

熊本城被災石垣における表面形状計測と変状箇所の抽出

長崎大学工学部 学生会員 ○秦翔真 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

1. はじめに

平成28年に発生した熊本地震により、熊本城の石垣は大規模に崩壊・変形した。変形が生じた石垣は、今後修復工事の実施や適切な管理が検討されるが、元々変状がある石垣なのか、地震の影響で変状を生じたのか判別することは非常に困難である中、変状度合いから修復の優先順位を検討する必要がある。また、管理者が日常的に簡易に計測を行うことが求められている。本研究では、簡易的な手法で石垣の変状を定量的に計測するとともに、遠隔モニタリング対象箇所の選定の根拠となるためのデータ収集を目的とする。

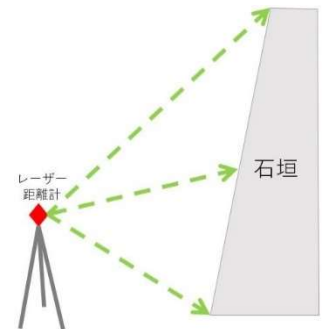


図-1 石垣形状計測模式図

2. 可搬型レーザー距離計による計測

Leica Geosystem 社の DISTO D510 は、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。さらに、草野ら²⁾により、計測器と水平面をなす角度が 45 度を超えると、約 0.3% 程度のばらつきが存在することが示されている。したがって、本研究では可搬型レーザー距離計 (DISTO D510) を三脚に固定し、鉛直距離と水平距離を計測するとともに、形状計測の際には計測角度が 45 度の範囲内で計測を行うことを条件とした。

3. 熊本城の石垣形状の計測

計測対象となる石垣前方に可搬型レーザー距離計を設置し、垂直方向に各石垣石の距離と角度を計測する。計測後に距離と角度を基に各石垣石の鉛直・水平方向の座標を求め、断面をプロットする。今回は、1984 年¹⁾、2018 年²⁾の計測データを比較対象に用いた。1984 年のデータは熊本地震発生前に計測されたデータの中で最も新しいデータである。計測箇所の選定に際し、過去に計測された箇所に加え、変状が大きい箇所については新たに計測を行った。これまでに 6 回に分けて計測を行っており、茶櫓石垣西側、同南側、西出丸長堀、東竹の丸石垣西側、同南側、二様の石垣、長局石垣南側、同東側、飯田丸五階櫓石垣西側、同南側、南大手門石垣、計 106 箇所の計測を行った(図-2 参照)。

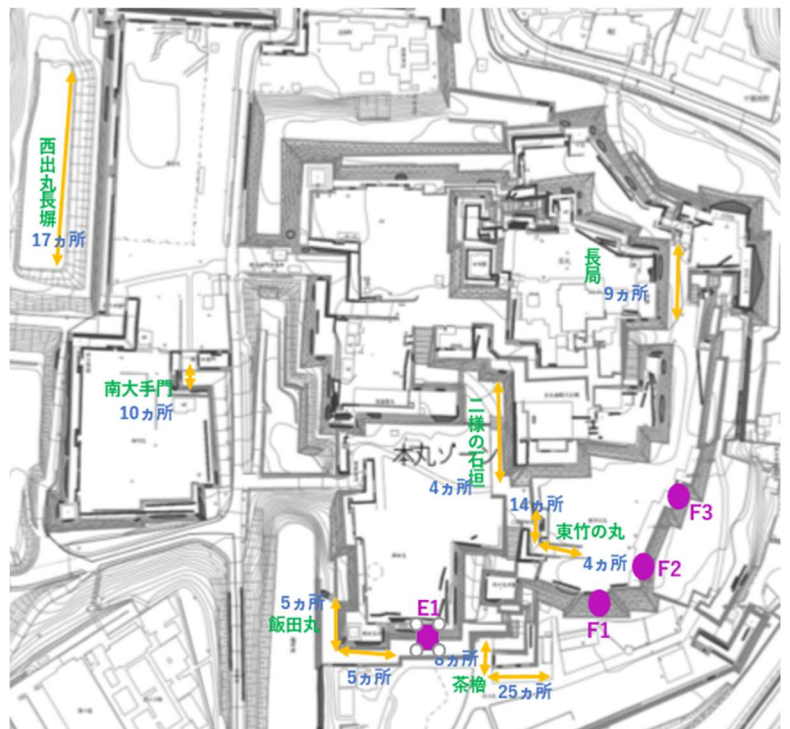


図-2 計測箇所全体図

1984 年に行われていた計測箇所の中で計測可能な石垣を抽出し、計測を実施した。計測対象箇所は E1, F1, F2, F3 の計 4 箇所である。(図-2 参照) また、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、E1 は、全体的に後方に動いている傾向がみられるが、地震の影響で動いている可能性がある。また、石垣自体の経年劣化や石垣の受動土圧状態による背面地盤の影響も考えられる。いずれに

