

熊本城石垣表面形状計測による変状評価に関する研究

長崎大学工学部 学生会員 ○山口晃佑 長崎大学大学院 正会員 杉本知史
 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣宇静 長崎大学大学院 正会員 大嶺聖
 長崎大学大学院 学生会員 山口真歩

1. はじめに

2016年に発生した熊本地震により、熊本城石垣の多くの箇所で崩壊・変状などの被害を受けた。現在も修復工事が進められているが、変状箇所が多く残っているのが現状である。本研究では、石垣表面をレーザー距離計による石垣表面の計測を行い、過去のデータとの比較、崩壊・変状の原因を検討した。また、同石垣面内において、変状の大きさを定量的に求めることを目的とする。

2. レーザー距離計による計測

計測には Leica Geosystem 社の DISTO D510 を使用し、草野ら¹⁾と同様の手法で写真-1のように計測を行った。主に土地区画や建物の形状計測に用いられる可搬型レーザー距離計であり、図-1のように直線距離や仰角の計測が容易に行える。計測精度は、標準測定公差が $\pm 1.0\text{mm}/10\text{m}$ 、標準測定範囲が0.05~200mの精度を有する。計測する際はレーザー距離計を三脚に固定し、レーザー距離計から石垣までの斜距離、水平面とレーザーとのなす角度を計測し、レーザー距離計からの水平距離、鉛直距離を求めた。なお、2017年~2019年迄に計299箇所の計測を行ったのに加え、2020年には図-2に示す、東竹の丸石垣西側、茶櫓跡西側、南側、南大手門、計53測線の計測を行った。

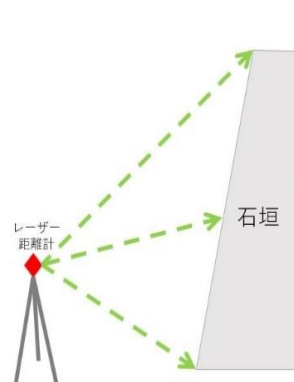


図-1 石垣形状計測モード



写真-1 計測の様子

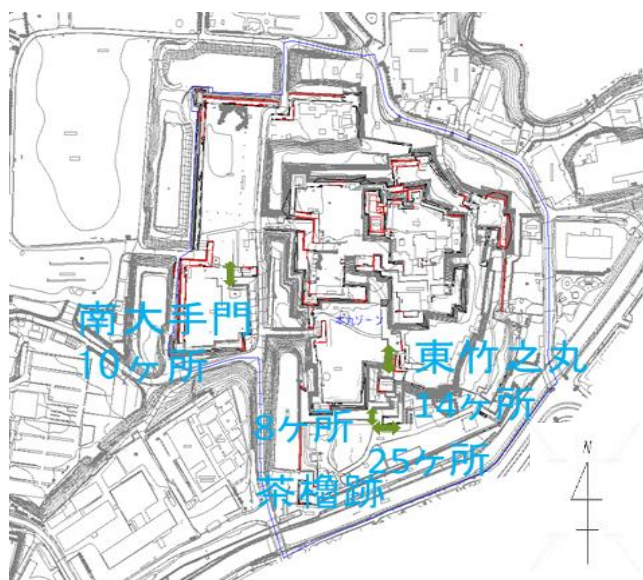


図-2 熊本城内における計測箇所

3. 既往の計測データとの比較

2018, 2019年に茶櫓跡西面、南面、東竹之丸西面石垣を計測していたため、今回計測したデータと比較した。過去のデータと今回の計測結果を比較したものを図-3に示す。図-3よりすべての地点で大きな変状は見られなかった。この結果より、熊本地震後の大きな変状はないことが伺える。

4. 変状度合の定量的評価に関する考察

今回計測した石垣のうち、南大手門石垣と高さが近い稲荷神社向かい側の石垣の表面形状を過去に計測していた。変状の大小の比較を行うため、この石垣と南大手門石

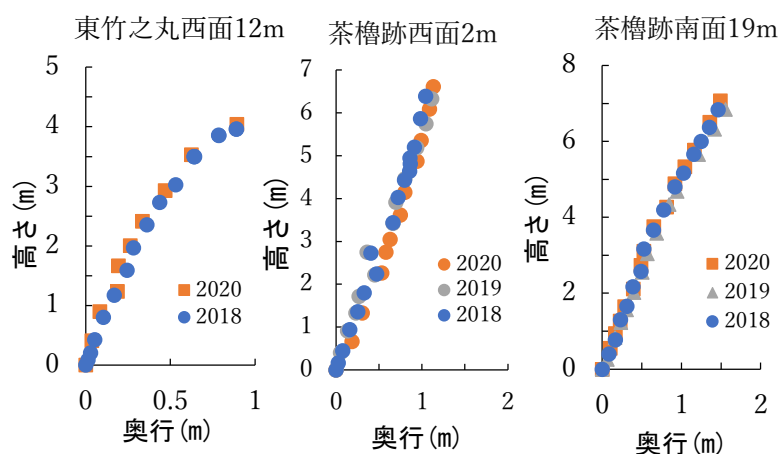


図-3 石垣表面形状に関する過去データとの比較

垣の変状が小さな地点のデータを比較した。

図-4 に示すように、多少の孕み出しが存在するが、そもそも南大手門石垣の勾配が大きいことがわかる。このことから、熊本城石垣は場所によって設計方法が異なることが伺える。よって現状では、設計方法を一律に充てはめることができず、地震前の初期形状を再現することは困難である。そこで、同一石垣面内における変状の少ない箇所を基準として、変状の大きな箇所の相対的な比較を行うこととした。例えば、茶櫓跡西面石垣では、変状が大きい箇所と小さい箇所があり、計測の基準点から 0m, 9m 地点(石垣端)では変状が比較的小さく、石垣の中央に位置する 3~6m 地点では変状が大きかった。これは

