

中間層免震構造物の逆位相問題に関する研究

その 2 既往の研究のまとめ

Antiphase problem of intermediate layer isolated structure

Part2 Summary of past research

○5100 栗井勇輔<sup>2</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>, 飯田真弘<sup>3</sup>

\* Yusuke Kurii<sup>2</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Mahiro Iida<sup>3</sup>

Abstract: In the previous paper, we have proposed a design methodology of the antiphase state of the interlayer seismic isolated structure from the past research, and when we using the design method considering the earthquake stress the actual design is danger side from the past research. In this report, we will examine 3D models, and describe the future study from the previous.

2.1 はじめに

前報では, 既往の研究から中間層免震構造物の逆位相状態の設計手法の提案, 地震時応力を考慮した設計手法の提案を行い, 現行の設計が危険側であることを示した.

本報では, 立体モデルの検討を行い, これまでのまとめから今後の検討について述べる.

2.2 研究背景

現行の中間層免震構造物の設計は, 一般的に時刻歴応答解析を用いた下記に示す方法で行われている. 上記のように現行の中間層免震構造物の設計では, 時刻歴応答解析によって全時間の地震応答を確認するが, 部材設計に関しては, 層せん断力が全て同方向に作用した際の応力状態しか想定されていない. つまり, 設計応力が動的な応力を考慮できていないか不明確である.

2.3 中間層免震構造物における地震時応力の確認

Figure1-1, Table1-1~1-2 に示す 9 層せん断型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ることで中間層免震モデルを構築する. なお, 部材減衰は, 上部・下部構造に対しそれぞれ剛性比例型で 1 次に 1% とする (Table1-4 a b). また, 比較のため全体に剛性比例型で 1 次に 1% の部材減衰 (Table1-4c) を付与した耐震構造モデル (Figure1-2c, Table1-5) での検討も行う.

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 (Figure1-2, Table1-5) を用いる.

入力地震動は, 設計で一般的に用いられる観測波 3 波 (Table1-6) を最大速度 50cm/s に基準化したものを用いる.

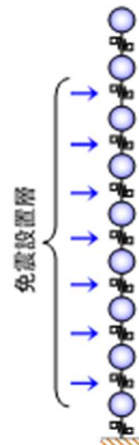


Figure2-1 Model

Table1-1 Mass and stiffness of the mode

FL	質量 [ton]	初期剛性 [20/mm]			
		0.5s	1.0s	1.5s	2.0s
9	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
8	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
7	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
6	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
5	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
4	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
3	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
2	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0
1	100.0	375000.0	144000.0	64000.0	36000.0

Table1-2 Eigenvalues of the 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

Table1-3 Isolation layer

免震設置層	2層, 3層, 4層, 5層, 6層, 7層, 8層
免震粘性係数	3s, 4s, 5s, 6s
バイリンニア係数	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

Table1-4 Attenuation coefficient

a) Seismic isolation      c) Seismic model

記号	減衰係数 [20*mm]			
	0.5s	1.0s	1.5s	2.0s
a	1500	30.0	50.0	40.0
b	2400	1200	30.0	60.0
c	3400	1700	110.0	90.0
d	4400	2200	150.0	110.0
e	5300	2700	180.0	130.0
f	6300	3200	210.0	160.0
g	7300	3600	240.0	180.0

b) Positional

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	0
7	g	f	e	d	c	0	g	
6	g	f	e	d	0	f	g	
5	g	f	e	0	c	f	g	
4	g	f	0	d	c	f	g	
3	g	0	c	d	c	f	g	
2	0	b	c	d	c	f	g	
1	a	b	c	d	c	f	g	

Table1-5 Members in model

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

FL	減衰係数 [20*mm]			
	0.5s	1.0s	1.5s	2.0s
9	920.0	460.0	310.0	230.0
8	920.0	460.0	310.0	230.0
7	920.0	460.0	310.0	230.0
6	920.0	460.0	310.0	230.0
5	920.0	460.0	310.0	230.0
4	920.0	460.0	310.0	230.0
3	920.0	460.0	310.0	230.0
2	920.0	460.0	310.0	230.0
1	920.0	460.0	310.0	230.0

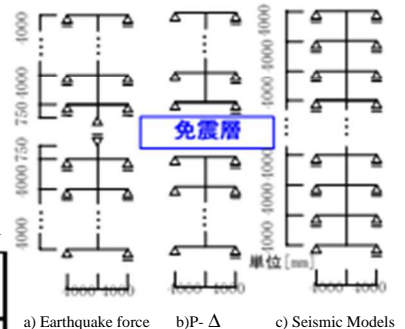


Figure2-2 Frame Model

Table1-6 Input earthquake motion

地震動	最大加速度 [cm/s <sup>2</sup> ]	最大速度 [cm/s]	最大変位 [cm]
El Centro 1940 NS	507.78	50.00	17.18
Hachinohe 1963 NS	357.57	50.00	24.33
TAFT 1952 EW	513.54	50.00	14.65

### 2.4 立体モデルの検討

これまで質点系モデルより時刻歴応答解析を行い、算出した応答値とその応答倍率の検討と魚骨モデルを用いて各部材の応力を確認してきた。しかしこれでは軸力変動や耐震壁量の影響などのより詳細な検討ができていない。

