

CS-52

城郭石垣の変遷と安定性判定手法の比較検討

(株)第一コンサルタンツ	正 会 員	田中 邦熙*
日 本 大 学 理 工 学 部	フェロー会員	新谷 洋二**
日 本 大 学 理 工 学 部	フェロー会員	山田 清臣***

1. はじめに

我が国の城郭石垣といえば一般に織豊期以降近世のものを考えがちで、その大きさや技術力に感嘆する。しかし古墳時代の石室石棺から古代山城の石垣、中世の山城を経て近世城郭に至る石を加工し石積みする技術は、近世城郭の石垣にどのように伝承され変遷していったかは必ずしも明らかにされていない。そしてこれらの史的にも価値が高い城郭石垣の多くは老朽化が著しい。これらを修復保存するためにも、その安定性を客観的かつ簡便に判定する手法の開発が望まれる。しかし石垣は複雑な構成を成していて、その安定性を理論的に解明することはかなり困難で、研究報告も非常に少ない。本文は石垣変遷を文献調査・現地踏査した結果をとりまとめた。そして現在検討中の手法も含めて今までに試みられてきた安定性判定手法を説明し、歴史的な石垣に適用してそれらの手法を比較検討した結果をとりまとめた。

2. 石垣変遷^{1), 2), 3)}

6世紀には百済の亡命貴族が指導して、金田城(対馬)大野城(太宰府)鬼ノ城(岡山 写真-1)等の朝鮮式古代山城が築かれたことが「日本書紀」にも明記されている。これらには規模的にも技術的にも非常にすばらしい石垣が構築されている。しかし近世の縄張りや矩・反り等の石垣法式に関する意識は全くなく、我が国の城としての系譜は認められない。なお中国東北地方～朝鮮北部には紀元前後に成立したといわれる高句麗国が5世紀頃まで栄えていて、日本の古代国家の形成期に直接間接的影響を及ぼした。この地方には数多くの都城や山城(写真-2)が築かれ、加工度の高い楔型石材を使用した石積みも構築され、これらの石積み技術が日本に伝来し影響を与えたことは間違いないと考えられる。

しかし中世に入ると、政治的不安定もあり、数万ともいわれる山城が随所に築かれたが、これらは土塁が大半で石垣はほとんど認められない。ほぼ1,000年間城郭石垣は忘れられていた。ただし社寺の礎石工、墓石灯籠石臼等を造る石工そして干拓工事や波止場の構築に従事した石工などにより石を加工する技術は伝承されていた。

織豊期に入ると経済力に裏付けされた政治的軍事的要求から権威の象徴としての高石垣が盛んに築かれるようになり、関ヶ原以降の近世には数多くの近世城郭が築かれた。

この時期に石積み技術も法式が確立し、粗～精加工の規格石材を大量に用い、隅角部には算木積みをを用いた高石垣が築かれた。数10年という短期間に日本独自の文化といえる石垣技術が完成したと結論される。

キーワード：城郭石垣、石積み技術、安定性判定手法、間詰部材、FEM

* 〒167-0051 東京都杉並区荻窪5-22-1 TEL 03-3393-4526 FAX 03-3391-3503

** 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-8 TEL&FAX 03-3259-0679 *** TEL&FAX 03-3259-0667



写真-1 鬼ノ城石垣 (撮影：田中，1997)



写真-2 中国得利寺山城石垣 (撮影：服部，1996)

ただし石垣勾配などについては軍学の立場から山鹿素行や荻生徂来等により研究され、また19世紀に加賀前田家の穴太後藤彦三郎により取りまとめられた石垣に関する秘伝書「後藤家文書」にも現代の工学との定量的な接点はない。

