

中間層免震構造物の逆位相問題に関する研究

その2 逆位相問題における解析的検討

A Study on the reverse phase problem of mid-story isolated buildings

Part2:Analytical research on the reverse phase problem

○鈴木雄太⁴, 古橋剛¹, 稀代康平², 登坂遼太郎³, 伊川大貴⁴, 平松勇人⁴

*Yuta Suzuki⁴, Takeshi Furuhashi¹, Kohei Kitai², Ryotaro Tosaka³, Daiki Igawa⁴, Hayato Hiramatu⁴

In this report, the tendency of the reverse phase problem is researched analytically. The analyses using a lumped mass model are performed with various combinations of isolation parameters and waves. Each result is evaluated with the index shown in the previous report and is organized in a chart to view the tendency of the problem.

2.1 はじめに

前報では、変形状態と応力状態に着目することで、中間層免震の設計における問題点を示し、その問題(逆位相問題)における評価指標について定義した。

本報その2では検討モデルを作成し、その1で定義した評価指標を用いる。そして、中間層免震構造物において、免震層のパラメータを変化させたときの逆位相問題の特徴について示す。

2.2 解析モデル

解析モデルの諸元を Figure2-1 に示す。

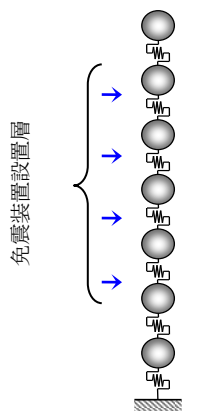


Figure 2-1 model

Table 2-1 Structural model

FL	質量 (ton)	剛性 (kN・s/m)	減衰係数 (kN/m)
7	1.00	199.34	1.35
6	1.00	199.34	1.35
5	1.00	199.34	1.35
4	1.00	199.34	1.35
3	1.00	199.34	1.35
2	1.00	199.34	1.35
1	1.00	199.34	1.35

Table 2-2 Result of Analysis Eigenvalue

モード	T (sec)	h
1st	2.129	0.010
2nd	0.720	0.030
3rd	0.445	0.048
4th	0.333	0.064
5th	0.275	0.078
6th	0.244	0.088
7th	0.227	0.094

各層 1ton とし、剛性分布は最上階から最下階まで一定とした 7 質点系せん断型モデルである。なお、減衰は剛性比例型で 1 次モードに 1%を与えている。このモデルの 3~6 層を免震層に置き換える。

2.3 解析パラメータ

免震層は Table2-3 に示すパラメータとする。

Table 2-3 parameter of Base-isolated

	0.01 ~ 0.10 まで0.01刻み			
α_s : 降伏せん断力係数				
p : バイリニア係数	0.05	0.10	0.15	0.20
T_f : 免震周期 (sec)	3.0	4.0	5.0	6.0

$$T_f = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_f}} \quad (2-1)$$

免震層はアイソレータとして積層ゴム(線形モデル)を、ダンパーとして弾塑性ダンパー(完全弾塑性モデル)と仮定する。また、パラメータは Table2-3 で示すバイリニア係数、降伏せん断力係数、免震周期を用いる。これらパラメータに対し、解析モデルの3~6層に免震装置を設置した場合の解析を行う。なお、免震周期は(2-1)式に示すように、アイソレータの剛性 K_f と上部構造の質量 M によって算出する値である。

2.4 入力地震動

入力地震動は 8 波とし、Table2-4 に示す。

Table 2-4 Seismic motion List

区分	地震波名	最大加速度 (cm/sec ²)	最大速度 (cm/sec)	最大変位 (cm)
観測波	El Centro 1940 NS	341.70	33.65	11.56
	TAFT 1952 EW	175.90	17.13	5.02
	Hachinohe 1968 NS	225.00	31.46	15.31
	JMA Kobe 1995 NS	818.02	82.59	18.29
	JR Takatori 1995 NS	605.55	124.26	35.97
センター波	BCJ-L2	355.66	53.37	42.76
模擬波	告示波(JMA Kobe位相)	407.18	49.78	32.48
	告示波(JR Takatori位相)	293.73	46.67	38.46

