

中間層免震構造物における瞬時的応力に関する研究  
 現行の設計応力と最大瞬間応力との比較

A study on instantaneous stress for structure with mid-story isolation system  
 Comparison of the stress of current deigns and maximum instantaneous stress

○登坂遼太郎<sup>1</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>

\* Ryotaro Tosaka<sup>1</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>

This paper states a study on stress of time history generated in the member of structure with mid-story isolation system. The verification of safety of the conventional design is shown by comparing the stress of time history and the stress obtained by the conventional design. It is shown by this result that the stress obtained by the conventional design is dangerous in terms of the stress. And the cause of risk is shown.

1 はじめに

中間層免震構造とは、アイソレータ及びダンパーによって構成される免震層を中間階に設けるシステムであり、免震層の基礎工事を必要とせず、大きなクリアランスを必要としないため、近年注目を集めている。

中間層免震構造物の上部・下部構造は、基本的に時刻歴応答解析を用いる下記の手順で設計が行われている。

- 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 予備地震応答解析 (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

このように時刻歴応答解析によって地震動が入力した際の全時間の応答値を確認しているの一見問題がないようにみえるが、各部材に生じる応力に関しては予備地震応答解析より得られる最大層せん断係数を包絡する設計層せん断力係数によって部材設計を行っているため、全時間の部材応力は検討されていない。特に中間層免震構造物のように一般的な応答特性が把握されていない構造では、危険側の設計となっている可能性がある。なお、構造設計プログラムによって全時間のフレームモデルの応力を確認することもできるが、全時間のP-Δ応力までは考慮されていない。

そこで、本報では中間層免震構造物における時々刻々の各部材に生じる P-Δ を含んだ応力を確認し、その最大値と現行の設計によって求められる応力を比較することによって、現行の中間層免震構造物の設計法の不備について示す。また、その原因について述べる。

2 検討モデル

検討モデルは Figure1, Table1, Table2 に示す各層 100[t] , 1 次固有周期 1.0[s] の 9 質点系せん断型モデルとする。このモデルにおける 2 層目から 8 層目を免震層に変化させ、中間層免震構造物を構築する。なお、減衰係数に関しては、上部・下部構造ともに粘性減衰定数が 1% となるように、免震設置層ごとに設定している (Table3)。また、免震層パラメータに関しては Table4 に示す通りとし、8×4×4×10=960 通りのモデルに対して検討を行う。さらに、応力を算出する際のフレームモデルについては Figure2 に示す魚骨モデルとし、各部材の断面は Figure3, 弾性係数は Table5 に示す通りとする。

Table1 Model parameter

FL	質量 [ton]	初期剛性 [kN/m]
9	100.0	144000.0
8	100.0	144000.0
7	100.0	144000.0
6	100.0	144000.0
5	100.0	144000.0
4	100.0	144000.0
3	100.0	144000.0
2	100.0	144000.0
1	100.0	144000.0

Table2 Eigenvalue

mode	T [sec]
1次	1.003
2次	0.337
3次	0.206
4次	0.151
5次	0.122
6次	0.105
7次	0.094
8次	0.088
9次	0.084

Table3 Damping coefficient [kN\*s/m]

FL	免震設置層							
	2層	3層	4層	5層	6層	7層	8層	
9	360.0	320.0	270.0	220.0	170.0	120.0	80.0	
8	360.0	320.0	270.0	220.0	170.0	120.0	0.0	
7	360.0	320.0	270.0	220.0	170.0	0.0	360.0	
6	360.0	320.0	270.0	220.0	0.0	320.0	360.0	
5	360.0	320.0	270.0	0.0	270.0	320.0	360.0	
4	360.0	320.0	0.0	220.0	270.0	320.0	360.0	
3	360.0	0.0	170.0	220.0	270.0	320.0	360.0	
2	0.0	120.0	170.0	220.0	270.0	320.0	360.0	
1	80.0	120.0	170.0	220.0	270.0	320.0	360.0	

Table4 Parameters of seismic isolation

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	0.06	0.07	0.08	0.09

1: 日大理工・院(前)・建築    2: 日大理工・教員・建築

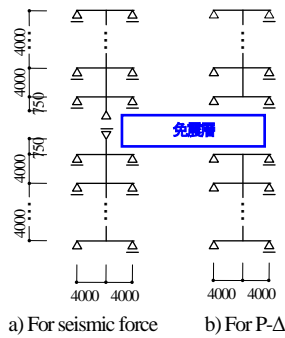


Figure2 Frame model

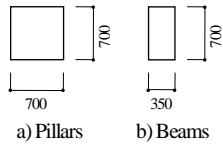


Figure3 Section size

Table5 Elastic Modulus

ヤング係数 [N/mm <sup>2</sup> ]	弾性せん断係数 [N/mm <sup>2</sup> ]
21682.07	9034.19

### 3 入力地震動

入力地震動は、一般的に設計で用いられている Table6 の 3 波とする。なお、最大速度を 50[cm/s] に基準化している。

Table6 Earthquake

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 1968 NS	357.57	50.00	24.33
TAFT 1952 EW	513.54	50.00	14.65

