

平成 28 年（2016 年）熊本地震による熊本城石垣の変状の分析

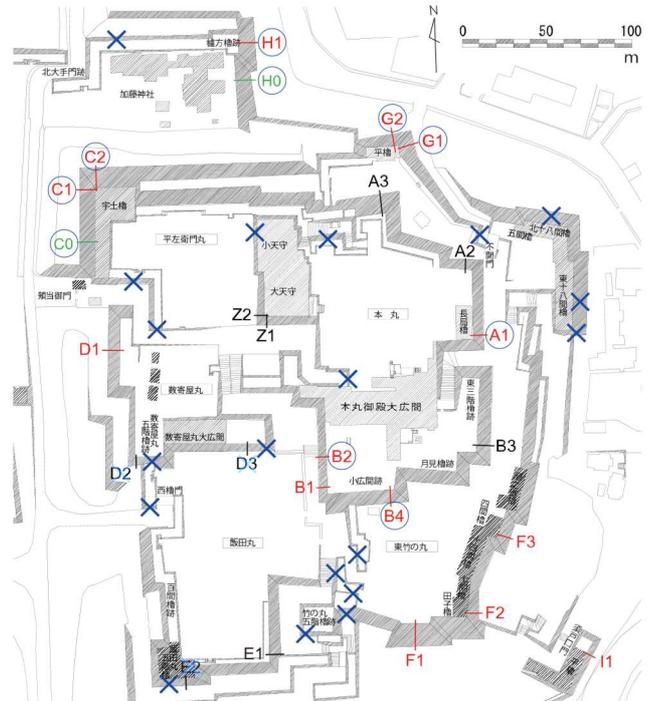
横浜国立大学 学生会員 ○神谷 圭祐 正会員 菊本 統
 広島大学 正会員 橋本 涼太
 関西大学 学生会員 桑島 流音 正会員 小山 倫史

1. 研究の背景と目的

2016年熊本地震では、本震の震央の約7km北西に位置する熊本城において前震時に震度6弱、本震時に震度6強の強い揺れが発生し、多数の石垣が崩壊した¹⁾。崩壊に至らなかった石垣においても、目視で容易に確認できる変状を生じた箇所があったが、変状の程度が必ずしも定量化されていないため、補修の可否や方法の判断は難しい。ここでは、残存する石垣の地震前後の形状を比較し、地震による変状度合いを定量化するとともに、その力学的な安定性について検討した結果を紹介する。

2. 現地調査の概要と結果

地震前の石垣形状として、図1に示す1984年の桑原²⁾の計測データから14測線を用いた。また、目視観測で顕著な変状がみられた2測線については、地震前の計測データが無いことから、西田らの方法³⁾に基づいて伝統的な石垣形状を比較対象とした。地震後の形状は、2017年5月に3次元レーザースキャナで計測したデータを用いた。計測結果の一例を図2に示す。



A2 桑原(1984年)による計測 ○ はらみ出し (本研究にて確認): 10 測線
 A1 桑原の計測との比較: 14 測線
 C0 伝統的な石垣形状との比較: 2 測線 X 地震による崩壊箇所

図1 現地調査における計測箇所 (熊本城調査研究センター¹⁾の図を修正、加筆)

