

中間層免震構造物における地震時応力に関する研究
その 1 現行の設計応力と地震時応力との比較

A Study on Stresses during an Earthquake of Structure with Mid-story Isolation System
Part1 Comparison with Earthquake Stress and Design Stress

○岡部丈³, 古橋剛¹, 登坂遼太郎², 川口剣斗³

*Jo Okabe³, Takeshi Furuhashi¹, Ryotaro Tosaka², Kento Kawaguti³

In this paper, we show that it is possible to determine analytically earthquake stress at every moment of the intermediate layer base-isolated structure, and compare with the design stress current. The current design is unsafe.

1. はじめに

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。

- I 目標クライテリアの設定
- II 仮定断面の設定 (初期剛性の算定)
- III 予備時刻歴応答解析 (多質点系弾性モデル)
- IV 設計層せん断力係数の設定
- V 上部・下部構造の許容応力度設計 (立体骨組モデル)
→ 上部・下部構造フレーム応力 < 許容応力度耐力
- VI 上部・下部構造の荷重増分解析
- VII 時刻歴応答解析 (多質点系弾塑性モデル)
→ 最大応答値 < 目標クライテリア

上記のように、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、各部材に生じる地震時応力については、予備地震応答解析より得られる最大層せん断力が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。しかし、既往の研究^[1]より中間層免震構造物では上部・下部構造で逆向きの層せん断力が生じる場合があることが分かっており、現行の中間層免震構造物の設計が応力の面で危険側の設計となっている可能性が指摘されている。そこで、本報その 1 では中間層免震構造物の各部材に生じる時々刻々の地震時応力を確認し、現行の設計が危険側となることを示す。また、次報その 2 で危険側となる原因を明らかにし、それを基に地震時応力を考慮した設計手法を提案する。

1.2 中間層免震構造物における地震時応力の確認

1.2.1 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 50 [cm/s] に基準化したものを用いる。

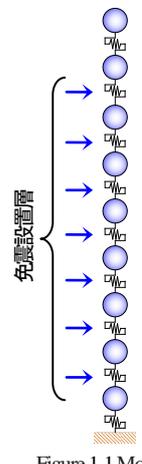


Figure 1-1 Model

FL	質量 [ton]	初期剛性 [kN/m]			
		0.5s	1.0s	1.5s	2.0s
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

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

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

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	減衰係数 [kN・s/m]			
	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

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		

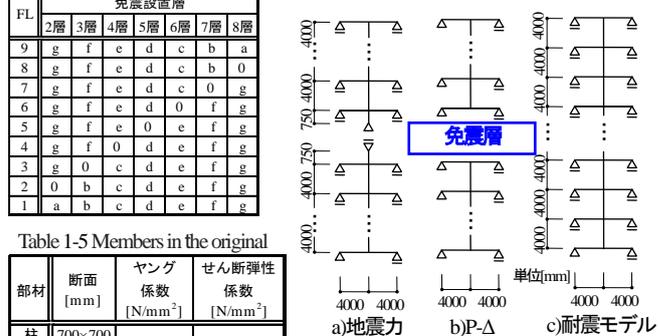


Figure 1-2 Frame Model

地震動	最大加速度 [cm/s ²]	最大速度 [cm/s]	最大変位 [cm]
El 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

1.2.2 検討手順

本研究による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うことによって、各時刻の層せん断力及び免震層変形、最大層せん断力及び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て足し合わせることで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ることで設計応力を求める。
- 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。
- ⑤耐震モデルに対しても①～④と同様の操作を行う。

1.2.3 検討結果

中間層免震モデルの結果は Figure1-3 に示すとおりである。これらの図は、部材及びモデル周期（縦軸）ごとに、全免震層パラメータ及び全地震動における設計応力に対する最大地震時応力の倍率をプロットしたグラフである。また、耐震モデルの結果は Figure1-4 に示すとおりである。これらの図は、モデルの周期、柱及び梁、階（縦軸）ごとに、全地震動及び柱頭・柱脚（柱のみ）における設計応力に対する最大地震時応力の倍率をプロットしたグラフである。また、全てのグラフにおいて赤線より左側は安全側、右側は危険側であることを示している。まず、中間層免震モデルの結果(Figure1-3)に着目すると、特に免震層の直上及び直下の柱でプロットが赤線の右側に集中しており、設計応力を大きく超える地震時応力が生じていることが分かる。そのため、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と言える。一方、耐震モデルの結果(Figure1-4)に着目すると、プロットが赤線付近に集中しており、設計応力と同程度の地震時応力しか生じていないことが分かる。そのため、従来の設計層せん断力係数や設計応力に安全率を見込む方法で十分対応できると考えられ、現行の設計は耐震構造の建物に対しては有効であると言える。

