

地中レーダ探査を用いた城郭石垣の構造推定

応用地質株式会社 正会員 ○高瀬 尚人
 応用地質株式会社 小林 恵
 盛岡市市長公室 似内 啓邦

1. はじめに

城郭石垣は、築造からの経年変化や地震・台風・豪雨等の自然災害により不安定化して崩落被害が増加しており、石垣カルテの作成や変位観測等の基礎調査が進められている。また近年では、天守の建て替えや耐震性検討に伴い、石垣の健全度・安定性についての評価が求められている。

我々は、基礎調査の一つである石垣築石の控え長や栗石の層厚、盛土等の構造を推定する方法として、非破壊調査である地中レーダ探査の適用性検討と評価を進めている。

国指定史跡である盛岡城跡は、石垣総面積 16,174.8 m²のうち、傷みの著しい約 5,000 m²を対象として、昭和 59 年度から保存整備事業として石垣解体修復と発掘調査を実施している。今回、解体修復時の発掘調査で背面構造が確認された本丸南西部の石垣においてレーダ探査を実施し、発掘結果と探査記録を比較したところ、整合性の良い結果が得られたので報告する。

2. 探査概要

石垣調査における地中レーダ探査の概要を図-1に示す。石垣表面に配置した送信アンテナから放射した電磁波は拡散・減衰しながら内部を伝播し、築石や栗石層の背面など異なる物質の境界で反射し、それらの反射波が受信アンテナで捉えられる。この築石や栗石層の厚さは伝播時間に電磁波速度を乗じて求められ、また石垣背面や栗石中に生じた空洞は、電磁波の反射振幅の強弱から推定することができる。

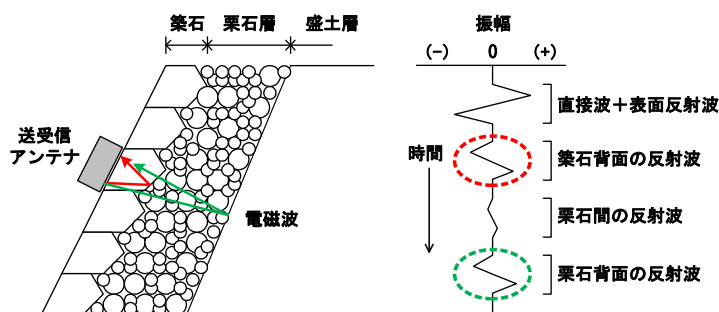


図-1. 石垣背面の探査状況と波形模式

石垣調査では、築石および栗石の層厚を連続断面として測定する『石垣の内部構造把握（連続測定）』と、築石一石ごとを計測する『築石の控え長測定（個別測定）』を実施している。

今回、地中レーダ探査の測定装置は SIR System 3000（米国・GSSI 社製）を用いた。連続測定では、中心周波数 400MHz のアンテナを使用し、石垣専用に製作した台車にアンテナを固定して、ロープで上下にゆっくりと移動させながら測定を行った（写真-1）。

また個別測定では、分解能が高い 900MHz のアンテナを使用することで、築石控え長の計測精度を向上させている。



写真-1. 石垣レーダ測定状況

キーワード 城郭石垣、非破壊調査、地中レーダ探査、健全度評価
 連絡先 〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町 2-61-5 応用地質株式会社

3. 調査結果

【石垣の内部構造把握（連続測定）】

本丸南西部石垣の三次元モデルと測線位置を図-2に示し、連続測定の記録と発掘調査結果を図-3に示す。

図-3のレーダ探査記録において、換算深度0mの反射面が石垣表面であり、深部方向が石垣内部の反射である。石垣表面の直下で反射振幅の弱い範囲（黒く抜けている部分）が築石石材で、その下の反射振幅が強くなる境界面が築石石材と栗石層の境界を示している。栗石層は礫が集中して不均質であり、背後の地山や盛土と比べて強い反射として捉えられている。

当該石垣におけるレーダ記録では、築石、栗石層、盛土層が捉えられており、発掘調査結果と比較しても、その層厚や形状がよく整合していることがわかる。このことから、本石垣においてレーダ探査が有効であることが確認できた。

