

滑り基礎構造建物に生じる最大滑り変位の予測

—上屋剛体の検討—

Prediction of Maximum Sliding Displacement in Sliding Foundation Buildings

— Study on the Superstructure as a Rigid Body —

○谷内颯真<sup>1</sup>, 小出裕輝乃<sup>1</sup>, 中舘良太<sup>1</sup>, 浦野深聖<sup>2</sup>, 北嶋圭二<sup>3</sup>

\* Sohma Taniuchi<sup>1</sup>, Yukino Koide<sup>1</sup>, Ryota Nakadate<sup>1</sup>, Misato Urano<sup>2</sup>, Keiji Kitajima<sup>3</sup>,

Abstract: This study analyzes maximum sliding displacement in sliding foundation buildings using graphite powder as a friction material. A rigid superstructure model was tested under 96 earthquake records with varying friction coefficients and secondary stiffness. Results show displacement mainly depends on friction, with limited stiffness influence, providing useful insight for seismic design.

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との間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”に関するものである。滑り基礎構造建物における最大滑り変位は、入力される地震動によって変化する。また、滑り時には片流れ現象や残留変位が生じる可能性がある。

本研究では、地震動を受ける滑り基礎構造建物に生じる最大滑り変位を把握することを目的とする。最大滑り変位は、上屋弾性体の場合、滑動中に上屋と基礎板の連成振動の影響を受けることが確認されている<sup>1)</sup>が、まずは上屋剛体の場合から検討する。検討方法として、質点系モデルを用いた地震応答解析によるパラメトリックスタディを行う。質点系モデルの解析変数は、滑り出し耐力 $F_D$ の摩擦係数 $\mu$ 、二次剛性 $K_S$ とする。また、最大滑り変位と最大地盤変位の関係についても検討する。

2. 解析概要

2.1 共通事項 Fig.1に解析モデル概要を示す。質点系モデル(Fig.1a)は、上屋剛体のため1質点系モデルとし、質点質量は上部構造質量 $M$ (上屋200t+基礎板200t)の400tとした。滑り面の復元力特性(Fig.1b)は、バイリニア型とし、滑り出し耐力 $F_D(=\mu Mg)$ に達する時の滑り出し変位を0.1mmとした。地震応答解析は、任意形状フレーム弾塑性解析プログラミング「SNAPver.8」を使用し、Newmark- $\beta$ 法( $\beta=0.25$ )を用い、積分時間間隔 $\Delta t=1/1000s$ として行った。

2.2 解析変数 Table 1に質点系パラメトリックスタディの解析変数を、Table 2に解析モデル諸元を示す。本検討では、滑り出し耐力 $F_D$ の摩擦係数 $\mu$ 、二次剛性 $K_S$ の違いによる最大滑り変位を確認するため、摩擦係数を3ケース、二次剛性を5ケースに設定した。摩擦

係数 $\mu$ は、黒鉛粉末を用いた場合の値( $\mu=0.15$ )を基準に、それより小さい $\mu=0.05$ と大きい $\mu=0.30$ とした。二次剛性 $K_S$ は、テーパ部を円弧とみなし、振り子の周期式より、周期(2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0s)に対応する二次剛性を算出した<sup>2)</sup>。入力地震動は、観測地震動El Centro(NS・EW), Taft(NS・EW), Hachinohe(NS・EW)の6波に加え、日本国内で観測された主要地震動90波を用いた合計96波とし、それぞれ最大速度(PGV)を50, 75cm/sに基準化した2ケースとした。

3. 地震応答解析結果

3.1 最大滑り変位の特性と変動係数 Fig.2に各質点系モデルに入力波96波を入力したときの最大滑り変位と摩擦係数・二次剛性(二次剛性からなる周期)の関係を示す。図中には、各摩擦係数の最大滑り変位の平均値を■( $\mu=0.05$ ), ■( $\mu=0.15$ ), ■( $\mu=0.30$ )で示すとともに、その標準偏差( $\pm 1\sigma$ )によるばらつき幅を黒色縦線で、変動係数を黒色丸形で示す。

