

# 石垣模型の振動実験

木更津高専 環境都市工学科 学生会員 浅利智哉 綾部裕一  
博(工学) 正会員 田中邦熙  
(株)小林石材工業 小林善勝

## 1. まえがき

石垣の動的挙動を究明するために、振動台上に模型石垣を構築して加振し、変形崩壊状況などを測定解析した結果をとりまとめた。今回の実験では、模型実験の相似則を考慮して、石垣安定に關与する形状寸法に関する要因中、石材を花崗岩・鉄および鉛と変化させる一方、石垣高さ、石垣角度および石積み技法の4要因を夫々3水準に設定して、実験計画法 L<sub>9</sub> に組み込んで実験した。実験結果を統計処理することにより、少ない実験により多くの情報を得ることができた。

## 2. 実験方法

### (1) 実験装置と実験方法

表-1に示した実験材料を写真-1,図-1のようにセットして、石垣面に鉛直な水平方向に順次100galずつ増加させて各ステップで20secずつ加振し、石垣中央断面の鉛直水平変位を基準フレームからスケールで測定した。また振動測定は起振機振動台に動変位計1台、石垣面上中下3ヶ所に加速度計3台を設置して実施した。

### (2) 石垣模型断面の作成

石垣模型はコンクリート床に固定した振動台に固定された木製土槽上に、加振方向が石垣面に鉛直な水平方向となるように構築した。手順は次のとおりである。

土槽表面に房総山砂 ( $W_n=5.0\%$ ,  $U_c = D_{60}/D_{10} = 1.60/0.25 \text{ mm} = 5.0$ ,  $G_s=2.85$ )を5.0cm敷き均す。

石垣側面と背面とを拘束するためのコ型に組み立てた合板 ( $t = 12\text{cm}$ , 内幅 30cm)を設置し、その中に石垣角度や石積み技法などに合わせて作成した根石用木片を設置。

所定積み石材を所定の技法・石垣角度に合わせて背面に山砂を充填締固めしながら一段ずつ積み上げる。

### (3) 実験の要因水準組み合わせ

今回の実験では石垣安定に關与する形状寸法に関する要因のうち、石材材料 S,高さ H,角度 および石積み技法 T の4要因を取り上げ、夫々を3水準に変化させて、実験計画法 L<sub>9</sub> に組み込んで実験した。実験計画法を適用したのは実験効率を高め、かつ得られた実験結果を統計処理してより有効な情報を得るためである。今回の実験条件を表-2に示す。なお、実験 10.11 は、2に対して形状寸法は同一とし、積み石材料を石から、鉄、鉛と変化させたときの状況を把握するための補充実験である。

表 1 石垣振動実験機材一覧表

名称	諸元・仕様		
1, 振動台	490×730×高さ290mm 最大積載重量100kg 振動方向 水平1方向 振動幅 ±30mm 周期 0.8~0.4sec		
2, 木製土槽	内面 640×830×深さ85mm		
3, 模型積み石	石面 5.0×6.0cm、控え長 12.0cm、背面 3.0×4.0cm		
	大谷石 御影石 鉄 鉛		
	(単重) 1.30 2.60 7.80 13.60		(tf/m <sup>3</sup> )
	(比重率) 0.50 1.00 3.00 5.20		
	(重量) 435 689 1880 5.2		(kgf/個)
4, 変位測定フレーム	L 50×50mm チャンネル 製		
5, 測定機器			
(1) データロガー	TDS-302 + パソコン(データ処理ソフト込み)	1	台
(2) スイッチボックス	50ch	1	台
(3) 動歪測定器	4ch	1	台
(4) 加速度計	最大1.0g	3	個
(5) 動変位計	ストローク±50mm	1	個
(6) コンベックス		1	個
(7) 水準器		1	個
(8) ストップウォッチ		1	個



写真 1 石垣振動実験実施状況

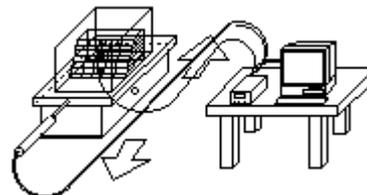


図 - 1 実験系統図

Keyword : 石垣 振動実験 石垣安定

連絡先 : 〒299-0041 木更津市清見台東 2 - 11 - 1 木更津高専 TEL&FAX 0438-30-4155

表 2 石垣振動実験の要素と水準 L9(3<sup>4</sup>)

実験No	要素 1	2	3	4
	積み石材料S	高さH(cm)	角度 (°)	石積み技法T
1	1 石	1 30cm	1 60°	1 芋積み
2	1 石	2 40cm	2 70°	2 レンガ積み
3	1 石	3 50cm	3 80°	3 落し積み
4	2 鉄	1	2	3
5	2 鉄	2	3	1
6	2 鉄	3	1	2
7	3 鉛	1	3	2
8	3 鉛	2	1	3
9	3 鉛	3	2	1
10	2	2	2	2
11	3	2	2	2

