

## 松江城石垣の変状調査及び FEM 地盤解析による被害分析

石垣 城郭 被害分析

国土館大学 正会員 ○橋本 隆雄  
 ㈱日測 非会員 松尾 拓  
 ㈱IMAGEi Consultant 正会員 磯部 有作

## 1. はじめに

島根県松江市にある松江城石垣は現在、国宝・重要文化財（建造物）になっているが、慶長 16（1611）年に築城されて以来石垣の老朽化が進み積み直し等を行って補修保全をしている。2000 年鳥取県西部地震では、図-1 に示すように 6 箇所写真-1 のような崩壊や孕みが生じている。そこで本研究では松江城石垣で変状調査及び地盤解析により、被害原因を把握するために分析を行った。

## 2. 石垣被害と地盤との関係

図-2 は石垣被害と地盤との関係である。(a)盛土のみ厚さコンター図では、松江城西側及び東南部中曲輪の石垣部の盛土が特に厚く、本丸周辺の石垣も厚くなり、石垣の崩壊・孕み部と一致している。また、(b)盛土+強風化厚さコンター図では、本丸が強風化の進行し厚くなり、さらに過去に被害を生じた箇所及び変状が大きい箇所と一致している。このことから、地盤が被害や変状に大きく影響していることが明らかとなった。

## 3. 石垣の変状調査及び FEM 地盤解析による被害分析

図-3 は、全石垣の形状（高さ、奥行き）と被害の関係である。石垣断面は松江城石垣の総数 173 面から鳥取県西部地震で崩壊した 6 箇所や崩壊・変状の起こっていない箇所など 25 面を各エリアからのように均等に選定した。ただし、石垣カルテの変状は目視で変状程度が明確でないため、ここでは省略し被害箇所のみで評価した。石垣タイプは、石罫が無く非石罫が多く、半石罫が少ない。石垣形状は、主に石垣の高さが比較的長く勾配が急なグループと、反対に石垣の高さが長く勾配が緩いグループに分かれた。被害は石垣の高さが長く勾配が緩いグループの石垣上部で発生した。高さが比較的長く勾配が急なグループは、崩壊・孕みを生じているものが非常に多い。石垣の高さが長く勾配が緩いグループは、石垣上部で急勾配になっているものに被害が多い。図-4 は全石垣の高さと最大勾配の関係で、最大勾配が急で高さが高いほど被害を生じやすいことが分かる。図-5 は全石垣の最大勾配と加速度の関係で、最大勾配が急で加速度大きくなるほど被害を生じやすいことが分かる。図-6 は全石垣の最大勾配と速度の関係で、最大勾配が急で速度大きくなるほど被害を生じやすいことが分かる。図-7 は全石垣の孕み変状分布図で、本丸周辺の石垣が大きく孕んでいることが分かる。図-8 は全石垣の上部・下部の最大加速度分布図で、表土・盛土の標高コンターに重ねたものである。この図及び図-2(b)盛土+強風化厚さコンター図から、標高が高い地形効果と柔らかい地盤の増幅効果により本丸周辺の加速度が大きくなっていることが分かった。

**謝辞：**本研究にあたって、文化庁文化資源活用課震災対策部門文化財調査官西岡様、松江市藤井様に貴重な情報提供をしていただいた。また本研究は科学研究費助成事業基盤研究(B)「侍の英知である城郭石垣を守る変位計測と数値解析を併用した危険度診断システムの構築」の補助金を用いて行いました。ここに記し感謝の意を表します。

**参考資料：**1)松江市教育委員会：史跡松江城石垣修理報告書、松江市文化財調査報告書 111, 2007.

2)松江市：史跡松江城石垣総合調査報告書、松江市文化財調査報告書第 186 集 2018.3.

3)新宮敦弘, 澤田順弘, 古川寛子, 乗岡実：松江城石垣の石材調査報告 2018.3.

