

大型振動台を用いた伝統的石垣の振動実験 (その3)

ー石垣の面的挙動についてー

ハザマ 正会員 ○西村 毅, 正会員 笠 博義, 正会員 黒台 昌弘, 正会員 山本 浩之
 関西大学 正会員 西形 達明
 関西地盤環境研究センター 正会員 西田 一彦

1. はじめに

伝統的工法によって構築された石垣はモルタル等を用いていない空積み構造物であることから、これまで地震に対しての抵抗力は決して高くはないと考えられてきたが、構築後 400 年以上を経過しても安定性を保っているものも少なくない。こうした石垣の地震時の挙動については、遠心載荷試験などで検討されてきた¹⁾が、実物大に近い伝統的石垣の振動実験の事例はほとんど見当たらない。

本研究は、石垣の地震時の挙動について検討する目的で実施された大型振動台を用いた実物大石垣の振動実験結果のうち、特に石垣の平面的な挙動について検討を行ったものである。従来の石垣に対する工学的な研究事例では、主として石垣の断面構造に着目して検討が行われており、面的な構造に対する検討が少ないが、実際の石垣は面的に連続する構造物であり、こうした平面的な構造的特徴に注目した検討も重要であると考えられる。本報告では、石垣の面的な変位を測定するために、トータルステーションによる三次元測量に加えて、レーザースキャナによる測定結果を用いた検討を行っており、この技術による変位計測の有効性についても合わせて報告する。

2. 実験概要

本実験で用いた石垣は幅 2m×高さ 2.1m×奥行き 3.65m であり、大型振動台上に設置された鋼製の構台の中に構築されたものである。実験用石垣の構築は、これまでに多数の城郭石垣の補修に携わってきた専門技術者が行い、伝統的な技法を用いた「打ち込みはぎ」による石垣とした。この石垣は実際の城郭石垣と比較するとかなり小規模ではあるが、高槻城や小田原城に実在する同規模の石垣を参考としており、面的に連続する石垣の一部分に相当するものと考えられる。なお、本実験では鋼製構台と石材・栗石・背面地盤との間の摩擦を低減するために、構台の内面に潤滑材を塗布し、さらにビニールシートを挟み込むこととした。

実験は、223gal (設定 200gal) から徐々に入力加速度を上げながら、最終的には 825gal (設定 750gal) の 9 ケースについて行った。入力した地震波は 3Hz の正弦波 (20 波) であり、振動方向は石垣面に直行する水平方向のみである。

3. 石材の変位観測結果と考察

各石材に取り付けられた反射ターゲットの測量結果から、初期状態とケース 8(785gal)の加振後の状態との比較から求められた変位量の分布について、等高線で表したものを図-1 に示した。この図から、石材の変位について以下のような傾向が読み取れる。

- ① 下段部の石材はほとんど変位が発生していないが、一部の間詰石は圧壊したり抜け落ちたりしている。
- ② 中～上段部の石材は前方に変位していわゆる「孕み出し」の傾向を示しており、わずかではあるが中央～左側での変位が大きい。部分的に間詰石の緩みや抜け落ちが見られる。



間詰石の変位 △: 抜け落ち, ○: 浮き, □: 圧壊
 網掛け: 前方への変位量 35mm 以上の孕み出し領域
 図-1 光波測量結果から求めた変位状況

キーワード 石垣, 振動実験, 平面形状, レーザースキャナ

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 TEL 029-858-8813, FAX 029-858-8819

③ 上段部の石材は中央部では前方に、両端部では相対的に背面側に変位しており、横断的には前面に凸の形状となっている(写真-1 参照)。また、両端部の石材とその隣接石材との間には段差が生じている。また、間詰石の抜け落ちが多数見られる。

