

関西大学 環境都市工学部 ○学生員 井上 貴玄
関西大学 環境都市工学部 正会員 西形 達明

1.初めに

城郭石垣の構造は一般的に、石垣石、裏込め栗石、盛土からなる複合構造物である。これら 3 要素の相互関係により石垣の変形が生じていると考えられる。その中でも栗石は、石垣内部の排水を円滑に行う役目を持っている。しかしながら、この栗石層が排水機能だけでなく、石垣自体の安定性に影響を与えているものと考えられる。そこで、栗石層が石垣構造の地震時変形挙動に与える影響について考察する。

2.基本モデルによる検討

解析には個別要素法 (DEM) を用い、表 1 に示した物性値をもつ 2 次元の要素により図 1 に示す城郭石垣のモデルを作成した。このような基本モデルを作成することにより、基本的なデータを得る。モデル高さ 2.5m の石垣石奥行き 0.6m、栗石層奥行き 0.5m、裏込め土奥行き 2.0m に分けて構成し、地震動 (振動数 3Hz,5Hz, 振動加速度 200gal~800gal,波数 20 波) を作用させて各層の挙動をみた。図 2 は入力加速度と石垣石水平変位量のグラフである。今回は栗石のバネ定数を変化させることで栗石層の剛性が石垣の地震時安定性に及ぼす影響を調べた。

表 1 DEM 解析に用いた物性値

	根石	石垣石	栗石	裏込め土
粒径(mm)	-----	-----	10~50	10~37.5
密度(kN/m ³)	-----	-----	26.5	26.5
Kn,Ks(kN/m)	1×10 ⁶	1×10 ⁶	1×10 ³ ,1×10 ⁴ , 1×10 ⁵ ,1×10 ⁶ , 5×10 ⁵	1×10 ⁶
摩擦係数	3	3	3	1
粒子間の粘着力(kN)	1×10	1×10	1×10	1×10 ²

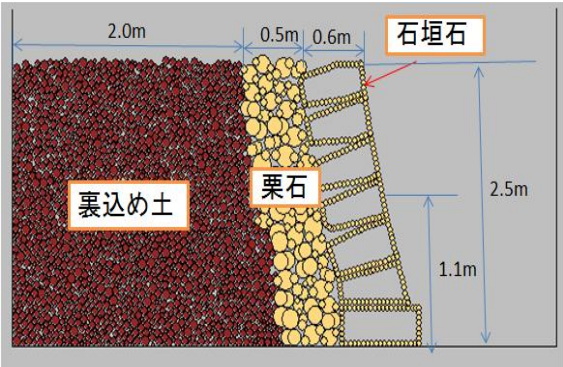


図 1 DEM による石垣モデル図

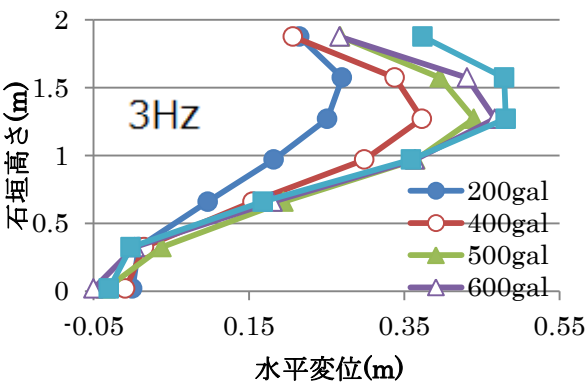


図 2 入力加速度と石垣石水平変位

栗石層のバネ定数を大きくすることは、栗石層の剛性を大きくすることと等価である。ここで栗石要素のバネ定数を接線方向と法線方向に分けて考える。接線方向は栗石層の粒子間せん断特性(Ks)と考えられ、垂直方向のバネ定数は粒子間の剛性(Kn)と考えることができる。そこで図 3 に粒子間せん断特性と最大水平変位の関係図を示し、図 4 に粒子間の剛性と最大水平変位との関係図を示す。図 3 の横軸の RKs は栗石部の Kn を石垣石部の Kn で除したものであり図 4 の横軸の RKn は同様に栗石部の Ks を石垣石部の Ks で除したものである。

図 3 では粒子間せん断特性を表す RK_s が大きくなるほど変位が小さくなっている。この結果は、栗石自体に関して、できるだけ粒子間摩擦力が大きいものを使用する方がよいと考えられる。一方、

