

高松城城郭石垣補修工事における築石のひずみ計測による安定性評価

ハザマ 正会員○山本浩之, 正会員 笠 博義, 西山秀哉
 関西大学 正会員 西形達明
 関西地盤環境研究センター 正会員 西田一彦
 高松市教育委員会 大嶋和則

1. 目的

伝統構造物である城郭石垣の解体・積み直し工事中の安定性は、不定形な築石を空積みした構造物であることから、現在の基準などにしたがった評価が困難であり、これまでは主に歴史分野の専門家を中心とした経験的な評価に頼っていたのが実状である。このような状況において、近年では実験的に丸亀城の解体・積み直し工事や高松城の解体工事において、築石にひずみゲージを設置し石材に発生するひずみを測定することで、施工中の石垣の安定性評価が試行されている^{1), 2)}。この計測により、築石に作用するひずみと上載荷重との関係が明確になることで、今後石垣の力学的挙動を評価する一指標となる可能性がある。

今回、高松城の積み直し工事において、上述した高松城の解体工事時と同手法で、築石にひずみゲージを設置しひずみの変化を計測し、補修工事中の定量的な安定性評価手法について考察したので報告する。

2. 築石のひずみ計測方法

高松城（1588 築城）の石垣は、天然石を積み上げる「野面積み」と呼ばれる技法により構築されており、根石からの直高は約 15m である。岩種は主に花崗岩が使用されている。2009 年 3 月まで行なわれた解体工事後、築造当初の形状への積み直し工事が 2012 年 3 月まで行なわれた。ひずみ計測は、積み直し工事時に天守台石垣の築石 10 箇所（図-1）にひずみゲージを設置し、工事完了までの約 1.5 年間実施した。計測位置図を図-1、状況写真を写真-1、2 に計測機器一覧表を表-1 に示す。なお使用したひずみゲージは、3 軸型ロゼット型（引張＋、圧縮－）とし、計測精度を向上させるためゲージ長 30mm とした。また、計測対象の築石に熱電対を設置し、温度計測も合わせて実施した。

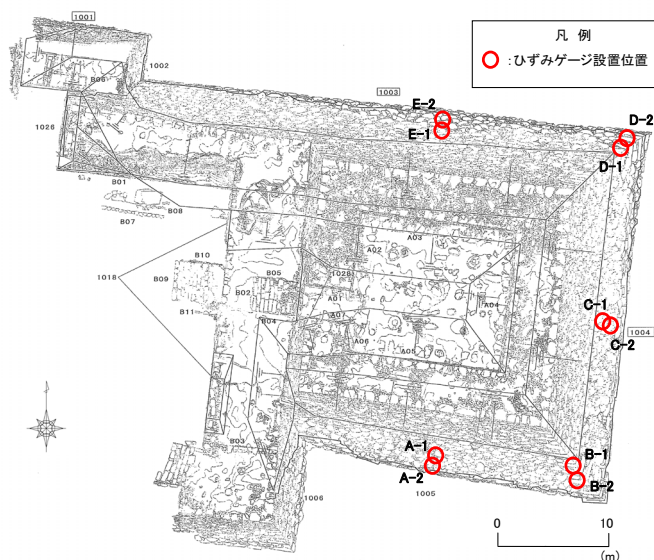


図-1 高松城天守台平面図

表-1 計測機器一覧表

項目	計器名	形式	数量	備考
ひずみ計測	ひずみゲージ	SKF-21329	10 枚	ゲージ長 30mm
温度計測	熱電対	K-HVVF	10 箇所	K タイプ
データ集約	データロガ	TDS-302	1 台	処理器
	スイッチボックス	ASW-50C	1 台	



写真-1 城郭石垣全景（積み直し状況）

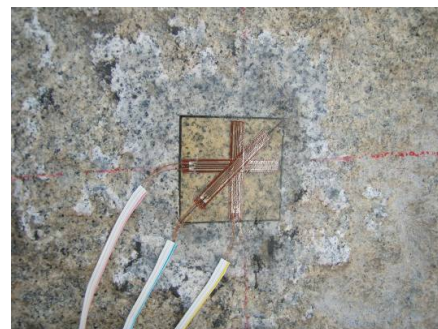


写真-2 ひずみゲージ設置状況

キーワード 城郭石垣, ひずみゲージ, ひずみ, 安定性評価

連絡先 〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5 TEL : 03-3588-5770, FAX : 03-3588-5755

3. 計測結果

石垣の積み直し工事時における築石のひずみ（鉛直方向）の経時変化について、測定期間において欠測がなく連続的に結果が得られた石垣平面部の上部に設置した A-1 点の計測値と下部に設置した C-2 点の計測値を図-2 に示す。また、温度補正に使用した温度とひずみとの関係を図-3 に示す。なお温度補正は、上載荷重が一定となる石垣施工高さが同じ期間において、温度上昇および下降時ごと（4 期間）に温度とひずみとの関係式を求め、温度影響による計測誤差を極力小さくすることとした。図-2 より、石垣施工高さが大きくなるにつれて、ひずみ（鉛直方向）が概ね圧縮傾向で増加している。具体的には、最終値で A-1 点は -38μ 、C-2 点は -45μ 程度を示す。すなわち、石垣を積み上げることにより、微小ながら圧縮傾向の応力が築石に作用していることがわかった。このことは、高松城の石垣解体時に 100μ 程度の引張ひずみが発生していること²⁾とも整合するものであり、このような築石のひずみ計測が、城郭石垣の補修工事中の安定性評価に適用できる可能性があることを示している。

