

力学的相似則に基づく滑り基礎構造建物の振動台実験  
その 1 相似則の誘導と時刻歴応答解析による検証

Similitude Analysis of Building with Sliding Foundation using Shake Table Test

Part1 Introduction of similitude and computer analysis

○矢部春恵<sup>1</sup>, 小松裕<sup>1</sup>, 後藤詩乃<sup>2</sup>, 本村豪星<sup>2</sup>, 北嶋圭二<sup>3</sup>, 中西三和<sup>3</sup>, 安達洋<sup>4</sup>

\* Harue Yabe<sup>1</sup>, Yutaka Komatsu<sup>1</sup>, shino Goto<sup>2</sup>, Gosei Motomura<sup>2</sup>, Keiji Kitajima<sup>3</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>3</sup>, Hiromi Adachi<sup>4</sup>

Abstract: This paper, we examined the applicability of law of dynamical similitude.

1. はじめに

本研究は、コンクリート製の人工地盤上に安価で摩擦係数の小さな摩擦材(黒鉛粉末)を塗布することにより、大地震時に建物へ入力される加速度が低減される“滑り基礎構造<sup>1)~3)</sup>”に関するものである。

これまで実施してきた縮小模型の振動台実験では、実大建物と模型試験体の相似則は考慮せずに、固定基礎と滑り基礎の応答性状を相対的に比較検討し、滑り基礎の有効性を確認してきた。

そこで、本報(その1)では、滑り基礎構造における相似則の適用性を確認するため、相似則の誘導と実大建物と相似則を適用させた模型建物を設定して、時刻歴応答解析を行い、相似則の適用性の確認を行う。

2. 相似則の誘導

模型試験体の実大建物に対する基本的な縮尺は、寸法L、時間T、質量M、の縮尺で代表される<sup>4)</sup>。本研究では、この3つの物理量を基本的な相似則とし、相似比 $\lambda_L$ ,  $\lambda_T$ ,  $\lambda_M$ で表す。3つの基本相似則をTable 1に示す。各物理量の記号として実大モデルをp、模型モデルをmとする。本実験では、実大モデルと模型モデルが同程度の破壊状況となるように、加速度と応力度の相似比を1.0という条件で相似則を誘導する。実大と模型の加速度を一定とすると基本相似比 $\lambda_T$ と $\lambda_L$ の関係が式(1)として得られる。

$$\begin{aligned} L_p/T_p^2 &= (\lambda_L/\lambda_T^2) \cdot L_m/T_m^2 \\ (\lambda_L/\lambda_T^2) &= 1.0 \text{ より } \lambda_T = \sqrt{\lambda_L} \dots (1) \end{aligned}$$

また、応力度を一定とすると基本相似比 $\lambda_M$ と $\lambda_L$ の関係が式(2)として得られる。

$$\begin{aligned} M_p(L_p/T_p^2)/L_p^2 &= (\lambda_M/\lambda_L^2) \cdot M_m(L_m/T_m^2)/L_m^2 \\ (\lambda_M/\lambda_L^2) &= 1.0 \text{ より } \lambda_M = \lambda_L^2 \dots (2) \end{aligned}$$

$\lambda_L$ を代Table相似則 $\lambda$ としてTable1の基本相似則に代入すると、Table1は式(3)で示すことができる。

$$L_p/\lambda = L_m, T_p/\sqrt{\lambda} = T_m, M_p/\lambda^2 = M_m \dots (3)$$

なお、質量の相似比が $\lambda^2$ であることより、同一材料の模型モデルの振動台実験では、付加質量が必要となる。

3. 相似則の適用性の確認

2章で誘導した相似則の適用性を確認するため、実大建物(実大モデル)と相似則を適用させた模型建物(模型モデル)を設定し、時刻歴応答解析を行う。設定した検討対象建物(実大建物)の概要をTable2に、イメージパースをFig.1に示す。検討対象建物(実大モデル)は幅9m×9mの木造1階建ての戸建て住宅とした。

3.1. 解析概要

時刻歴応答解析は、実大モデルと模型モデルに対し各々固定基礎構造建物と滑り基礎構造建物を設定した計4ケースについて実施する。模型モデルの相似比 $\lambda$ は30とする。模型モデルの相似則をTable3に、実大モデルと模型モデル(固定基礎・滑り基礎)の解析モデルの諸元をTable4に示す。模型モデルの解析諸元は、Table3の相似則を適用して設定した。上屋の復元力特性は、剛性低減型トリリニアモデル(武田

