城郭石垣の変形計測のためのモニタリング鉄筋の開発

関西大学大学院	学生会員	○蔦野温也	関西大学	正会員	西形達明
安藤ハザマ環境開発部	正会員	笠 博義	安藤ハザマ土木設計部	正会員	山本浩之
安藤ハザマ技術研究所	正会員	西村 毅	安藤ハザマ技術研究所	正会員	野間康隆

1.はじめに

城郭石垣は地震や豪雨などの自然災害により変形が顕在化している. そういった石垣の変形調査手法は定点 観測や 3D スキャナーなどの石垣表面の計測に限られる現状にある. しかし, 城郭石垣の変形の要因は, 背面 地山のすべり変形や栗石の沈下などによるものが多数存在し,現行の表面的な調査手法では,内部挙動の把握 が困難なものと考えられる.また適切な維持管理対策を講じるためにも内部状況を把握する必要がある.その ため、ひずみゲージを鉄筋に多数取り付けたセンサー(以後モニタリング鉄筋と称す)を作製し、これを石垣に 打設することで、石垣内部の変形状態を推察する手法を考えた、本研究では石垣石、栗石層、背面地山がそれ ぞれ沈下変形することを想定した遠心実験を行い,各ケースにおいて鉄筋に生じる曲げモーメントの分布形状 の特徴を知ることで、現実の城郭石垣の変形個所を推察するための基礎資料を得ることを目的としている.

樹脂

ひずみゲージ

鉄筋

2.鉄筋センサー

写真 - 1 に実際の城郭石垣に使用するため に作製したモニタリング鉄筋を示し、図-1 にその概略図を示す.長さ 3m, 直径 0.032mの鉄筋に 0.2m間隔に ひずみゲージを内蔵した仕様にな 32mm っている. これを城郭石垣に打設

することで城郭石垣内部のモニタリングが可能となる. 打設方 法は,ハンマーを用いた人力打設が有効であることが実物大実 験¹⁾より確認されており、施工は容易に行うことができる.

3. 遠心載荷実験

図-2のように城郭石垣モデルを用い、ひずみゲージを26mm 間隔で張り付けた直径 3mm,長さ 150mm のアルミ棒をモニタ リング鉄筋として用い遠心載荷実験を行った.モデル材料は, 石垣石にはアルミニウムブロック, 栗石には6号砕石, 背面地 山には豊浦標準砂と藤森粘土を重量比 2:1 で混合したものを

使用した.実験条件は①背面地山層の沈 下変形, ②栗石層の沈下, ③石垣石自身 の沈下変形の3ケースを想定して、モニ タリング鉄筋に生じる曲げモーメントの 特徴を調べた.表-1に示すように、ケ ース①は背面地山の沈下を表現するため

に、背面地山の強度を設定(含水比:21%)し、ケース②では栗石の沈下を表現するために、栗石層相対密度 を 20%と緩く設定した.ケース③は石垣石の基礎の沈下を表現するために、同様に含水比 21%の基礎地盤の 上に石垣石を設置した.

キーワード 城郭石垣,診断手法,遠心載荷実験,モニタリング 連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学環境都市工学部 TEL 06-6368-1121



11@0.2m=2.2m

写真-1 実物のモニタリング鉄筋



図 - 2 遠心実験モデル(単位:mm) 表 - 1 遠心実験ケース一覧

	背面地山	栗石層	基礎地盤 (地山側)	基礎地盤 (石垣石側)
ケース① (背面地山が沈下する場合)	含水比:21%	相対密度:80%	含水比:21%	含水比:14%
ケース② (栗石層が沈下する場合)	木枠を使用	相対密度:20%	木枠を使用	木枠を使用
ケース③ (石垣石層が沈下する場合)	含水比:14%	相対密度:80%	含水比:14%	含水比:21%

4. 実験結果

ケース① 背面地山層が沈下変形する場合:曲げモーメント の正負はモニタリング鉄筋の上縁が引張りとなる場合を正 としている. 図 - 3(a) にモニタリング鉄筋に発生したひずみ 量から算出した曲げモーメント分布図を示す(測定位置0側 が石垣表面).図より、栗石層において大きい正の曲げモー メントが発生しているが、これは地山層の沈下とともに栗石 層が鉄筋の変形の支点となったものと考えられる.また、地 山側の曲げモーメントが負を示しており,これは背面地山の 沈下変形によるものであるが、下部鉄筋はすべり面と交差し ているため, 値が大きくなったものと思われる. これよりす べり面の推察も可能といえる. 図-3(b)に沈下量を示す. な お、図中の鉄筋の変位量は曲げモーメントの値を積分するこ とで求めており,画像処理のデータはモデルに設けた標点の 変位から変形量を求めたものである.鉄筋の変形量は画像処 理の変形量に比べて、小さい値を示しているが、両者ともほ ぼ同様の変形モードを示していることから,モニタリング鉄 筋に発生した曲げモーメントの値から,石垣背面の地山に変 状が生じたことを推定しうるものと考えられる.

ケース② 栗石層が沈下する場合:図-4(a)に同様にモニタ リング鉄筋に発生した曲げモーメント分布を示す.この場合 は、栗石層が沈下変形することで栗石層で負の曲げモーメン トが発生し、同時に支点となる石垣石層、背面地山層で正の 曲げモーメントが得られている.図-4(b)に示す沈下量から も栗石層の沈下が確認でき、モニタリング鉄筋と画像処理の 変形量は両者ともほぼ同様の変形モードを示していることが 分かる.この結果から、栗石層に変状がある場合についても、 モニタリング鉄筋で検出が可能であると思われる.

<u>ケース③ 石垣石層が沈下する場合</u>:図-5(a)より,ケース①と同様に支点 となる栗石層で正の曲げモーメントが生じており、石垣石層内で負の曲げモー メントが得られたことから,石垣石層が沈下変形したことが表現されていると いえる.また図-5(b)の沈下量を見ても,モニタリング鉄筋の変形が石垣内部 の変形をほぼ表現できているものと考えられる.また,本ケースの曲げモーメ ントの値は他の2ケースに比べて大きい値を示していることから,石垣石部に 変状がある場合は,モニタリング鉄筋はより敏感に機能するものと考えられる.

図-6に上記3ケースの条件下でモニタリング鉄筋に発生する曲げモーメントの発生モードの基本形の概略図を示す.各ケース変形が発生している箇所の曲げモーメントが負の値を示している特徴があり、曲げモーメントが類似し

ているケース①とケース③もこの点において判別できるものと思われる.このように城郭石垣内部の計測した ひずみから,曲げモーメントの発生モードを調査することで,城郭石垣内部の変形箇所の推察が可能であり, 内部の診断資料として利用することができるものと考えられる.

参考文献 1) 西村ほか;鉄筋挿入工法による伝統的石垣の補強における施工性の検討,土木学会第 68 回年次学術講演会, VI-493, 2013.



