

常時微動測定による高松城天守台石垣修復による振動特性の変化

香川大学大学院 学生員○池田 敦 香川大学工学部 正会員 山中 稔
四国総合研究所 正会員 斎藤章彦 香川大学工学部 正会員 長谷川修一

1. はじめに

高松城の天守台石垣は築城から約 420 年経過しているが、その間に大規模な修復が行われておらず、老朽化による石材の風化や地震の影響等によるはらみだしや石材のずれ・抜けといった現象が発生していることから、天守台石垣が崩れる危険性があった。このことから、天守台石垣の解体修復工事が計画され、平成 18 年（2008 年）より天守台石垣の解体修復工事が開始された。解体修復工事の天守台石垣の積み直し作業は、平成 23 年（2011 年）の 12 月に終了している。著者らは、この解体修復工事に伴って各種の地盤調査や石垣の安定性評価に関する研究を実施してきた¹⁾。これまでの研究の成果として、解体修復工事に先がけて天守台での常時微動測定を実施した結果、石垣の変状が大きい箇所での卓越周波数が小さくなる傾向が得られた²⁾。本研究では、石垣の維持管理における健全性調査の手法を提案するため、解体修復工事後の天守台石垣を対象とした常時微動測定を実施し、修復前後での天守台の変状に対する振動特性の変化を把握することで、修復に伴う石垣の健全性評価を試みたので、その概要を報告する。

2. 常時微動測定の概要

図-1 に、天守台上での常時微動の測定箇所を示す。測定箇所数は、盛土部で 5 箇所と石垣上部で 6 箇所の計 11 箇所である。常時微動測定には、サーボ型速度計(VSE-15D)と携帯型記録計(SPC-35N)を使用した。速度計は、固有振動数 1Hz, 0.3~30Hz でフラットな利得特性を示す。各測点においてサンプリング周波数 100Hz で 5 分間の測定を 2 回実施した。測定波形の中からノイズの少ない 40.96 秒間のデータを 5 個取り出し、成分ごとのフーリエスペクトルを求めた。さらに、水平上下フーリエスペクトル比(H/V スペクトル比)を求めた。なお、スペクトルはバンド幅 0.3Hz の Parzen ウィンドウにより平滑化を行った。

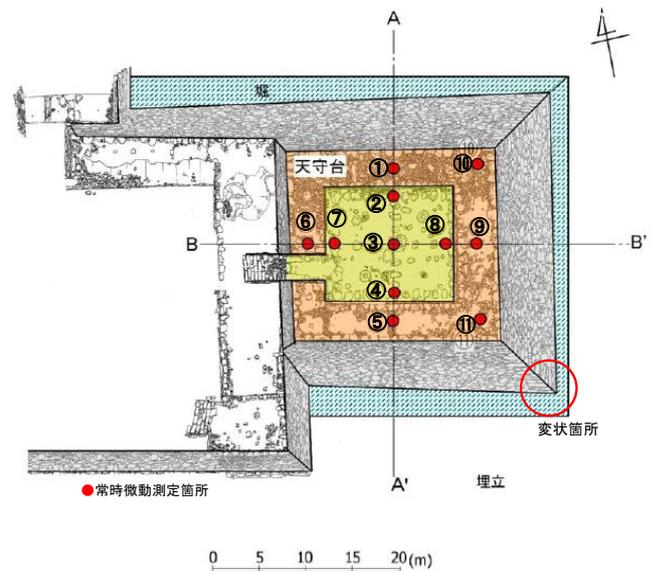


図-1 天守台上面での常時微動測定箇所

3. 測定結果および考察

1) 微動 H/V スペクトル比

図-2 に、修復前の盛土部③、北側石垣①および東側石垣⑨における H/V スペクトル比を示す。修復前のスペクトル比をみると、共通して 0.8Hz および 2Hz 前後に明瞭なピークが認められる。これらのピークは天守台周辺の埋立地盤でも同様に見られることから、これが基礎地盤の卓越周波数に対応するものと考えられる。しかし、これより高周波数側では、天守台盛土と石垣では形状がやや異なっている。すなわち、天守台盛土部で概ね 5Hz に、石垣部では 5Hz, 8Hz 付近にピークが見られることから、天守台盛土の卓越周波数は 5Hz 程度、石垣部の卓越周波数は 8Hz 程度と考えられる。この周波数帯域では、いずれも石垣直交方向の振動が卓越している。石垣で卓越周波数がやや高くなっているのは、裏込め材として玉石や礫が使用されており、盛土との剛性の違いの影響が考えられる。

石垣部でのピーク周波数を詳細に見ると、北側石垣①では約 8Hz、東側石垣⑨では約 5Hz が卓越していることが読み取れる。東側石垣で卓越周波数が小さい理由としては、石垣下部ではらみだしが見られ、詰石のぬけやずれなどにより、他の面に比べてゆるみが大きくなっていることが考えられる。