3. 石垣の安定性判定手法¹⁾

各種安定性判定手法の概要を以下に示す。

④法 築城時の石積み技術水準から当初の勾配を推定し、現時点の測定値と比較して変位量を推定する。

⑦*法⁴⁾ もたれ擁壁設計法を準用した応力および示力線位置により判定する。

⑫*法⁵⁾ 石垣断面の形状寸法、石垣石の大きさ・積み方等から石垣部の換算 c_R 、 ϕ_R を求め、円弧すべり法を用いて安定解析する。

⑩法 石垣高さとし垣構築比 (辺長/高さ) との関係を図化し、安定度上限曲線により判定する。

⑩*法^{1), 5)} 石垣地点の地形地質、石垣仕様、変状現況、被災履歴等について採点し判定する。

③法²⁾ 伸縮計・傾斜計等による動態観測結果を解析し判定する。

⑥法 現場実験、室内実験を行って解析判定する。

⑪*法⁵⁾ 石垣安定に関する数値実験結果を統計処理して導いた直交多項式により判定する。

⑪*法⁴⁾ 石垣の安定性を低減させる要因を石積み技術と石垣仕様から7項目抽出し、これらを係数化して相乗した石垣係数 F 値により比較判定する。

⑭*法⁶⁾ 石垣の安定性は間詰状態により決定されると考え、仮想の間詰部材に関する5種類の物理工學定数を推定して、これらを相乗した間詰係数 M 値により比較判定する。

⑧法⁶⁾ 石垣断面解析に FEM を適用するもので、石垣石間に間詰部材を挟在させかつ異なる材料間にジョイント要素を用い、これらの諸定数を逆解析的検討結果から経験的な値として想定した。実在石垣に適用したところ、その変位状態等を定量的に表現できるようになった。

⑨法 DEM 手法により石垣の挙動を時間領域で動的に追跡するもので、地震解析に有効である。

4. 実在石垣への適用事例と判定手法の比較検討

上述12手法のうち、簡便性等の面から*を付した6手法を用いて、歴史的な石垣10断面に適用して安定性を判定した事例を図-1に示す。ある手法で安定性が高いと判定されれば残りの手法も同様の結果になる傾向がかなり明確に伺われる。今後実用に当たっては、⑩法で石垣カルテとして現況を整理し、⑫法で土性値等を吟味し、さらに⑦法で応力チェック、⑭または⑪法で石垣の仕様、技術レベル等からの判定を行って総合判定する手順を用いることが望ましいと考えられる。なお上述の手法は多くの仮定の上に導かれたもので、提案式の改良、判定結果の定量的意味付け等さらに検討を進めていく所存である。

<参考文献>

1. 田中邦熙・新谷洋二・山田清臣：石垣の安定性に関する各種の判定手法の比較検討，土木史研究 No.18，1998.6
2. 田中邦熙・新谷洋二：日本の城郭石垣の変遷と現状，土木学会論文集 No.576/IV-37，1997.10
3. 田中邦熙・新谷洋二：古代山城から中世・近世城郭に至る石積み技術の変遷，土木学会論文集 (投稿中)
4. 田中邦熙・新谷洋二・山田清臣：城郭石垣の石積み技術、形状寸法等からみた安定性評価事例，土木学会論文集 (投稿中)
5. 田中邦熙・山田清臣：石積み擁壁の安定性評価法，土木学会論文集 No.541/III-35，1996.6
6. 田中邦熙・新谷洋二・山田清臣：石垣断面解析に FEM を適用するための間詰部の考え方と解析事例，土木史研究 No.18，1998.6

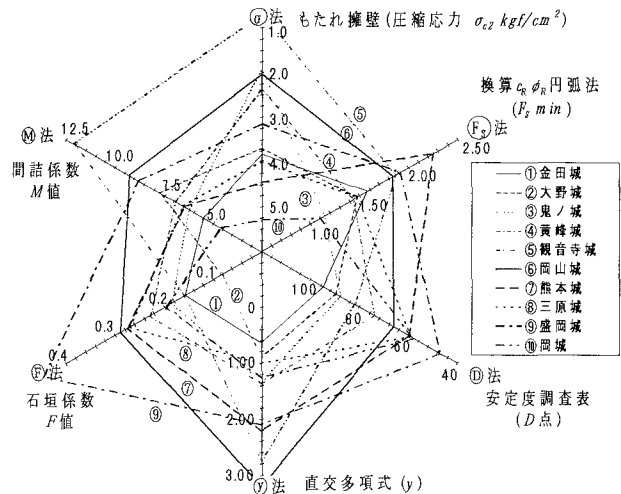


図-1 各種手法による石垣の安定性判定結果比較図