

城郭石垣診断法の開発

Risk assessment methods for historical stone walls of castle ruins

○坂本 俊・釜井俊孝・古川匠

○Shun SAKAMOTO, Toshitaka KAMAI, Takumi FURUKAWA

This study is a basic study aiming to establish a methodology for diagnosing the deformation of a castle stone wall and preventing collapse due to natural disasters. A surface wave exploration we conducted in Tsujo (Mie Prefecture) revealed the importance of stabilizing the foundation ground of the stone walls and the effectiveness of comparison with three-dimensional laser surveying. In this way, information on historical heritage that remains in the present age can be sufficiently used for disaster prevention in modern society.

1. はじめに

昨今の自然災害により、文化遺産に対する被害が顕著である。特に、東日本大震災や熊本地震、西日本豪雨（2018年）、台風24号（2018年）による城郭に対する影響は甚大なものであった。

城郭石垣は、その規模が大きいこともあり、石垣全面の現況調査や測量などの記録化が十分に進んでおらず、熊本地震による熊本城の先の被害はこれらの調査を実施する矢先のことであった。こうした調査や記録は、石垣を整備するための基礎データとなるため、非常に重要である。

しかし、現況調査は石垣各面の変形状態などを目視による観察に基づいて行うもので、客観性に乏しい。加えて、石垣の状態が何に起因し、由来するのかまで追求することはほとんどない。このような、石垣の状態を判断する技術や方法論が確立していない現状は、大きな問題である。

2. 研究の目的と方法

石垣は基礎地形と背面構造を有する安定的な構造体であり、石垣表面に現れる現象は背面の状態に規制されると考えられる。そこで本研究では、表面派探査を用いて石垣背面地盤のS派速度構造を明らかにし、微細な変形を三次元レーザー測量に基づく断彩図との比較から石垣の状態を解明する方法の開発を目指した。

調査地は、石垣の現況調査が既に行われている津城（三重県津市）と郡山城（奈良県大和郡山市）とし、地盤構成に関しては発掘調査成果とボーリング調査のデータ提供を受け、検討素材に加えた。ここでは、津城での調査成果を中心に報告する。

3. 測線の設定

グスクや間知石による近代の石垣を除き、自然石や粗割石、割石で構成される中・近世の石垣は、平面形態はおおよそ直線的で、組みあがった石材の集合体は斜面を形成する。この斜面の連続が城郭の平坦面を作り出すのである。

この石垣の性質と現在各地で行われている石垣の状態調査や測量が石垣の面ごとに実施されていることを踏まえ、石垣平面に対して平行に測線を取った。しかし、この意図をもって測線を設定すると、空間によっては十分な距離が確保できない場合があるため、精度確認を今後行う必要がある。

4. 津城石垣の表面派探査の成果と地盤

津城は、城の北側を流れる安濃川によって形成された沖積低地の三角州に位置し、海岸線と並行する砂堆上に立地する。探査は石垣状態調査の評価と現地での事前検討の結果を踏まえ、変形が明瞭な西之丸と慶長16年（1611）に構築された石垣が良好に残る本丸北多門櫓で、9つの測線を設定して行った（第1図）。

西之丸 西之丸の石垣は、実施した測線ZQ～ZT（ZPは欠番）のコンターのあり方から5m強と推定され、『御秘録』の記述（堀底から一丈六尺七寸）におよそ一致する。石積みの様相から相当回数の修理が行われていると考えられ、現在も広い範囲で孕みなどの変形が見られる。

石垣の背面には、栗石と土砂による裏込めが施されるのが普通であるが、6m以下の基礎地盤のS派速度は遅く、修理による手が入った裏込めと大きく差が無い。測線ZRやZSの9m部分的に見られるS波速度220m/S以上の範囲は、周辺のボーリング調査から砂礫に相当すると考えられ、それ

以下は細砂やシルトが堆積する。極めて軟弱な地盤に構築された石垣であることが明白になった。

本丸 本丸北多門櫓の石垣は約11m（地上からは約10m確認できる）の高さを持つと推測できる。津市が平成21～23年度に実施した石垣の状態調査では、変形は無いと評価される堀側の北面に対して、本丸側の南面は全体的に孕みが見られる。

探査では、石垣上の測線ZV・ZK・ZLで観察できる基礎地盤と本丸内部の測線ZN・ZOでは、S波速度構造が明瞭に異なる（第2・3図）。少なくとも、石垣はかなり強固な地盤上に構築されており、さらに胴木組などの地形を行っている可能性が高い。また、測線ZKの7m付近では、S波速度220m/s以上の範囲が断続して見られるが、これは裏込めの石列を捉えたものと考えられる。同様の事例は福岡城や駿府城など全国で確認されており、石垣の崩壊を抑止する工夫の一つと考えられている。