2.5 結果・考察

Figure2-2 から Figure2-5 に縦軸に $P_{ij}(t)_{max}$ 及び $P_{ij}(t)_{min}$ を、横軸に降伏せん断力係数 α_s をとった解析結果の一例を示す。解析結果は Figure2-2, 2-3, 2-5 に示す 3 パターンのいずれかに分類する事が出来る。

一つ目が Figure2-2 の様に $P_{ij}(t)_{max}$ の値が $-P_{ij}(t)_{min}$ を上回っており、免震層のパラメータによらず逆位相問題が発生しない場合である。

二つ目が Figure2-3 に示すように、免震層の値によらず $P_{ij}(t)_{max}$ の値が $-P_{ij}(t)_{min}$ 下回り、常に逆位相問題が発生する場合である。

三つ目が Figure2-5 の様に免震層のパラメータによって、 $P_{ij}(t)_{max}$ と $-P_{ij}(t)_{min}$ の大小関係が変化する場合である。

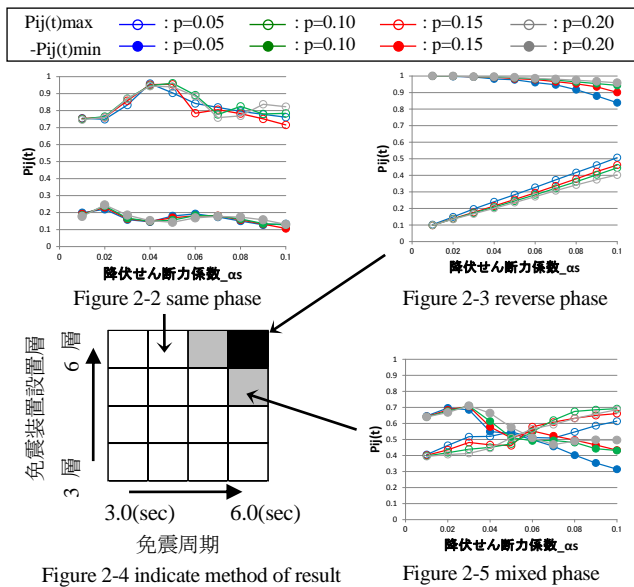
1: 日大理工・教員・建築 2: 株式会社大成建設 3: 日大理工・院(前)・建築 4: 日大理工・学部・建築

そこで、Figure2-2 のような状態を白，Figure2-3 を黒，Figure2-5 を灰色というように，3 種類に色分けしたものを Figure2-4 に表す。

縦方向に免震装置の設置層，免震周期をパラメータとして横方向に並べている。

各マス目には凡例として示すバイリニア係数 4 通りと降伏せん断力係数 10 通りの計 40 個の解析結果が含まれている。

全体では縦軸を表している免震設置層を 4 通り，横軸に表している免震周期 4 通りの合計 640 個分の解析結果を表している。



各地震波に対し上述した方法でまとめたものを Figure2-6 に示す。Figure2-6 の上段は免震層 $P_i(t)$ と直上階 $P_j(t)$ の関係を表したものであり，下段は免震層 $P_i(t)$ と直下階を $P_j(t)$ として表したものである。

まず，上段に示す免震層と直上階の關係に着目すると，地震波及び免震層のパラメータ，免震装置の設置によらず常に $P_{ij}(t)_{max}$ の値が $-P_{ij}(t)_{min}$ を上回っている状態であることから，逆位相問題が発生していないことが分かる。これは，Case3 や Case4 のような免震層と直上階の間での逆位相問題は起こりにくい傾向があると言える。