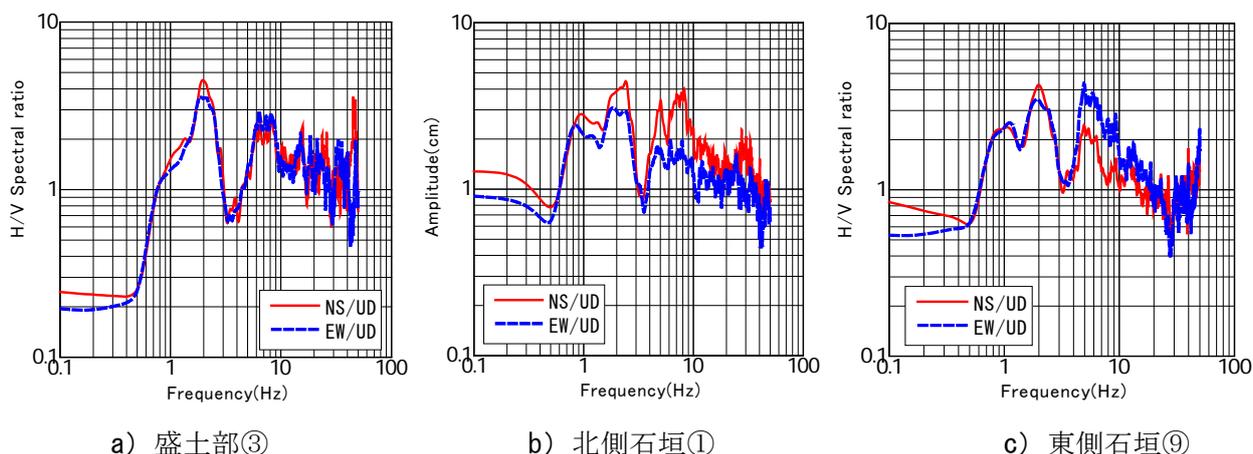


図-2 修復前の天守台における H/V スペクトル比

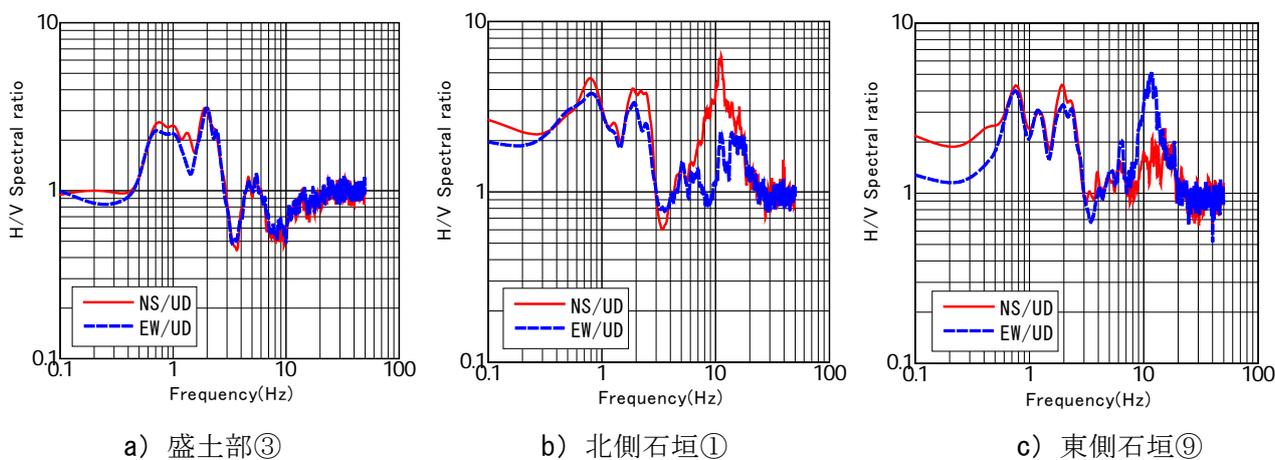


図-3 修復後の天守台における H/V スペクトル比

2) 修復前後での振動特性の比較

図-3に、解体修復工事後の天守台におけるH/Vスペクトル比を示す。修復後のスペクトル比は、天守台盛土部では、修復前と同様、0.8Hz、2Hzおよび5Hz付近に明瞭なピークが見られる。ただし、5Hz付近のピークは修復前に比べて小さくなっている。一方、石垣部では、0.8Hzおよび2Hzの明瞭なピークとともに、10Hz付近にも明瞭なピークが見られる。

修復前の石垣部でのH/Vスペクトル比を見ると、卓越周波数は東側⑨以外では8~9Hz程度であるが、東側⑨では5Hz程度と卓越周波数が小さい。修復後には東側⑨の卓越周波数が10Hz程度と高周波数側へ移行している。また、修復前に変状が見られた南東角⑩でも10Hz程度にピークが認められることから、修復により石垣の剛性が高まったことが考えられる。

4. まとめ

本研究により、石垣解体修復工事による修復効果を剛性の向上という側面から評価することができた。本手法は城郭石垣の健全性評価につながるものと考えている。

本研究を進めるにあたり、調査に多大な便宜を図って頂いた高松市教育委員会の大嶋和則氏および高山拓氏、株式会社間組の西山秀哉氏に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 山中 稔：高松城及び屋嶋城の石垣盛土構造物の調査研究，平成21年度地域貢献推進経費による研究報告書，香川大学，pp. 1-10, 2010. 3.
- 2) 斎藤章彦，山中 稔，長谷川修一，石川照久：高松城天守台石垣の振動特性について，平成21年度土木学会四国支部第15回技術研究発表会講演概要集，pp. 149-150, 2009. 5.