

城郭石垣模型におけるジオテキスタイルを用いた 耐震補強法に関する実験的研究

金沢大学 正会員○松原 大彰, 池本 敏和, 宮島 昌克
 国土館大学 正会員 橋本隆雄
 (株)エイト日本技術開発 正会員 末富岩雄, 福島康宏

1. はじめに

我が国には、石積みの中にも城郭石垣があり、こうした石垣は文化財的に高い価値を有し、構造物としての機能も持ち合わせている。今後もこれらの伝統的構造物を維持管理していくためには、石垣の構造安定性を適切に評価することが重要になるものと考えられる。一方、地震災害時での石垣の崩壊被害は少なくない。

2016年熊本地震では、4月14日の前震及び4月16日の本震といった震度7の地震が2度も起こるという過去に類を見ない災害により、熊本城内における多くの石垣が甚大な被害を受けた。このように石垣は地震によって少なからず安定性を失うが、地震時における石垣の安定性に関する研究事例は僅少である¹⁾。したがって、城郭石垣の地震時における変形挙動の解明と対策工法の提案が急務であると考え、著者らは、振動台を用いた地震時における城郭石垣モデルの対策工法の効果に関する実験的研究を行った。

2. 実験概要

本研究では、2016年熊本地震により崩壊した熊本城内の百間石垣を対象とし、模型実験を行う。本研究では1/11スケールの模型を製作し、香川の相似則²⁾に従うと考えた。1/11スケールは実験で用いる土槽と百間石垣の寸法を考慮して決めた。作成方法は、奥行き1200mm、幅800mm、高さ1000mmの土槽内に基礎地盤及びぐり石を用い、百間石垣と模型の法面を合致させて作成する。

(1) 実験材料

既往研究から石垣の振動台実験^{3), 4)}を参考に材料を選定した。実験に使用する積(築)石は、正面が

縦56mm×横98mm×縦56mm×横49mmの長方形であり、控長さはそれぞれ100mm及び160mmの2種類の台形の石材である。裏ぐり石層は最大粒径30mmの

玉砂利を使用する。本実験では良好な基礎地盤上に構築された城郭石垣を考え、基礎地盤は石川県森本産の湿潤な山土を用いて、締め固める。また、背面土は、弾力のあるスポンジを用いて裏ぐり石の挙動だけで確かめる。ジオテキスタイルはゴム製で強度の高いものを使用した⁵⁾。

(2) 計測機器の配置及び実験フロー

計測機器の配置は図-1の立面のように、正面から見たとき図-2のようになる。左が「対策ありの模型」、右が「対策なしの模型」の2通りを作成した。そのため土槽内には仕切りを設けている。したがって、水平加速度計(赤色の□)；6×2箇所+振動台上に1箇所の計13箇所、鉛直加速度計(青色の□)；3×2箇所+振動台上に1箇所の計7箇所、変位計；2×2箇所+上部に2箇所、土圧計；3×2箇所を設置する。実験は、城郭石垣に熊本地震波による水平加振を与える。百間石垣における推定地震動を用い、前震と本震のN-S方向の加振を行う。

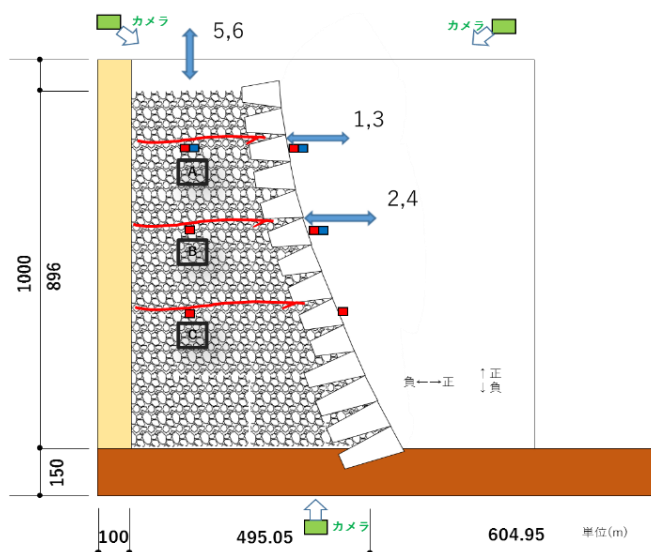


図-1 計測機器配置(立面図)

