

城郭石垣補修における調査と計測について

ハザマ 正会員 ○笠 博義, 山本浩之
 関西地盤環境研究センター 正会員 西田一彦
 関西大学 正会員 西形達明

1. 研究の目的と概要

我が国の城跡には多数の石垣が残存しており、当時の土木技術を今日に伝えている。これらの石垣は一般的に歴史的・文化的にも価値が高いものとして、文化財としての指定を受けているものも少なくない。こうした城郭石垣を後世に確実に残し、その技術を伝えていくためには適切な維持管理が欠かせない。具体的には、定期的な点検・観察や除草などの定常管理に加えて、変状が進行した場合には解体・積み直しも必要となることがある。文化財としての石垣の解体・積み直し工事が通常の土木工事と大きく異なる点には、工事に関する標準類などが決められておらず、近代工法の適用が大きく制限されていることに加えて、解体工事自体が貴重な発掘調査の性格を有しているため、調査による工事の一時的な中断も珍しくないことなどがあげられる。一方、土木構造物としての石垣の工学的な研究はその途上にあり、事前調査のみでは構造物としての安定性や工事期間中の安全確保について正確に評価することは難しい。このようなことから、石垣工事において、安全で、かつ文化財としての正当性（authenticity）を確保した補修を実施するためには、事前調査に加えて、施工中の調査・計測を活用した情報化施工が求められる。

本報告では、名古屋城における石垣工事の事例をもとに、調査・計測の重要性について検討するものとする。

2. 工事概要と事前調査

この補修工事は、名古屋城本丸の北東側に位置する外堀に面した高さ約 10～14m の本丸搦手馬出石垣約 2000m² を解体・積み直しするもので、平成 21 年度はこのうち約 200m² の石垣の解体を行った。工事対象の石垣は写真-1 に示すように、石垣の下部における孕み出しや石材間の段差などが顕著になったために平成 15 年度より解体・修理が実施されている。この補修工事においては、表-1 に示すように、事前調査として写真測量、ボーリング調査、レーダー探査による背面構造の推定などが行なわれ¹⁾、この結果をもとに石垣の健全性評価と補修工事の設計がなされた。



写真-1 石垣の変状状況

表-1 事前調査の概要

調査項目	目的	手法
精密測量	工事対象範囲の平面図、石垣の立面図を作成し、石垣の形状や孕み出し等変状の範囲などを確認する。	・平板測量（平面図） ・写真測量（立面図） ・断面測量
地盤調査	石垣の背面地盤の構成・強度、地下水位、裏栗層の分布範囲、遺構の有無を調査する。	・ボーリング・標準貫入試験 ・表面波探査・試掘
石垣背面調査	石垣の控え長、裏栗層厚さ、背面空洞の有無や分布状況を調査する。	・レーダー探査
根石調査	水堀下の根石の深度、水深、落石、水中の遺物等について確認する。	・ポール突き刺し法による調査

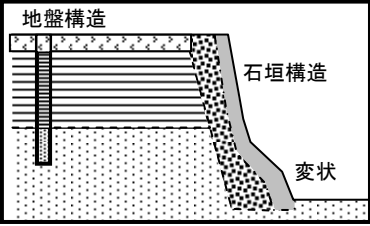
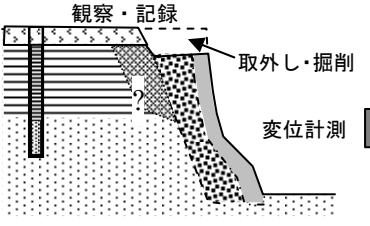
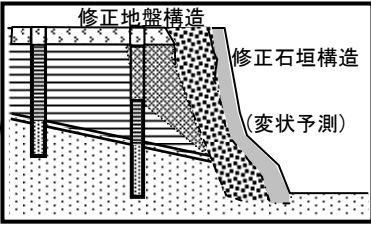
3. 施工中の調査と安定性評価

本工事は全体工期が 10 年以上に渡る上、石垣の解体範囲が大きく、水堀に面していることなどから、工事期間中の石垣の安定性が大きな課題の一つである。また、特別史跡として大勢の観光客が訪れる名古屋城内での工事となるため、解体石材等の保管や工事範囲においても制約条件が多く、解体対象石垣のみならず、掘削土砂の仮置き場や工事用車両の通行路に隣接する石垣の安定性についても十分な注意が必要である。

キーワード 石垣, 補修, 文化財, 調査, 計測

連絡先 〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5 ハザマ技術・環境本部 TEL 03-3588-5791