### 4 検討手順

本研究における検討手順は下記の通りである。

- ① 検討モデルに対して上記の地震動を入力し、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（設計層せん断力）及び最大免震層変形（設計免震層変形）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、魚骨モデルに入力することによって各時刻の応力を求める。
- 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、魚骨モデルに入力することによって設計応力を求める。
- ④ ②より求めた応力の最大値（最大瞬間応力）と③より求めた設計応力を比較する。

### 5 解析結果

解析結果は、Figure4 の通りとなる。この図は、最大瞬間応力を設計応力で除した値を色の濃さで表現したものであり、色が濃いほど設計値を超える大きな応力が瞬間的に生じていることを示している。なお、各マスの色分けは地震動、部材、免震周期、免震設置層ごとに、バイリニア係数 4 通り×降伏せん断力係数 10 通りの計 40 通りの中の最大値により評価している。

この結果より、免震層の直上及び直下の柱ではどのような地震動、免震周期、免震設置層においても概ね設計値を超える応力が瞬間的に生じており、特に免震層の直上の柱脚では、設計値の 2 倍以上の応力が生じる場合があることが分かる。したがって、現行の中間層免震構造物の設計が応力の観点から危険側となっていると言える。

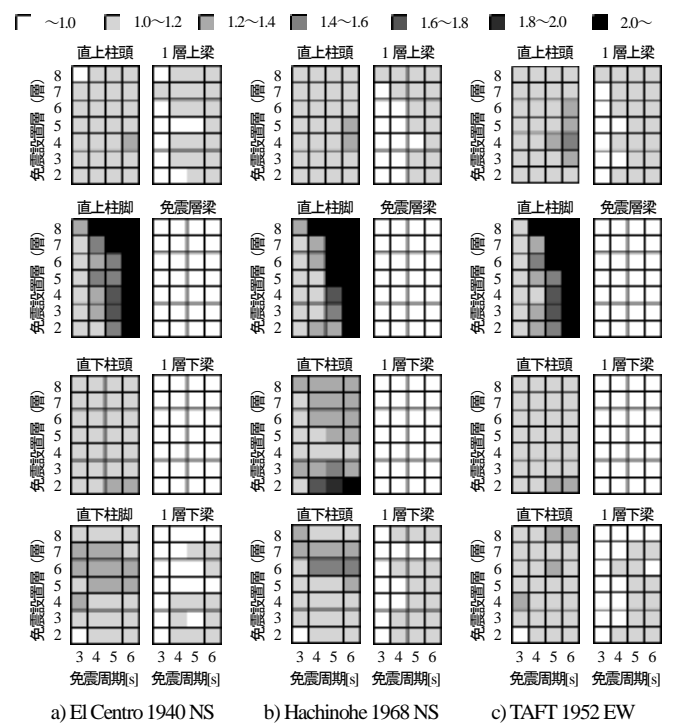


Figure4 Result of analysis

### 6 応力増大の原因

現行の設計では最大層せん断力を用いて設計応力を算定しているにもかかわらず、それを超える応力が瞬間的に生じている原因として以下のことが挙げられる。

- (A) 反曲点の高さが柱の中心から大きくずれ、柱頭もしくは柱脚の応力が増大している。
- (B) P-Δ による応力が小さい瞬間が存在するにもかかわらず、現行の設計では設計地震力による応力と P-Δ による応力の符号が異なり、設計応力が減らされている。
- (C) 地震力による応力と P-Δ による応力が同符号となり、足し合わせとなる瞬間が存在しているにもかかわらず、現行の設計では設計地震力による応力と P-Δ による応力の符号が異なり、設計応力が減らされている。

原因(A)に関しては現行の設計で行われている層せん断力係数もしくは応力の割り増しによって対応できるが、原因(B)及び(C)においては単純な割り増しでは対応できない。

### 7 まとめと今後の検討

本報では中間層免震構造物における時々刻々の P-Δ を含んだ応力の最大値と現行の設計法によって求められる応力を比較することによって、現行の中間層免震構造物の設計法の不備を示し、その原因について述べた。今後は、この問題を考慮する方法については検討していく。

#### 【参考文献】

- [1] 稀代康平, 古橋剛ら: 中間層免震構造物に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 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