## 4. まとめ

松江城石垣の変状調査及び FEM 地盤解析による被害分析の結果、以下のことが明らかとなった。(1)石垣の被害は形状が急なもの及び最大勾配が急なものが多い。(2)本丸周辺は盛土の他に岩盤が強風化し孕み等の変状が大きくなっている。(3)2000 年鳥取地震の際には地形及び地盤の増幅効果により加速度・速度が大きくなり被害箇所と一致している。

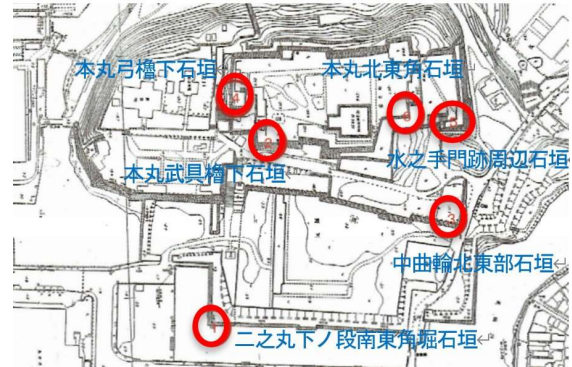
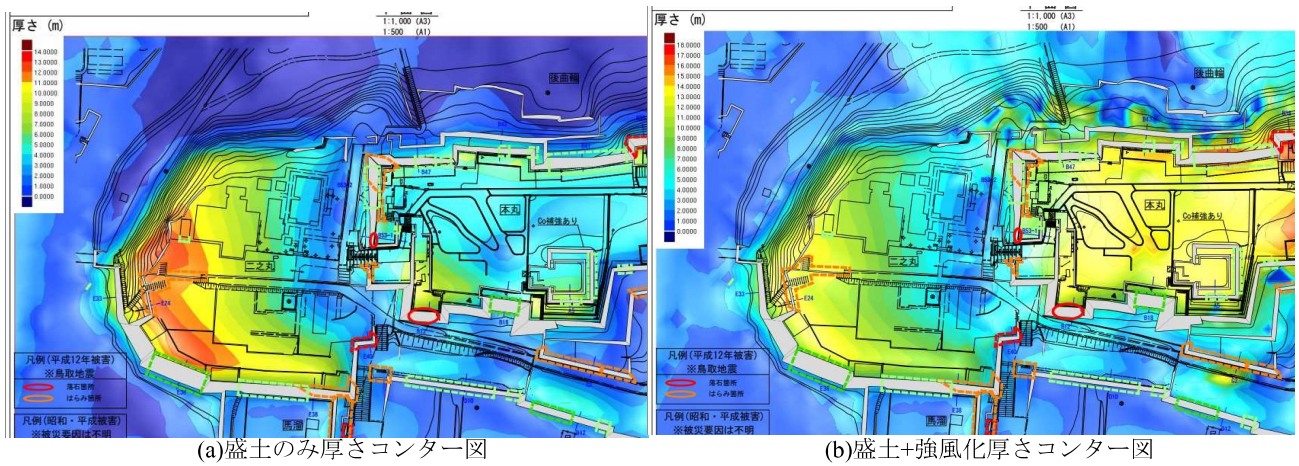


