

3Dスキャナー計測による城郭石垣高さの推定

○関西大学 学生会員 井上 貴玄
(株)間組 正会員 山本 浩之

関西大学 正会員 西形 達明
(株)間組 正会員 笠 博義

1. はじめに

我が国の城郭石垣の構造は世界的に類を見ない独自の構造を持っており、力学的、土木学的観点から見ても非常に貴重な遺産である。これら城郭石垣の力学的な安定性の原因を解明することは当時の技術を知り、この城郭石垣機構の崩壊を防ぐ修復保存法を提案することに加え、今後の新しい土木構造物の設計思想に寄与するものと考えられる。一方で長い年月を経て老朽化が進行している石垣も数多くみられる。したがって、これらの城郭石垣の形状を正確に把握し石垣の高さを知ることで、石垣修復時における安定性評価手法を確立することが重要である。

2. 石垣断面形状測定と高さの推定方法

計測装置はリーグルジャパン社の 3D レーザースキャナシステム、型式 LSM-Z420i (デジカメ搭載) を使用し、レーザーにより対象物の計測が可能となる。各側点で計測されたデータを結合することで 3 次元データとして解析を行うことができる。

石垣の高さとは最下部の石(根石)から最上部(天端)までの高さを指している。しかし、一般に根石は地盤中にあり、掘りの水があることからその高さを知ることは困難である。そこで、本研究では対象とする石垣が石垣構築技術書のひとつである「後藤家文書」の設計手法によっているものと仮定したうえで、スキャナーによる測定結果と比較することで石垣の高さを推定する方法を考えた。図-1 は後藤家文書の設計手法を表している¹⁾。これによると、その石垣形状は上から 2/3 の高さ(E 点)までは 2 次曲線であり下部 1/3 は直線とされている。したがって、計測で得られたデータから E 点(2 次曲線から直線に変わる点、すなわちその微分が 1 次式から一定値に変わる点)の位置を確定することで全体高さを推定した。なお、計測結果からの微分値はスキャナーによって計測された数多い測定データから差分値を計算して求めた。

3. 計測結果および高さの推定

本方法の妥当性を検討するためには、根石の位置が明確な石垣に適用する必要がある。そこで、名古屋城において根石の調査がなされたときに石垣形状を測定した結果を利用した。名古屋城石垣を 3D レーザースキャナーで計測して得られた形状と後藤家文書の設計手法による形状を比較したものが図-2 である。なお、y 軸は石垣高さ(m)、x 軸は奥行き(m)で示している。図によると、対象とする石垣部が改修部近くであったため若干の変形が生じているため、後藤家文書による形状と少し差が認められるが、ほぼ同系統の設計手法を用いて構築されていると判断できる。また、計測結果から、石垣の真の高さは 14.7m であることがわかる。

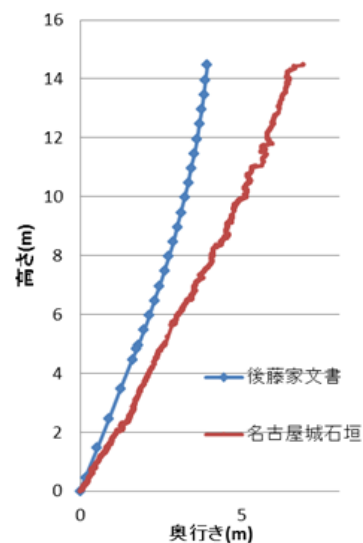
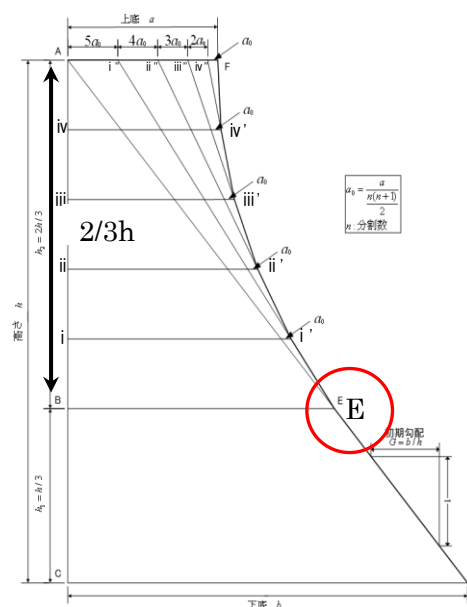


図-2 後藤家文書比較

3D レーザースキャナー 後藤家文書 E 点

大阪府 吹田市 上山手町 24-6 PAL 千里山 302 TEL 080-5168-7902

次に、前述の方法で測定データから求めた微分値と高さの関係調べたものが図-3である。図より、測定データにはばらつきが見られるが、E点の位置（微分値が一定値から1次式に変わる点）は、高さ約4.5m付近であり、天端からE点までの高さを求めることができる。すなわち、後藤家文書から石垣の高さは約 $10 \times 3/2 = 15\text{m}$ （真の高さ=14.7m）であると推測できる。

