

モニタリング鉄筋による城郭石垣の計測技術の開発

安藤ハザマ 正会員 ○笠 博義
 関西大学 正会員 西形 達明
 安藤ハザマ 正会員 西村 毅
 安藤ハザマ 正会員 山本 浩之
 安藤ハザマ 正会員 野間 康隆

1. まえがき

我が国の城郭石垣などの伝統的な石積みは、漆喰等の接着剤を持ちない空積みの技法により構築されている。この空積み石垣は、石材間の摩擦や噛み合わせにより構造体を成立させていることから、経年劣化や地震等による変状が発生した場合は、解体積み直しによる補修が行われることが多い。なお、モルタル等を用いて石垣を補強することも一時期行われていたが、文化財としての **authenticity** を保持する上で課題があることから近年ではこうした方法は用いられることはない。ここで、解体積み直しは、本来の文化財の破壊を伴うことは免れないため、その実施においては慎重な検討が必要である。このため、石垣の維持管理においては、外見上の観察や測量などを定期的に行い、孕み出しや目地の開口などに注意して安定性の評価を行っているが、石材間の微小なずれや開口幅の変位などは把握しづらく、早期の変状確認が難しい状況にある。

一方で、安定性が低下し、石垣の崩落や崩壊の危険性があると判断された場合は、ロックネットや抑え盛土などの対策が取られることもあるが、いずれも観光施設としての機能を重視した城址公園の石垣等では、外見上の問題もあり、特にネロック工では石垣自体の安定性にはほとんど寄与しないなどの課題がある。こうした問題に対して、筆者らは、より容易で大きな効果が期待できる鉄筋挿入による補強工法について開発を進めてきた。この方法は、石垣の表面から栗石の分布範囲内に鉄筋を打設するだけの簡単なものであるが、地震時の変状発生を無補強時の約 1/3 程度に抑制できることが遠心載荷実験¹⁾や実物大実験²⁾から確認されている。

以上のような背景から、石垣内部の応力状態の変化から石垣の安定性をより確実に早い段階で把握する方法として、鉄筋補強に供される補強材を計測に活用する方法が考案された。本報告では、そのモニタリング方法の概要と現場実験による検証について述べるものとする。なお、本計測は鉄筋補強工法が、恒久対策ではなく、本格補修対策実施までの仮設対策と位置付けていることから、適用期間は数年から最大でも 10 年程度と考えている。

2. モニタリング鉄筋の概要

計測に用いた鉄筋は石垣の補強に用いるものと同等のものとし、鉄筋表面に浅い溝を切削し、そこにひずみゲージを一定間隔で貼り付けたものである。こうした挿入式の計測方法は地盤補強用のパイプ等でも見られるが、より細い鉄筋(φ25mm)において多数のゲージを取り付けるために、ゲージやケーブル自体を小さくし、石垣表面から鉄筋を打ち込む際の衝撃や長期の計測にも十分に耐えるように樹脂系材料でゲージの保護を行った。また、今回は長さ 3m が 1 本、2.5m が 2 本の合計 3 本の鉄筋を作製したが、このうち 2.5m の 2 本には地中における温度差に対する補正を行うために鉄筋の両端付近に熱電対を取り付けている。なお、2.5m のもののうち 1 本は、材料の腐食についても検討するためにステンレス製としている。完成したモニタリング鉄筋の外観を写真-1 に示す。

これらの鉄筋は、ハンマー等で石垣の表面に打設され、頭部のみが石垣前面に出るような状態となり、データ計測時は手持ち式の収録装置をケーブルに接続することとした。これは、本計測を実施する期間を原則的に数年程度と考えていることから、計測頻度より長期の耐久性や計測の容易さなどを重視したためである。