(4) 相似率について

本実験では、実在石垣の標準高さ H=10.00m、積み石寸法石面 50.0×60.0cmを想定し、縮小比 n = 1/10 モデルでの模型実験を計画した。従って積み石模型寸法は 50.0×60.0cmで幾何相似となっている。一方重力相似を満足するためには、一般積み石単重が 2.6(tf/m<sup>3</sup>)程度だから、26.0(tf/m<sup>3</sup>)の単重を持つ材料を使用することが必要である。しかし材料として鉛を使用しても 13.6/2.6 = 5.2 で重力相似は成立しないが、現実にはそのような材料は得られない。そこで石 鉄 鉛と材料を変えて、N = 10 時の変位状況は外挿的に推定することにした。

3. 実験結果と考察

表 2 に示した 11 回の実験結果の石垣面変位状況を振動ステップ 1~4 に分けて図示し、その変位量を面積 A で表して、この値を用いて統計的手法により各要因の主効果グラフ(要因別にその水準が変化したときの A の変化図)を作成した結果を図 - 2,3 に示す。図 - 2 はステップ 3~4 で腹み出し量, 図 - 3 はステップ 1~2 で沈下量を表す。振動レベルが低い 1~2 ステップでは、石垣面は沈下が卓越し、H と による影響が大きいこと、振動レベルが高い 3~4 ステップでは石垣面腹み出しが卓越し、石垣角度 による影響が他の S,H,T より圧倒的に大きいことが読み取れる。なお、今回の実験は 4 要因 3 水準を繰り返し実験数のない L<sub>8</sub> に組み込んだために実験回数が 9 回と非常に少なく、統計処理上無理があった。しかしこのような実験は一般には実験計画法を適用せず、2, 10, 11 を比較するような手法が用いられていることを考えると、図 - 2,3 のような有用な解析結果が得られたことは、本手法適用が有効であったと考えられる。今後は、本実験結果を別途進めている FEM 解析結果等と比較検討して、より有用な成果を得たいと考えている。なお、本研究は、H.14 年度科研費および H.13 年度鹿島財団研究助成を得て、実施した成果の一部であることを記し、関係各位に謝意を表します。

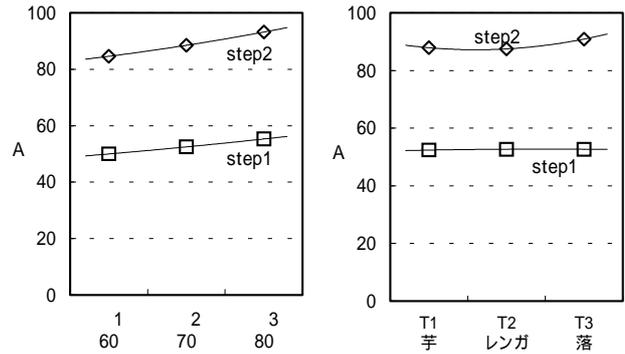
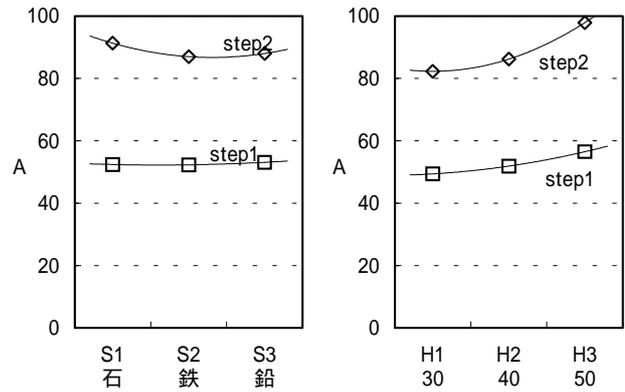


図 - 2 振動ステップ 1,2 (沈下) 主効果グラフ

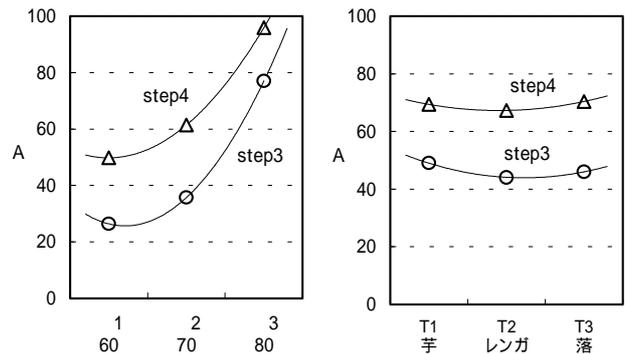
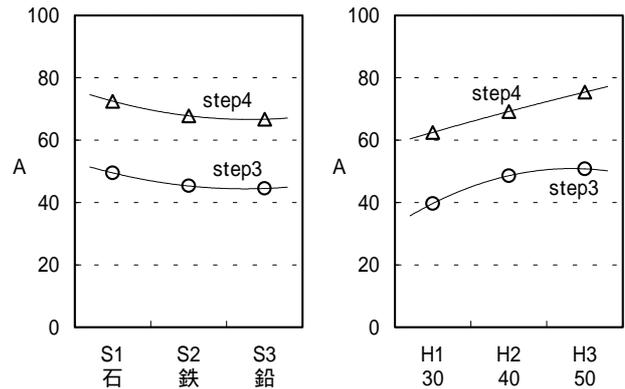


図 - 3 振動ステップ 3,4 (腹み出し) 主効果グラフ