

中間層免震構造物における逆位相問題に関する研究
その 3 応力の比較と設計手法の提案

Study on anti-phase problem in intermediate layer base isolated structure
Comparison of stress and proposal of design method

○岩浅郁哉² 古橋剛¹ 飯田真弘² 鹿野明弘²

*Fumiya Iwasa², Furuhashi Takeshi¹, Masahiro Iida², Akihiro Kano¹

By the previous paper, it was found that the reverse phase occurred in the mid-story isolated structure. The current design uses time history response analysis, but the correct stress state has not been confirmed. Therefore, the actual stress and the reason are studied if it is dangerous. It was proposed a new design method based on the confirmed stress.

3.1 はじめに

前報までに中間層免震構造物では逆位相が発生していることを述べた。現行の設計では一般的に時刻歴応答解析を用いて行われている。しかしここでは、全時間の地震応答を確認するが、各構部材に生じる地震時応力は全層同方向に作用した際の応力状態しか想定されていない。だが既往の研究より、逆位相が生じることが分かっている。そのため現行の設計では応力の面で危険側の設計になっている可能性が指摘されている。そこで本報では各部材の地震時応力を確認し現行の設計の危険性を示し、それを基に地震時応力を考慮した設計手法を提案していく。

3.2 中間層免震構造物の地震時応力の確認

3.2.1 モデル概要及び入力地震動

Figure1-1, Table1-1~1-2 に示す 9 層せん断がたの基本モデルに対し 2~8 層目を Table1-3 に示す免震層パラメータに変化させ中間層免震モデルを構築する。なお部材減衰は剛性比例型で 1 次に 1% とする。応力を算出する際のフレームモデルは均等なラーメン構造を想定した魚骨モデルを用いている。入力地震動は一般的に用いられる観測波 3 波を最大速度 50cm/s に基準化したものを用いている。

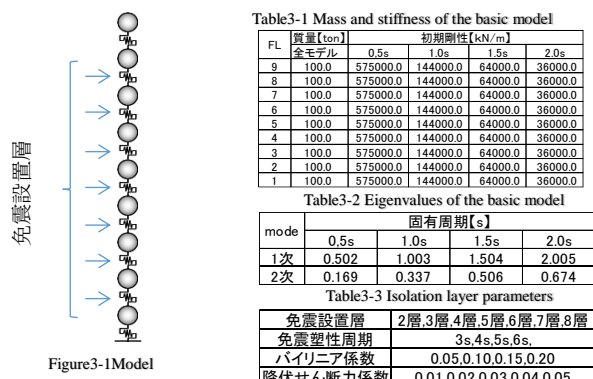


Table3-1 Mass and stiffness of the basic model

FL	質量 [ton]	初期剛性 [kN/m]			
		0.5s	1.0s	1.5s	2.0s
全モデル					
9	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
8	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
7	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
6	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
5	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
4	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
3	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
2	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0
1	100.0	575000.0	144000.0	64000.0	36000.0

Table3-2 Eigenvalues of the basic model

mode	固有周期 [s]			
	0.5s	1.0s	1.5s	2.0s
1次	0.502	1.003	1.504	2.005
2次	0.169	0.337	0.506	0.674

Table3-3 Isolation layer parameters

免震設置層	2層,3層,4層,5層,6層,7層,8層
免震塑性周期	3s,4s,5s,6s
バイリニア係数	0.05,0.10,0.15,0.20
降伏せん断力係数	0.01,0.02,0.03,0.04,0.05

Table3-4 Attenuation coefficient

記号	減衰係数 [kN·s/m]			
	0.5s	1.0s	1.5s	2.0s
a	150.0	80.0	50.0	40.0
b	240.0	120.0	80.0	60.0
c	340.0	170.0	110.0	90.0
d	440.0	220.0	150.0	110.0
e	530.0	270.0	180.0	130.0
f	630.0	320.0	210.0	160.0
g	730.0	360.0	240.0	180.0

FL	免震設置層							
	2層	3層	4層	5層	6層	7層	8層	
9	g	f	e	d	c	b	a	
8	g	f	e	d	c	b	a	
7	g	f	e	d	c	b	a	
6	g	f	e	d	0	f	g	
5	g	f	e	0	e	f	g	
4	g	f	0	d	e	f	g	
3	g	0	c	d	e	f	g	
2	0	f	c	d	e	f	g	
1	a	f	c	d	e	f	g	

Table3-5 Members in the original

部材	断面 [mm]	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]
柱	700*700	21682.07	9034.19
梁	350*700		

Table3-6 Input earthquake motion

地震動	最大加速度 [cm/s ²]	最大速度 [cm/s]	最大変位 [cm]
EI Centro 1940 NS	507.78	50.00	17.18
Hachinohe 1968 NS	357.57	50.00	24.33
TAFT 1952 EW	513.54	50.00	14.65

3.2.2 検討手順

検討手順は以下の通りである。

- ①中間層免震モデルに対して地震動を入力し、時刻歴応答解析を行い、各時刻の層せん断力及び免震層変形、最大層せん断力、最大免震層変形を求める。
- ②各時刻の層せん断力及び免震層変形より各時刻の地震力及びP-Δ モーメントを算出し、魚骨モデルに入力し足し合わせて各時刻の地震時応力を求める。
- ③設計層せん断力及び設計免震層変形より設計地震力及び設計P-Δ モーメントを算出し、魚骨モデルに入力して足し合わせ設計応力を求める。
- ④③より求めた設計応力に対する②より求めた地震時応力の最大値の倍率を確認する。

