

# 高松城石垣のひずみ計測

近世城郭石垣，ひずみ計測，変形

関西地盤環境研究センター	西田一彦
高松市教育委員会	大嶋和則
中村石材工業(株)	西川禎亮
○ 中村石材工業(株)	北園和憲
大阪産業大学	玉野富雄
大阪産業大学	金岡正信

## 1. はじめに

近世城郭石垣の力学安定状態は、石垣の三次元形状、石垣石の大きさと控え長さ、石垣石間の接面の状態、など一事例ごとに大きく異なることから、外面からの形状変化の測定に加えてより客観的手法としての力学的評価法の開発が求められている<sup>1)・2)</sup>。本報告では、ひずみ計測による力学安定状態の検討事例として、高松城天主石垣再築のための解体時を利用して行ったひずみ計測結果とその力学の検討結果について示す。

## 2. 解体前の高松城石垣

高松城天主石垣の解体前の状態の概観説明図を図-1示す。図-2に北面・東面・南面の外観図を示す。図-3に各面における断面形状と“はらみ出し指数”<sup>1)・2)</sup>を示す。北面，東面，および南面の中央断面付近のはらみ出し指数は、それぞれ北面8，東面12，南面10であり、地震時などでの崩壊の危険性の大きい石垣と評価される。なお，図中に示す石垣断面の変状前の形状は後藤家文書による方法<sup>2)</sup>で推定した。石垣石は花崗岩，安山岩などである。石垣外周辺部の地盤はN値10程度の砂質土層である。

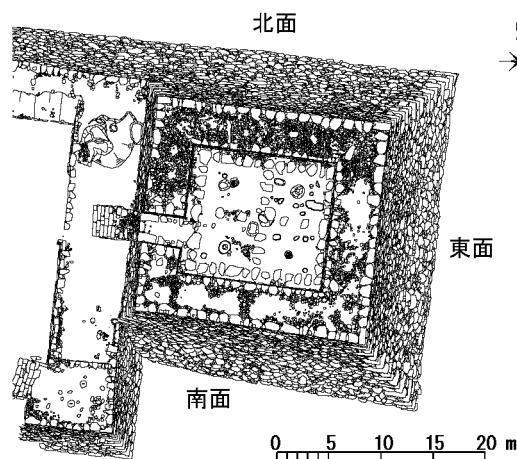


図-1 高松城天主石垣の解体前の概観説明図

## 3. ひずみ測定結果と考察

### 3.1 ひずみ測定法および設置位置の選択

ひずみ測定は、南面，北面，および東面の石垣面で行った。ひずみゲージは未風化で均質な岩質の花崗岩を選び，設置位置は南面と北面は算木積み部と平石部中央断面部で東面は平石部中央断面部である。ゲージ設置石垣石は石垣天端より8m～9m（上部ひずみ計測位置と呼ぶ）で石垣変状が見られない部分と10m～11m（下部ひずみ計測位置と呼ぶ）で石垣変状が著しい部分より選択した。各面でのひずみゲージ設置位置を図-2中に示す。使用したひずみゲージは，3方向のひずみの測定ができるロゼットゲージであり，全方向の各種ひずみを算定できる。本報告では平石部の鉛直方向ひずみ $\epsilon_1$ と水平方向ひずみ $\epsilon_2$ および算木積み部の石垣石接面に垂直方向ひずみ $\epsilon_1$ と平行方向ひずみ $\epsilon_2$ より石垣の力学状態を考察する。なお，石垣石表面の温度（被覆熱伝対による計測）はひずみゲージ設置近傍で計測した。

### 3.2 ひずみ温度補正とひずみ測定結果

ひずみ温度補正係数は，石垣解体の各施工段階ですべてのひずみゲージに対して求めた。図-4に石垣解体の施工プロセスとひずみ温度補正係数・石垣表面温度・ひずみ変化の事例をS-H-2測点について例示する。温度およびひずみ計測値は午前5時の値で整理した。ひずみ温度補正係数は，まず石垣解体作業の行われていない施工段階で午前5時での計測値でもとめ，それをもとに石垣高さとの関係を求めた。解体前のひずみは，“Strain Release Technique”の原理より，解放ひずみである引張りひずみを圧縮ひずみとして読み替えることで評価できる。

### 3.3 考察

図-2 および図-3中に石垣解体前の $\epsilon_1$ と $\epsilon_2$ を示す。なお，高松城天主石垣の“石垣構造比（石垣上辺長さ / 石垣

高さ)は2程度であり三次元力学効果を期待できる石垣形状である<sup>2)</sup>。外見よりの観察で石垣変状がみられない上部ひずみ計測位置と石垣変状の生じている下部ひずみ計測位置での石垣解体前のひずみ計測値を比較すると次のようである。

上部ひずみ計測位置では下部ひずみ計測位置に比べ $\epsilon_1$ と $\epsilon_2$ とも大きい圧縮ひずみであり、特に $\epsilon_2$ が大きいのが特徴である。それに対し、下部ひずみ計測位置では $\epsilon_1$ と $\epsilon_2$ が同じ程度の値で上部ひずみ計測位置と比べて小さい圧縮ひずみであり、特に $\epsilon_2$ が小さいのが特徴である。