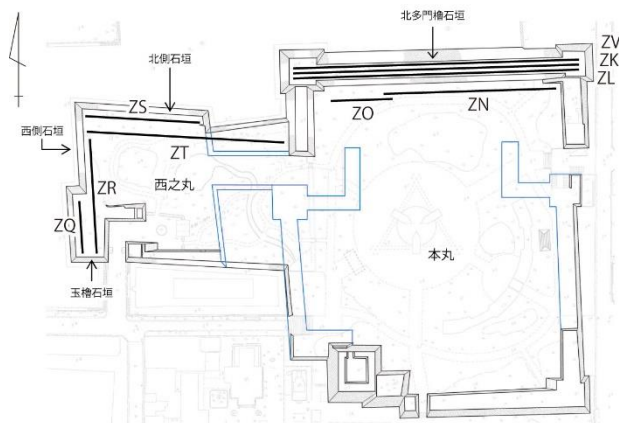
レーザー測量との比較では、輪取り技法と目視で確認できなかった孕みが認められ、探査成果と符合した。直ちに崩壊するような孕みではないが、一定の崩壊リスクを明示できた。（第4図）

5. 考察

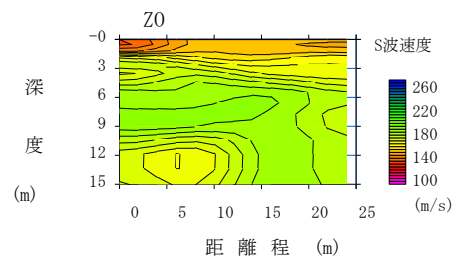
ここまで、表面派探査の成果から津城の石垣のあり方を確認してきた。郡山城での成果を含め、次のことが明らかになった。

- ①石垣背面（裏込め）だけでなく、基礎地盤を同時に把握すると、変形や改修履歴の多い石垣の崩壊原因が想定できる。Cf. 西之丸石垣・本丸北多門櫓南面
- ②石垣背面の地盤と石垣表面の変形状況は対応関係にあり、微細な変形にはレーザー測量を行うことが有効である。Cf. 本丸北多門櫓北面
- ③輪取りや裏込め内の石列は、石垣の構築時のみならず安定的遺存に効果的である。

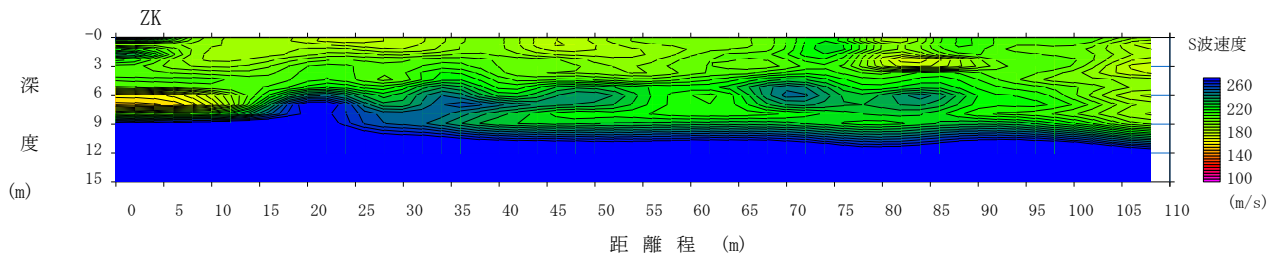
石垣の状態を理解するには、石垣そのものだけでなく、地盤状況も把握しておかなければ十分な評価ができないことは以上のことから明白であろう。歴史遺産たる城郭石垣が400年以上遺存する要因を明らかにし、現代の石積み擁壁の防災に伝統的技術を応用することを目指したい。



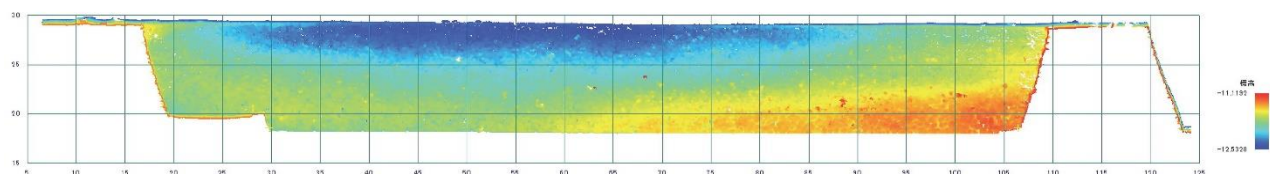
第1図 津城の縄張りと測線位置図



第2図 測線ZOのS波速度構造断面図



第3図 測線ZKのS波速度構造断面図



第4図 本丸北多門櫓北面石垣段彩図