3. 実験結果及び考察

左が対策, 右が無対策の結果であるが(写真-1), 積石の孕み出しの形態が異なることが分かる。前震では作用する加速度が比較的小さいため, 積石の変化量は少なかった。しかし, 本震では無対策の方は裏ぐり石が沈下し, 積石中央部から下部にかけて孕み出しの現象が顕著に現れた。一方, 対策ありの方では裏ぐりが沈下せず, ジオテキスタイル上を滑るように積石上部だけが慣性力の影響を受け崩壊したものと考えられる。一方, 積石の孕み出しは抑制される傾向にあった。

次に, 崩壊挙動に注目して水平変位計の計測結果から考察する。変位計 1, 2(点線: 対策あり)と 3, 4(実線: 対策なし)の平均変位量を図-3 に示す。対策なしと比較して, 対策ありの方が最大で約 100mm の積石の孕み出しに抑えていることが分かる。

4. 最後に

本研究では, 振動台を用いて石垣の耐震補強に関する模型実験を行った。特に, ジオテキスタイル工法による補強法の効果について検討した。以下に得られた成果をまとめる。

1. 無対策では積石中央部の孕み出しが顕著に現れ, 石垣本来の機能を維持できない状況になった。
2. 対策ありでは, ジオテキスタイルによって沈下は抑えることが出来たものの, 裏ぐりが沈下せず, ジオテキスタイル上を滑るように積石上部だけが慣性力の影響を受け崩壊したものと考えられる。しかしながら, 全体的には積石の孕み出しが抑えられていると言える。

今後はジオテキスタイルの設置位置や固定方法を変えた実験を行い, さらなる検討を考えている。

最後に, 本研究を実施するにあたりご協力いただきました方々に感謝の意を表します。



写真-1 実験後模型写真

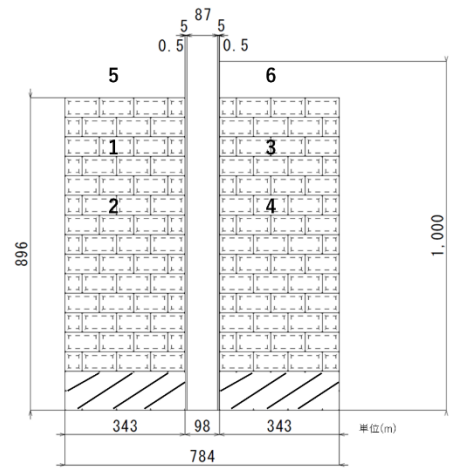


図-2 実験模型(正面図)

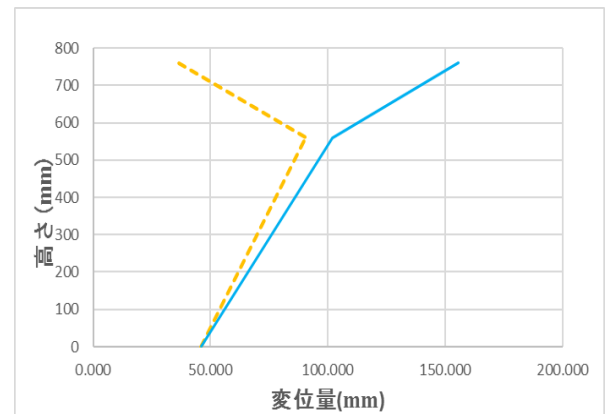


図-3 変位計 1, 2 と 3, 4 の計測結果

参考文献

- 1) 嘉村哲也：石垣の積み方～石材の回収工事から見えてきたこと～, 熊本城調査研究センター, 2017.
- 2) 香川崇章：土構造物の模型振動実験における相似則, 土木学会論文報告集, No. 275, pp. 69-77, 1978.
- 3) 池本敏和, 宮島昌克, 橋本隆雄, 中島進, 藤原寅士良, 池本宏文：石積擁壁の耐震挙動に関する模型実験及び不連続変形法を用いた挙動解析, 土木学会論文集 (F6), pp. 181-188, 2017.
- 4) 窪田勇輝, 中島進, 佐々木徹也, 渡辺健治, 池本宏文, 藤原寅士良, 鬼頭和也, 橘内真太郎：崩壊防止ネットと地山補強材を併用した石積み壁の大型振動台実験に関する検証解析, 土木学会第 69 回年次学術講演会公演概要集 (CD-ROM), pp. 681-682, 2014.
- 5) 笹倉剛, 田口勝則, 石川典男, 西村元男：城郭石垣修復工事へのジオシンセティックスの適用, ジオシンセティックス論文集, pp. 221-224, 2003.