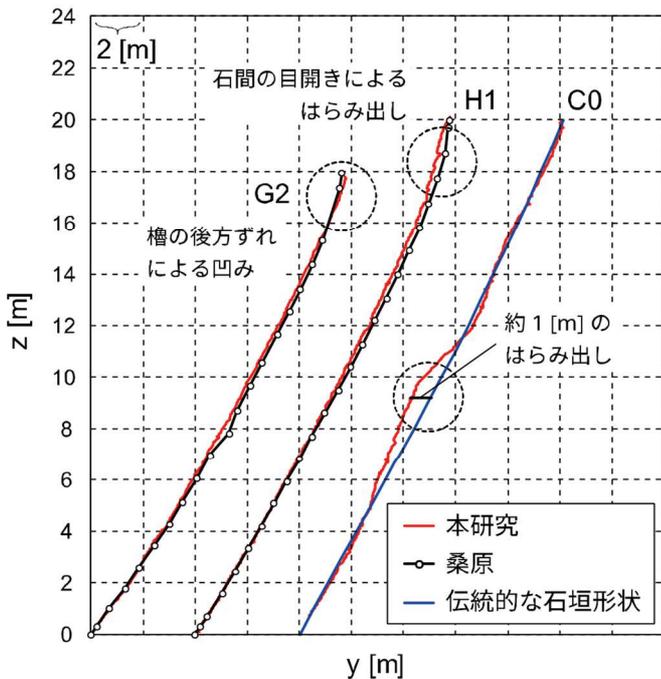
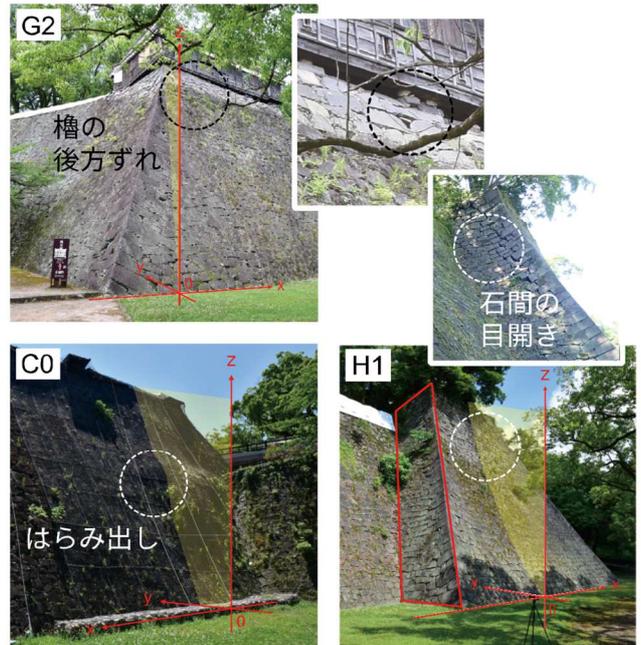


図2 地震後の石垣の様子と計測測線、地震前後の石垣形状の比較 (C0, G2 および H1 石垣)



キーワード 熊本地震, 熊本城, 城郭石垣, 変形・破壊, レーザー測量, 複合構造物

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1 横浜国立大学都市イノベーション研究院 TEL 045-330-4030

3. 熊本城石垣の変状の考察

地震前の計測データ²⁾との比較では、14 測線のうち 8 測線で明確な変状が認められた。古文書の石垣形状と比較した 2 測線と合わせて、**図 3** に示す最大はらみ出し量 δ_{max} [m] と、はらみ出しを生じた変状範囲 h_b [m] に着目して熊本城石垣の変状の特徴を考察する。はらみ出し量は水平変位量であり、負は凹みを意味する。

図 4 は、石垣の最大はらみ出し量の絶対値と変状範囲の関係である。天野ら⁴⁾ ははらみ出し指数 Bulging Index ; $B.I. = |\delta_{max}| [cm] / h_b [m]$ を定義し、野間ら⁵⁾ は B.I. が 6.0 を超えると力学的に不安定で対策を要するとの基準を示した。図より、変状がみられた城郭石垣のほとんどは B.I. が 2.0~7.0 程度であること、実際に崩壊した石垣の B.I. は図中に表れないことから、石垣崩壊の目安は B.I. = 7.0 程度と考えられる。

図 5 は、熊本城石垣の平均勾配と高さの関係を示している。図より、崩壊した 3 箇所はいずれも高さ 15m 以下であるものの、平均勾配 65 度以上の急勾配の石垣であるため、高さによらず急勾配の石垣は耐震安定性が低く、優先的に耐震補強を行うことが望ましいといえる。一方、高さ 17m を超える石垣の多くは明瞭なはらみ出しや凹みを生じたことから、高石垣は変状を生じやすいことに注意が必要である。

4. まとめ

熊本地震後の熊本城の石垣形状を 3 次元レーザースキャナによって取得し、既往研究および石垣曲面を近似することによって得られる地震前のデータと比較することで、地震による変状度合いを定量化した。変状がみられた 10 測線のデータをもとに、変状および崩壊のリスクが高い石垣の特徴を、はらみ出し指数と石垣の幾何的特徴の 2 点から明らかにした。本研究においてはらみ出し量と崩壊のリスクの関係性は追究できていないため今後の課題としたい。

