

VI-180 城郭石垣の健全性診断－電磁波探査による石垣内部構造の推定－

*ハザマ土木本部技術設計部 正会員 ○平井 光之
 *ハザマ土木本部トンネル統括部 正会員 笠 博義
 **ハザマ名古屋支店工事部 大沢克比古
 ***ビィック（株）機器部 荘林 茂徳

1. はじめに

現存する城郭石垣のほとんどは、戦国時代から江戸初期にかけて集中的に築造されており、築造からおおよそ 400 年を経過している。その多くで石垣の孕みだし、目地の開口などが進行し崩壊の危険に晒されていることが報告されている。近年、これら貴重な文化財である城郭石垣を修復、保全したり、その上に往年の城郭建築物を復元したりして地域の文化遺産として市民生活の中心に位置づけようという試みが活発化している。このような石垣修復需要の増大に伴って、石垣の崩壊の危険性について定量的に評価し、修復の優先順位を判断する必要性が高まっている。

これまで、筆者らは特別史跡名古屋城跡のいくつかの石垣修復箇所等において種々の非破壊診断技術の健全度診断への適用性検討を行ってきた¹⁾。特に、石垣表面からのレーダー探査で石垣控え長（奥行き）の推定が実用的に行えることを解体調査との照合で実証した²⁾が、本報では、さらに一步考えを進め、石垣背面構造推定の可能性について検討した結果を報告する。

表－1 石垣不安定化の主な要因

2. 石垣の健全度に影響する要因と本検討のねらい

石垣の安定性は多くの要因に左右されと考えられるが、過去の崩壊事例等の調査から推定される主要な要因をまとめると表－1 のようになる。

石材材質	風化、損傷
石垣構造	控え長不足、石積み方法
背面状態	排水不良（排水層厚不足、裏込め目詰まり）、空洞発生
その他	植物の根、地下水位変化、周辺構造物等の影響、基礎地盤処理不良

石材そのものの劣化については言うまでもないが、石材の控え長不足も石垣構造上の不安定化の大きな要因になっていると推定されている。また、石垣背面の状態についても、裏込め栗石の厚さが十分でない場合や、長年の間に裏込め栗石に土砂が詰まったりして排水不良の状態に陥ると、降雨時の水圧が石垣面に作用するようになり不安定化することは容易に推定される。

こういった石垣の不安定性の要因から、石垣の控え長、ならびに石垣背面の排水状態の善し悪しを知ることは健全度の評価において重要なポイントであることがわかる。

3. 実験概要

1) 実験箇所

今回実験の対象とした石垣は名古屋城二之丸東二之門南側にあたり、東南角を挟んだ東面と南面であり、高さ約9mである。過去の記録によると明治24年（1891年）の濃尾大地震によりこの石垣の一部が崩壊して修復工事が行われているが修復工事の詳しい報告書は現存しないため内部構造は不明である。この石垣と対になった二之丸東二之門北側石垣は平成6年（1994年）9月の



図－1 石垣断面模式図

キーワード：城郭石垣、非破壊検査、健全度診断、電磁波

* 〒107-8658 東京都港区北青山 2-5-8 TEL 03-3405-4052 FAX 03-3405-1854

** 〒460-0003 名古屋市中区錦 2-4-16 TEL 052-204-2071 FAX 052-204-0447

*** 〒113-0021 東京都文京区本駒込 6-12-16 TEL 03-3947-7463 FAX 03-3947-7675

台風時に崩壊し補修工事が行われており、これに関しては詳しい報告書が残されている。同報告書によると、石垣内部構造は図-1のようであり、平均勾配は 1:0.15、標準的断面構造は、石垣、裏込め栗石、背面土砂、そして地山の 4 層からなっている。測定対象箇所も同様な構造が予想されるが石の控え長(奥行き)、裏込め栗石層の厚さなどはもちろんわかっていない。

2) 実験方法

写真-1 に示すように、2本の塩ビ管をガイドレールとしてレーダー探査装置を石垣面に沿って昇降させながら石垣奥行き方向に電磁波の送受信を行った。測定は東面、南面それぞれ2測線について計測を行うとともに、石垣奥行きが実測できる隅角部においてレーダー画像と実際の石垣内部構造との照合、ならびに誘電率の推定を行った。

4. 実験結果

1) 石材の誘電率の推定

石垣隅角部で行った実験によると、石材(花崗岩系)の誘電率は平均 7.3 と推定された。また、石垣内部構造の測定可能性については、表面石材奥面からの反射がはっきり観測され石垣の控え長測定が十分可能であることとともに、さらに、その奥3m程度までのいくつかの石材境界からの反射も捉えていることが確認できた。

2) 石垣内部構造の推定

前回の検討²⁾において、石垣背面には直径 10 数 cm 程度の栗石が奥深くまで充填されていたことが解体時に確認されており、解体前に石垣表面から測定されたレーダー画像にも、この栗石によると思われる特徴的な反射波形が深部まで得られている。一方、今回の計測箇所においては、石垣背面の栗石からの反射と判断される比較的強い反射面以外に反射面のはっきりしない弱いノイズが広範囲に存在することが特徴であった。

現時点では石垣を解体して背面の状況を確認できないし、計測時の感度設定も同じではないため結論づけることはできないが、このノイズが土砂層に対応している可能性は高い。

以上のような知見を参考に、対象箇所の石垣の内部

構造を再現したのが図-2である。同図には、石垣上部が下部に比べて控え長が短い石材が多いことや裏込め栗石層の厚さが薄いことなどの情報が表現されている。

5. まとめ

石垣表面からのレーダー探査により、石垣の控え長のみならず、裏込め栗石、土砂層の区分を含む石垣内部構造の推定の可能性に言及した。今後、解体修復後の内部構造の判明している石垣における測定データの検証、あるいは石材の材質の違い等を考慮した推定精度の向上を図りたい。

従来行われてきた、主に石垣表面形状による判断基準に石垣内部構造評価結果を加味することで、より実用的な石垣健全度評価手法へ結びつけていきたい。

【参考文献】1) 前田他：城郭石垣の健全度診断への非破壊検査技術の適用性について、第 53 回土木学会年次学術講演会、1998,10、2) 笠他：城郭石垣の健全度診断への非破壊検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、1999.6



写真-1 実験状況

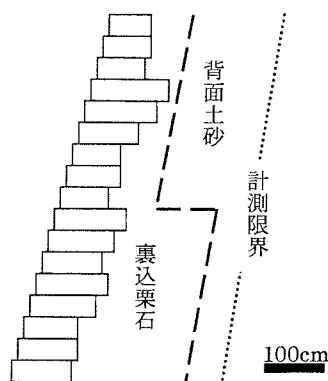


図-2 実験結果から推定された石垣内部構造