

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及び挙動の把握
Study on the anti-phase problem of mid-story isolated

Part 2 : Analytical study and understanding of behaviors in reverse phase problem

○鹿野明弘², 古橋剛¹, 飯田真弘², 岩浅郁哉²

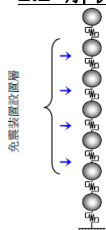
*Akihiro Kano², Takeshi Furuhashi¹, Masahiro Ida², Humiya Iwasa²

In this paper, a study model is created to show the characteristics of the anti-phase problem when the parameters of the base isolation layer are changed in the intermediate layer base isolated structure. In addition, we investigate the model in which the opposite phase occurs in the analysis result, propose a new design method by grasping the cause and danger of the anti-phase problem from the viewpoint of vibration mode and stress.

2.1 はじめに

前報では、逆位相問題が現行の設計法で考慮されていないことを示し、また逆位相問題を簡易的に評価する提案手法を示した。本報では検討モデルを作成し、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を示す。また、解析結果において逆位相が生じたモデルに対して検討を行い、振動モードや応力の観点から逆位相問題の原因や危険性を把握し、提案した設計法を示す。

2.2 解析モデル



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

モード	T (sec)	h
	1st	2.129
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

Figure 2-1 model

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。

2.3 解析パラメータ

Table2-3 Parameter of Basic Model

α s:降伏せん断力係数	0.01~0.10まで0.01刻み			
p:バイリニア係数	0.1	0.1	0.2	0.2
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を、ダンパーとして弾塑性ダンパーと仮定する。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。

2.4 入力地震動

Table 2-4 Input Earth quake Wave

区分	地震波名	最大加速度	最大速度	最大変位
		(cm/sec ²)	(cm/sec)	(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)	404.18	49.78	32.48
	告示波(JR Takatori位相)	293.73	46.67	28.46

2.5 結果・考察

Pij(t)max の値が-Pij(t)min を上回っており、逆位相問題が発生しない場合を白、Pij(t)max の値 Pij(t)min 下回り、常に逆位相問題が発生する場合を黒色、Pij(t)max と-Pij(t)min の大小関係が変化する場合を灰色とする。

各地震波に対し上述した方法でまとめたものを Figure2-2 に示す。まず、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と、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。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。Figure2-2 から、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。

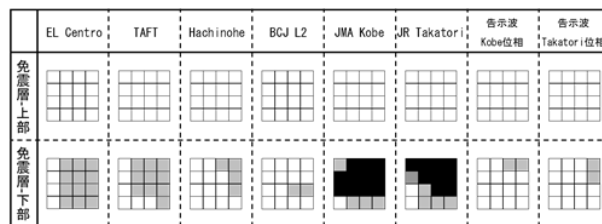


Figure 2-2 Result of Analysis

2.6 応答値・振動モードと逆位相問題の関係

逆位相問題は、2 次モードが応答に非常に大きく影響を与えている。これは、2 次モードの刺激関数が大きいことが要因と言える。また、2 次モードが卓越周期に当たっていることも大きな要因となっている。さらに、hcs が、免震による履歴減衰はほぼ全て 1 次モードの履歴減衰であり、2 次モードの履歴減衰が小さいことも大きな要因であると考えられる。よって、中間層免震建物における逆位相問題の原因は 2 次モードであり、2 次モードの刺激関数が大きく、履歴減衰がほとんど効かない為、パルス地震動の卓越周期と重なると非常に極端な逆位相が生じる。

2.7 逆位相問題における応力の増加

前節のモデルを魚骨モデル (Figure2-3) に再構築し、従来の設計荷重、逆位相状態の荷重、本研究にて提案する荷重を与えることによって、逆位相問題における応力増加の危険性を確かめる。

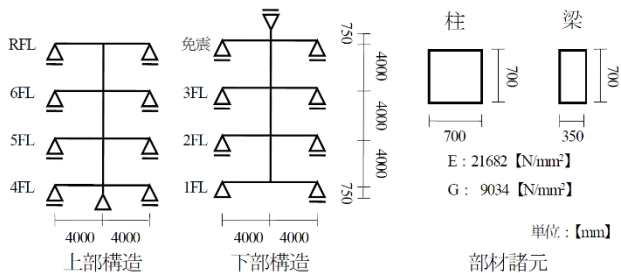


Figure2-3 Fishbone model

結果を Table2-5 に示す。まず、a)に注目すると、3 階の柱部材において上下端ともに 1 を超えていることが分かる。つまり、 $-P_{ij}(t)_{min}$ の時刻において設計以上の応力が生じている。これは、従来の設計応力では、水平荷重による応力と P- Δ による応力が引き算になるのに対して、 $-P_{ij}(t)_{min}$ の時刻では下部構造に生じる水平荷重の方向と免震変位方向が異なる為水平荷重による応力と P- Δ による応力が足されることが原因である。また、b)に注目すると、3 階の柱部材において、位相の方向を考慮した設計荷重を用いることで、 $-P_{ij}(t)_{min}$ の時刻の応力を満たしていることが分かる。しかし、3 階の梁部材においては満たしていない。したがって、逆位相問題を考慮した設計を行う為には、従来の設計荷重に加え、位相の方

向を考慮した設計荷重で応力を検討する必要があると言える。

Table2-4 story-shear force and horizontal load

FL	層せん断力Q(kN)			水平荷重P(kN)		
	①	②	③	①	②	③
6	3.19	-1.52	-3.19	3.19	-1.52	-3.19
5	4.24	-2.35	-4.24	1.05	-0.83	-1.05
4	4.57	-3.26	-4.57	0.33	-0.92	-0.33
免震	5.14	-3.88	-5.14	0.57	-0.61	-0.57
3	15.39	14.78	15.39	10.25	18.66	20.52
2	29.34	28.86	29.34	13.96	14.08	13.96
1	34.11	33.71	34.11	4.77	4.85	4.77

Table2-5 Stress ratio

a) Stress of ② / Stress of ① b) Stress of ② / Stress of ③

FL	柱		免震		右梁	
	下端	上端	左端	右端	左端	右端
6	0.42	0.50	-	0.50	0.50	0.50
5	0.51	0.60	-	0.55	0.55	-
4	0.75	0.79	-	0.63	0.63	-
免震	-	-	-	0.68	0.68	-
3	1.02	1.24	-	0.72	0.72	-
2	0.97	0.97	-	0.98	0.98	-
1	0.99	0.99	-	0.99	0.99	-
B	-	-	-	0.99	0.99	-

2.8 結論・まとめ

その 1 では、逆位相問題が現行の設計法で考慮されていないことを示し、また逆位相問題を簡易的に評価する手法を示した。その 2 では、逆位相が発生しやすいなどの傾向を示した。また逆位相問題の原因を探るため、その挙動を把握した。さらに応力的に危険となることを証明し、逆位相問題を考慮した設計法を示した。

次報では、応力の比較と設計手法の提案を行う。

2.9 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」
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 石丸辰治：対震設計の方法ダイナミックデザインの誘い 建築技術