

中間層免震構造物の地震時動的応力に関する研究
BMD システムを用いた地震時動的応力

A Study on Stresses during an Earthquake of Structure with Mid-story Isolation System
Stresses during an Earthquake of Structure using the BMD System

○津田優心², 古橋剛¹

*Yujin Tsuda², Takeshi Huruhashi¹

We understand by past study^[1] that the current design with Mid-story Isolation System becomes the design of the dangerous side in dynamic stress. Therefore we suggest the design technique using the BMD system in this study.

1. はじめに

中間層免震構造物とは、免震層を中間階に設けることで、基礎免震構造物では必要な免震層の大規模な基礎工事や大きなクリアランスを必要としない有用性の高い建物である。しかし、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場合があることが既往の研究^[1]より分かっている。その原因として免震層の直上・直下で設計地震力応力を超える動的な地震力応力が発生することや設計地震力応力と設計 P-Δ 応力との足し合わせの際に設計応力が低減し、過小評価してしまうことが考えられる。このような知見はいくつかあり、近年では設計地震力応力と設計 P-Δ 応力の絶対値での足し合わせや割増を行うなどの対策がなされている。そこで、本報では BMD システムによる上部最適減衰定数式^[2]を免震層に用いることで応答を小さくし、設計地震力応力<動的な地震力応力の状態を回避する。また、設計地震力応力と設計 P-Δ 応力の絶対値による足し合わせを行うことで危険側の設計にならないような設計手法を提案する。

2. モデル概要と検討手順

検討モデルの概要を示す。Figure2-1, Table2-1, Table2-2 に示す 9 層せん断型モデルを基本モデルとする。この基本モデルに対して 2~8 層目を表 2-3 に示すパラメータの免震層に変化させることで中間層免震構造のモデルを構築する。また、ここでの内部減衰は、上部・下部構造でそれぞれ 1% とする (Table2-4 a) b)。さらに、免震層の粘性減衰係数は上部最適減衰定数式より算出し決定する (Table2-4 c-1) c-2)。

応力を算出する際のフレームモデルについては、Figure2-2 a) b) d), Table2-5 に示す魚骨モデルを用いる。比較対象として粘性減衰を付与していない構造物 (免震層の粘性減衰係数が 0) の応力も算出する。

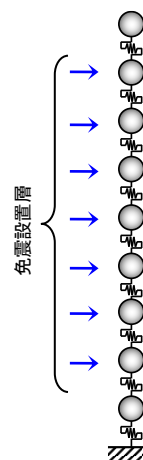


Figure2-1 Model

Table2-1 Mass and stiffness of the basic model

FL	質量[ton]	初期剛性[kN/m]	
		1.0s model	2.0s model
9	100.0	144000.0	36000.0
8	100.0	144000.0	36000.0
7	100.0	144000.0	36000.0
6	100.0	144000.0	36000.0
5	100.0	144000.0	36000.0
4	100.0	144000.0	36000.0
3	100.0	144000.0	36000.0
2	100.0	144000.0	36000.0
1	100.0	144000.0	36000.0

Table2-2 Eigenvalues of the basic model

mode	固有周期[s]	
	1.0s model	2.0s model
1次	1.003	2.005
2次	0.337	0.674

Table2-3 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

Table2-4 Attenuation coefficient

a) Seismic isolation

記号	減衰係数[kN・s/m]	
	1.0s model	2.0s model
a	80.0	40.0
b	120.0	60.0
c	170.0	90.0
d	220.0	110.0
e	270.0	130.0
f	320.0	160.0
g	360.0	180.0

b) Positional relationship

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

c-1) The most attenuation coefficient of story isolation system

免震塑性周期	a	b	c	d	e	f	g
	1.0s model減衰係数[kN・s/m]						
3s	2610	2250	1880	1530	1180	840	510
4s	1940	1670	1410	1140	880	630	380
5s	1550	1330	1120	910	710	500	300
6s	1290	1110	930	760	590	420	250

c-2) The most attenuation coefficient of story isolation system

免震塑性周期	a	b	c	d	e	f	g
	2.0s model減衰係数[kN・s/m]						
3s	2790	2360	1950	1570	1200	850	510
4s	2010	1710	1430	1160	890	630	380
5s	1580	1350	1140	920	710	500	310
6s	1310	1120	940	760	590	420	250

