

動的遠心載荷模型実験による築石構造物の力学挙動の基礎的研

長崎大学大学院 学生会員 長野寛大 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 勝田侑弥 香川大学工学部 正会員 山中稔

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。現在、本丸及び飯田丸五階櫓等の石垣修復が早急に進んでいる。しかし、石垣の修復過程で補強有無によってどの程度改善が見込めるかが分からないのが現状である。そこで、城郭石垣の模型での遠心載荷実験により、石垣構造内部の動的挙動を解明し、石垣の石垣石、背面地盤、栗石の崩壊・変形の傾向から、石垣全体の破壊の原因を検討することを本研究の目的としている。

2. 実験方法

今回の遠心実験で使用する石垣模型は、図 1 の通りである。石垣模型の作製方法は、模型の下基礎地盤を造り、背面地盤を四回に分けて締め固めながら作製した。次に石垣石の一段目を造り、石垣石と背面地盤の間に栗石を詰める。この工程を石垣石が 8 段目になるまで繰り返し行った。石垣模型は、高さ 195mm、幅 134mm で作製した。この石垣模型は 50G の重力場において約 9.5m 相当の大きさになり、実際の石垣とより近い形で再現できるように設定した。背面地盤は、豊浦砂(湿潤密度 1.90g/cm³、含水比 8.0%)を使用した。この豊浦砂で定体積一面せん断試験を行い、粘着力 2.10kN/m²、内部摩擦角 33.2°となった。栗石は伊勢砂利を使用した。この伊勢砂利で定圧力一面せん断試験を行い、粘着力 44.76kN/m²、内部摩擦角 53.3°となった。石垣石は密度が 3.02g/cm³ のアルミ製のブロックを使用した。図 1 に示した赤い点は土圧計の設置箇所である。石垣模型を振動させることにより、石垣模型下部の鉛直支持力の変化を明らかにするため、石垣石下部に土圧計を設置した。また、石垣石と栗石の間と栗石と背面地盤の間にもそれぞれ 1 ヶ所ずつ設置した。これは、振動の際に背面地盤側からの土圧と石垣石側からの土圧の強弱の変化を明らかにするためである。背面地盤には、垂直水平両方向の土圧を計測するために同一箇所

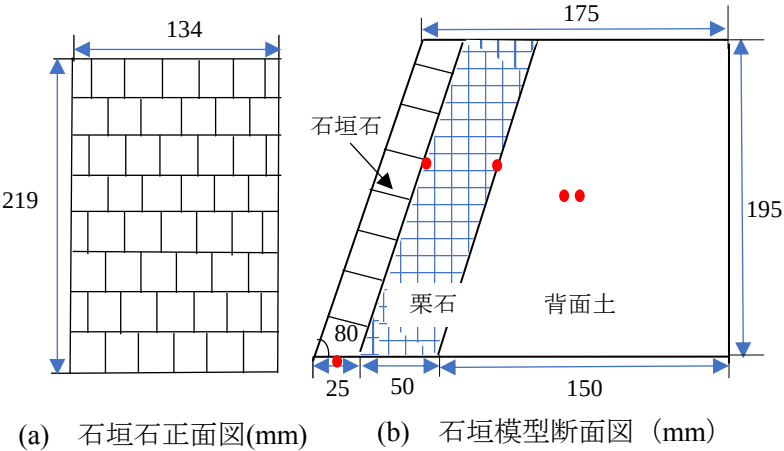


図 1 石垣模型モデル図

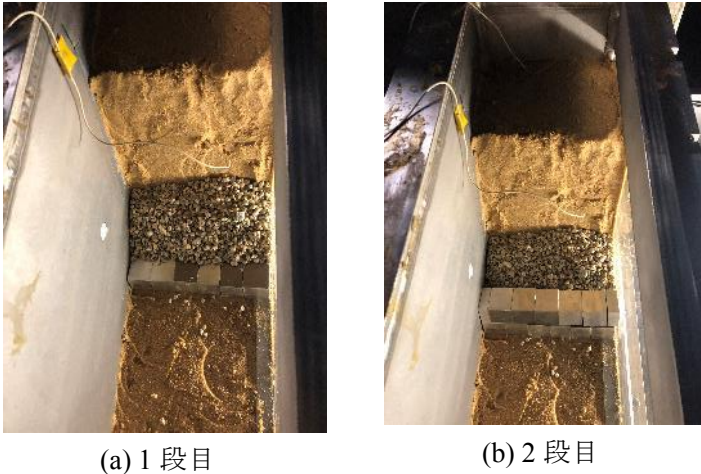


写真 1 石垣模型作製過程

表 1 物性値

	材料	粒径	密度	粘着力	内部摩擦角
石垣石	アルミ		3.02g/cm ²		
栗石	伊勢砂利	2mm~10mm	2.65g/cm ²	44.76kN/m ²	53.3°
背面地盤	豊浦砂		1.90g/cm ²	2.10kN/m ²	33.2°