表-2 名古屋城における調査・計測の活用概念

段階	①事前調査・設計(当初想定断面図)	②施工時調査	③追加調査・計測(修正断面図)
概 要	 地盤構造 石垣構造 変状	 観察・記録 取外し・掘削 変位計測	 修正地盤構造 修正石垣構造 (変状予測)
調査内容	・測量(横断,縦断)・ボーリング ・レーダー探査等物理探査 ・数値解析	・石材観察・調査・記録 ・遺物調査・栗石・背面地盤調査 ・変位計測	・追加ボーリング,土質試験(強熱減量試験,一面せん断試験など) ・トレンチ調査,・数値解析
データ活用法	・石垣安定性調査・石垣補修設計(解体範囲の決定など) ・情報化施工計画,管理基準値設定	・標準断面図の見直し ・追加地盤調査内容,位置の決定 ・追加発掘調査位置の決定	・設計・施工法見直し,安全管理 ・文化財調査(埋蔵文化財調査) ・石垣構築技術・手順の推定

こうしたことから、前述の事前調査結果をもとにした石垣構造モデルを作成し、FEM によって工事の進捗による石垣の変形について検討を行った。この解析結果や従来の石垣の安定性に関する研究事例などから、石垣の変位に関する管理基準値を設定して、石垣の変位を光波測量と孔内傾斜計による計測を行いながら施工することで、工事期間中の安全性を確保することとした。ここで、石垣と地盤の両方の変位計測を行なうのは、空積みの石垣では地盤の変位がそのまま石垣表面の変状として現れない場合も考えられるためである。

一方、工事の進捗に伴い、当初の調査から予想されていた裏栗層よりその層厚が大きく、その背面にも玉石混じり層が出現したことや、その後の検討で石垣の変状発生要因には背面地盤構造が大きく影響しているものと推定されたため、追加ボーリングなどを実施し、より詳細に背面地盤構造を検討した。さらに、背面地盤の不攪乱土質資料を採取して室内土質試験を行うことで、石垣背面の地盤強度などの工学的な検討を行った。なお、石垣解体の進捗に伴った各段階での石垣の安定性については、追加で FEM による検討を行って変形を予測し、先に決めた管理基準値の妥当性についても再確認している。

以上のように、施工中にも調査や計測を継続的に行なうことで、工事の安全性を向上させることが可能であるが、こうした段階を追った調査計測の意義は、表-2 中に概念図を示して整理したように、単に施工中の安全性確保の意味だけではなく、文化財保全の面でも大きな意味をもっている。ここで、この図中の断面図を例に説明すると、事前調査段階での情報は設計上必要最小限のものであっても(表-2 ①)、施工段階での観察・記録によってその情報量は増大し、同時に新たな調査の必要性も明確になる(表-2 ②)。この結果を用いて、追加ボーリングや土質試験等を行うことで、当初の想定断面図が見直され、より正確な石垣の構造が明確になる(表-2 ③)。こうした調査・検討によって、工事の安全性は向上し、崩壊などの文化財の損傷リスクを低減させることが可能となり、解体が完了した段階では、文化財的な知見を含めたこれまでの調査結果が全て反映された断面図が完成することとなる。この図は、調査対象域の標準的な石垣構造を模式的に示すものとなり、その石垣の構築過程や変状要因を検討する上で有効な情報を多数含んでいるものとなり得る。

4. まとめ

本工事では、着工以来現在まで有意な変位は発生しておらず、解体対象および工事区画に隣接する石垣の安定性は保たれている。また、施工に合わせて実施されている背面地盤の調査からは、非常に強度が大きい版築構造が確認されるなど、文化財的にも貴重で、積み直し時の設計に活用できる工学的にも重要な発見がなされており、本報告で述べた調査・計測は施工管理上も文化財調査の面でも有効に活用されている。

石垣の解体・積み直し工事は考古学的には大規模な発掘調査として捉えられ、従来は文化財的な側面に関係者の関心が集中する傾向があったが、伝統的な石積み技術を理解し、後世に伝えていくためには、工学的な側面からの調査や計測による「構造物としての石垣」の理解が重要であると考えられる。最後に、本報告をまとめるに当たり多大なる御指導・御支援を頂いた名古屋城管理事務所の皆様に心から御礼申し上げます。

【参考文献】1)名古屋市；名古屋城搦手馬出周辺石垣整備調査委託石垣健全性調査報告書，2003