

老朽化石垣の非破壊探査技術による計測精度の検証

* (株)大林組土木技術本部	正会員	疋田 喜彦
* (株)大林組土木技術本部	正会員	古屋 弘
** 応用地質(株)つくば技術開発センター	正会員	前川 聡

1. はじめに

全国に点在する城郭のうち、主体となる近世城郭は関ヶ原の戦い以降に数多く築造され、この時期に日本独自の文化といえる石垣技術が完成したとされている¹⁾。これらの近世城郭石垣は築造後 400 年前後経過し、その多くで老朽化が進行しているといわれている。しかし、修復が必要な石垣は、その歴史的価値から文化財に指定されているものが多く、調査段階での部分解体等は困難な状況にある。こうした状況から、最近、建造物や背面地盤に影響を与えない非破壊探査に関する種々のフィールド実験がなされており²⁾、その中で電磁波を用いる地下レーダー探査が注目されている³⁾。

本報告は、解体工事が行われる石垣において、事前に地下レーダーの試験計測を実施し、その後の解体時に確認された実測値と比較して、精度を検証した結果などについて概説する。

2. 試験計測箇所の概要と計測目的

対象とした石垣は、高さ約 5 m、延長 26m 区間で、その積み方は、加工の荒い築石に間詰め石を間に挟みながらバランスよく積んでいく「打込み接ぎ」による乱積みである。石材は安山岩で、石材表面の縦横寸法は 10～120cm、控え長は 25～200cm の範囲にある。計測条件としては、布積み等の石材自体の形状が揃っているものに比べ、各築石の大きさ・形状が多様かつまちまちで、間詰め石が挟まれていたり、また、一部で崩壊に近い状態になっている箇所がある等、厳しい条件下の箇所である。今回の解体工事では測定区間の石垣を全て撤去し、背面の裏込め栗石を含めて積み直すことが行われる。したがって、修復前に試験計測をすれば、石垣撤去時にその背面構造を直接確認することができ、探査精度を検証することが可能である。

今回の試験計測の目的は、非破壊探査手法の一つである地下レーダー探査を用いた場合の、石垣控え長の探査精度の把握と、探査精度を向上させるためにはどのような方法があるのかを検討することである。

3. 試験計測方法

石垣背面の探査は、図 - 1 に示すように、表面に置いた電磁波の送信アンテナから電磁波パルスを内部に向かって放射することにより行う。電磁波は拡散・減衰しながら石垣内部を伝播するが、石垣や栗石底面のような異なる材質との境界で反射する性質があるため、それらの反射波が表面に戻り受信アンテナに捉えられる。

図 - 2 に測定状況を示す。

測定には中心周波数 400MHz アンテナを用い、断面方向に 5 測線、縦断方向に 1 測線を設け、個々の石垣中央に固定しながら反射波形を収録した。その後、石垣撤去時に各石垣控え長の実測データを収集した。

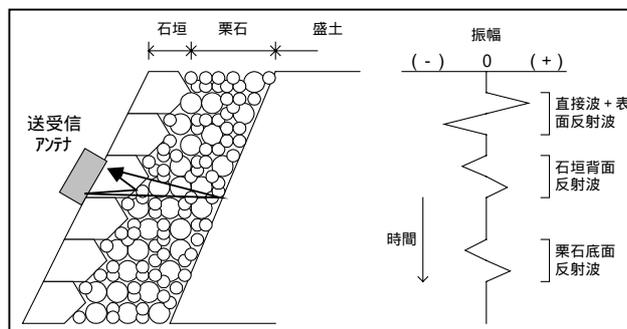


図 - 1 石垣背面の探査状況と波形模式図

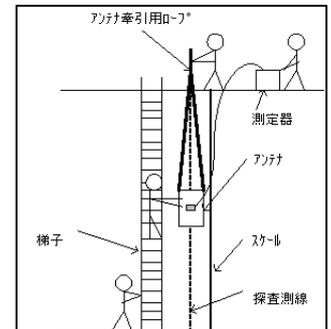


図 - 2 石垣部の測定状況

キーワード 石垣，非破壊探査，物理探査，電磁波，測定

連絡先 * 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL 03-5769-1322

** 〒305-0841 茨城県つくば市御幸が丘 43 TEL 0298-51-6621

4. 試験計測結果

測線沿い計測結果の一例を図-3に示す。図の上段はラインスキャン表示、下段はウィグル表示（波形表示）を示す。これらの図から、最初の試みとして、大きな振幅が一周期以上継続している波形あるいは振幅が多少小さくとも多周期連続している波形が石垣底面の反射波であるとの基準を設け、それらの往復反射時間を読み取り、その半分に石垣の電磁波速度を乗じて厚さを求めた。なお、石垣の電磁波速度は予め控え長の明らかな箇所での測定結果から10.5cm/nsとした。図-4に実測控え長と計測値（修正前）との関係図を示す。

