

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	都市免震構造の地震応答特性に関する検討（その4：位相差入力を考慮した地震応答解析）
Title(English)	Seismic response of a seismically-isolated urban structure (Part 4: Seismic response analysis considering phase difference input)
著者(和文)	鈴木 瑛大, 石井 建, 菊地 優, 佐藤 大樹
Authors(English)	Akihiro Suzuki, Ken Ishii, Masaru Kikuchi, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 621-622
Citation(English)	, , , pp. 621-622
発行日 / Pub. date	2023, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

都市免震構造の地震応答特性に関する検討 (その4：位相差入力を考慮した地震応答解析)

免震構造 都市 レジリエンス
地震応答解析 インフラストラクチャー

正会員 ○鈴木 瑛大*¹ 同 石井 建*²
同 菊地 優*² 同 佐藤 大樹*³

1. はじめに

本報その1で設定した街区免震モデルでは、免震基盤のサイズが400m×400mと非常に大きく、地震入力時には場所によって地震波の到達に時間差が生じると考えられる。その影響によりねじれ振動が励起された場合には、免震基盤の端部では中央部に比べて大きな応答変位が生じる可能性がある。そこで、本報その4では、地震動の位相差を考慮した地震応答解析を行い、水平2方向の応答特性について検討した。

2. 解析手法

地震動の位相差入力には、図1に示すようなラージマス法を適用した。地盤にみためラージマスを、免震基盤を水平2方向に32×32分割した計1089(=33×33)個の格子点の質点の下にそれぞれ配置する。ラージマスを"ラージマスの質量×地動加速度"の力で加振することで、地動加速度のコントロールを行い、ラージマスを順々に加振していくことで位相差入力を表現した。

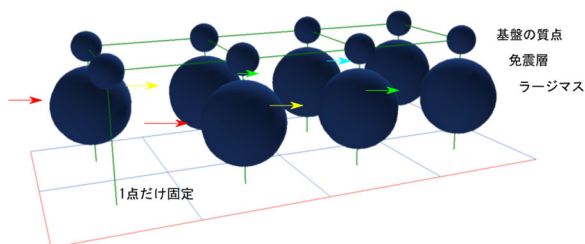


図1 ラージマス法のイメージ

地震波の位相差時間の計算方法を図2に示す。地震波は図2の原点Oに最初に到達すると仮定し、水平方向に θ_x (x軸方向が0)、鉛直方向に θ_z (z軸方向が0)で入射されるとする。ラージマスの各点における位相差時間 t_{lag} を求める際に $V_s=400$ m/sとした。

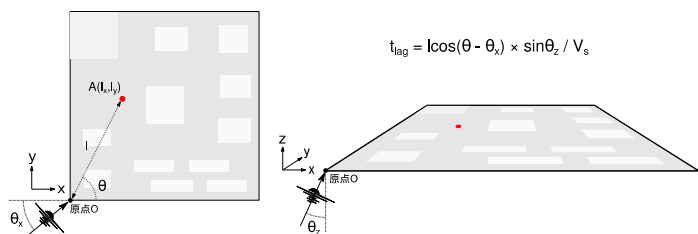


図2 位相差時間の計算

3. 解析モデル

解析モデルは図3に示すように上部建物、剛な基盤構造、

免震層、ラージマスから構成され、それぞれ質点系モデルとした。ラージマスは位相差入力を行うための要素である。

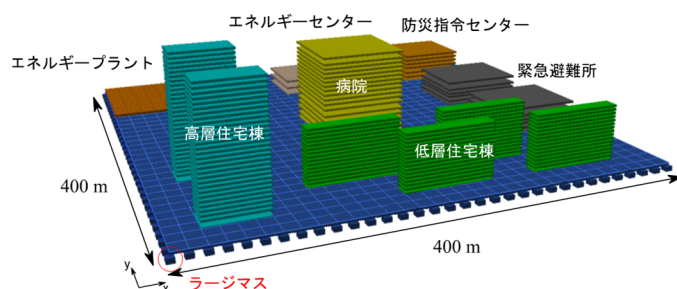


図3 解析モデルイメージ

上部建物の水平方向の復元力特性は、RC造はTakedaモデル、S造はノーマルトリニアモデルとし、減衰は瞬間剛性比例型減衰とした。

免震層は全数鉛プラグ入り積層ゴム（以下、LRB）で構成され、Kikuchi-Aikenモデル¹⁾でモデル化を行った。免震システムは支点反力に応じてLRBのサイズおよび1箇所当たりの装置台数を決定した。図4に免震装置の配置・台数を示す。また、振動特性値を表1に示す。

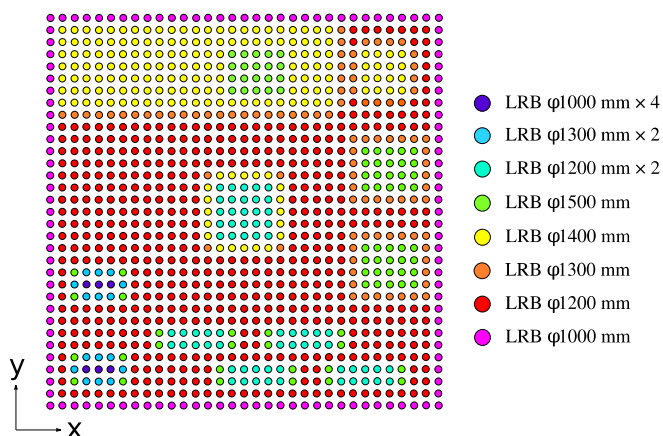


図4 免震装置の配置

表1 振動特性値

偏心率	x 軸方向	0.003
	y 軸方向	0.022
等価周期(免震層 40 cm 変形時)		4.72 s
ダンパー量		2.48 %

ラージマスは図 3 のように免震基盤の下に 33×33 個が取りついてあり、表 2 の諸元でモデル化した。

表 2 ラージマスの諸元

ラージマスの質量	2.0×10^{10} kg
ばね周期	200.0 s
減衰定数	$1/\sqrt{2}$

4. 入力地震動

入力地震動は告示波神戸 NS 位相, EW 位相の組み合わせ、告示波八戸 NS 位相, EW 位相の組み合わせの計 4 種類、2 パターンである。それぞれ x 軸方向に EW 成分、y 軸方向に NS 成分を同時入力している。