以上のことから、現行の中間層免震構造物の設計は応力の観点から特に免震層の直上・直下の柱で危険側の設計となり、これは中間層免震構造物特有の問題と言える。

1.3 まとめ

本報では、中間層免震構造物の各部材に生じる時々刻々の地震時応力を解析的に確認することで、現行の中間層免震構造物の設計が部材応力の観点から危険側の設計となり得ることを示した。

次報では、危険側の設計となる原因を明らかにし、地震時応力を考慮した設計手法の提案を行う。

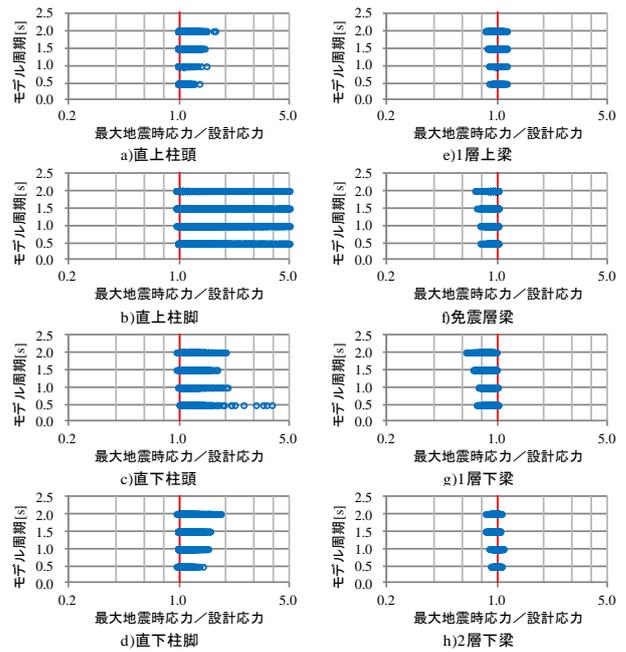


Figure 1-3 maximum earthquake stress / design stress (intermediate seismic isolation layer model)

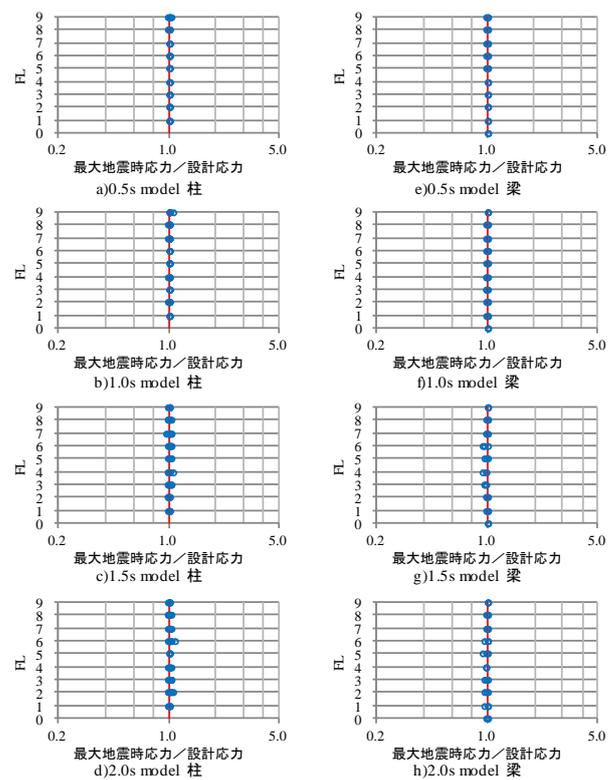


Figure 1-4 maximum earthquake stress / design stress (seismic model)

1.4 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