

熊本城内における石垣の崩壊挙動解析

金沢大学大学院 学生会員 ○ 中西一仁
金沢大学理工研究域 正会員 池本敏和
金沢大学理工研究域 正会員 宮島昌克

1. はじめに

2016 年熊本地震では、前震と本震の 2 度、震度 7 の地震が活動するという過去に例を見ない現象により、熊本城内における石垣は甚大な被害を受けた。また、今回のように多くの石垣が崩壊、損壊を受けた例は僅少である。熊本城調査研究センターの許可、同行のもと、基礎資料の収集のために城内の調査を行った。本研究では、熊本城における石垣の動的解析を行い、石垣の崩壊挙動の解析を行った。

2. 解析対象の石垣について

熊本城内の調査結果より、解析を行う対象石垣の選定を行った。2016 年熊本地震では、北十八間櫓北側の石垣の中腹部分が主に崩壊した。そこでここでは、対象石垣として北十八間櫓石垣の崩壊挙動の解析を行った。

北十八間櫓は熊本城本丸の北東に位置し、国の重要文化財に指定されている。現在の建物は慶長年間（1596-1614）に建立されたものである。石垣の高さは約 20m であり、隅石には長方形の石を左右交互に積む算木積と呼ばれる手法が用いられている。また、石垣の底部は勾配が緩く、上部に行くにしたがって勾配がきつくなる、武者返しと呼ばれる独特な構造を有している。

3. 石垣の解析モデルと解析パラメータについて

本研究では、二次元不連続変形法（以下、DDA）を用いて解析を行う¹⁾。

解析モデル作成にあたり、堀の解析モデル²⁾を参考に、図 1 のような石垣モデルの作成を行った。解析する石垣には武者返しを表現した。石垣モデルは高さ方向が 500mm、奥行き方向が 750mm としてモデル化した。裏グリ石の要素は 1 辺が 300mm の正方形とし、45°回転させて配置した。盛土の要素は 1 辺が 1000mm の正方形とし、裏グリ石と同様に 45°回転させて配置した。上載荷重として解析用の物性値を表 1 に示す。また、入力地震加速度として、図 2 のような 1Hz、400gal、10 秒の正弦波を入力し、その後 20 秒までの崩壊挙動解析を行った。

4. 解析結果

図 3、図 4 に T=10(s)、最終状態（T=20(s)）のときの変形の様子を示す。裏グリ石が落ち込み、上部の石垣を押していることがわかる。このことによって最終状態では、上載荷重である櫓が落下していることがわかる。これは実際の北十八間櫓の石垣の崩壊の様子と一致している。また、下部の石垣が裏グリ石によって押されており、下部の石垣も崩壊することが分かった。

5. まとめ

本研究では、熊本城内における石垣の崩壊挙動解析として、北十八間櫓の石垣について解析を行った。今後は熊本城内の他の石垣についても解析を行っていきたい。

謝辞

本研究の熊本城現地調査に際して、許可、同行をしていただきました熊本城調査研究センターの各位、ならびに大阪大学の秦先生、金沢大学の村田先生に感謝の意を表します。

表 1 解析用の物性値

	粘着力(kN/m ²)	内部摩擦角(deg.)	単位体積重量(kN/m ³)	弾性係数(kN/m ²)	ポアソン比
石垣	0	35	23	1.0×10^7	0.3
裏込め石	0	40	19	1.0×10^7	0.3
盛土	20	25	19	3.0×10^4	0.3
荷重	0	40	23	1.1×10^7	0.3
基盤	0	33	29	2.4×10^7	0.3

