

城郭石垣構成要素の物性値の変化が石垣安定に与える影響

(独)木更津工業高等専門学校 フェロー 博(工学) 田中邦熙

1. はじめに

石垣の安定性を定量的に評価することは非常に難しい。石垣の安定性はその形状寸法および構成要素の物性値の2者により決定される。しかし過去に発表¹⁾してきたように、高さHと勾配 θ とが支配的に大きな影響力を有している。ここで現存する石垣は形状寸法は定まっているから、構成要素の積み石 S・間詰め M・裏込め B および地盤 G の物性値の状態が安定にどのように影響するかを検討することが重要となる。本発表は石垣断面を FEM により解析するに当たり、積み石相互間の回転やすべりのような不連続変位をジョイント要素 (J) を考慮することにより实际的に表示しうるかどうか、および構成要素の物性値、弾性係数 E・単位体積質量 ρ ・ポアソン比 ν およびせん断強度 τ が石垣安定にどのような影響を与えるかに関して検討したものである。

2. 研究方法

(1) 石垣断面のモデル化と解析ソフト

今回の解析に用いた石垣-地盤系は図-1に示すとおりで、解析ソフトは市販 FEM-SAS および RISA である。

(2) 構成要素の物性値²⁾

S・M・B・G の物性値はまず E を工学的に妥当な値を設定し、それに対応するよう $\rho \cdot \nu \cdot e$ および τ を推定した後、せん断弾性係数 G および体積弾性係数 K は E と ν との関係式から算出した。

(3) ジョイント要素

J を考慮に入れた解析を行うには多くの物性値を設定しなければならないが、実測することは事実上不可能であり、工学的考察の上で設定した。

(4) 石垣安定の評価基準

石垣の安定性は円弧すべり法などでは求められないので、石垣表面の水平方向変位量積分値(A)で表した。

(5) 地震力

図-1の地盤最下層の x 又は z 方向からそれぞれ最大加速度 $\alpha = 300, 600\text{gal}$ の正弦波を 10 秒ずつ入力し、A を求めた。なお振幅 a、周期 T との関係は、 $\alpha = 300\text{gal}$ 時 $T = 0.5$ 秒・ $a = 1.9\text{cm}$ 、 $\alpha = 600\text{gal}$ 時 $T = 0.5$ 秒・ $a = 3.8\text{cm}$ とした。

(6) 実験計画法の適用

数値実験の効率化と計算結果データの統計処理による有用情報の抽出を目的に、実験計画法 $L_{27}(3^{13})$ を用いることとした。実験条件一覧を表-1に示す。

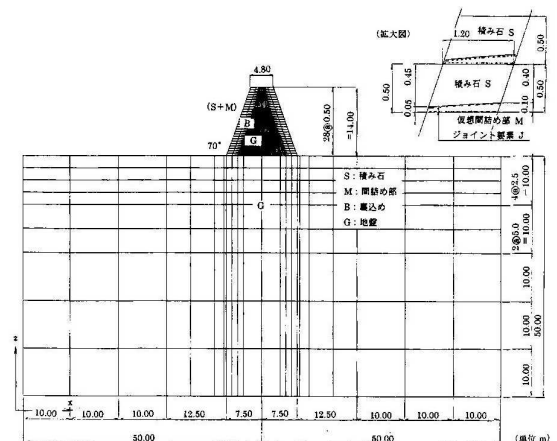


図-1 解析断面メッシュ割り図

KEYWORD：石垣安定, FEM, ジョイント要素, 実験計画法, 主効果グラフ

連絡先：〒292-0041 木更津市清見台東 2-11-1 木更津高専内 TEL&FAX 0438-30-4155

表 -1 数値実験条件一覧表

要因割付例

	M _v	M _p	G _E	G _r	S _E	G _v	B _v	G _o	M _E	M _t	S _p	B _t	S _E	A(n)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.21
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	0.99
3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	0.84
4	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0.91
5	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.81
6	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	0.71
7	1	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0.96
8	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	0.86
9	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0.76
10	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	0.95
11	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	0.85
12	2	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	0.75
13	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0.94
14	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.84
15	2	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	0.74
16	2	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0.93
17	2	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	0.83
18	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0.73
19	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0.92
20	3	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	0.82
21	3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	0.72
22	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0.91
23	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.81
24	3	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	0.71
25	3	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0.90
26	3	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	0.80
27	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0.70