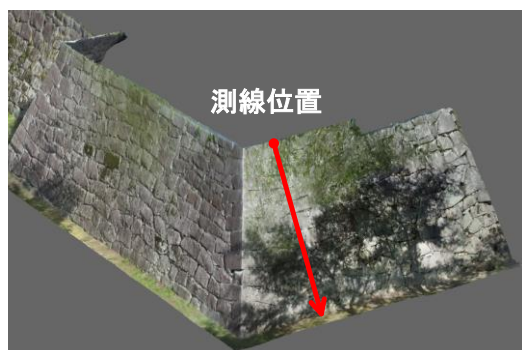


図-2. 三次元モデルと測定位置

【築石の控え長測定（個別測定）】

個別計測の一例を図-4に示す。

連続測定と同様、反射振幅の弱い範囲は均質な媒体であり、ここでは石材の内部を示している。個別測定では、築石の控え長が実測可能な隅石で背面までの往復走時を計測することにより、石材の電磁波伝搬速度を算出できる。

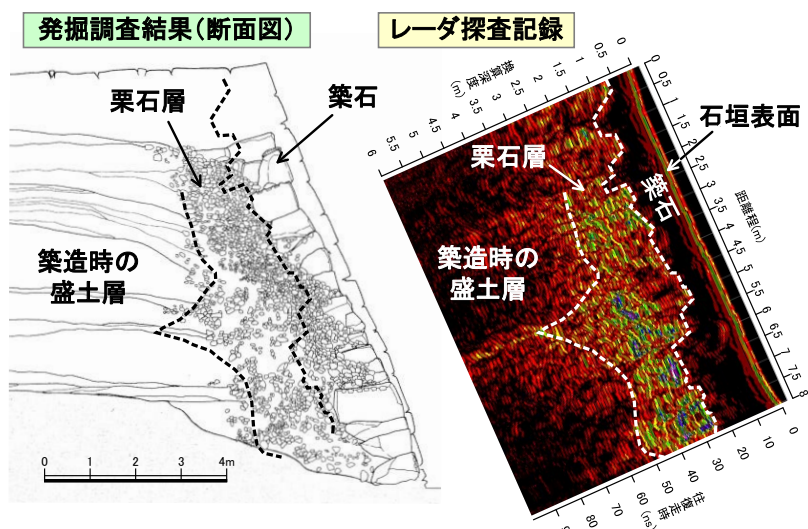


図-3. 発掘調査結果とレーダ探査記録（連続測定）の比較

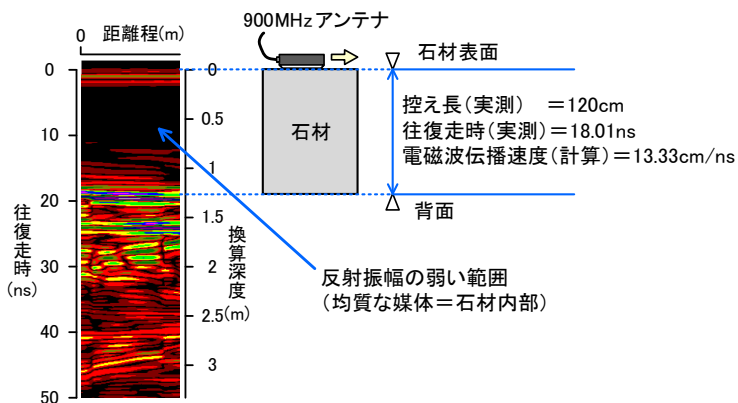


図-4. 個別測定と電磁波伝搬速度の算出

4. おわりに

目視ではわからない石垣背面の現状を把握することは、補修や積み直しの事業計画を考える上で重要な資料となる。高分解能で非破壊調査が可能な地中レーダ探査は、これまでも石垣調査に利用されていたが、今回発掘調査結果と比較することができ、その有効性を確認できた。

また、測定記録の品質を考慮するとアンテナが石垣から浮かずに安定して牽引することが望ましく、今回、石垣測定用の台車を考案し測定した結果、良好な記録が得られることを確認した。

今後は牽引距離の自動計測化や、石垣の三次元モデルとレーダ記録を合成した立体表現方法などについても改善を図り、石垣の構造推定においてレーダ探査を積極的に活用していきたいと考える。

参考文献

- ・盛岡市・盛岡市教育委員会：史跡盛岡城跡 石垣移動量調査報告書，2000。
- ・盛岡市教育委員会：史跡盛岡城跡―第2期保存整備事業報告書―，2008。