

基礎免震構造物における動的地震力応力に関する研究  
 現行の設計応力と動的応力の比較

A Study on Dynamic Stresses during an Earthquake of Structure with Base isolation System  
 Making a comparison between current design stress and Dynamic Stresses during an Earthquake

○落合勝久<sup>1</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>, 川口剣斗<sup>3</sup>

\*Katsuhisa Ochiai<sup>1</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>, Kento Kawaguchi<sup>3</sup>

Preceding study revealed that there is dynamic stresses during an earthquake larger than current design stress at mid-story isolation building. Therefore, this paper compares dynamic stresses during an earthquake with current design stress at base isolation building. Then, design method on the safe side is suggested at base isolation system.

1. はじめに

現行の免震構造物の設計は平成 12 年建設省告示第 2009 号第 6 の構造計算を用いた設計方法や時刻歴応答解析を用いて行われている。

時刻歴応答解析を用いる設計では全時間の地震時応答を確認している。しかし、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を用いて設計されているので、全時間の地震時応力は確認されていない。つまり、層せん断力が全て同方向に作用した時の応力状態しか想定されていないということである。

こうした背景から既往の研究<sup>1)</sup>より、中間層免震構造物においては地震時に生じる動的な応力に関する研究が行われ、現行の設計が部材応力の観点から危険側になる場合があることがわかっている。

そこで本研究では基礎免震構造物において地震時に生じる動的な応力と設計応力を比較し確認する。

2. 検討手順

検討は以下の手順で行う

- ①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動的応力を求める。
- 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より求めた地震時動的応力の最大値の倍率を確認する。

3. 検討モデル

3-1 モデル諸元

検討モデルとして、Figure3-1-1 の 1 層部分を免震層とした 9 層せん断モデルを設定する。また、免震層諸元は Table3-1-1 に示す諸元から検討を行う。

減衰については、剛性比例型で 1 次に 1%付与するものとする。また、免震層の減衰は 0%とする。

応力を算出する際のフレームモデルについては Figure3-1-2 に示す魚骨モデルを用いて検討する。

Table 3-1-1 Parameter of Seismic isolation layer

免震塑性周期	3s,4s,5s,6s
バイリア係数	0.05,0.10,0.15,0.20
降伏せん断係数	0.01~0.10

Table 3-1-2 Specifications of Model

FL		0.5s model	1.0s model	1.5s model	2.0s model
全層	質量(ton)	100			
	剛性(kN/m)	46,500	11,500	51,500	29,000
	減衰係数(kN・s/m)	740	368	246	184

Table 3-1-3 Specifications of Member

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	350×350		

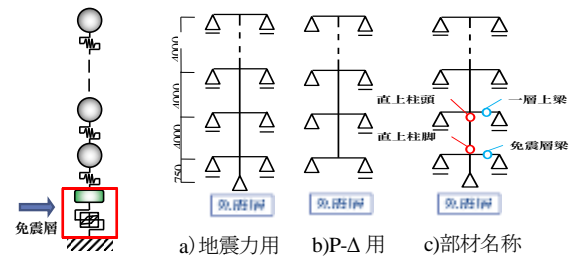


Figure3-1-1 Model Figure3-1-2 Frame Model

3-2 入力地震動

入力地震動は、設計で一般的に用いる El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS の 3 波を最大速度 50kine に基準化したものを用いる。

Table 3-1-2 Input earthquake motion

地震動	El Centro 1940 NS	Taft 1952 EW	Hachinohe 1968 NS
最大加速度(cm/s <sup>2</sup> )	507.78	513.54	357.57
最大速度(cm/s)	50.00	50.00	50.00
最大変位(cm)	17.18	14.65	24.33

4. 検討結果

以下各応力を下記のように呼称する。

- ・設計応力の地震力応力 → 設計地震力応力
- ・設計応力の P-Δ 応力 → 設計 P-Δ 応力
- ・地震時応力の地震力応力 → 動的地震力応力
- ・地震時応力の P-Δ 応力 → 動的 P-Δ 応力

時刻歴応答解析から各部材で設計応力に対する最大動的応力の倍率をプロット化したものを Figure4-1 に示し 1.0 以上を危険評価できる。また、ある 2 つの諸元から得られた各応力の地震力応力及び P-Δ 応力を Table4-1 に示す。Figure4-1 の結果から免震層梁、1 層上梁では設計応力が最大動的応力を満足している

1: 日大理工・学部・建築、College of Science and Technology, Nihon University  
 2: 日大理工・教員・建築、Professor, College of Science and Technology, Nihon University, Dr. Eng.  
 3: ポラス株式会社、POLUS Co., Ltd.