これらのひずみ計測値の性状より、上部ひずみ計測位置では、三次元力学効果が生じているのに対して、下部ひずみ計測位置ではそれがみられないことが読み取れる。 $\epsilon_2$ に石垣面での連続体としての強固さ、すなわち横方向への力の流れが生じる三次元力学効果が数値として現れている。また、外面からの石垣変状調査から、隅角部である算木積み部の下部部分が平石部から離れるようにズレ、三次元力学効果がなくなり、その結果として平石部の下部がはらみ出したと判断できる。これらの現象はひずみ計測結果と符合する。

#### 4. まとめ

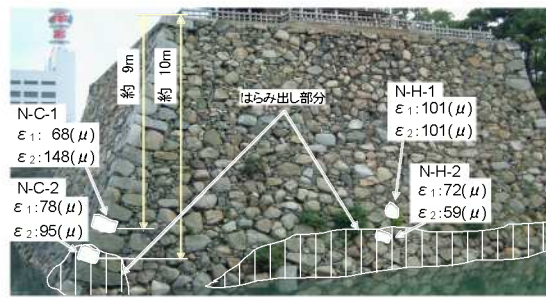
高松城天主石垣の解体時を利用してひずみ測定による力学計測を行った。ひずみ計測結果より、高松城天主石垣の解体前の力学安定状態は、三次元力学効果のない不安定な状態にあることが数値的に評価できた。

#### 参考文献

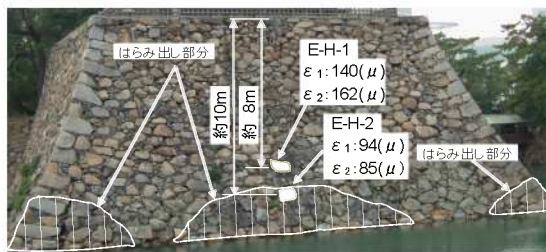
- 1) 玉野富雄, B. Shrestha, 西田一彦, 西形達明: 近世城郭石垣再築時の力学計測, 土と基礎, Vol. 55, No. 6, pp. 38-41, 2004. 6
- 2) K. Nishida, T. Tamano, H. Morimoto, B. Shrestha: Geotechnical Aspect of Japanese Castle Masonry Wall and Mechanical Analysis for its Preservation, Proceedings of the 16th International Conference on SMGE, pp. 2769-2772, 2005. 9

#### 謝辞

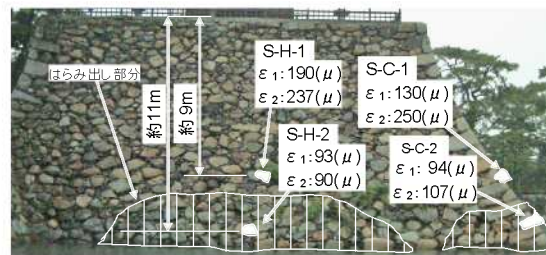
ひずみ計測に際しご指導をいただきました文化庁文化財部記念物課調査官本中眞氏に記して御礼を申し上げます。



北面



東面



南面

図-2 解体前の各面の外観

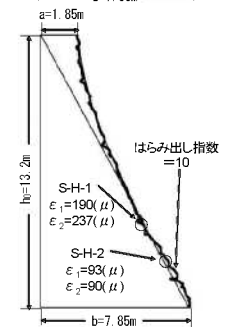
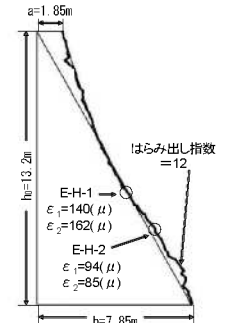
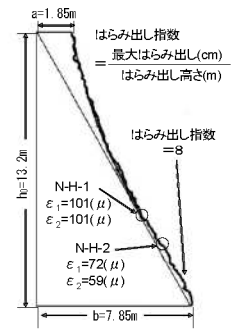


図-3 石垣断面の変状 (図-2に示す中央断面付近)

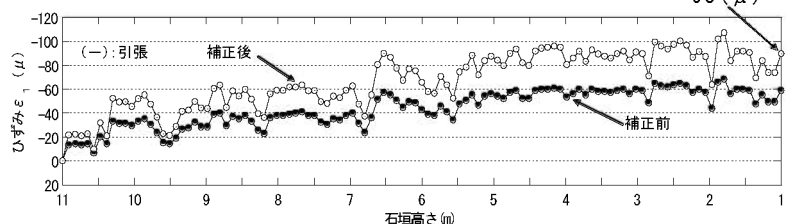
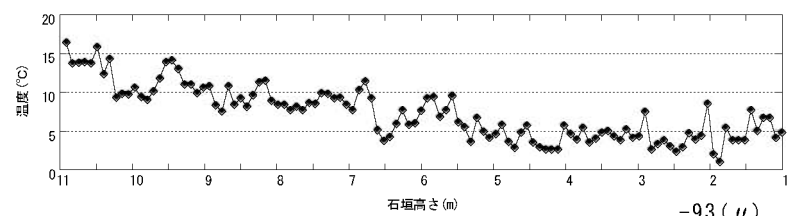
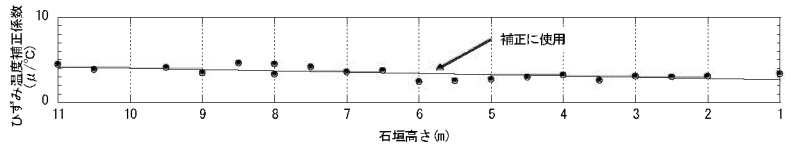


図-4 施工プロセスとひずみ温度補正係数・石垣温度・ひずみの関係 (S-H-2 測点の事例)