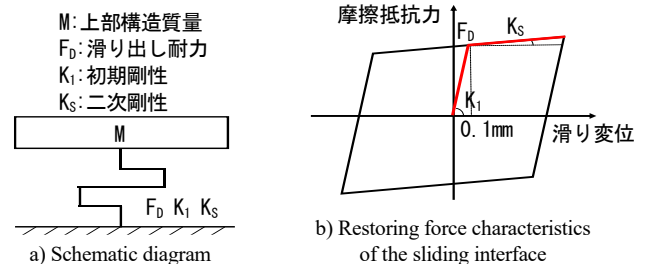


Fig.1 Overview of the analytical model

Table 1 Analytical variables

		二次剛性 $K_S$ (kN/mm)				
		(二次剛性からなる周期(s))				
		4.0 (2.0)	1.8 (3.0)	1.0 (4.0)	0.7 (5.0)	0.5 (6.0)
摩擦係数 $\mu$	0.05	①	②	③	④	⑤
	0.15	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
	0.30	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮

Table 2 Details of the analytical model

上部構造質量 $M$ (t)	摩擦係数 $\mu$ (-)	滑り出し耐力 $F_D$ (kN)	初期剛性 $K_1$ (kN/mm)
400	0.05	200	2,000
	0.15	600	6,000
	0.30	1,200	12,000

1 : 日大理工・院(前)・海建 2 : 日大理工・学部・海建 3 : 日大理工・教員・海建

Fig.2より、摩擦係数の増加に伴い最大滑り変位の平均値は減少した。一方、同一の摩擦係数においては、二次剛性(二次剛性からなる周期)の違いによる顕著な差は確認できず、ほぼ同程度の値を示している。また、入力レベルが大きい場合(Fig.2b)には、最大滑り変位のばらつき幅が増加し、特に摩擦係数が小さい場合に顕著であった。これは、入力レベル増加により滑動回数が増加したことに起因すると考えられる。

最大滑り変位の変動係数に着目すると、 $\mu=0.05$ では二次剛性の低下に伴い変動係数も減少した。これに対し、 $\mu=0.15$ 以上では二次剛性による影響はほとんど見られず、変動係数は同程度の値であった。すなわち、最大滑り変位は摩擦係数が小さい場合には二次剛性の影響を受け、ばらつきが増大する傾向を示した。

以上より、上屋剛体の場合、最大滑り変位は主に摩擦係数で決まり、二次剛性の影響は摩擦係数が小さい場合に受けやすいことを確認した。また、小さい摩擦係数では滑り変位そのものが大きく、ばらつきも大きくなるため、設計上の不確実性が高い。これに対して、 $\mu=0.15$ 以上とすることで滑り変位量が抑制され、ばらつきの小さい応答が得られることから、設計において摩擦係数の設定が重要であることを示唆している。

### 3.2 最大滑り変位/最大地盤変位の比と変動係数

Fig.3に最大地盤変位に対する最大滑り変位の比(以後、滑り変位比)と摩擦係数・二次剛性の関係を示す。図中にはFig.2と同様、滑り変位比の平均値、標準偏差、変動係数も併せて示している。なお、最大地盤変位は観測地震動の加速度記録を2階積分して算出した。

Fig.3より、滑り変位比の平均値は摩擦係数に依存しており $\mu=0.05$ ではおよそ1.0倍で地盤変位と同程度、 $\mu=0.15$ では約0.8倍、 $\mu=0.30$ では約0.6倍となった。二次剛性や入力レベルによる差異は小さく、滑り変位比はほぼ摩擦係数のみによって決まる傾向を示した。

滑り変位比の変動係数に関しては、 $\mu=0.05$ で二次剛性の影響が確認できるものの、変動係数の値自体は最も小さく、 $\mu=0.15$ や $\mu=0.30$ よりばらつきが小さいことがわかる。すなわち、最大滑り変位では $\mu=0.05$ が最も不安定であった(前節3.1)のに対し、滑り変位比では逆に最も安定するという対照的な特徴が確認された。これは、摩擦係数が小さい場合、滑り変位量(絶対量)が大きく、地震動特性や入力レベルによる影響を強く受けやすいためである。一方、滑り変位比は、地盤変位に対する比(相対量)であり、摩擦係数が小さいと地盤変位と同程度の滑り変位が生じやすく、結果として比率はほぼ一定の値になるためである。