次に下段の免震層と下部構造の關係に着目する。免震層と上部階の關係とは異なりパラメータによっては $P_{ij}(t)_{max}$ の値を $-P_{ij}(t)_{min}$ が上回っている状態が存在していることが分かる。このことから，Case2 の免震層と直下階の間に逆位相問題が発生する恐れがあると言える。特に，JMA Kobe 1995 NS や JR Takatori 1995 NS といったパルス性の強い地震動において最大応答値は Case2 の逆位相で生じているといえる。

また，位相特性の影響を考察するため，JMA Kobe 1995 NS と，JR Takatori 1995 NS の位相特性を用いて，告示に示されている応答スペクトルにフィッティングさせた地震波の解析結果を比較する。Figure2-6 から明らかに位相特性のみを考慮した地震波では逆位相問題が発生しにくい結果となっていることが分かる。実設計において，実地震動の位相特性を考慮した告示波に対する設計は一般的に行われている。しかし，本研究の結果から逆位相問題は告示波に対する設計では考慮できない可能性があると考えられる。

2.6 まとめ

その 2 で得られた逆位相問題の特徴を以下に示す。

- 中間層免震では Case2 の逆位相が生じる。
- 逆位相は免震位置が高いほど発生しやすい。
- 逆位相は免震周期が長いほど発生しやすい。
- 逆位相は代表的な地震動や告示波では発生しにくく，JMA Kobe などでは逆位相が発生しやすい。

次報その 3 では，振動モードや応力の観点から逆位相問題における挙動について把握する。

2.7 参考文献

- 1) 小林正人，洪忠憲：「中間層免震構造の地震応答予測と動的設計手法の合理化」,日本建築学会構造系論文集 2005.6
- 2) 寺本隆幸，小野三千代：「中間層免震建物の応答に関する研究」,日本建築学会大会学術講演梗概集，2000.9
- 3) 日本免震構造協会：免震構造-部材の基本から設計・施工まで- オーム社
- 4) 日本建築学会関東支部：「免震・制震構造の設計 学びやすい構造設計」

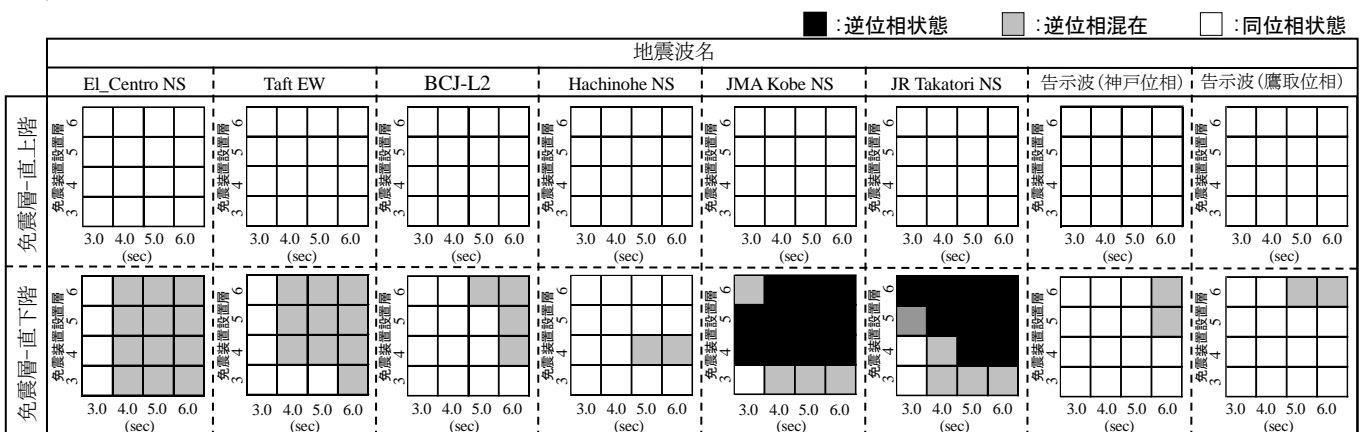


Figure 2-6 Result of Analysis