図-5 に示す算木積み構造により、石垣石荷重と土圧の合力が図-5 中の①②面に互いに作用しあって、隅角部付近の合力が石垣中央部に比べて大きいためと考えられる。茶櫓跡西面石垣の 4m 地点と 9m 地点を比較し、一測線当たりの変状面積を求めた。

図-6 中の青線を変状の大きい地点、赤線を変状の小さい地点の石垣形状とすると、青線と赤線で囲まれた面積(図-6 中緑斜線)を変状面積とする。図-7 の赤線が変状の大きい地点(4m 地点)、黒線が変状の小さい地点(9m 地点)である。求める際は、変状の大きい地点において近似曲線の変曲点となる点(図 7 中、高さ 3.87m)により、3 つの区間(高さ:0~3.87m, 3.87~6.31m, 6.31~6.73m)に分け、相関係数が 0.99 以上となる近似式を求めた。さらに、曲線①、①'と②との間で囲まれる面積を変状面積として求めた。高さ 6.31m までは、石垣石に向かって手前側に 1.532m²、高さ 6.31m より上側では後方に 0.02731m²変形していた。これは高さ 6.31m より上側の栗石が熊本地震により、下側の栗石の間隙に入り込んだためと推測される。今後は、この提案手法により変状が顕著な石垣に対し、面的に定量的な評価を行っていく。

5. おわりに

本研究では、レーザー距離計による石垣形状の計測を行い、熊本城内の石垣において変状の小さい石垣と大きい石垣との比較を行い、熊本地震による変状量を定量的に評価することを試みた。今後は、変状が生じている複数の石垣に対して比較を行い、面的な定量的評価による変状傾向の特徴を明らかにする。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費基盤研究(C)20K05030 の助成を受けて実施しています。また熊本城調査研究センターのご協力に謝意を表します。

参考文献：

- 1) 草野奈菜ら：熊本城の被災石垣の簡易的変状調査法の提案，平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.283-284，2019。
- 2) 森本浩行：我が国における城郭石垣の形状および構造の歴史的変遷に関する土木史的研究，pp13，2005

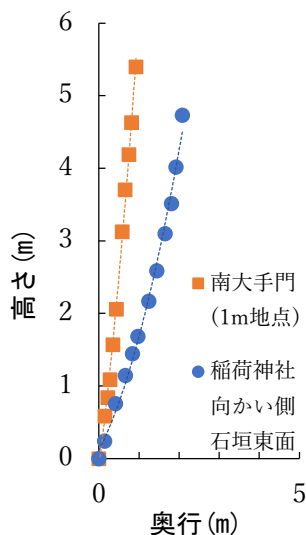


図-4 高さが近く変状の少ない石垣形状

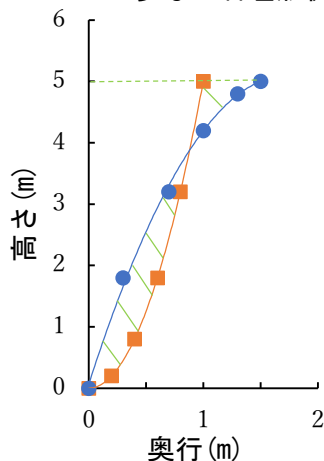


図-6 変状大小の比較

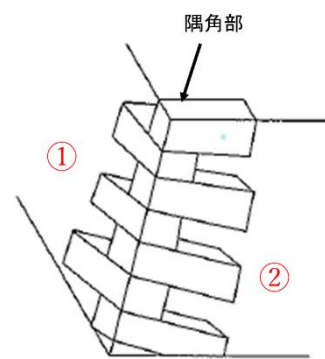


図-5 算木積み

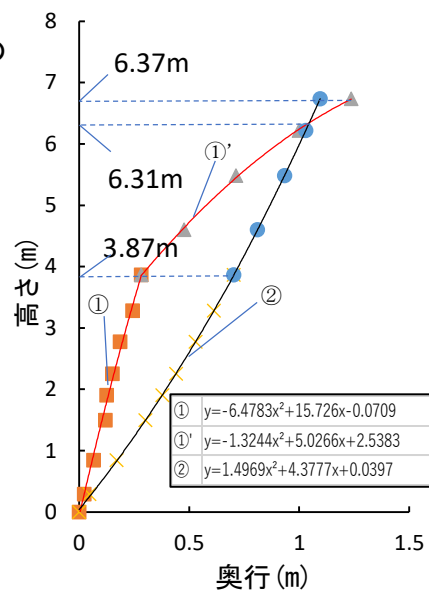


図-7 茶櫓跡西面 4m, 9m 地点比較