一方、レーザースキャナ(株トプコン製、GLS-1000)による計測は、初期状態とケース 8 終了後に行い、その差を求めることで石垣の変位を把握することを試みた。なお、トータルステーションによる測量はあくまでも各石材の代表点の変位を測定していることから、石材自体の回転等による変位については評価が難しいのに対して、密な点群データ(本実験では 1cm 間隔)として測量結果を得ることができるレーザースキャナでは、こうした面としての変位も把握することが可能であると考えられる。この結果を図-2 に示したが、この図では、同一地点における初期状態からの前後方向のずれを色彩変化で示している。

ここで、レーザースキャナのデータは、計測範囲内において、ほぼ同一間隔でデータを取得することが可能であるが、複数回の測定においては、必ずしも同一地点における反射を捉えているわけではない。このため、今回は測定における共通する原点と座標軸を設けて測定座標系を一致させるとともに、本来の測定間隔である 1cm ピッチに測定データを再配列することで両者の平面的な測定点を一致させ、それぞれの位置における奥行き方向の計測値(y 座標値)の差を求めた。

この画像から、右上端の石材を除いてすべての石材が前面に変位していること、上端部 2 石を除く左上部が全体に前面に孕み出し、最上段の左右両端の石材が相対的に背面側に変位していることがわかる。この測定結果は図-1 に示した測量結果とよく一致している。また、右上端部や下から 2 段目の石材に注目すると、一つの石材の中でも色調が変化しており、これらの石材は図中に示したような方向に回転しながら変位していることがわかる。

今回の実験結果では、石垣の上部において両端部の変位が全般的に大きい傾向がある。これはこの部分では片側が側壁であり、しかも摩擦を大きく低減させていることから、左右方向の拘束が他の部分より小さくなったために石材間のすべりによる変位が容易であったものと推定される。このことは、本実験が水平方向では実験構台側壁の影響を受けていることを伺わせる一方で、実際の石垣においても開口目地が生じているような場合は、面的な拘束力が相対的に小さくなり、石垣の構造上の弱点になることを示唆しているものと考えられる。

4. 今後の課題

本実験結果から、伝統的工法による石垣の耐震性を評価する上で、上下方向に加えて、平面的な構造にも注目する必要があることが改めて示された。また、レーザースキャナによる変位計測は、厳密には個々のブロックとして挙動する石垣の変状を正確に捉える上で有効であることがわかった。今後は、伝統的工法による石垣の平面的な構造が地震時に果たす役割を検討するとともに、レーザースキャナの変位計測を有効に活用するための技術開発も継続していく予定である。

【参考文献】

- 1) 西形達明, 他: 遠心載荷実験による城郭石垣の安定性の検討, 第 42 回地盤工学研究発表会講演集, 2007



写真-1 実験終了後の石垣変位状況

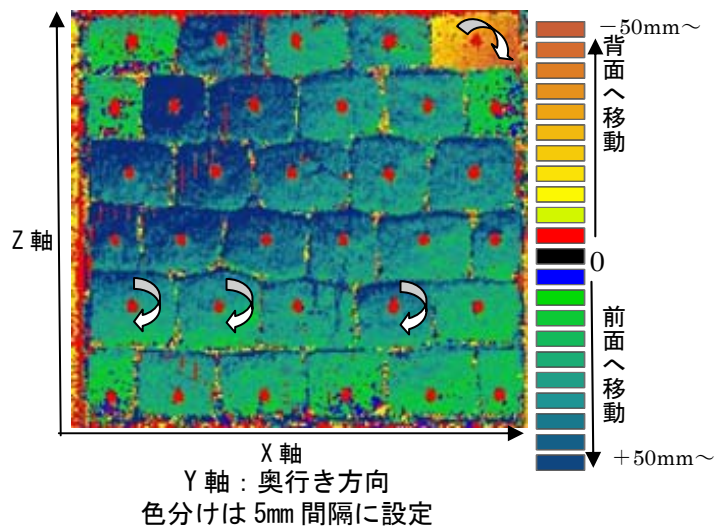


図-2 レーザースキャナによる変位計測結果