	M _v	M _p	G _E	G _r	S _E	G _v	B _v	G _o	M _E	M _t	S _p	B _t	S _E	A(n)
1	0.43	1.5E+03	2.2E+02	1.0E+06	0.40	0.43	1.5E+03	5.0E+07	1.0E+05	2.0E+03	2.0E+05	1.0E+07	1.0E+07	
2	0.39	2.2E+03	2.2E+02	1.0E+07	1.0E+06	0.44	0.4	2.0E+03	1.5E+08	2.0E+05	2.1E+03	4.0E+05	1.0E+08	
3	0.29	2.2E+03	2.0E+02	1.0E+09	1.0E+07	0.4	0.35	2.2E+03	7.5E+08	3.0E+05	2.2E+03	5.0E+05	1.0E+09	

要因割付線点図

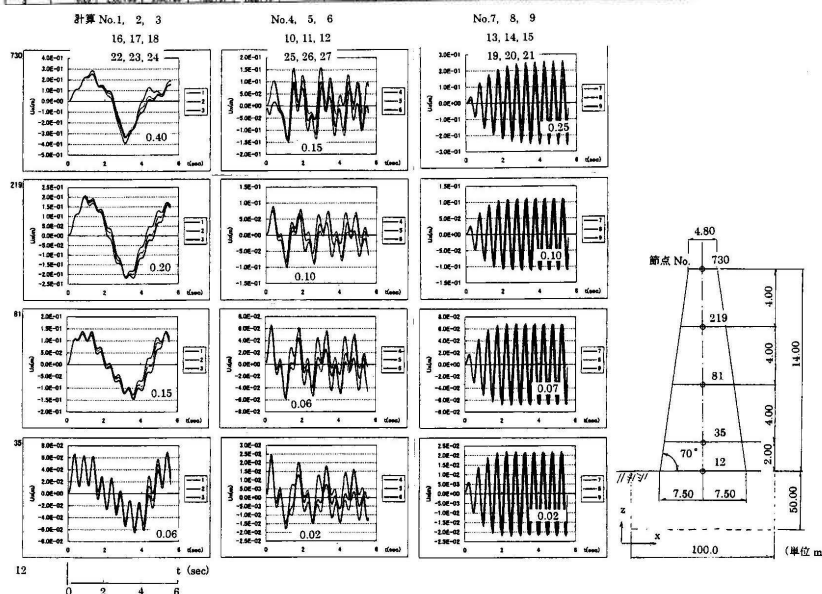
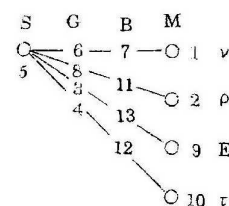


図 -2 石垣断面中央部節点の変位-時間曲線

3. 実験結果と考察

- ① Jの有無は、水平振動に対しては影響しないが、鉛直振動に対しては α が大きいときの解析結果に疑問がある。
- ② 積み石の変位波形は図-2に示すように3グループに区分されたが、この原因は地盤弾性係数 G_E が波形決定に支配的に大きな影響を有しているためであると推察された。
- ③ S・M・B・GのE・ ρ ・ ν ・ τ を表-1のように3水準に変化させて、夫々の主効果グラフを作成し、影響傾向等を検討したところ、 G_E の寄与率が80.2%と非常に大きく、他は5.0%以下であることが示された。これは②と同一結論である。

謝辞

本研究はH14～H16年度科研費およびH14～H15年度鹿島学術振興財団助成金と得て実験した研究成果の一部であることを記し、関係各位に謝意を示します。

参考文献

- 1) 田中・新谷・山田:城郭石垣の3次元形態の発生起源に関してFEMを適用する手法と解析事例,土木学会論文集 No. 541/III-35, PP.9～20, 1996.6
- 2) 田中・新谷他:FEM-3D(L₂₇)による石垣の動的挙動の数値解析実験の事例研究,土木史研究論文集 Vo.124, 2005.6