	実大	縮尺	模型
寸法	$L_p$	$\cdot 1/\lambda_L =$	$L_m$
時間	$T_p$	$\cdot 1/\lambda_T =$	$T_m$
質量	$M_p$	$\cdot 1/\lambda_M =$	$M_m$



Fig.1 Consideration building image Perth  
Table3 law of dynamical Similitude (model specimen)

Table2 Outline of the Building

建物用途	住宅(戸建)
延床面積	81m <sup>2</sup>
平面形状	9m×9m
階数	地上1階 地下0階
構造種別	木造
基礎地業	直接基礎(べた基礎)

物理量	相似比: $\lambda$	相似比: 30
変位	$1/\lambda$	$1/30$
時間	$1/\sqrt{\lambda}$	$1/\sqrt{30} (=1/5.5)$
質量	$1/\lambda^2$	$1/900$
加速度	1	1
応力度	1	1

Table4 Analysis Model

	実大モデル		模型モデル	
	固定基礎	滑り基礎	固定基礎	滑り基礎
解析モデル				
	質量: $M_2$ [kg]	34650	39	
	剛性: $k_f$ [kN/m]	1081	36	
	復元力特性		剛性減衰型トリリニア	
上屋	周期: T [sec]	1.12	0.21	
	質量: $M_1$ [kg]	71190	81	
	復元力特性	—	標準型バイリニア	—
	摩擦係数: $\mu$	—	0.15	—
基礎板	復元力特性	—	標準型バイリニア	—
	摩擦係数: $\mu$	—	0.15	—

1: 日大理工・学部・海建 2: 日大理工・学部卒・海建 3: 日大理工・教員・海建 4: 日大名誉教授

モデル) とし, 上屋の弾性1次固有周期が実大モデルでは $T_p = 1.12\text{sec}$ , 模型モデルでは $T_m = 0.21\text{sec}$ になるように初期剛性を設定した。

また, 上屋の耐力は自重の約80%となるように設定した。上屋の復元力特性をFig.2およびTable 5に示す。

実大モデルと模型モデルの滑り基礎は, 摩擦係数 $\mu=0.15$  で基礎板が滑るように, 建物全重量  $[(M1+M2)g]$  の 15%の耐力で降伏する標準型バイリニアモデルの履歴特性を有する弾塑性ばねを地盤と基礎板の間に設定した。基礎板の復元力特性を Fig.3 に, 復元力特性を Table 6 に示す。なお, 両モデルとも基礎板のテーパー効果を振り子の原理を用いて2次剛性 $K_1'$ で考慮した<sup>3)</sup>。

減衰は, 上屋のみに減衰定数3%の剛性比例型として設定した。応答解析は, ニューマーク $\beta$ 法を用い $\beta=0.25$ , 積分時間間隔は,  $\Delta t=0.001\text{sec}$  とした。入力地震動は, 熊本地震本震 (K-Net 益城 EW) を用い, 模型モデルでは時間軸を $1/\sqrt{30}$  ( $=1/5.5$ ) にして入力した。

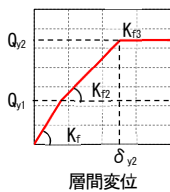


Fig.2 Restoring force Characteristics of the Building

	実大モデル	模型モデル
$Q_{y1}$	77 [kN]	85 [N]
$Q_{y2}$	256 [kN]	284 [N]
$\delta_{y2}$	50 [cm]	17 [mm]
$k_f$	1081 [kN/m]	36 [kN/m]
$k_{f2}$	543 [kN/m]	18 [kN/m]
$k_{f3}$	0 [kN/m]	0 [kN/m]

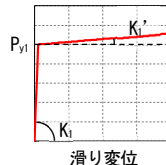


Fig.3 Restoring force Characteristics of the Base plate

	実大モデル	模型モデル
$P_{y1}$	156 [kN]	173 [N]
$k_1$	30000 [kN/m]	1000 [kN/m]
$k_1'$	9.4 [kN/m]	0.31 [kN/m]

