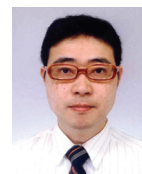


文化財城郭石垣の工学的特性と安定性評価手法に関する研究

A Study on Engineering Characteristics and Method for Evaluating Stability
of Japanese Castle Masonry Walls



山本浩之 Hiroyuki YAMAMOTO *

要 旨

本論文では、文化財としての城郭石垣の工学的特性と安定性評価手法に関する研究結果を示した。

我が国には城郭石垣が多数現存しており、こうした石垣は文化財的な側面において非常に高い価値を有すると同時に建築構造物の基礎としての機能も持っている。このような石垣の中には、構築後約400年以上経過し、多くの地震の影響を受けているにも拘わらず、高さ20m以上で平均勾配60°程度を有するものもある。これらの石垣は人工斜面として優れた安定性を持つものと考えられるが、不連続体である石垣としての安定性のメカニズムは解明されていない部分が多い。

また、現存する多くの城跡は史跡や公園として多数の人々が訪れる場となっていることから、その安全性を正しく評価し、適切な維持管理を行なっていくことが重要となる。しかし、老朽化して不安定化が進行した城郭石垣は、文化財保護の観点から現場での実験や損傷を伴う調査に制約があり、工学的観点からの力学的な安定性評価が難しく、経験的手法による評価が行われることが多い。

このような背景において、本研究では、城郭石垣の現状を整理するとともに、将来に渡り城郭石垣を維持・管理し、歴史的な文化財として保存していくことを目的に、工学的特性の解明および安定性評価手法の提案について検討した。

各章の概要は次の通りである。

第1章は、我が国の城郭石垣の現状についてその概要を示した。すなわち、城郭石垣の構造としての歴史的発達があり、「野面積み」、「打込みはぎ」、「切込みはぎ」として分類され、それらは築城以来400年以上経過して損傷・崩壊の危険性を有しているものが近年急増していることを事例的に整理して紹介している。

第2章は、城郭石垣の健全性調査、安定性評価技術および安定性に関する実験・計測について文献調査などによって研究動向を整理し、本研究との位置付けを明らかにした。

第3章は、城郭石垣の構造特性に大きな影響を与える要因としての石材間の摩擦特性に関する実験結果と理論的検討結果について報告している。

第4章は、大型三軸振動台を用いて実物大石垣の動的実験を実施した結果とその解析結果について報告している。

第5章は、韓国南東部に現存する日本の諸大名によって築かれた5つの倭城の構造や変状を調査し、地震発生事情が異なる我国の石垣と比較することによって、地震が城郭石垣に与える影響を考察した。

第6章は、城郭石垣の安定性評価に関して、DEM解析手法を適用することの妥当性について検討した結果を報告している。第4章で実施した実物大モデル実験を対象としたDEM解析と実際の2つの城郭石垣（吉田城、名古屋城）を対象としたDEM解析を試みた。

第7章は、城郭石垣の遠心載荷実験を実施して、安定性検討手法における寸法効果の妥当性について検討した結果を報告している。

第8章は、本研究結果および既往の研究などをもとに、工学的アプローチによる文化財としての城郭石垣保存の「健全性調査」から「維持・管理」段階までをフローとして整理した。そのフローの中で、「数値解析による安定性評価」を着目し、第1～7章までの研究成果に基づき、城郭石垣の工学的特性の解明と安定性評価手法の提案について考察した。

最後に**第9章**では、各章で得られた結果をまとめて結論とした。

キーワード：城郭石垣、動的挙動、個別要素法解析、孕み出し指数、安定性評価

* 土木設計部

Summary

The results of a study on engineering characteristics and method for evaluating stability of Japanese castle masonry walls as cultural assets are explained in this research paper. Japan has currently numerous castle masonry walls and such masonry walls have high values as cultural assets as well as being foundations of architectural structures. Some of the masonry walls has survived a number of earthquakes and still maintain heights of 20m at an average slope of approximately 60°. As man-made slopes these masonry walls are believed to maintain high stability; however the mechanism of the stability of masonry walls as discontinuous structures has not been completely understood.

Also, since many of the existing castle ruins have become parks and are visited by large numbers of people, it is important to properly evaluate their safety and implement appropriate maintenance and management. However, even though castle masonry walls are becoming older and more unstable, as cultural assets there are restrictions on conducting on-site experiments and examinations which may cause damage to the structures. Since it is difficult to evaluate their mechanical stability from an engineering standpoint, empirical methods are used for the evaluations in many cases.

Because of these factors, in this study we have discussed the analysis of engineering characteristics and methods of stability evaluation for the purpose of maintenance and management of the castle masonry walls down the line and their preservation as historical assets by understanding the current situation of such castle masonry walls.

The following are the summaries of each chapter.

Chapter 1: The summary of current conditions of the castle masonry walls in our country. The categories of historical development of castle masonry wall construction are: "Natural Face Masonry", "Pounded and Inserted Masonry" and "Cut Inserted Masonry". In recent years, rapidly increasing numbers of castle masonry walls are exhibiting higher risk of deterioration and collapse 400 years after their original construction.

Chapter 2: Recent research trends were determined through the review of reports including stress tests of castle masonry walls, stability evaluation technology, and experiments or measurements of stability.

Chapter 3: Report over the result of experiments related to friction characteristics of the stones as a major influential factor in the structural characteristic of castle masonry wall, and the conclusion from its theoretical considerations.

Chapter 4: The report includes the result of the dynamic experiment on full scale masonry walls using a large scale triaxial shaking table and the result of its analysis.

Chapter 5: Study was conducted on the structure and deformation of the existing Japanese castles in the South East region of Korea which was originally built by Japanese feudal lords.

Chapter 6: Result of consideration of adequacy for applying DEM analysis method to the stability evaluation of castle masonry walls. DEM analysis was implemented on the experiment referred to in Chapter 4 with a full scale model and on the two existing castle masonry walls (at Yoshida castle and Nagoya castle).

Chapter 7: Report includes the result of the "adequacy of size" effect in the stability evaluation method by implementing the centrifugal loading experiment on castle masonry walls.

Chapter 8: Through an engineering approach based on the result of this study as well as retrospective research, the stages to preserve castle masonry walls as cultural assets, from "Stress Test Research" to "Maintenance and Management", are organized as a flow-chart. The "stability evaluation through numerical analysis" was focused on in the flow-chart; the interpretation of the engineering character of castle masonry walls and the proposal for stability evaluation methods, based on the study result from Chapter 1 to Chapter 7, are outlined in this chapter.

In closing, **Chapter 9** concludes the study based on the result of each chapter.