

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

安藤ハザマ技術研究所	正会員	西村 毅
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	野間康隆
関西大学工学部都市環境工学科	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

東日本大震災では、城郭石垣等の文化財にも大きな被害が見られた。こうした石垣のうち、大きく変形または崩壊してしまったものは解体・積み直しを行うこととなるが、孕み出しなどの変状がみられるものの、すぐに崩壊する恐れのないものや、対策を要する対象箇所が多く、一定期間補修工事等に着手できない場合には仮設的な安定化または崩壊防止対策が求められる。このような場合、文化財保全の観点から、ロックボルト工などの近代工法ではなく、落石防止ネット等の設置や、大型土嚢などによる押さえ盛土などの対策工がとられてきた。しかし、こうした対策は観光資源としてしての石垣では外観上好ましくない上、落石対策工は石垣の安定性向上には寄与しないこと、押さえ盛土は堀の前面石垣や高石垣では対策の実施が困難となるなどの課題があった。以上のような背景を受けて、本研究では文化財としての石垣や背面地盤に与える影響を最小限に抑えながら、確実に安定性を向上させる対策工としての鉄筋挿入工法について、その施工法と補強効果について実物大石垣実験で検討を行った結果を報告する。

2. 工法の概要と補強効果

本工法は石垣の前面から鉄筋を挿入することで石垣の安定化を図るもので、法面安定化対策工として既に広く用いられている鉄筋挿入工法と同じ考え方に基づいている。ただし、石垣背面地盤に包含される可能性のある埋蔵文化財を破壊しないようにするため、その挿入範囲を石垣背面の栗石までとし、グラウトは行わない。なお、本工法の効果については、事前に行った遠心載荷試験で確認しており、無補強の場合と比較して変形量を1/2~1/3程度に減少させることができることを確認している¹⁾。

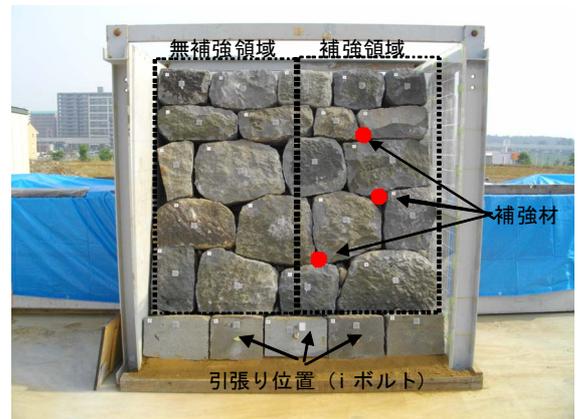


写真-1 実験用石垣

3. 実物大石垣における施工性の確認

遠心載荷試験では、模型構築時に鉄筋に相当するアルミ棒を順次敷設したが、実際の石垣補強では、前面から補強材を挿入する必要がある。具体的には築石間の隙間から背面に向けて補強材を挿入していくこととなるが、背面は栗石が充填されており、補強材はこの栗石の中に挿入される必要がある。このため、実物大の石垣実験によって施工法について検討した。実験用の石垣は鋼製の架台の中に伝統的工法によって構築した(写真-1)。

表-1 実験ケース

No.	挿入方法	挿入材
1-1	人力	鉄筋棒 (D25)
1-2		鉄筋棒 (D13)
2-1	機械式	鉄筋棒 (D25)
2-2		鉄筋棒 (D13)
2-3		らせん棒 (D25)
2-4		らせん棒 (D13)

本工法では築石間の隙間から補強材を挿入することとなるため、築石が隙間なく密着した状態で積み上げられる切込みはぎによる石垣は適用が難しい。このため、実験石垣は比較的隙間が多い打ち込みはぎとすることとした。補強材の形状とその挿入方法を選定するために表-1に示すような検討ケースをキーワード 城郭石垣, 鉄筋挿入, 実物大実験

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市苅間 515-1 安藤ハザマ技術本部技術研究所土木研究部 TEL 029-858-8813

