

## 2 方向地震動を受ける4階建て滑り基礎構造建物の地震応答性状に関する研究

### A Study on Seismic Response Characteristics of 4-Story Sliding-Foundation-Building Under Bi-Directional Seismic Motion

○國府田有加<sup>1</sup>, 北嶋圭二<sup>2</sup>, 中西三和<sup>2</sup>, 安達洋<sup>3</sup>

\*Yuka Koda<sup>1</sup>, Keiji Kitajima<sup>2</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>2</sup>, Hiromi Adachi<sup>3</sup>

Abstract: This paper is concerned with the seismic response characteristics of a 4-story Sliding-Foundation-Buildings under bi-directional seismic motion. Time history response analysis is conducted to investigate the effect of surface pressure bias due to overturning moment and the effect of bi-directional interaction.

#### 1. はじめに

本研究は、コンクリート製の人工地盤と基礎板の間に、安価で摩擦係数の小さな摩擦材(黒鉛粉末)を塗布し、基礎板が滑ることにより、建物への入力加速度を低減させる“滑り基礎構造”に関するものである。先行研究<sup>[1][2]</sup>では、2階建ての滑り基礎構造建物を対象としてきたが、アスペクト比が大きくなると転倒モーメントによる面圧変動の影響が無視できなくなる可能性がある。そこで本研究では、4階建て滑り基礎構造建物を対象とした時刻歴応答解析を実施し、地震時の転倒モーメントによる面圧変動の影響および2方向相互作用の影響について検討する。

#### 2. 建物概要および解析概要

本検討では、4階建てRC造建物(アスペクト比:1.08)の柱直下の基礎板下に滑り支承が設置されている滑り基礎構造建物を対象とする。軸組図を Fig.1 に、基準階伏図を Fig.2 に示す。また、基礎固定時の建物概要を Table 1 に、静的増分解析結果を Fig.3 に示す。本建物は X, Y 構面ともに純ラーメン構造で、保有水平耐力時(層間変形角 1/100 rad 時)のベースシア係数は  $C_B=0.44$  で、崩壊形は梁曲げ降伏先行の全体崩壊形である。

滑り基礎の解析モデルは、柱直下の9か所に弾性すべり支承を設置し、摩擦係数  $\mu$  を 0.15 と設定した。なお、弾性すべり支承の解析モデルは、軸力変動の影響

と2方向相互作用が反映できるモデル<sup>[3]</sup>を採用した。また、基礎板の滑り面のテーパーによる復元力は、弾性すべり支承と並列に弾性ばねを設置して考慮した。弾性ばねの剛性は、基礎板の滑り面を内接する円弧に置き換え、振り子の周期と質量の関係より求めた。

立体骨組モデルの時刻歴応答解析は、任意形状立体フレーム弾塑性解析プログラム「SNAP ver.7」<sup>[3]</sup>を使用した。時刻歴応答解析は、Newmark- $\beta$ 法 ( $\beta=0.25$ )を用い、積分時間間隔  $\Delta t=0.001$ sec とし、減衰は上屋のみに対し減衰定数3%の瞬間剛性比例型とした。入力地震動は、2016熊本地震本震: KiK-Net 益城(Table 2)を用いた。

#### 3. 解析結果

##### 3.1 滑り基礎の応答

1) X1-Y1 通りの弾性すべり支承の応答 Fig.4-6 に、軸力の変動が大きい隅角部(X1-Y1 通り)の弾性すべり支承の応答を示す。Fig.4は1方向入力時の応答履歴曲線(摩擦抵抗力-滑り変位関係)、Fig.5は2方向同時入力時の応答履歴曲線である(a)X方向、b)Y方向)。また、Fig.6は摩擦抵抗力のオービットで a)が1方向入力時、b)が2方向同時入力時である。なお、Fig4~6中の青線は摩擦抵抗力が一定の場合( $F_D$ 一定)で、赤線が軸力変動を考慮した場合(軸力変動考慮)である(Fig.7~9も共通)。