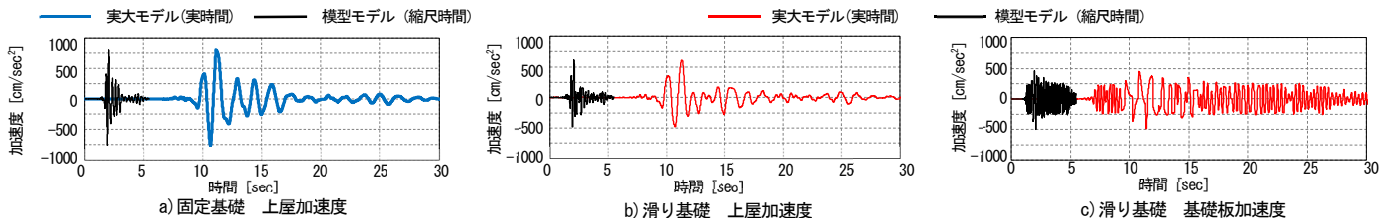
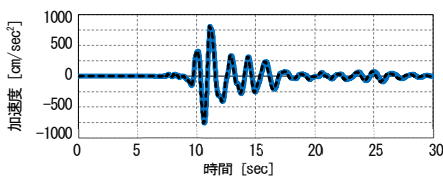
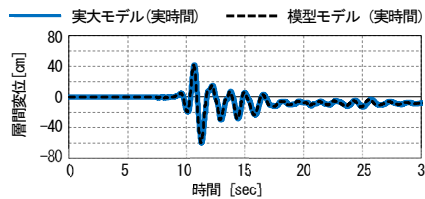


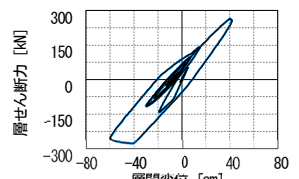
Fig.4 Time History



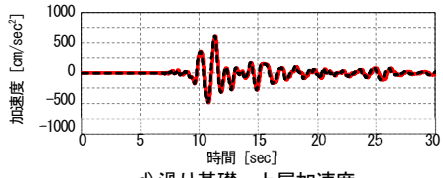
a) 固定基礎 上屋加速度



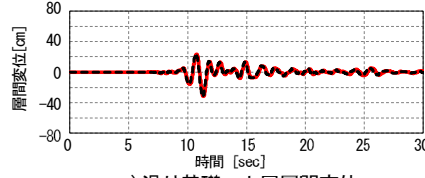
b) 固定基礎 上屋層間変位



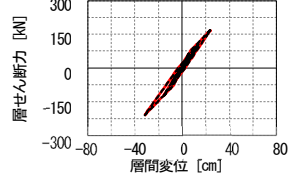
c) 固定基礎 上屋 Q-delta



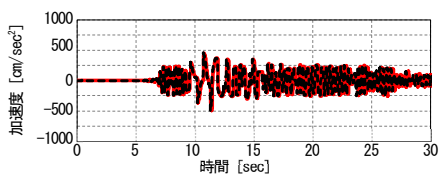
d) 滑り基礎 上屋加速度



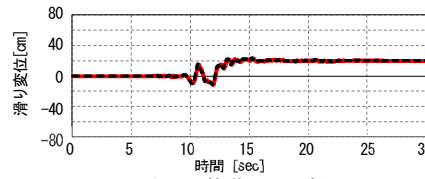
e) 滑り基礎 上屋層間変位



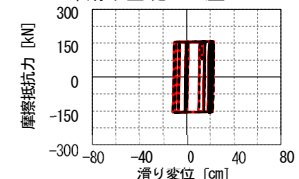
f) 滑り基礎 上屋 Q-delta



g) 滑り基礎 基礎板加速度



h) 滑り基礎 滑り変位



i) 摩擦抵抗力-滑り変位

Fig.5 Analysis results of real model and specimen model

### 3.2. 解析結果

Fig.4に固定基礎と滑り基礎の加速度波形を実大モデルと模型モデルで比較して示す。模型モデルの時間軸が, 1/5.5となっていることが確認できる。Fig.5の解析結果は, 模型モデルの解析結果に相似則に応じた相似比を乗じて示している。Fig.5より, 固定基礎, 滑り基礎ともに実大モデルと模型モデルの応答が完全に一致していることが確認でき, 滑り基礎構造建物においてもTable 3の相似則が適用できることが確認できた。

### 4. まとめ

相似則を適用した模型モデルと実大モデルの応答が完全に一致していることから, 滑り基礎構造建物においても力学的相似則が適用できることが確認できた。

#### 【参考文献】

- 1) 北嶋圭二ほか：滑り基礎構造の震入力低減効果に関する基礎的研究, 日本建築学会大会, 構造II, pp.313-314, 2010
- 2) 北嶋圭二ほか：黒鉛を摩擦材とした滑り基礎構造に関する研究, その1~8, 日本建築学会大会, 構造II, 2012~2015
- 3) 北嶋圭二ほか：テーパー付き滑り基礎構造建物の加振実験, その1~5, 日本建築学会大会, 構造II, 2016~2017
- 4) 石丸・安達・中西ほか：「多入力地震波を受ける構造物の応答性状について」, 日本建築学会大会, 1986