

鉄筋挿入による城郭石垣の補強

安藤ハザマ	正会員	○笠 博義
関西地盤環境研究センター	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
和田石材建設(株)		和田行雄
延岡市都市建設部都市計画課		藤川直也

1. まえがき

文化財的な価値を有する石垣の維持管理においては、いかにその価値を損なわずに安定性を確保するかが重要である。このため、文化財石垣の補強・補修においては現代工法の適用が厳しく制限され、外観と同時にその構造についても歴史的な経緯を十分に考慮したうえで工事を行うことが要求されている。地震や豪雨などの自然災害で崩壊した石垣は、崩壊前の写真等のデータをもとに、崩壊前の姿に戻すための工事が行われる。一方で、こうした自然現象や経年劣化により、崩壊には至らないものの不安定化が顕著となった石垣については、補修・補強の必要性和合わせて、安定性確保のための以下のような対策工が検討されることとなる。

変状が進行して不安定化が著しい場合は、一旦石垣を解体したうえで、変状要因を確認して適切な対策を施してから積み直すことが行われる。この方法は石垣の内部構造を確認できることから、背面地山や裏栗層および石材自体の控え長などの変形要因を明確にしてから、その対策を施して安定した石垣に復原できるという大きな特長があるが、一方で貴重な文化財を少なからず破壊することを伴うという側面がある。これに対して、石垣の変形度合いが、やや小さい場合には、落石防止ネットの設置、土嚢による抑え工等が適用されている。また、石材(築石)の隙間を埋める間詰石の抜け落ちが顕著な場合は、これを補充する間詰石工が一定の安定性向上の効果があることも筆者らの研究¹⁾で確認され、こうした対策工が適用されることもある。こうした中で、より積極的に石垣の安定性を向上させることが可能であり、石垣の外観を含めた文化財的な価値に影響を与えない対策工が求められている。

本報告は、上記のような背景において、文化財石垣の価値を損なうことなく安定性を向上させることが可能な「鉄筋挿入工法」を、実際の城郭石垣の補強に適用した事例について紹介するものである。

2. 鉄筋挿入工法の概要

石垣の鉄筋挿入工法は、石垣表面の築石の隙間から鉄筋を打設することによって石垣を補強するものである。この方法の概念を図-1に示した。この図に示したように、石材の隙間から打ち込まれた鉄筋(補強材)は背面の栗石を適度に拘束して、石垣の一体化を図る効果が期待される。特に地震時の「揺すり込み」による栗石の沈下を抑えることで、石垣の孕み出しなどの変形を抑制して安定性を保持することが可能となる。

本工法の効果については、筆者らが行った遠心載荷実験²⁾および実物大石垣への打設実験³⁾で確認されている。石材間へ打設する鉄筋の直径は、十分な剛性を有しつつ石材間に打設が可能なことを考慮して、呼び径 25mm (D25) としている。その長さは裏栗層の厚さにより決定するが、今回は工事に先立って行われたレーダー探査により、築石の控えは約 1~1.3m、裏栗層は 1.5~2.2m 程度とされたことから、若干の余裕を見て長さ 3.6m の鉄筋を打ち込むこととした。打設間隔は模型実験の結果を参考に現地状況より決定する。

実際の鉄筋の打設は、実験を通じて検討したが、打撃力やその方向を微妙に調整することが可能で、しかも作業

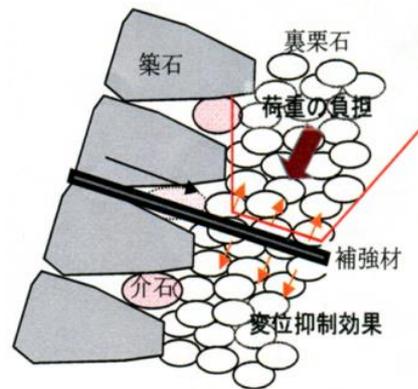


図-1 鉄筋挿入工法の概要

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市莉間 515-1 安藤ハザマ技術研究所 TEL 029-858-8800

スペースに対する制約が少ない人力による方法を用いることとしている。

3. 現場条件と工事概要

今回の補強工事は、宮崎県延岡市の延岡城内（都市公園城山公園）の石垣で実施された。工事対象となった石垣は高さ約6m、延長30m程度であり、ほとんど反りが見られない直線的な石垣である。この石垣は、ほぼ北に面しており、全体として北側に倒れる方向に変位している可能性が指摘されていた。一方で、当現場は写真-1に示すように、石垣の前面に民家が迫っており、その離隔は石垣下部において1.5m程度しかない上、生活道路として活用されているため、補強工事に際しては、工事による通行止め等の影響を最小にしたうえで、近接する民家への影響も最小限に留める必要があった。

このような条件から、本工事では長尺の鉄筋を打設することはできなかったため、長さ1.2mの鉄筋を現地で3本溶接して接続することとした。なお、溶接後は超音波検査により鉄筋同士が確実に接続されたことを確認した。また、打設前に防錆塗料を厚塗りすることで、鉄筋の腐食対策を施した。

現場の作業状況は写真-2に示したように、石垣の上部における施工は、前述の道路に足場を設置して行ったが、特にトラブルもなく完了することができた。

4. まとめ

本工法は、石垣の隙間に鉄筋を人力で打設するという単純なものであるが、石垣の安定性に効果があることは前述した実験や解析で確認されている。さらに、鉄筋挿入時に石材にはわずかな擦過痕が残ることがあるが、石垣全体に与える影響はほとんどなく、写真-3に示したように挿入された鉄筋はほとんど目立たないため、外観上の影響も極めて小さい。また、一般的なアンカー工とは異なりグラウト材を用いていないことから、必要性が生じた時点で鉄筋を除去できることも大きな特徴である。さらに、城郭石垣の補修では、今回のように厳しい施工条件となることも多く、こうした条件に柔軟に対応できることも大きな特徴の一つである。

以上のように本工法は、その石垣が持つ本質的な価値（Authenticity）の確保と、必要に応じて元の状態に戻せること（Reversible）の双方の要求を満たしており、文化財石垣の補強工法として有効なものであると考えている。

【参考文献】

- 1) 笠ほか：個別要素法による城郭石垣の安定性解析，土木史研究講演集，Vol.27,pp.229-234,2007.7
- 2) 蔦野ほか：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-494,2013.9
- 3) 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-493,2013.9



写真-1 補強対象石垣



写真-2 鉄筋打設状況



写真-3 施工完了後の鉄筋の状況