4. まとめと今後の課題

今回、石垣の積み直し工事時における築石のひずみ（鉛直方向）を計測し、安定性評価の指標としての可能性が示唆されたが、三軸方向のひずみや応力方向についても検討を進める必要がある。加えて、解放面が多い隅角部に設置したひずみゲージについては、複雑な挙動を示す結果が得られており、不均質で天然石を使用した「野面積み」でのゲージの取り付け方法などとともに、計測・データ解釈においてもさらなる検証が必要である。

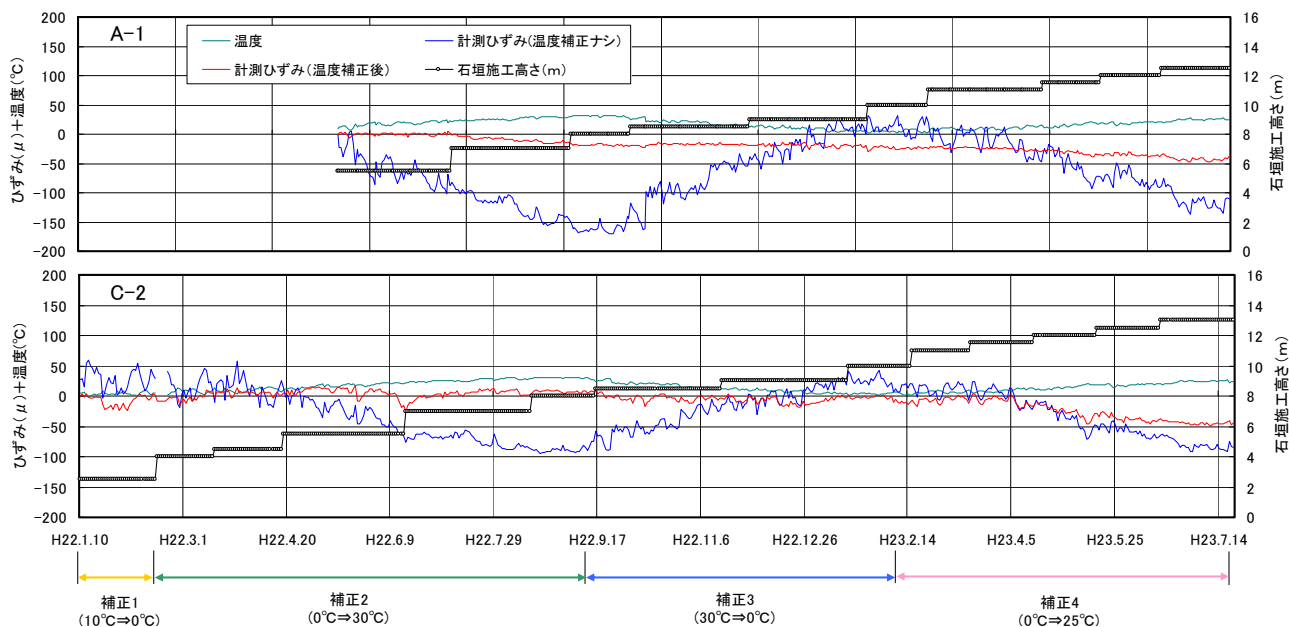


図-2 石垣施工高さの変化に伴うひずみ（鉛直方向）の経時変化

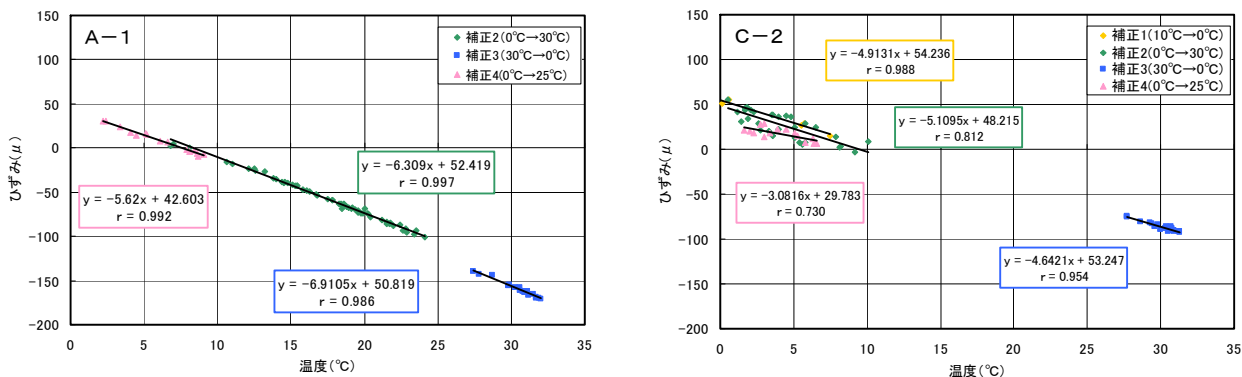


図-3 温度補正に使用した温度とひずみとの関係

参考文献 1)玉野富雄, Bimal Shrestha, 西田一彦, 西形達明: 近世城郭石垣再構築時の力学計測, 土と基礎, Vol.52, No.6, pp.38-41, 2004. 2)西田一彦, 大嶋和則, 玉野富雄, 金岡正信, 北園和憲, 山中稔, 白石建: 高松城天守台解体時の力学調査と保全工法, 土木学会土木史研究講演集, Vol.29, pp.235-242, 2009.