによりそれが確認できるかを検証する．その後，目視の不可能な壁面の損傷も検出が可能かを検討する．温度差を見るための熱源は太陽による日射とし，測定時間は日中とする．測定は修道院教会部壁面の表面･裏面･側面の３面で実施した．このとき，どのような状況なら効果的に異常部の検出ができるのかを検討するために，1）対象面に日が当たり始めた場合，2）日が当たり十分に壁面が温まった場合，3）日が沈み始めた場合の 3 パターンの測定を行った（**図-1**）．

測定は現地時間の 2017 年 9 月 17 日（日）の 10 時から 18 時及び 18 日（月）の 10 時から 12 時 30 分まで行った．両日とも晴天で，風も測定に影響がない程度であったため気象条件としては良好であった．

4. 調査結果

調査結果の一例として，得られた熱画像（**図-2**）と可視画像（**写真-1**）を示す．これらの画像は教会部裏面の一部分で，日が当たり十分に壁面が温まった場合のものである．2 つの画像の比較から，熱画像においてひび割れは周りの健全部との温度差が大きく，煉瓦のつなぎ目は小さくなることが分かる．このことより，熱画像からひび割れを検出することは可能であると考えられる．

5. まとめ

本研究では，目視可能なひび割れの検出は赤外線サーモグラフィーの熱画像からでも可能であり，ひび割れや補修の跡と思われる箇所の検出も可能であった．これらのことから，詳細な二次調査の前段階の一次調査として，赤外線サーモグラフィーを用いて構造物の損傷の評価を試みた．一次調査として赤外線サーモグラフィーを用いることは十分に有効であると考えられる．

参考文献

1) USGS: M 7.3 - 30km S of Halabjah, Iraq 2017/11/24 アクセス https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us2000bmcg#executive

2) 橋本隆雄，鈴木彩加: 赤外線サーモグラフィー法による熊本城石垣等調査，第 2 回擁壁の耐震診断及び補強法に関するシンポジウム講演論文集，pp.75～91，2017.

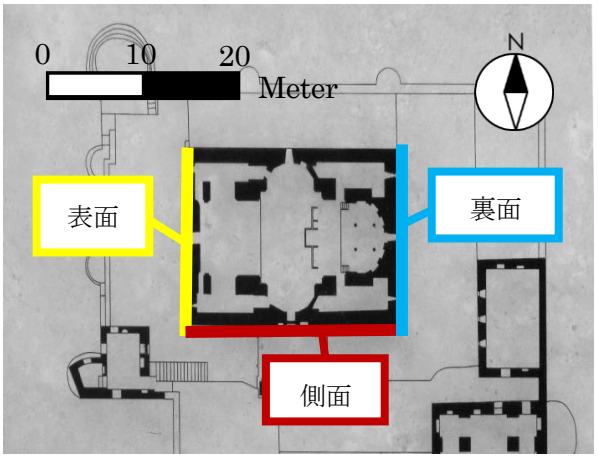

図-1 聖ステファノス修道院教会部の平面図

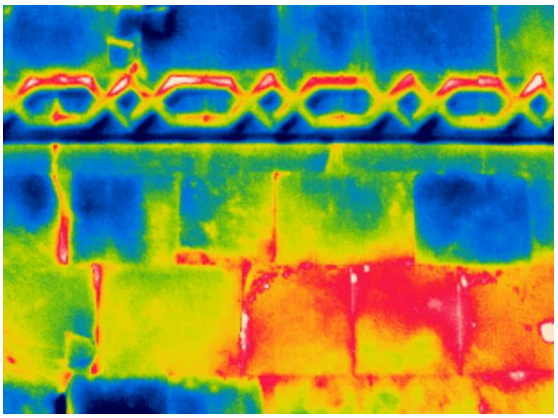

図-2 熱画像（修道院裏面の壁）カラー

写真-1 可視画像（修道院裏側の壁）