3.2.3 検討結果

免震層の直上及び直下の柱で危険側に集中しており設計応力を大きく超える地震時応力が生じているため、現行の中間層免震構造物の設計は危険側の設計となっていることが分かる。そのため、免震層の直上・直下の柱で危険側の設計となっているのは中間層免震構造物特有の問題といえる。

3.3 設計応力を超える地震時応力が生じる原因

3.3.1 抽出モデル

抽出モデルは 1.0s model とし免震諸元を免震設置

層 5 層目, 免震塑性周期 6s, バイリニア係数 0.05, 降伏せん断力係数 0.03 としたモデルを用いる. 部材減衰および応力を算出するフレームモデルは 3.2 で用いたものと同じとする. 入力地震動は El Centro 1940 NS を 50m/s に基準化した地震動を用いる.

3.3.2 地震時応力の検討結果

抽出モデルの設計応力と最大地震時応力の結果から, 免震層の直上・直下の柱が危険側の設計となっていることが分かる. そこでこれらの部材における各応力の地震力応力及び P-Δ 応力を示す.

まず直上柱頭・直下柱脚の地震力応力に着目する. 最大層せん断力を超えるせん断力は発生しないため, 設計地震力応力を超える地震時地震力応力が生じる原因は, 反曲点高さのばらつき原因(A)が考えられる. また, 直上柱頭・柱脚の P-Δ 応力に着目すると, 設計-Δ 応力は地震時 P-Δ 応力と比較して値は大きい, 計地震力応力と符号が異なり足し合わせた際に設計応力は大きく低減される. 単純な応力の足し合わせは, 設計 P-Δ 応力により設計応力を大きく減らし危険側の設計となる場合がある原因(B). さらに, 直下柱頭・直下柱脚の P-Δ 応力に着目すると, 設計 P-Δ 応力は設計地震力応力と異符号なのに対して, 地震時 P-Δ 応力は地震時地震力応力と同符号であり, 地震時応力が増大する場合がある原因(C). この 3 つのいずれかの原因によるものと考えられる.

3.4 地震時応力を考慮した設計手法の提案

3.4.1 設計地震力応力の割増率の検討概要

前節で明らかにした原因を基に地震時応力を考慮した設計手法を提案する. 原因(B)・(C)は, 設計地震力応力と設計 P-Δ 応力の絶対値を足す方法が提案でき, 原因(A)は, 設計地震力応力に割増率を乗じる方法が提案できる. ここで, 前報で示した全中間層免震モデルの設計地震力応力に対する地震時地震力応力の最大値の倍率を算出することで, 設計地震力応力に乗じる必要がある割増率の検討を行う.

3.3.2 設計地震力応力の割増率の検討結果

中間層免震モデルにおける設計地震力応力に対する最大地震時地震力応力の倍率を示す. まず, 直上柱頭・直下柱脚に着目すると, モデル周期が長いほど倍率が上昇し, 他と比較して倍率が大きくなる.

次に, 直上柱脚・直下柱頭に着目すると, モデル周期に依存せず, 倍率はやや 1 を超えた値となる. また, 梁については倍率が 1 以内に収まるため, 割増率を乗じる必要がないことが分かる. 以上より, 全ての倍率を満足するように設定した割増率の式が提案できる. 以上に示した提案設計手法は, 下記の通りとなる.

- ・免震層の直上・直下の柱の設計地震力応力に(2-1)式～(2-4)式より算出される割増率を乗じる.
- ・設計地震力応力と設計 P-Δ 応力をそれぞれ絶対値をとって足し合わせる.

$$\alpha_1=1.1+0.2T \quad (2-1) \quad \alpha_2=1.1 \quad (2-2)$$

$$\alpha_3=1.1 \quad (2-3) \quad \alpha_4=1.3+0.2T \quad (2-4)$$

α_1 : 直上柱頭の割増率, α_2 : 直上柱脚の割増率,
 α_3 : 直下柱頭の割増率, α_4 : 直下柱脚の割増率,
 T : 建物の周期[s]

3.4.3 提案設計手法有効性の確認

全モデル・全入力地震動に対して, 前節で示した提案設計を行い, 提案設計応力に対する最大地震時応力の倍率の結果を見る. 全ての中間層免震モデルで提案設計応力に対する最大地震時応力の倍率が 1 以内に収まっており安全側の設計となっている. したがって, 提案設計手法は中間層免震構造物の地震時応力を考慮した有効な設計手法であると言える.

3.5 まとめ

本報では中間層免震構造物の応力を確認し危険側となる原因を明らかにし, それに対する設計手法を提案し有用性を確認した.

3.6 参考文献

- [1] 稀代康平, 石丸辰治, 古橋剛ら: 中間層免震構造物の逆位相問題に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 459-464, 2013.8
- [2] 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, 2007.1
- [3] 藤井大地: Excel で解く 3 次元建築構造解析, 丸善出版, 2005.3