

## 表層地盤増幅を考慮した免震層水平剛性推定の適用性に関する検討

正会員  
同  
同

○宮内智香\*1  
平井 敬\*2  
永野康行\*3

地盤応答解析  
等価線形解析

性能ばらつき  
けがき式変位計

時刻歴応答解析

## 1. 序論

既存の免震建物における維持管理方法では免震層の性能に関わる免震層水平剛性を推定する調査はない。既往研究で確立している免震層水平剛性の推定手法としては、免震層の長期モニタリングによって免震層の性能ばらつきの傾向を調査する方法<sup>1)</sup>や、ジャッキを用いて人工的に建物を自由振動させることで免震層水平剛性を推定する手法<sup>2)</sup>がある。ただ、これらは人的・時間的・経済的コストが大きく、ほとんど実施されない。そこで、著者らはこれまで自然現象である中程度の地震動（震度5弱程度）を活用し、低コストに免震層水平剛性を推定する手法を提案している<sup>3)</sup>。著者らはこれまで周期特性の異なる地震動に対して、推定手法の適用性を検討してきた。しかし、実際には表層地盤の性質により、地表面における地震動の周期特性は似たものとなると想定される。そこで、本研究の目的は、表層地盤増幅を考慮した地震動を作成し、似た周期特性を持つ入力地震動であっても免震層水平剛性を推定できるかどうか、その適用性について検討することである。

## 2. 推定手法

本推定手法では、まず免震層に加速度計とけがき式変位計を設置する。これらの装置で、中程度の地震動発生時の免震層における地震動加速度波形と免震層最大変位を観測・測定する。次に免震建物を多質点系モデルで作成する。作成したモデルに観測された地震動加速度波形を入力し、時刻歴応答解析を行う。このとき、モデルにおける免震層水平剛性を生じうるばらつきの範囲で順次変更し、繰り返し時刻歴応答解析を行う。これにより、免震層水平剛性と免震層最大変位の関係を把握する。最後に、けがき式変位計で測定された免震層最大変位と、作成した免震層水平剛性－免震層最大変位の関係を比較し、免震層水平剛性を推定する。

本論では、地盤応答解析によって免震層スラブ底面における地震動加速度波形を算出し、得られた地震動加速度波形が加速度計によって観測されたと仮定して時刻歴応答解析を実施する。これにより本推定手法が似た周期特性を持つ地震動であっても適用可能であるのかについて検討する。

## 3. 地盤応答解析：地震動加速度波形の作成

地盤応答解析は地盤の非線形性を考慮した等価線形解析として実行した。表1に地盤構造を示す。本地盤応答解析の入力地震動は、JMA神戸、八戸、乱数の3つの位相の告示波（稀に発生する地震動：加速度応答スペクトルの最大値160 cm/s<sup>2</sup>）を使用した。図1,2,3には得られた免震層スラブ底面における地震動加速度波形のグラフを示し、図4には地震動加速度波形の変位応答スペクトルを示す。

表1 表層地盤の構造

	層厚	質量密度	S波速度	土質
	m	kg m <sup>-3</sup>	m s <sup>-1</sup>	
表 層 地 盤	14.1	1650	180	砂質土
	2.00	1900	200	砂質土
	2.80	1850	210	砂質土
	2.20	1900	210	砂質土
	3.00	1850	200	砂質土
	0.80	1950	240	砂質土
	2.00	1910	220	砂質土
2.70	1850	250	粘性土	
基盤	3.40	2050	400	—