せよ今後調査を行う上で考慮すべき箇所である。また、F1, F2, F3 における大きな変状は見られなかった。この結果より、F1, F2, F3 それぞれの測線付近において、熊本地震による石垣変状はなかったと言える。可搬型レーザー距離計を用いることで、簡易的に計測ができる一方、レーザー照射部が草木にあたってしまうと正確な値を計測することが難しいことも明らかとなった。

飯田丸五階櫓石垣西面、南面、南大手門石垣では、石垣の崩落・変状があったもの

の復旧工事の影響により、これまで計測ができなかったため、今回新たに計測箇所として選定した。石垣最下部を基準とし、計測した横方向の位置、高さ、奥行きをグラフ描画ソフトにより、形状分布図が得られた。(図-4, 図-5, 図-6 参照) 図-4 より南大手門石垣 5m~9m 地点にかけ、変状を確認することができる。図-4 と図

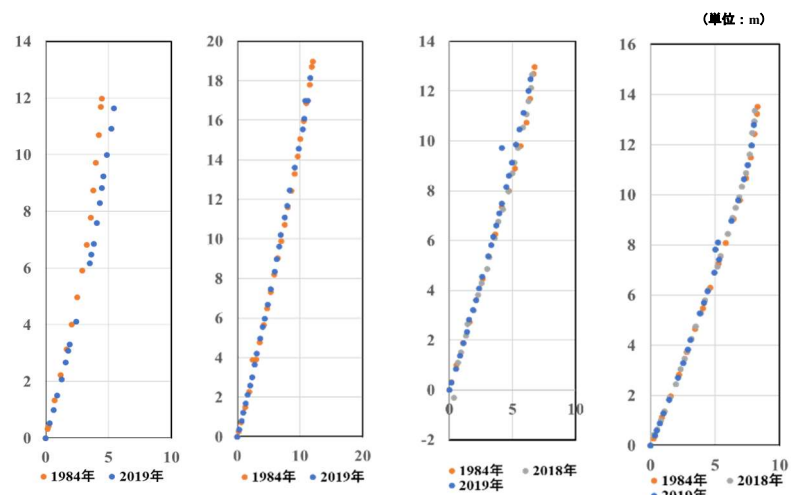


図-3 表面形状比較の結果 (左から E1, F1, F2, F3)



写真-1 南大手門石垣



写真-2 飯田丸五階櫓石垣(左: 西面, 右: 南面)

-5, 図-6 を比較すると、石垣表面形状の変状の違いが明らかである。また、11 月より南大手門石垣表面の孕み出しが大きい箇所に加速度センサーを設置している。得られたデータも含め、変状箇所抽出の判断材料に用いる。

4. おわりに

本研究では、可搬型レーザー距離計による石垣形状の計測を行うとともに表面形状分布図を用いることで石垣表面形状に変状がある箇所を容易に抽出できることが確認できた。他の石垣も含め、同様の手法で作成する表面形状分布図を遠隔モニタリングの対象箇所の選定材料として用いることは有効であると考えられる。

謝辞：熊本城調査研究センターの関係者の方々のご協力に謝意を申し上げます。

参考文献：

- 1) 桑原文夫：熊本城の石垣勾配，日本工業大学研究報告，第 14 巻，第 2 号，pp.201-216，1984。
- 2) 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。

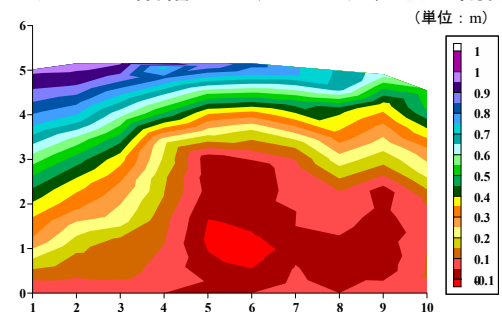


図-4 表面形状分布図 (南大手門石垣)

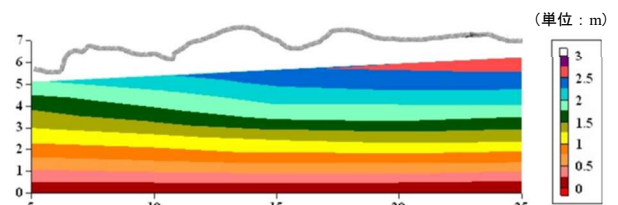


図-5 表面形状分布図 (飯田丸五階櫓石垣南面)

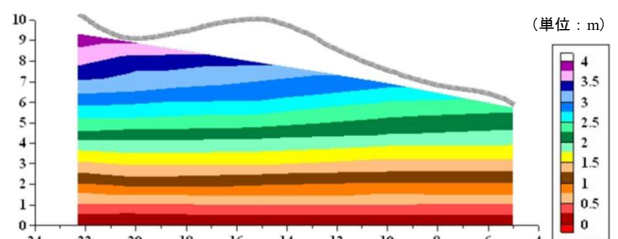


図-6 表面形状分布図 (飯田丸五階櫓石垣西面)