

城郭石垣の工学的な研究-石垣の調査技術-

Engineering research of castle masonry -Surveying technology of masonry-



笠 博義 Hiroyoshi KASA *1

研究の目的

近年、自然災害により城郭石垣に甚大な被害が生じる事例が増えている。また、築城後の老朽化が進む中で石垣の解体・積み直しとなる事例も多い。一方で、石垣の健全性評価技術は確立しておらず、学識者等による経験的な評価に頼らざるを得ないのが実情である。こうした背景において、筆者らが20年以上に渡って取り組んできた、城郭石垣の工学的な研究の中で、本報告では、特に健全性調査技術についてその概要をとりまとめて報告する。具体的には、石垣の形状測量およびレーダー探査による石垣背面の探査技術に関する技術についてとりまとめる。なお、石垣の安定性、特に耐震性、石垣補修工事および補強に関する技術については、今後取りまとめる予定である。

研究の概要

我が国の城郭石垣は、世界でも類例の見ない特徴として、立体的な曲面構造を呈すること、築石・栗石・地盤の三層構造からなることなどがあげられる。また、技術の発展した時期も戦国時代を中心としたわずか80年程度であることも大きな特徴で、その期間に石積み技法も大きく変化した。このような文化財的な価値を有する城郭石垣の修復においては、文化財保全事業特有の制約条件がある上、特に内部構造に関する情報が極めて限定されていることが多い。このため、事前の調査・測量が重要となるが、ボーリングや試掘といった破壊を伴う調査自体も極力避けることが求められている。

以上のような背景において、石垣の外観を精密に調査する測量技術および内部構造を非破壊で把握するレーダー探査の技術について、これまでの研究開発成果を中心にまとめた。このうち、測量技術については、従来測量や写真測量に加えて、近年はレーザー計測やUAV等による測量および3次元モデリング技術が多用されるようになってきた。本報告では、その一例として、急峻な地形条件の山城におけるUAV測量の事例を紹介した(図-1)。一方、レーダー探査は石垣の内部構造を知るための有効な技術であるが、探査結果を適切に判断するためには、石垣に関する正しい理解と文化財保全における知識も必要である。本報告では、レーダー探査による石材の控え(長さ)の測定、背面地盤の構造把握および山城での適用事例(図-2)について紹介し、それぞれの条件における留意点等を整理した。その概要を以下に示す。

①石垣の形状調査には最新の測量技術が利用されるようになってきているが、こうした技術の適用においては、対象となる石垣の地形や周辺の植生なども念頭に置いた綿密な計画立案が必要である。

②レーダー探査により築石の控えを調査する場合は、その石垣の積み方や石材の加工度合いなどに注意が必要である。すなわち、切り込み接ぎのように加工度が高い石垣では、10cm程度の誤差での調査が可能であるが、打ち込み接ぎでは30cm程度の誤差を見込む必要がある。

③レーダー探査により、栗石層の厚さや緩み領域等を推定することが可能であるが、築石背面からの多重反射などにも注意が必要である。

④山城での探査事例(図-2)では、石垣背面構造を正確に評価し、この結果は施工計画の立案上でも有効な情報を提供するものであった。

結 論

伝統的な石垣の修理・復原においては、「真実性(authenticity)」と「可逆性(removable)」の両方が求められている。このため、石垣の外観を精密に調査する測量技術や内部構造を非破壊で把握するレーダー探査などの技術に対する期待が高まっており、担当技術者には文化財に関する理解と先端技術に関する知識の両方が求められている。



図-1 UAV撮影画像による石垣の3次元モデリング

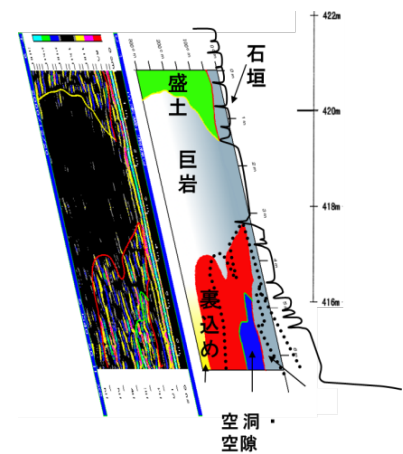


図-2 山城でのレーダー探査事例