キーワード 城郭石垣, 鉄筋挿入, モニタリング, 現場計測

連絡先 〒305-0086 茨城県つくば市荻間 515-1 安藤ハザマ技術本部環境開発部 TEL 029-858-8825



写真-1 モニタリング鉄筋の概要



写真-2 打設後のモニタリング鉄筋（頭部）

3. 現場実験の概要

現場実験は、石垣補修のため解体中の現場において実施した。この現場では高さ約 15m の石垣を徐々に解体しており、実験実施時は最下段の数段を残した状態となっていた。モニタリング鉄筋はそれぞれの打設の影響が及ばないように、十分な距離をおいて打設した。なお、打設位置は鉄筋挿入自体が石垣の安定性に影響を及ぼさないように、文化財石垣の補修経験の豊富な専門家と相談の上決定した。鉄筋の打設は、先行して実施した実験結果²⁾をもとにハンマーを用いて慎重に行った。打設後のデータ計測結果から、衝撃によるひずみゲージの破損は確認されなかった。打設後の鉄筋頭部の状況を写真-2 に示す。

ひずみの計測は、設置位置の上部に位置する石材の解体が進むのに合わせて実施することとした。

4. 石垣解体時のモニタリング状況

打設後のモニタリング鉄筋のひずみ分布を初期値として、石垣解体工事の進捗に伴う応力状態の変化をわかりやすく評価するために、ひずみ分布から鉄筋そのもののたわみを求めることとした。この場合、鉄筋のいずれかの部分を固定点とする必要があり、鉄筋頭部を固定点と仮定した。これは、本工法では文化財保護の観点から、打設範囲を裏栗石の範囲に留めており、より重量の大きい築石間に鉄筋が間隙なく打ち込まれている頭部での変位の方が少ないと考えられるためである。なお、固定点にわずかな変位が生じた場合でも、鉄筋の相対的な変位を知ることによって、石垣内の応力分布状態の変化を把握することが可能である。

図-1 は初期値に対する上部一段の石垣解体時のひずみ分布状況を、図-2 はそれから求めた鉄筋のたわみ状況を示したものである。図-2 から石垣解体に伴い、挿入された 3 本の鉄筋がいずれもわずかに上方にたわんでいることがわかる。これは、上部の石垣の解体に伴って鉄筋および周辺の栗石に作用する荷重が減少し、地盤全体としてリバウンドが生じたことを示しているものと考えられる。

5. まとめ

文化財石垣の健全性評価をより確実に行う目的で、モニタリング鉄筋を開発し、実際の現場に設置して計測を行った。その結果、鉄筋の打設が十分に可能であることと、有効なデータが取得できることを確認した。今後は、より長期のデータ計測を行って、測定値の妥当性と耐久性について確認していく予定である。

参考文献

- 1) 葛野ほか;鉄筋挿入による城郭石垣の修復とその補強効果に関する遠心実験,土木学会第 68 回年次学術講演会,VI-494,2013
- 2) 西村ほか;鉄筋挿入工法による伝統的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

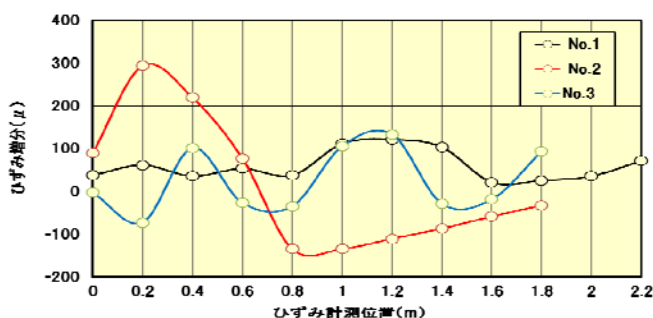


図-1 ひずみ計測結果

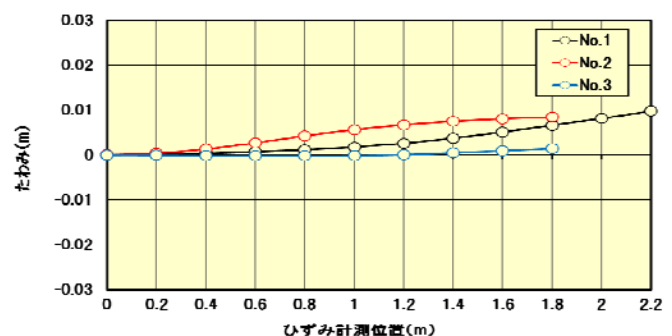


図-2 鉄筋のたわみ分布