Fig.4の1方向入力時には、青線の  $F_D$ 一定に対し、赤線の軸力変動を考慮した場合は、摩擦抵抗力が変動していることがわかる。一方、Fig.5の2方向同時入力時では、 $F_D$ 一定の場合でも摩擦抵抗力が変動しており、直交方向の応答の影響を受けた2方向相互作用の挙動が確認できる。また、Fig.6 a)の1方向

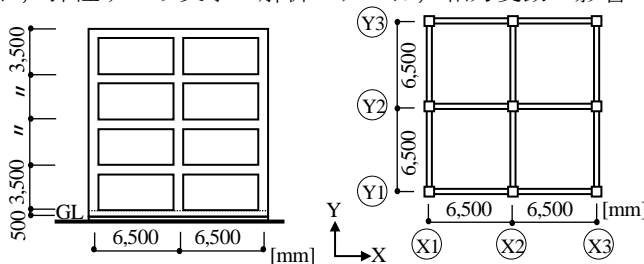


Fig.1 Frame diagram Fig.2 Reference floor plan

Table 1 Structural characteristics

階	Wi [kN]	$\Sigma Wi$ [kN]	T [sec]	Ai	Qi [kN]
R	1,658	1,658	0.42	1.71	332
4	1,893	3,551		1.37	710
3	1,994	5,544		1.16	1,109
2	2,037	7,582		1.00	1,516

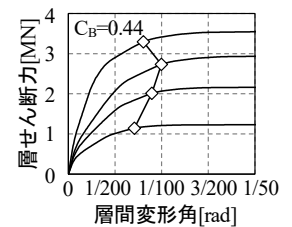


Fig.3 Push over analysis (Fixing the foundation)

Table 2 Input seismic motion

地震波名称	加速度 [cm/sec <sup>2</sup> ]	速度 [cm/sec]	変位 [cm]
2016 熊本地震本震 EW(X)	1,156.7	132.6	52.6
2016 熊本地震本震 NS(Y)	652.8	84.9	20.6

1: 日大理工・院・(前) 海建 2: 日大理工・教員・海建 3: 日大名誉教授

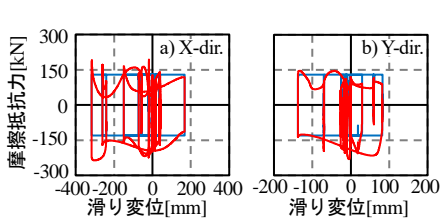


Fig.4 Response hysteresis of X1-Y1 (1directional input)

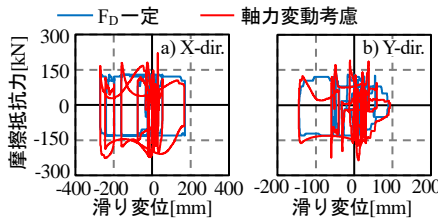


Fig.5 Response hysteresis of X1-Y1 (2directional input)

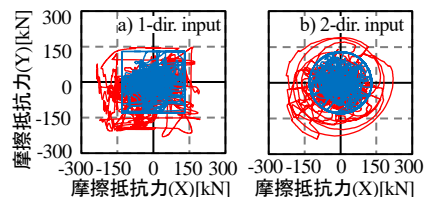


Fig.6 Friction resistance orbit (X1-Y1)

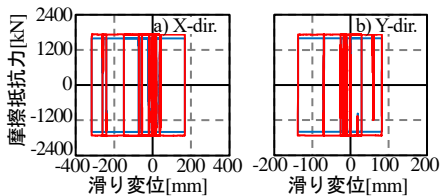


Fig.7 Response hysteresis of Sliding-Foundation (1directional input)

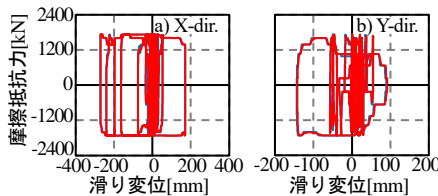


Fig.8 Response hysteresis of Sliding-Foundation (2directional input)

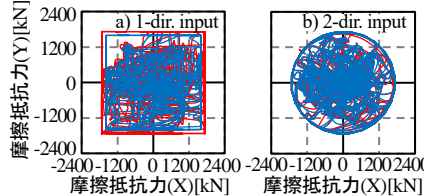


Fig.9 Friction resistance orbit (Sliding-Foundation)