表 2 振動条件

振幅(mm)	周波数(Hz)	繰返し回数
1.0	50	300

方向と水平方向で二箇所設置した。遠心装置の回転速度が最大に達して安定状態となった後、表2に示す条件のもと正弦波により加振した。石垣模型を振動させた。振動条件は表2の通りである。

3. 実験結果の考察

写真1は実験前後の石垣模型正面の写真である。写真2は実験前後の石垣模型断面の写真である。写真2から実験前後で、背面地盤の高さと模型の横の幅に変化がみられた。また、背面地盤の高さは減少した。これは遠心载荷実験の遠心力による変化、また振動によって背面地盤が締め固められたことによる変化だと考えられる。一方、石垣模型は水平方向に伸張する傾向がみられた。これは背面地盤の高さの減少により石垣模型全体が石垣模型前方にずれたと考えられる。図3は石垣模型に設置した5つの土圧計について、振動中の土圧変化の推移を表している。石垣石下部の土圧の値は、上昇している。これは、振動により石垣ブロックに力が加わったためと考えられる。石垣石栗石間の土圧は大きく上昇してその後は増減の変化を繰り返している。土圧が大きく上昇したのは、振動により栗石が石垣模型前方に偏り石垣石に力が加わったことが考えられる。その後の増減の変化は栗石が不規則に動いたからだと考えられる。栗石背面地盤間の土圧は減少している。これは、振動により栗石が前方に動いたからだと考えられる。背面地盤内部の土圧はどちらも上昇している。これは振動により背面地盤が締め固まったからだと考えられる。また5つの土圧の変化から、振動時に背面地盤は石垣模型前方に力を加えることが推定される。

4. まとめ

今回の石垣模型を使用した動的遠心载荷実験での振動時、土圧の変化の推移から石垣石下部、石垣石栗石間、栗石背面地盤間、背面地盤に大きな変化が見られ、どの箇所も揺れが土圧に大きく影響しているということが分かった。特に栗石は振動により石垣ブロックに力を作用させ、このことが石垣の崩壊・変形に関与していることが分かった。

謝辞：本研究は、大成学術財団の研究助成により実施しています。また、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。

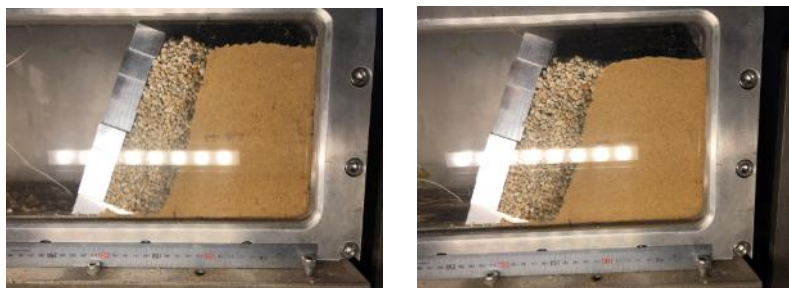
参考文献：井上貴玄・西形達明・山本浩之・笠博義：遠心载荷試験による城郭石垣の地震時における栗石層の影響，第47回地盤工学研究発表会発表講演集，pp1435-1436，2012



(a) 実験前

(b) 実験後

写真2 石垣模型正面



(a) 実験前

(b) 実験後

写真3 石垣模型断面

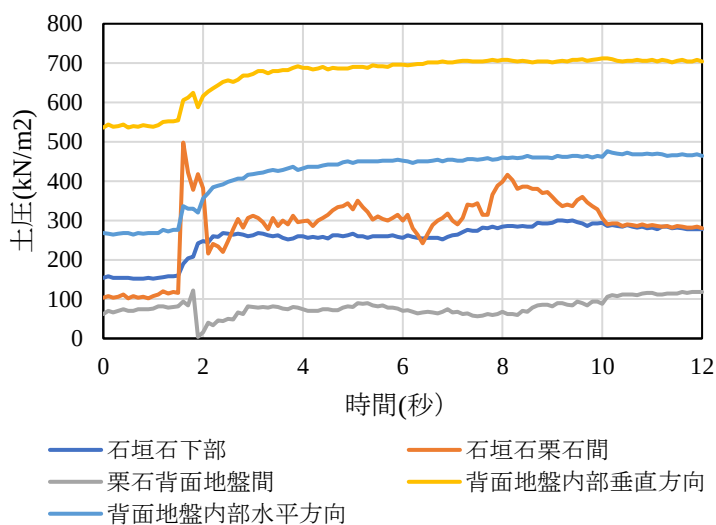


図2 振動時の土圧の推移