5. 解析ケース

地震波の入射角は水平入射角 θ_x を $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の 3 パターン、鉛直入射角 θ_z を $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ の 5 パターンの計 15 パターンを設定した。最大位相差が発生する $\theta_x=45^\circ$ 、 $\theta_z=30^\circ$ での端部間の位相差時間は 0.70 s である。

6. 解析結果と考察

地震波の入射角による基盤全体のねじれ応答の結果を示す。200m ある基盤中央部と基盤の四隅の間での相対変形をみることで、ねじれ具合を判断する。

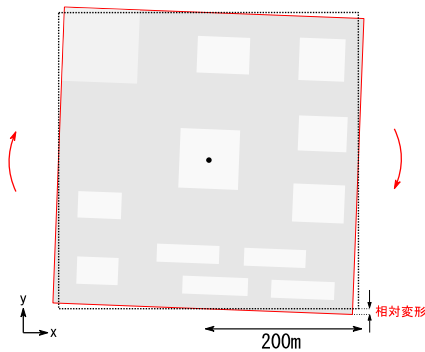


図 5 ねじれのイメージ

告示神戸入力時の各入射角におけるねじれの最大値一覧を表 3 に示す。なお、告示八戸入力時の結果は告示神戸入力時と大差がなかったため省略する。位相差が大きくなるに従いねじれも大きくなったが、最大位相差が生じる $\theta_x=45^\circ$ 、 $\theta_z=30^\circ$ の場合でも、ねじれはさほど大きくない結果となった。これは街区免震モデルの偏心率が低くかつねじり剛性が高いことが要因であると考えられる。

表 3 告示神戸入力時のねじれの最大値 [cm]

		鉛直入射角 θ_z				
		0°	5°	10°	20°	30°
水平 入射角 θ_x	0°	0.90	0.95	1.13	1.60	2.07
	45°	0.90	0.90	1.20	1.98	2.52
	90°	0.90	0.93	1.03	1.41	1.73

図 6 に一番応答の大きかった告示神戸入力時の $\theta_x=45^\circ$ 、 $\theta_z=30^\circ$ の x 軸方向の上部建物の各種応答結果を示す。建物によって免震層の変形が異なるのは、各建物直下の地盤間の動きが異なることの影響が大きい。

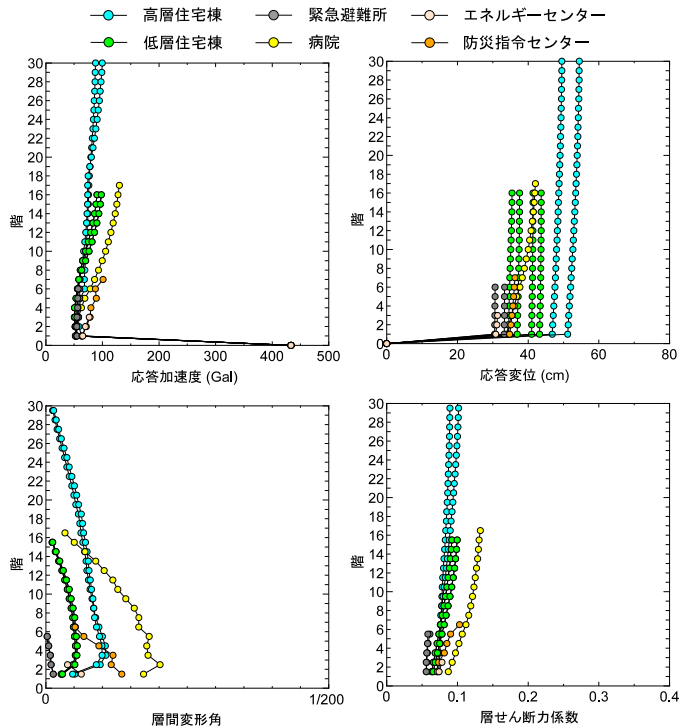


図 6 告示神戸の応答結果 ($\theta_x = 45^\circ$, $\theta_z = 30^\circ$, x 方向)

7. まとめ

本報その 4 では、地震動の位相差入力による街区免震モデルの水平 2 方向応答特性について検討した。検討モデルでは構造物の偏心率が低くかつ大規模ゆえにねじり剛性が高いため、位相差入力を行っても免震基盤全体のねじれ応答はほとんど励起されなかった。一方、位相差によって生じる地盤相対変位は最大で約 30 cm 程度であり、これによる免震基盤内での免震層応答変位差が支配的であった。総じて、辺長が数百 m という規模の街区全体を免震化する場合においても、街区免震の剛性や重量の偏在に起因するねじれ応答は抑制可能であることがわかった。

謝辞

本研究は日本免震構造協会・レジリエントな都市の実現構想研究会／免震システム技術 WG の活動成果の一部である。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Masaru Kikuchi, Takahito Nakamura, Ian D. Aiken : Three-dimensional analysis for square seismic isolation bearings under large shear deformations and high axial loads, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 39, pp.1513-1531, 2010.9

*1 清水建設

*2 北海道大学

*3 東京工業大学

*1 Shimizu Corporation

*2 Hokkaido University

*3 Tokyo Institute of Technology