参考文献

1) 熊本市：熊本城調査研究センター， www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=5566&class_set_id=3&class_id=1982 (2018-03-30 アクセス)。2) 桑原：熊本城の石垣勾配，日本工業大学研究報告 14(2), 59-74, 1984。3) 西田ら：城郭石垣断面形状の設計および構築に関する考察，土木史研究 21, 317-324, 2001。4) 天野ら：徳川期大坂城城郭石垣構造の土木史的研究，土木学会論文集 660, 101-110, 2000。5) 野間ら：城郭石垣の地震時変形予測と安定性評価に関する研究，土木学会論文集 C 69(4), 444-456, 2013。

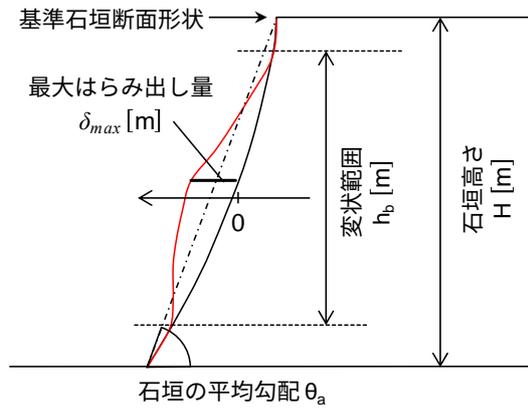


図 3 石垣に関する諸量の定義

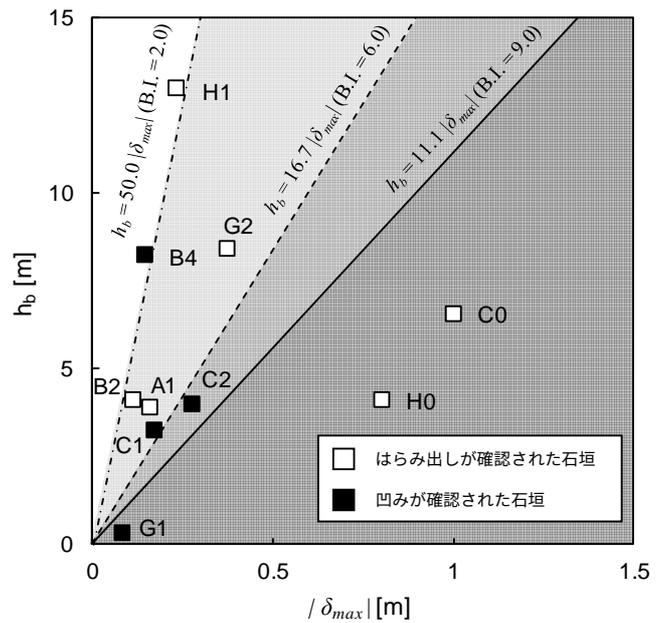


図 4 最大はらみ出し量（絶対値）と変状範囲の関係

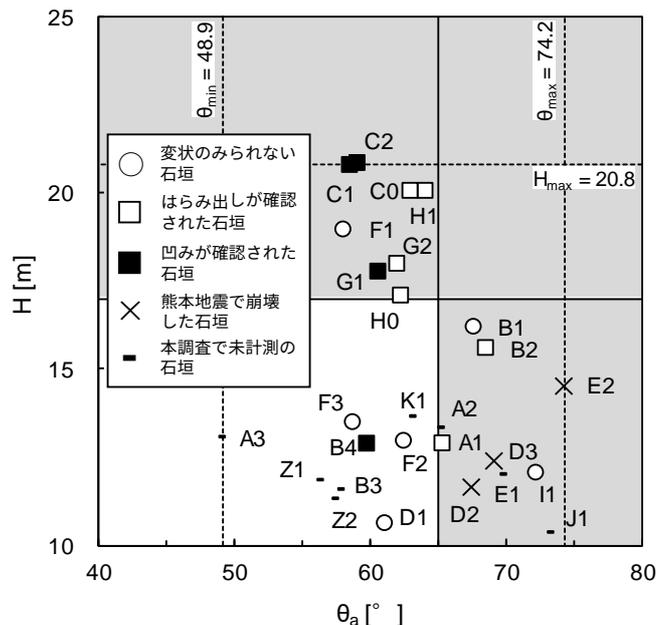


図 5 熊本城石垣の平均勾配と高さの関係 (桑原²⁾ のデータを図化)