次に、誤差が20cm以上あった場合について、波形と実測値との対比から、誤差原因に3つのパターンがあることが推察された。

石垣の側面反射を読み取った場合：振幅の多少小さな多周期の波形の手前で、時間的に分離して、振幅の大きな一周期程度の波形があり、それを石垣背面反射と判断した。実測値から、手前の反射波は側面の反射波で、石垣背面は多周期連続する波形が相当することになった。

石垣背面の反射振幅が微弱でその後に振幅の大きな波形がある場合手前に振幅の大きな波形があり、わずかな時間差で石垣背面反射波が続く場合

この内、
、
のパターンは修正困難であるが、
のパターンは現時点でも修正可能であると判断し、該当する12個の修正を行った。修正結果を図-5に示す。図より40~50cmを超えるような大きな誤差はなくなり、測定数81個の平均誤差は10.6cmで、誤差10cm以下は46個と全体の6割弱を占めた。石垣の安定上問題となる石垣控え長の差は、数十cm以上となるものと考えられる。したがって、上記のような方法により、実用的な精度で石垣控え長を測定することが可能であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回の試験計測結果から、石垣を構成する石材の大きさ・形状のばらばらな乱積み部においても、石垣の控え長を精度よく捉えることが可能なことが分かった。

老朽化石垣の健全性を診断する上で、石垣背面の内部構造を精度よく把握することは非常に重要な事項の一つである。したがって、今後の課題は、石垣背面とともにその奥の裏込め栗石部と埋戻し土砂部との境界を精度よく把握できる手法を試験計測を行いながら検討することである。

【参考文献】

- 1)田中他：城郭石垣の変遷と安定性判定手法の比較検討，土木学会第53回年次学術講演会，1998.10
- 2)前田他：城郭石垣の健全性診断への非破壊探査技術の適用性について，土木学会第53回年次学術講演会，1998.10
- 3)笠他：城郭石垣の健全度診断への非破壊調査技術の適用性について 電磁波を利用した石垣控え長の測定 第34回地盤工学研究発表会，1999.7

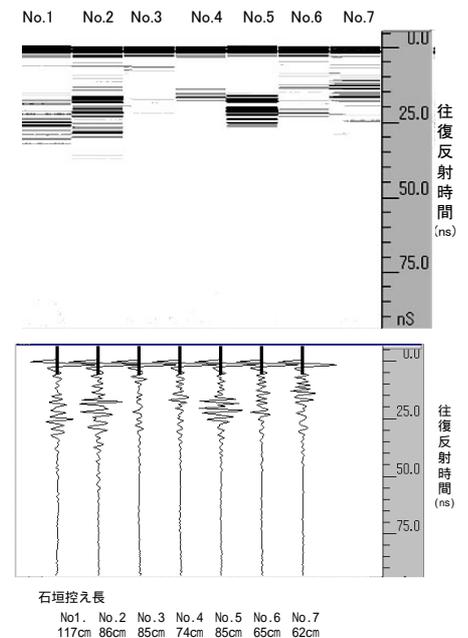


図-3 計測結果の一例

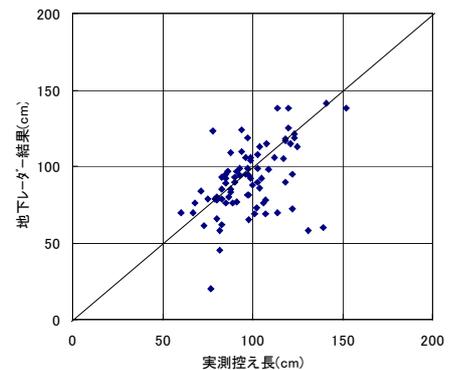


図-4 実測控え長と計測値（修正前）との関係

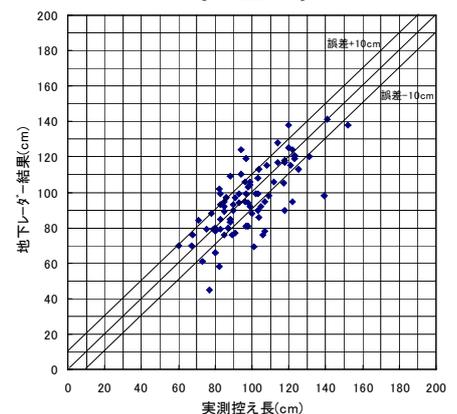


図-5 実測控え長と計測値（修正後）との関係