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築

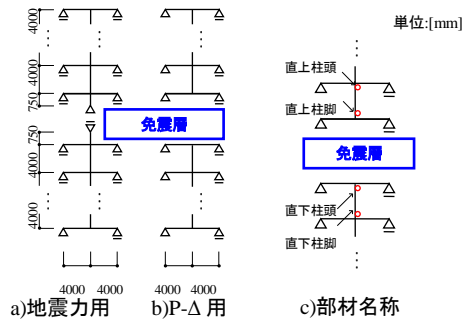


Figure 2-2 Frame model

Table 2-5 Input earthquake motion

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	22668.9	9445.4
梁	350×700		

入力地震動は、一般的に設計で用いられている表 2-6 の 3 波とする。なお、最大速度を 50[cm/s]に基準化している。

Table 2-6 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]
El Centro 1940 NS	507.78	50.00	17.18
JMA-KOBE 1995 NS	495.25	50.00	11.07
Hachinohe 1968 NS	357.57	50.00	24.33

検討手順を以下に記す。

- ① 中間層免震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、魚骨モデルに入力して足し合わせることで各時刻の動的地震力応力と動的 P-Δ 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絶対値による足し合わせをすることで設計応力を求める。
- ④ ③より求めた設計応力に対する②より求めた動的応力の最大値（最大動的応力）の倍率を確認する。
- ⑤ 粘性減衰を付与していない場合の応力も同じように求め、比較する。

3. 検討結果

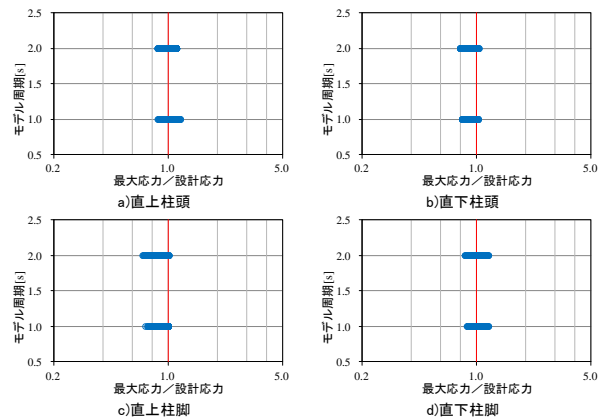


Figure 3-1 maximum earthquake stress/design stress

図 3-1 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表 2-6 による入力地震動における設計応力に対する最大応力の倍率をプロットしたグラフである。さらに、全てのグラフに示す赤線は倍率が 1 の線であり、赤線より左側は安全側、赤線より右側は危険側であることを示している。図 3-2 では上段が中間層免震構造物、下段が BMD システムを用いた中間層免震構造物の倍率となっており、免震塑性周期と免震設置層ごとのモデルにおいてどれくらいの倍率になるかを読み取ることができる。

4. まとめ

本研究による検討についてほとんどのものが応答低減できており、危険側を回避している。しかし、直上柱頭・直下柱脚において少しのモデルにおいて危険側になっていることがわかる。その原因としてすべての諸元に対して BMD システムが適用できるとは限らないということがあげられる。

5. 参考文献

- [1] 登坂遼太郎, 古橋剛ら: 中間層免震構造物の地震時応力に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2014.9
- [2] 牧良太, 古橋剛ら: DM 要素を利用した BMD システムに関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2008.9

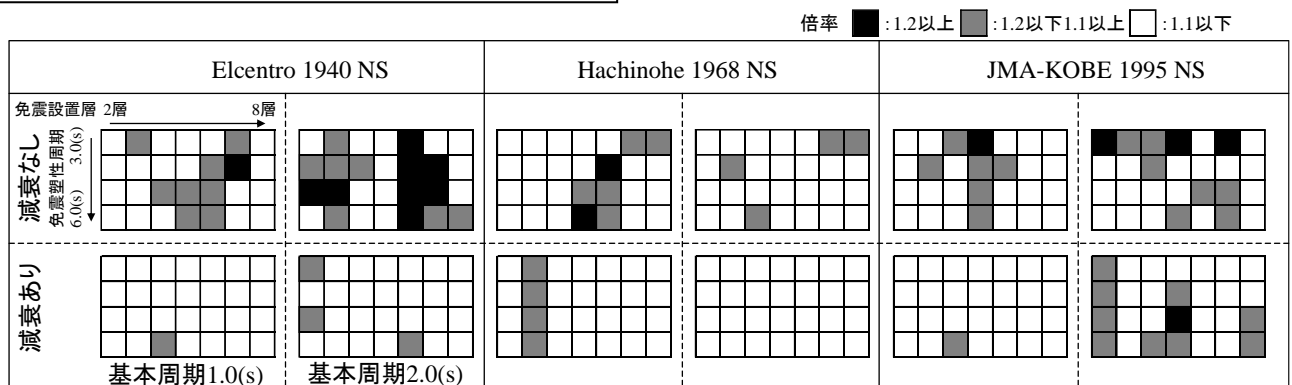


Figure 3-2 analysis result