図-1 鳥取県西部地震による石垣被災箇所



写真-1 二之丸下ノ段南東角堀の石垣崩壊



(a)盛土のみ厚さコンター図 (b)盛土+強風化厚さコンター図

図-2 石垣被害と地盤との関係

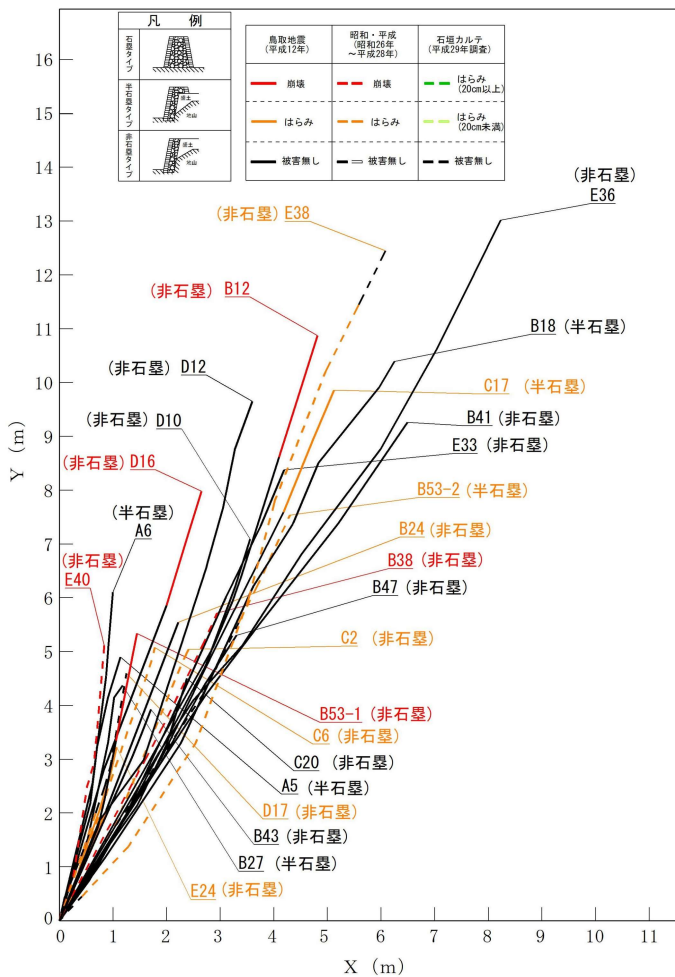


図-3 全石垣の形状 (高さ, 奥行き) と被害の関係

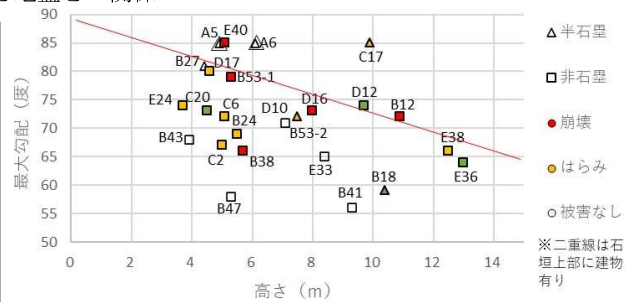


図-4 全石垣の高さと最大勾配の関係

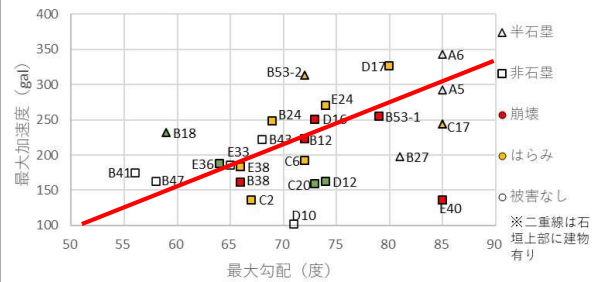


図-5 全石垣の最大勾配と加速度の関係

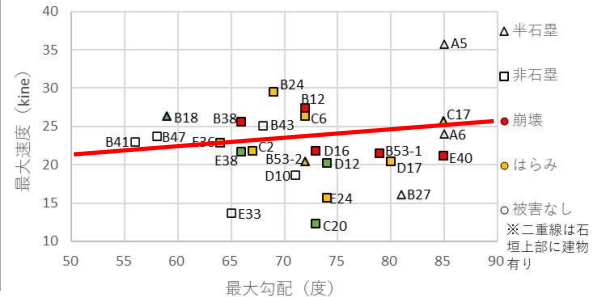


図-6 全石垣の最大勾配と速度の関係

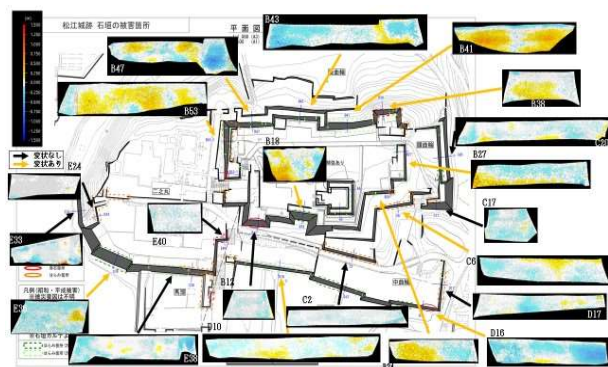


図-7 全石垣の孕み変状分布図

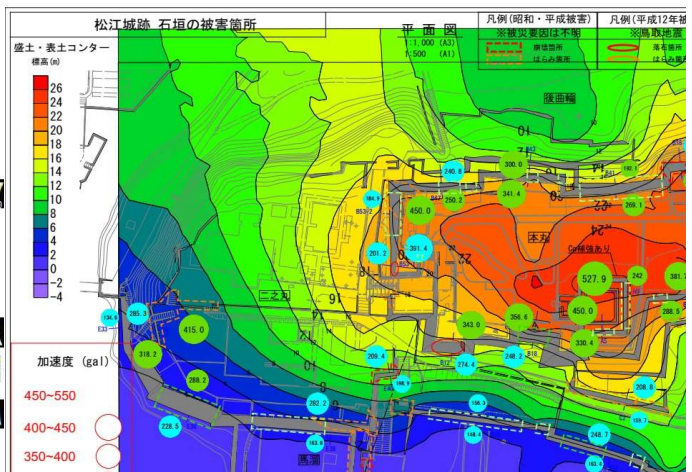


図-8 全石垣の上部・下部の最大加速度分布図