そこで立体フレームを用いる際に質点モデルとの整合性を高めるための軸力変動の考慮と耐震壁量による違いを把握し応力を満足できる設計法を提案する。

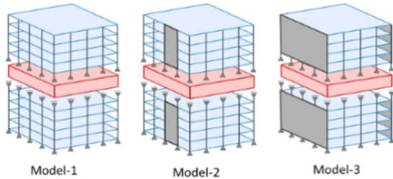


Figure2-3 Earthquake resistant wall model

Figure2-3 より耐震壁なしを Model-1, 一部耐震壁を Model-2, 全面耐震壁を Model-3 としている

次に、軸力変動を考慮する式を下記に示す。

$$P\Delta_{(t)} = \zeta_{(t)} \times N_L \times 0.5 \quad (2-3)$$

$$P\Delta_{(t)} = \zeta_{(t)} \times \left( N_L + \Delta N_{max} \frac{\zeta_{(t)}}{\zeta_{max}} \right) \times 0.5 \quad (2-4)$$

$P\Delta_{(t)}$ : 時々刻々のPΔモーメント [kN/m]     $\zeta_{(t)}$ : 時々刻々の免震層変形[m]  
 $N_L$ :  $m \times g$  [kN]     $m$ : 免震層上層の質量[ton]     $\zeta_{max}$ : 最大免震層変形[m]  
 $\Delta N_{max}$ : 設計地震力を立体モデルに付与した際の、上部構造の柱の最大変動軸力[kN]

El Centro 1940 NS, TAFT 1952 EW, Hachinohe 1968 NS の地震波を入力した各モデルの解析結果を Figure2-2に示す。

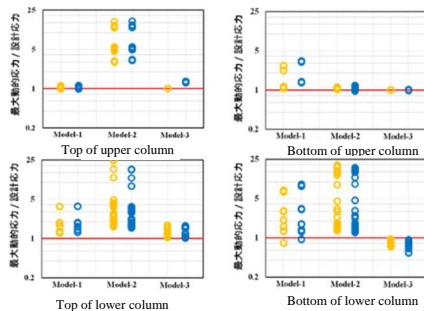


Figure2-4 Maximum dynamic stress/Design stress

縦軸は設計応力に対する最大動的応力を、横軸は応力検討箇所ごとにとっている。Figure2-4 から免震層直上直下の柱において大きく危険側となっている。また、各モデルの比較を行うと Model-2 > Model-1 > Model-3 の順番で危険側と評価できている。

### 2.5 立体モデルの設計手法の提案

耐震壁量の違いでは、倍率が危険側となる原因として P-Δ 応力の原因が考えられる。そこで梁の剛比を変えることにより P-Δ 応力の影響を抑える。次に梁の剛比を変える提案式を示す。

- ①  $k = \frac{I}{\ell}$                                    $k$ : 剛比
- ②  $\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{k_c}$                           $I$ : 断面二次モーメント
- ③  $\bar{k} = 1, 2, 5, 10$                        $\ell$ : 部材長さ
- $\bar{k}$ : 柱に対する上下左右の平均剛比

$\bar{k}$	免震層梁の断面(mm)	断面二次モーメント( $1.0 \times 10^{10} \text{ mm}^4$ )
0.53	400×700	1.14
1	431×845	2.17
2	520×1000	4.33
5	665×1250	10.84
10	770×1500	21.68

Figure2-5 Proposed design method

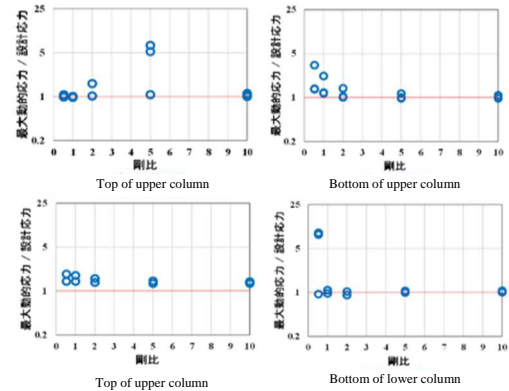


Figure2-6 Results of adopting the proposed design method

Figure2-6 より有効性を確認できた。

### 2.6 今後の検討

これまでの既往の研究をまとめ、そこから考えられる今後の検討を下記に示す。

- ① 現実的な設計手法を提案する。
- ② 実験的検討の事例を増やすことで解析的検討との整合性を高める。
- ③ 耐震壁の設置方法によって、応力に変化が起こるかの検討。
- ④ 一部に耐震壁を入れた際に大きな応力が発生した原因の究明。

### 2.7 まとめ

本報では、立体モデルの検討と設計手法の提案を行い、これまでの既往の研究をまとめたものから今後の検討について述べた。次報では、立体フレームを用いて耐震壁の入れ方の違いによって、どのようになるのかを示す。

### 2.8 参考文献

- [1]平成25年度 登坂遼太郎 修士論文 「中間層免震構造物の地震時応力に関する研究」
- [2]平成 29 年度 岩浅郁哉, 鹿野明弘, 飯田真広 「中間層免震構造物の逆位相問題に関する研究」