次に、大阪城石垣においても同様に高さ推定を行った。なお、対象とした2箇所の石垣には広大な堀があり石垣の根石は水面下にある。これらの計測データを太線で示したものが図-4である。同様に図-4の計測結果からE点の位置を調べた図が図-5、図-6であり、図中に示すようなそれぞれの天端からE点までの高さを求めることができる。なお、求められたE点の高さは水面からの高さを示している。これより、全

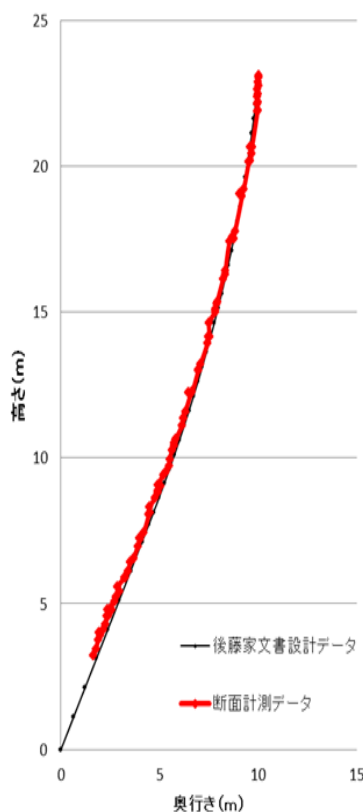


図-4 後藤家文書比較

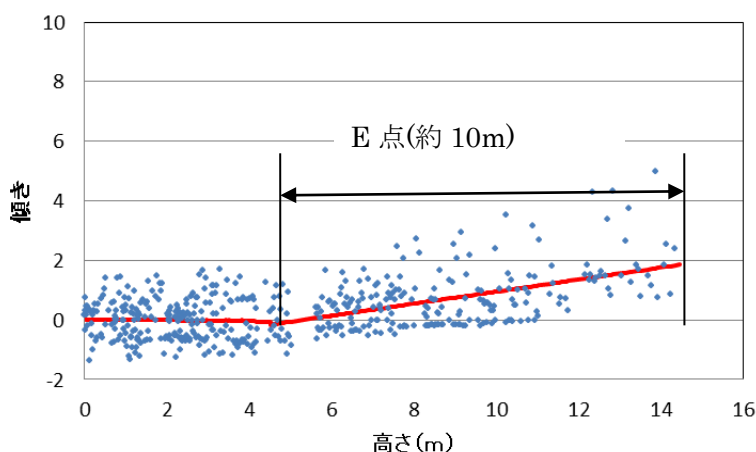


図-3 E点の位置検討

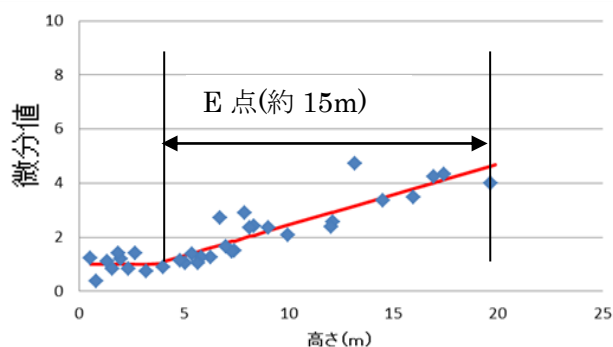


図-5 E点の位置検討

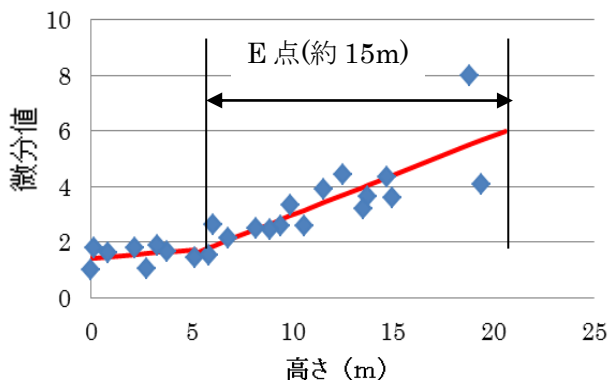


図-6 E点の位置検討2

体高さを推定すると、およそ 22.5m ($15 \times 3/2 = 22.5$)であることが分かる。

さらに、計測された高さをもとに、後藤家文書による形状を求めたもの(細線)が図-4に示されている。これより、計測データは後藤家文書による形状とほぼ一致する結果となった。したがって、大阪城石垣には後藤家文書の形状が適用できることから、得られた高さの推定値はほぼ確かなものであると考えられる。

4. まとめ

本報告では、名古屋城と大阪城の計測結果を用いて高さの推定を行った。今後、より多くの城郭石垣に本方法を適用し、その精度の検討を進めていく予定である。

参考文献)

- 1) 森本浩行, 西田一彦, 北垣聡一郎, 西形達明, 玉野富雄: 城郭石垣を修復する際の断面形状決定に関する考察, 歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム 発表論文集, No.141, 2008.6.