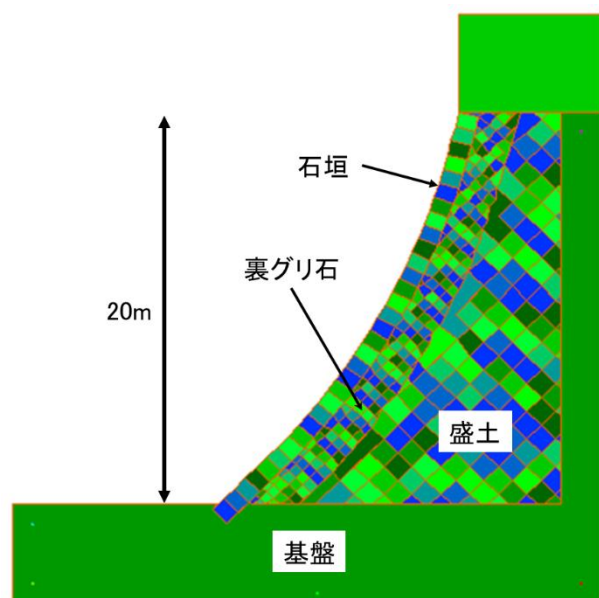


図 1 解析モデル

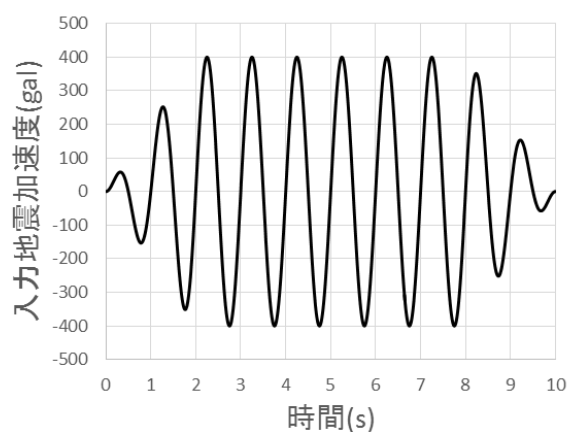


図 2 入力地震加速度

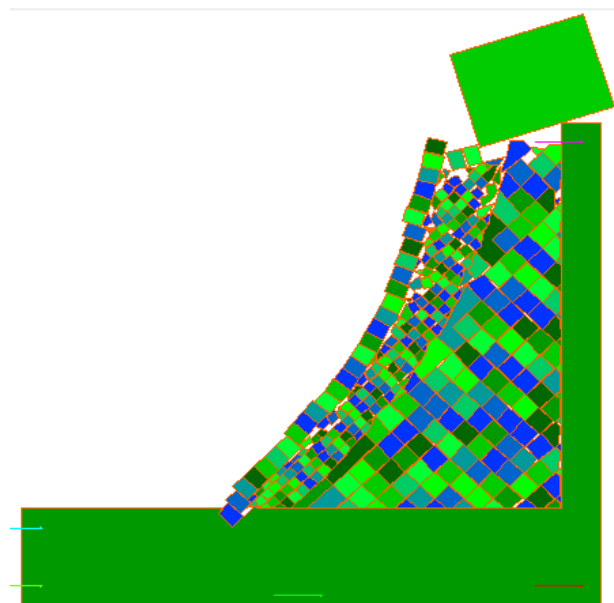


図 3 T=10(s)の時の様子

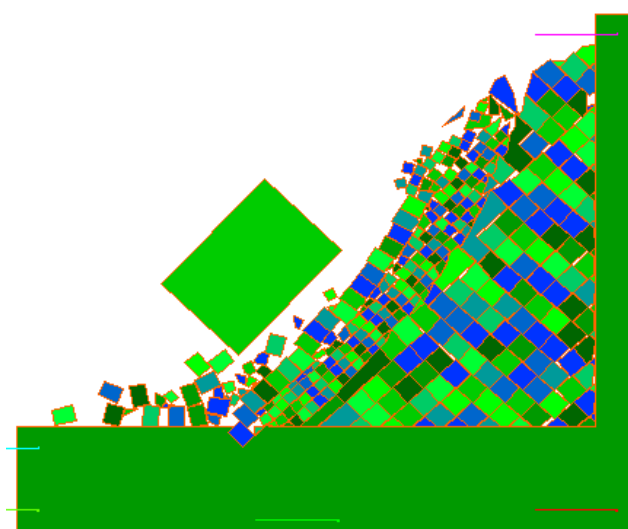


図 4 T=20(s)の時の様子

参考文献

- 1) 大西有三, 佐々木猛, Gen-Hua Shi: 不連続変形法(DDA), 丸善株式会社, pp,9-57, 2005.
- 2) 堀 翔伍: 間知ブロック積擁壁模型の地震時破壊挙動に関する実験及び解析的研究, 平成 26 年度金沢大学修士学位論文, 2015.