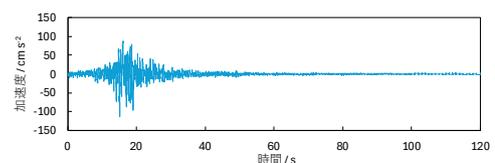


図1 JMA神戸位相の地震動加速度波形

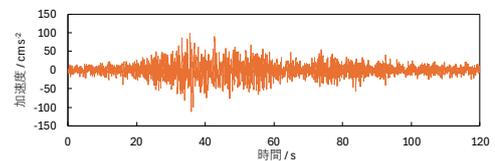


図2 八戸位相の地震動加速度波形

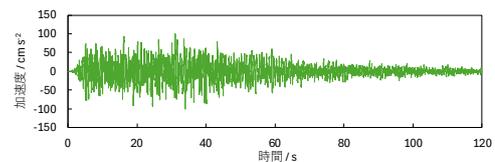


図3 乱数位相の地震動加速度波形

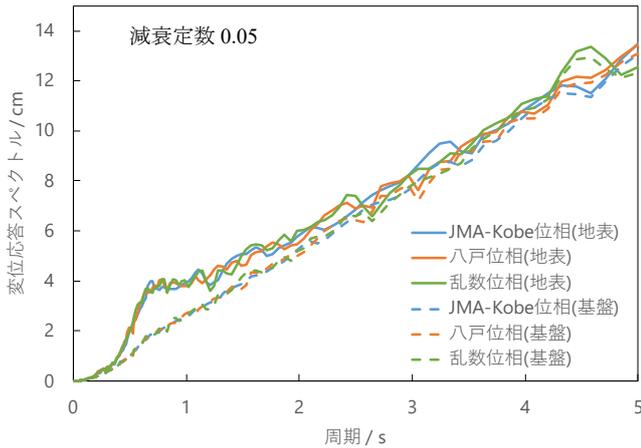


図4 各地震動加速度波形の変位応答スペクトル

#### 4. 数値実験例 モデルの詳細

図5に免震建物のモデル図、表2に上部構造の特性値、表3に免震材料の特性値を示す。表3に示す天然ゴム系積層ゴムの水平剛性を標準的なばらつき範囲である-15%、標準値、+26%で変更し解析を実行した。これにより、免震層最大変位のばらつきを確認し、本推定手法の適用可能性を検討した。入力地震動は前章の図1から図3のものとした。

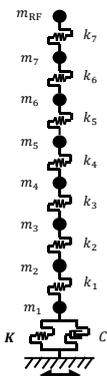


図5 モデル図

表2 上部構造の特性値

層	特性値	
	質量 10 <sup>5</sup> kg	水平剛性 10 <sup>9</sup> N m <sup>-1</sup>
RF	8.82	—
7	8.33	1.52
6	8.33	1.82
5	8.33	2.00
4	8.33	2.07
3	8.43	2.25
2	8.43	2.61
1	8.43	3.68

表3 免震材料の特性値(1基あたりの標準値)

種類	基数	特性値	
		水平剛性 10 <sup>5</sup> N m <sup>-1</sup>	減衰係数 10 <sup>6</sup> N s m <sup>-1</sup>
天然ゴム系積層ゴム	22	7.46	—
オイルダンパー	3	—	1.88

#### 5. 数値実験例 解析結果：推定手法の適用可能性

図6に免震層水平剛性が-15%、標準値、+26%のときの免震層最大変位応答の結果を示す。

本解析結果より、表層地盤増幅を考慮した地震動(応答

スペクトルが似た地震動)であっても、免震層最大変位は最大 2.7 mm のばらつきが生じることが明らかとなった。しかし、位相によってばらつきの大きさが 1.0 mm より小さくなる場合もある。この場合、本推定手法の適用が困難である。

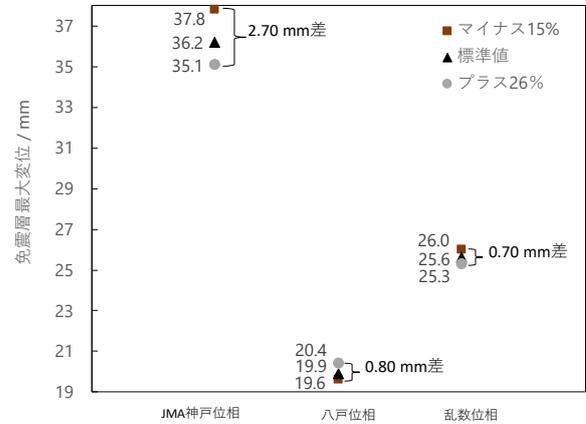


図6 各入力地震動に対する免震層最大変位

#### 6. 結論

表層地盤増幅を考慮した地震動加速度波形を用いて免震層水平剛性の推定手法の適用性を検討した。解析結果より、入力地震動の周期特性の違いによって免震層最大変位のばらつきが異なることが明らかとなった。けがき式変位計の測定単位である 1.0 mm 以上のばらつきがある場合、本推定手法は適用可能であるが、1.0 mm 以下である場合、本推定手法によって免震層水平剛性を推定することは困難である。今後は、実建物における本推定手法の適用性について検討していく。

#### 謝辞

本研究における地盤応答解析と時刻歴応答解析において、それぞれユニオンシステム株式会社のソフトウェア ShakePRO-L と DynamicPRO を使用した。本研究の遂行にあたり、ひょうご震災記念 21 世紀研究機構による研究調査助成事業「演繹と帰納の両面からアプローチによる減災都市に向けた革新的建築設計法」の助成を受けた。

#### 参考文献

- 1) 高橋悟、金沢健司、北村春幸：免震建物を対象とした基礎版変形量の長期モニタリング、日本建築学会大会講演梗概集(北海道)、構造Ⅱ、pp.69-72、2013年8月
- 2) 長谷川泰稔、飛田潤、福和伸夫、八木茂治、北村敏也：実大免震建物の振動実験と共振観測、構造工学論文集、Vol.46B、pp.307-316、2000年3月
- 3) 宮内智香、平井敬、永野康行：観測地震動を入力とした地震応答解析による免震層水平剛性の推定手法、日本建築学会近畿支部、2024年6月

\*1 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 博士前期課程

\*2 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 准教授・博士(工学)

\*3 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 教授・博士(工学)

\*1 Grad. Student, Grad. Sch. Dis. Res and Gov., Univ. Hyogo

\*2 Assoc. Prof, Grad. Sch. Dis. Res and Gov., Univ. Hyogo, Dr. Eng.

\*3 Professor, Grad. Sch. Dis. Res and Gov., Univ. Hyogo Dr. Eng.