# 個別要素法を用いた城郭石垣の安定性解析における栗石と地盤部の 入力パラメータの設定に関する一考察

ハザマ 正会員 野間 康隆,西村 毅,山本 浩之,笠 博義関西大学 正会員 西形 達明

#### 1.はじめに

国内に現存する城郭石垣の多くは文化財的価値を有し,保存のための維持管理が求められている.この際, 現存する城郭石垣の安定性を検証することが重要となる.ここで,石垣の安定性に関する評価手法の一つとし て,不連続体解析が挙げられる.中でも粒状体個別要素法<sup>1)</sup>は,石垣の構成材である築石,栗石,地盤を粒状 体とみなし石垣の挙動を解析できることから,筆者らは個別要素法による安定性解析の適用性について検討し てきた<sup>2)</sup>.しかし,この手法における入力パラメータの設定に関して,まだ不明な点が多いのが現状である.

本研究では,個別要素法における入力パラメータとモデルの内部摩擦角および粘着力との関連性を検討した. 入力パラメータの設定根拠を明示することは,石垣の安定性解析の信頼性の向上に資するものと考えられる.

#### 2. 栗石と地盤部の入力パラメータの設定方法

城郭石垣における栗石と地盤部の安定性に関するパラメータとして,内部摩擦角および粘着力が挙げられる. 一方,個別要素法における内部摩擦角や粘着力と関連性の高い入力パラメータは,粒子間摩擦係数および粒子 間粘着力とされる.しかし,これらの実験的に得られるパラメータと個別要素法における入力パラメータとの 関係は明確ではない.そこで,両者の関係を明らかにするためには,仮想的な二軸圧縮試験のシミュレーショ ン<sup>3)</sup>を実施することが有効となる.二軸圧縮試験のシミュレーションとは,粒子間摩擦係数および粒子間粘着 力を付与した個別要素の集合体モデルを作成し,相異なる側圧に対する圧縮強さを求めることである.これら 解析結果より,描かれる複数のモールの応力円の包絡線から内部摩擦角ならびに粘着力を読み取ることで,材 料試験結果と入力パラメータを関連付けることができる.

#### 3.解析概要

図 - 1 に,解析で使用する栗石と地盤の要素寸法・形状を示す.既往の研究<sup>3)</sup>によれば,円形要素を使用した二軸圧縮試験のシミュレーションでは,入力パラメータを増加させても内部摩擦角が35°以上にならない. 一方,実際の栗石は内部摩擦角(安息角)40°以上を有しているとされる<sup>4)</sup>.ここで,この問題を解決するため, 栗石として要素間の物理的な噛み合わせ作用が期待できる土星形状の要素を使用することにした.図-2 に, 二軸圧縮試験のシミュレーションのモデル図(長方形,幅:高さ比=1:2)を示す.また,スケール効果を考慮 し,要素径とモデル寸法の比率を一定に設けた(最大要素径:モデル高さ比=1:25).なお,側圧は,100,200, 300 kN/m<sup>2</sup>と変化させた.表-1 には,解析中でパラメトリックに変化させる粒子間摩擦係数および粒子間粘 着力を示している.また,表-2 には,その他の解析条件を示す.





-323-



図 - 4 二軸圧縮試験のシミュレーション結果 (地盤, 円形形状: 要素径 25~50 mm)

### 4.解析結果

図 - 3,4 に,栗石と地盤の二軸圧縮試験のシミュレーションより得られた粒子間摩擦係数と内部摩擦角との関係,粒子間粘着力と粘着力との関係を示す.これらの図より,粒子間摩擦係数および粒子間粘着力が増加 するほど,内部摩擦角ならびに粘着力が増加する傾向が伺える.これにより,解析開始時に想定した要素形状・ 寸法を定め,これらの関係を明らかにすれば,城郭石垣を構成する材料の試験結果を元に,城郭石垣の安定性 解析における入力パラメータを容易に設定することができるものと考えられる.さらに,土星形状の要素を使 用した栗石に関する解析結果では,内部摩擦角が40°以上を示すことが明らかとなり,内部摩擦角が35°以 上の材料でも根拠ある適切な入力パラメータの設定が可能になると思われる.

#### 5.まとめ

1) 想定した形状・寸法を有する要素を用い,粒子間摩擦係数および粒子間粘着力と内部摩擦角,粘着力の関係を明らかにしておけば,城郭石垣の安定性解析において適切な入力パラメータの設定が行える.

2) 要素形状を円形形状から土星形状にすることで,解析モデルの内部摩擦角を 40°以上に増加させることが可能である.

## 参考文献

1) Cundall et al : A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies, Geotechnique, Vol.29, No.1, pp. 47-65, 1979.

2) 笠ら:個別要素法による城郭石垣の安定性解析の試み,土木学会土木史研究論文集, Vol.27, pp. 45-51, 2007.

- 3) 橋本:個別要素法における計算定数の決定に関する研究,関西大学卒業論文,2008.
- 4) 山本ら: 実物大モデルを用いた城郭石垣の地震時挙動の検討, 土木学会論文集C, Vol.66, No.1, pp. 43-57, 2010.