以上のことから、滑り変位比は建物が地盤変位に対してどの程度滑動するかを示す直接的な指標であり、上屋剛体の場合、摩擦係数とその支配的要因といえる。また、設計上では、絶対的な滑り変位量のばらつきと相対的な滑り変位比のばらつきを区別して評価する必要があると考えられる。

### 4. まとめ

本検討より、上屋剛体の場合の最大滑り変位と滑り変位比はいずれも摩擦係数に依存し、二次剛性の影響は摩擦係数が小さい場合に受けやすいことを確認した。また、摩擦係数 $\mu=0.15$ 以上では滑り変位量が抑制され、そのばらつきも小さいことを確認した。設計上では、絶対的な滑り変位量のばらつきと相対的な滑り変位比のばらつきを区別して評価する必要があると考えられる。

今後は、滑り出し耐力、滑り出し変位、初期剛性、残留変位についても検討するとともに、上屋弾性体の滑り場合についても検証する予定である。

### 5. 参考文献

- 1)北嶋, 波田ほか: 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), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, 2012-2015
- 2)北嶋ほか: 黒鉛を摩擦材とした滑り基礎構造建物の応答性状に関する研究, 日本地震工学会第13回年次大会梗概集, pp.1-10, 2017.11

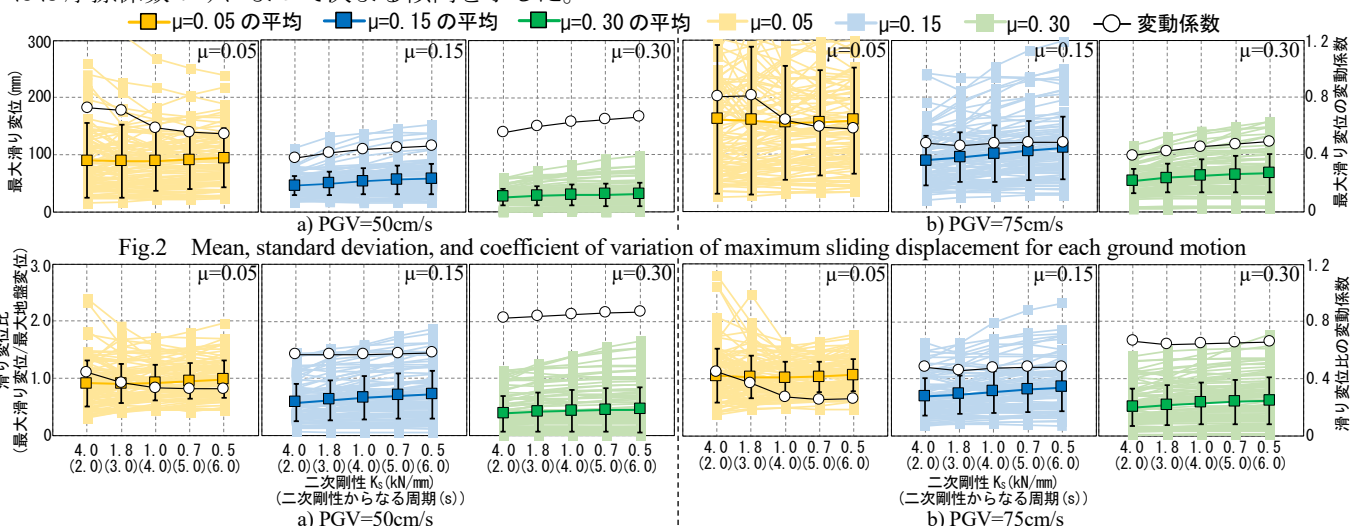


Fig.3 Mean, standard deviation, and coefficient of variation of sliding displacement ratio for each ground motion