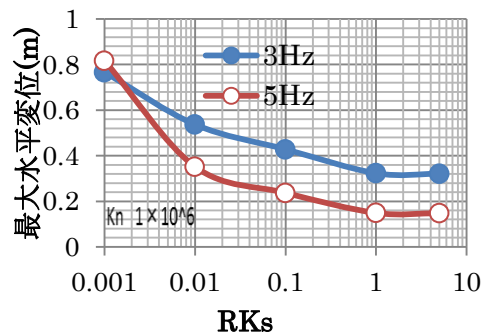


図 3 RK_s と変位量の関係図

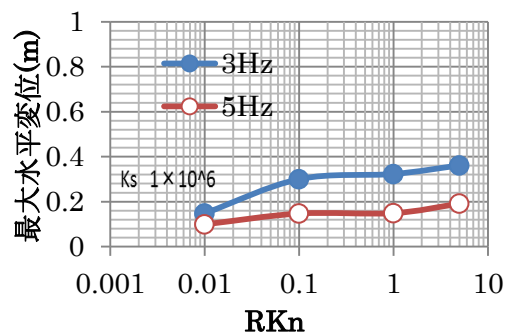


図 4 RKn と変位量の関係図

図 4 では剛性を表す RKn が大きいほど変位が大きくなっている。この結果は、通常構造物は剛性が大きいほど安定性が高まるという考察とは逆の結果となった。これより、栗石層の剛性を小さくすることによって栗石層が石垣構造における地震時の緩衝材の役割を果たしていると考えられる。

3.名古屋城石垣モデルによる検討

図 5 は名古屋城石垣モデルである。背面土層は現地調査の結果から 7 種類の要素で構成されている。基本モデルで得た結

表 2 解析に用いた物性値

	熱田層	火山灰層
$Kn, Ks(kN/m)$	1×10^5	1×10^5
摩擦係数	1	1
粒子間の粘着力 (kN)	2×10^3	2×10^3

果を用い、この名古屋城石垣モデルにおいて、栗石の剛性を変化させることでの影響を考察する。物性値は表 1 の物性値とほぼ同じであるが、熱田層、火山灰層は軟弱土層になっており、表 2 に示すように設定した。地震時では、図 6 で示すように、この軟弱土層部付近で大きく孕み出す結果となったものと

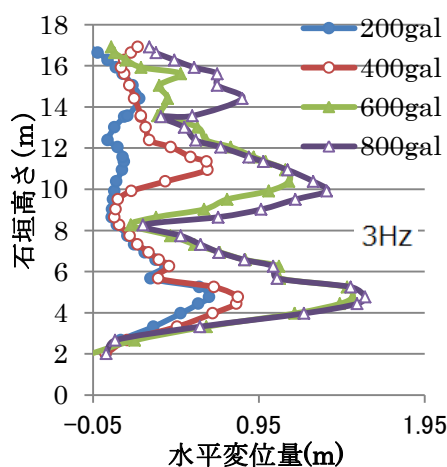


図 6 入力加速度と石垣水平変位量

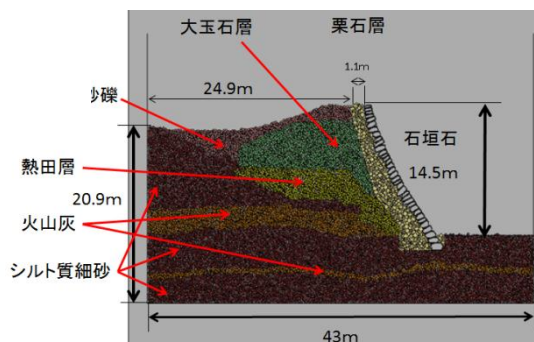


図 5 名古屋城 DEM モデル

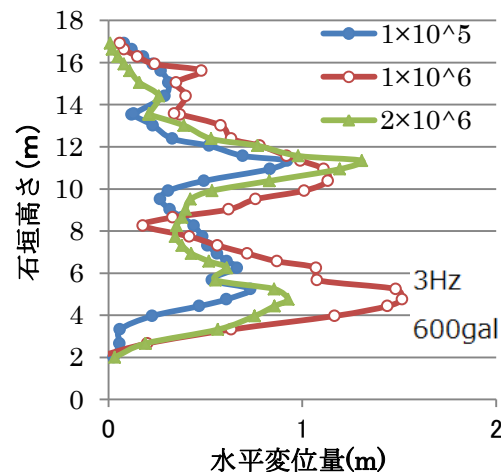


図 7 栗石層の剛性による水平変位量

考えられる。栗石層の剛性による影響を示すのが図 7 である。名古屋城は要素が多いためバラつきはあるが、基本モデルで得た結果と同様に剛性が小さい場合に変位が小さくなっている。これより、名古屋城のような高石垣においても栗石層の剛性が石垣の安定性に与える影響は大きいと考えられる。

4.まとめ

城郭石垣は、主に 3 つの要素で成り立つ複合構造物である。それぞれが違った役割を持ち、異なる動きをする中で、栗石層が城郭石垣の地震時安定性に与える影響は大きいと考えられる。特に、石垣石の孕み出しに影響を与える要因としては、栗石層の剛性の大きさによる変化がみられた。

参考文献

西形達明、山本浩之、辻清仁：個別要素法解析による城郭石垣構造の変形挙動、第 36 回地盤工学研究発表会 pp.1791-1792,2001.6