設定した。補強材は直径の異なる鉄筋とし、打撃により挿入する直線形状のものと、回転しながら挿入するらせん状のものを準備した。なお、機械式挿入で用いたボーリングマシンは低振動型のものである。また、挿入時の振動などが石垣に与える影響を評価するために、各石材の表面と石垣背面の地盤と栗石に測点を設けて、各測点の変位を測定した。

実験の結果、直線型の鉄筋を人力打撃で挿入する方法が最も簡単かつ容易に挿入が可能であり、石垣表面および背面地盤や栗石の変位が少ないことが確認された(図-1)。また、鉄筋の直径はより剛性の大きいD25鉄筋(25mm)がよいものと判断された。なお、実験終了後の石垣解体時に確認した補強材の挿入状況は写真-2に示す通りであり、少数の栗石に割れや擦過痕が見られたが、大きな損傷は見られなかった。

4. 効果の確認実験

鉄筋挿入工法の効果の確認を行うために、実験石垣の右半分だけに鉄筋を挿入し、根石下部に設置した直方体状の石材のうち中央の3個を前方に徐々に引き出して、それに伴う各石材と背面地盤および栗石の変位について計測した。その結果、中央部の石材3個を完全に引き抜いた状態(写真-3)でも石垣は崩壊しなかったが、図-2に示すように、無補強の範囲の石材が最大で45mm程度変位しているのに対して、補強している範囲の石材の変位量は5mm程度と明らかに小さくなっていることが確認された。また、強制的に補強鉄筋を引き抜いたところ、一気に裏栗石が崩落する状況が観察され、鉄筋が栗石の変位を抑制していることが確認された。

5. まとめ

本研究では、伝統的工法による石垣の補強工法としての鉄筋挿入工法の施工法とその効果について検討した。その結果、本工法は鉄筋を人力で打撃するという簡単な方法で施工が可能であり、その効果も十分あることがわかった。今後は、石垣の背面構造を考慮した鉄筋の適切な挿入位置の決定法や補強材の耐久性等について検討を行い、実際石垣補修へと展開を図っていく予定である。

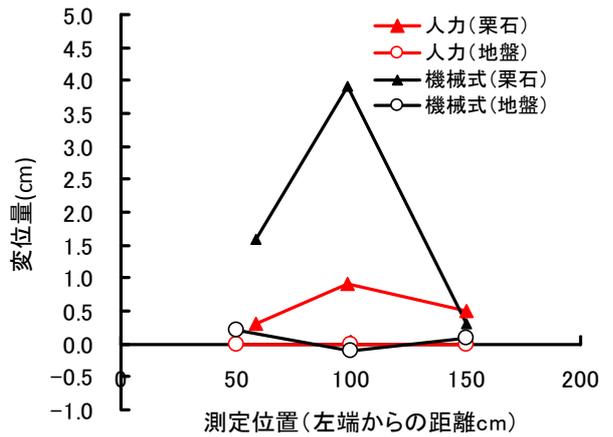


図-1 補強材挿入時の地表面の垂直変位



写真-2 補強材の挿入状況



写真-3 効果確認実験 (石材引き抜き後)

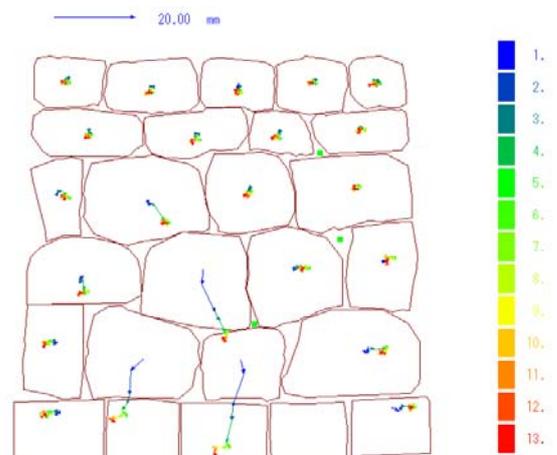


図-2 効果確認実験終了時の築石の変位

【参考文献】1) 葛野, 西形, 笠, 山本, 西村, 野間; 鉄筋挿入工法による伝統的の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66回年次学術講演会講演予稿集, 2013