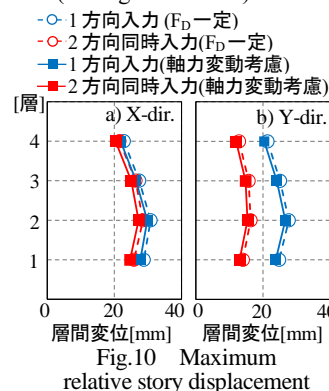


Fig.10 Maximum relative story displacement

入力時の摩擦抵抗力のオービットは、X、Y 方向それぞれ独立した応答を重ね合わせているため、青線の  $F_D$  一定時は正方形の耐力線に沿う挙動をしている。また、赤線の軸力変動を考慮した場合は、X1-Y1 通りの弾性すべり支承に圧縮が生じる X、Y 軸の負側の摩擦抵抗力が  $F_D$  一定時よりも大きくなっているが、概ね正方形の履歴を描いている。一方、Fig.6 b)の2方向同時入力時の摩擦抵抗力のオービットは、2方向相互作用の影響により、 $F_D$  一定時は正円の耐力曲線に沿った挙動をしている。また、軸力変動を考慮した場合の耐力曲線は、 $F_D$  一定時よりも大きな正円になっていることがわかる。

2) 滑り基礎全体の応答 Fig.7~9 に滑り基礎全体(全弾性すべり支承の抵抗力の和)の応答を示す。Fig.7が1方向入力時、Fig.8が2方向同時入力時の応答履歴曲線 (a)X方向、b)Y方向)で、Fig.9 a)が1方向入力時、b)が2方向同時入力時の摩擦抵抗力のオービットである。

Fig.7の1方向入力時では、軸力変動を考慮した場合でも、摩擦抵抗力はほぼ一定の値で滑っており、軸力変動の影響を受けていないことがわかる。これは、転倒モーメントによって軸力が片側に偏った時に、一方の軸力は減少するため、滑り基礎全体としては、軸力変動が相殺されているためである。また、Fig.8の2方向同時入力時は、 $F_D$  一定時と軸力変動考慮の場合の応答はほぼ一致しており、2方向同時入力時でも軸力変動の影響を受けていないことがわかる。また、1方向入力時(Fig.7)と比較して小さな摩擦抵抗力で滑っているときがあり、2方向相互作用の影響を受けていることがわかる。Fig.9からも、1方向入力時と2方向同時入力時はともに、 $F_D$  一定時と軸力変動を考慮した場合でほぼ同等な摩擦抵抗力で滑っている。また、X1-Y1通りの弾性すべり支承の応答と同様に、1方向入力時

では正方形の耐力線に沿った挙動をし、2方向同時入力時では、正円の耐力曲線に沿う挙動をしている。

### 3.2 上屋の応答

Fig.10 に上屋の最大層間変位を示す。青線が1方向入力時、赤線が2方向同時入力時(破線： $F_D$ 一定時、実線：軸力変動考慮)である。図より、1方向入力時と2方向同時入力時の最大層間変位はともに、 $F_D$  一定の場合と軸力変動を考慮した場合でほぼ同等の応答を示しており、上屋の応答は軸力変動の影響を受けていないことがわかる。また、X、Y方向ともに、1方向入力時より2方向同時入力時の最大層間変位は減少しており、さらに、Y方向の方がその差が大きい。これは、X方向の入力加速度がY方向の入力加速度より大きいため、Fig.8に示すように、2方向相互作用によって、Y方向の摩擦抵抗力が小さくなり、上屋に入力される加速度が低減されたためと考えられる。

### 4. まとめ

2方向地震動を受ける4階建て滑り基礎構造建物の地震応答性状について検討し、1方向入力時、2方向同時入力時の滑り基礎と上屋の応答はともに、軸力変動の影響を受けていないことがわかった。また、2方向同時入力時の応答は、2方向相互作用の影響を受けていることがわかった。

#### [参考文献]

- [1] 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、B-2、2012~2015
- [2] 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1~7」、日本建築学会、B-2、2016~2018
- [3] 構造システム：任意形状立体フレーム弾塑性解析プログラム「SNAP ver.7」