

CS-51

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

*ハザマ土木本部トンネル統括部 正会員 ○前田 信行、笠 博義

*ハザマ土木本部技術設計部 正会員 平井 光之

**ハザマ名古屋支店土木部 大沢克比古

1. はじめに

全国 130 箇所以上も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、今日では築造からおよそ 400 年を経過し、各地の石垣で孕みだし、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。これら貴重な文化財である城郭石垣を保存し、市民生活のなかで活かしていくために、その安定性、健全性を評価し、補修の必要性を判断する手法が緊急に求められている。

近年、石垣の工学的安定性について田中ら¹⁾ 2)、西田ら³⁾ が、崩壊原因の分類、安定性評価指標の提案等、精力的な検討を進め、石垣の健全度評価について有用な見解を示しつつある。

本報では、調査技術の向上の観点から、主としてこれまで地盤調査等において大きな成果をあげてきた種々の非破壊探査技術の適用性、あるいは石垣表面形状を 3 次元的に分析した場合に得られる知見等について、名古屋城石垣において実施したフィールド実験の結果を報告する。

2. 健全性評価の手順

石垣健全性診断では、まず、主に目視観察により石垣健全性チェックシートを用いた危険度レベルの判定、健全性に影響する特殊要因の確認等を行う。危険度レベルに応じて、詳細な調査が必要であると判断された場所については精密診断を、崩壊の危険性が高いと評価された場所については常時計測による監視あるいは対策工の実施を行うというように進める。ここでは、精密診断の適用性について述べる。

3. 実験概要

石垣の健全性の調査・計測に関する事項について既往の調査・研究等を参考にして検討を行い、表-1 に示す試験的な調査を名古屋城内において 1997 年 10 月に実施した。それぞれの手法の調査実施地点は、目視観察で石垣の孕み出しが確認される天守閣北面および石垣上部が道路になっており背面土層の探査が容易な東側内堀の石垣近傍を選定した。なお、今回適用した調査手法はいずれも調査が容易であり、建造物や背面地盤には影響を与えない非破壊の調査手法である。

表-1 調査概要

調査項目	調査手法	測定項目	評価項目	調査場所
石垣表面形状調査	光波測量	石垣の 3 次元形状	孕み出しの状況	天守閣北面
石垣表面温度分布調査	赤外線映像法	石垣の表面温度分布	地下水・植生の状況	天守閣北面
石垣背面土層の性状調査	レーリー波探査 レーダー探査	背面土層の性状・構造	緩み・空洞の有無	東側内堀近傍

4. 調査方法と調査結果

a. 石垣表面形状：天守閣北面石垣の 3 次元形状をトータルステーションで測量した結果に画像処理を施し凹凸を表現したものを図-1 に示す。石垣隅角部形状を築城直後の形状と考えた場合、最も孕みだし量の大きい部分の上方では石垣の孕みだし量が左右の石垣より相対的に小さいことがわかる。このように、従来の断面別の 2 次元測量では指摘できなかった石垣面全体の孕みだし状況の評価が 3 次元測量によって可能にな

キーワード：城郭石垣、非破壊検査、健全度診断、レーリー波、電磁波、赤外線、3D-CAD

* 〒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

った。また、筆者らは、目地の開口の進展など、石の積み方の違いによる石垣の安定性への影響に注目している。今後さらにデータ収集を進め、石垣の面的な変形形状と石の積み方の関係についても言及したいと考えている。

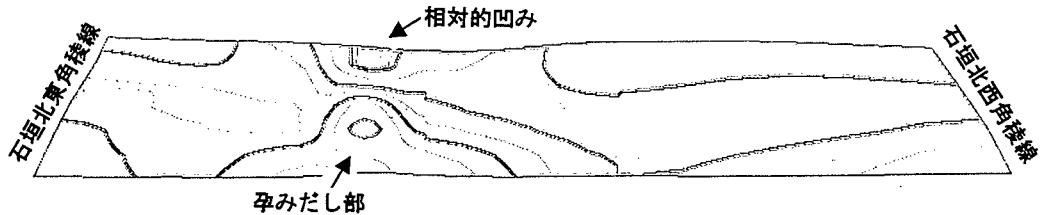


図-1 石垣面の3次元形状

b. 石垣表面温度分布調査：石垣の安定性に対しては、地下水や植生が影響を及ぼすことが既往の研究から指摘されている。これに対して、石垣表面の温度分布には背面の空洞の存在や浸透水の流出状況、または表面に繁茂する植物による影響が反映することが考えられる。こうした観点から、天守閣北面石垣正面に赤外線カメラ（TH3104：日本電気三栄社製）を設置し、昼夜における石垣表面の温度分布を赤外線映像法で調査した。今回の調査結果からは、孕み出しの領域と温度分布の関連性を示す明確なデータは得られなかったが、石垣表面の植生による温度差等が確認された。今後は、熱赤外情報と変位や地下水との関連性を考察するために基礎的データの収集・分析を進めていく必要がある。

c. 石垣背面土層の性状調査：石垣背面の土層の性状は石垣自体の安定性に深く関連している。具体的には、背面の緩み領域や空洞の存在等が石垣の不安定化を知る上で重要な指標となるものと考えられる。こうした指標を得るための一手法として、レーリー波探査および電磁波反射法（レーダー探査）による石垣背面の探査を実施した。図-2に示したように、レーリー波探査結果に基づいた背面の土層構造から、石垣表面から2～3m付近に速度構造の不連続面が存在することが推定され、これは原地盤と石垣背面に施工された栗石等の背面土砂との境界位置に相当するものと考えられる。また、一部には相対的な低速度帯も見られ、こうした地点では緩みが進展している可能性がある。

一方、レーダー探査では路面下に埋設された各種の埋設管を明瞭に探査できたが、石垣の控え長等については、前述の埋設物およびこれらの施工時の掘削の影響などで探査結果から推定することが困難であった。この電磁波反射法については、むしろ石垣表面からの探査等の適用手法を考案していくことが必要であると思われる。

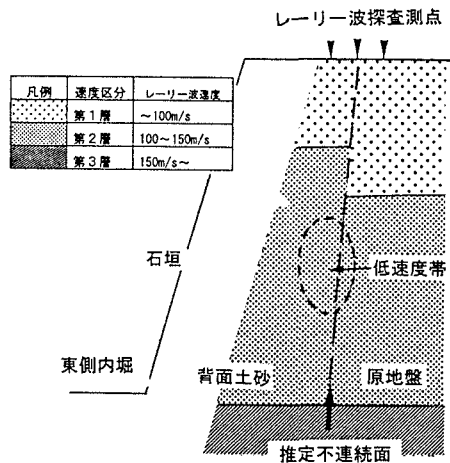


図-2 レーリー波探査による地盤構造

5. まとめと今後の課題

石垣の健全性評価技術としての非破壊探査技術の適用性に関するフィールド実験を実施した。その結果、3次元測量による変位の可視化や背面土層の物理探査等の有用性が示された。今後は、新しい調査技術の適用と同時に、各種計測結果の評価手法についてさらに検討を進める予定である。なお、今回の調査にあたりご協力をいただいた名古屋市経済局名古屋城管理事務所の方々に謝意を表する。

【参考文献】1）田中他：日本の城郭石垣の変遷と現状、土木学会論文集 No.576/IV-37,1997.10、 2）田中他：石積み擁壁の安定性評価法、土木学会論文集 No.541/III-35,1996.6、 3）例えば西田他：徳川期大阪城石垣構造の力学的安定に及ぼす形状効果、第32回地盤工学研究発表会、1997