ことがわかる。しかし、直上柱頭及び直上柱脚で設計応力を超える最大動的応力が生じてしまい、倍率をみても 5.0 倍以上になっているものがあり、危険側であることがわかる。Table 4-1 の直上柱頭及び直上柱脚の各応力の詳細より、直上柱頭では足し合わせの際、設計応力を大きく減らしすぎているため最大動的応力と比較すると危険側になることがわかる。直上柱脚では設計 P-Δ 応力と設計地震力応力の値が異符号なのに対して、動的 P-Δ 応力と動的地震力応力が同符号となっていることがわかる。そのため、足し合わせの際、動的応力が増えてしまい、設計応力と比較すると危険側になることがわかる。以上のことより、単純な足し合わせでは危険側になる場合がある。

Table4-1 Detail of design stress with dynamic stresses during an earthquake

	設計 (N・mm)	動的 (N・mm)	倍率
地震力応力	-6.02×10 <sup>6</sup>	-2.73×10 <sup>6</sup>	0.45
P-Δ 応力	5.25×10 <sup>6</sup>	-1.66×10 <sup>6</sup>	0.32
合計値	-7.74×10 <sup>6</sup>	-4.40×10 <sup>6</sup>	5.68

	設計 (N・mm)	動的 (N・mm)	倍率
地震力応力	5.69×10 <sup>6</sup>	-5.50×10 <sup>6</sup>	0.97
P-Δ 応力	-1.34×10 <sup>6</sup>	1.26×10 <sup>6</sup>	0.09
合計値	4.35×10 <sup>6</sup>	-5.37×10 <sup>6</sup>	1.23

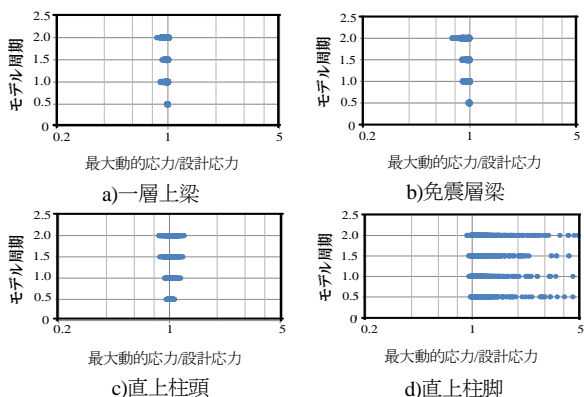


Figure4-1 maximum earthquake stress / design stress

### 5. 既往の提案設計手法を用いた検討

既往の研究では中間層免震構造物の部材設計において、足し合わせにより危険側となる問題を解決できる設計手法が提案されている。基礎免震構造物においても危険側になったので、既往の設計手法を用いる。

まず、免震層の直上柱頭及び直上柱脚の設計地震力応力に割増率を乗じる。さらに、設計地震力応力と設計 P-Δ をそれぞれ絶対値で足し合わせる。

その結果、設計応力に対する最大動的応力を表したグラフである Figure5-1 のようになり、設計応力が最大動的応力を満足していることがわかる。しかし、安全な結果が出ているものの、かなり過剰な設計となっていることが問題となる。

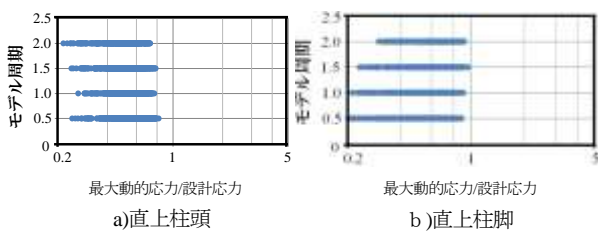


Figure5-1 Design method of Preceding study

maximum earthquake stress / design

$$\alpha_1 = 1.1 + 0.2T \quad (5-1-1) \quad \alpha_2 = 1.1 \quad (5-1-2)$$

$\alpha_1$ : 直上柱頭の割増率、 $\alpha_2$ : 直上柱脚の割増率、

$T$ : 建物の周期 (基本モデルの 1 次固有周期) [s]

### 6. 設計手法の提案

既往の提案設計手法だと安全になるものの、過剰な設計になってしまうことがわかった。以上の問題を解決するため既往の提案設計と同様、柱のみに新たな設計手法を提案し以下に示す。

- ①免震層の直上の柱の設計地震力応力と最大動的応力を比較する
- ②免震層の直上の柱の設計地震力応力に既往の割増率を乗じる

Table4-1 より設計応力と最大動的応力を比較したところ危険になったにも関わらず、設計時地震力応力と最大動的応力を比較したところ、安全になったことから①の設計手法を提案する。以上のことから①の提案設計手法を用いた結果を Figure6-1 に示す。力の P-Δ 応力を抜き最大動的応力と比較することで多少 1.0 を超える値がでたものの、おおむね安全の結果となった。

また、②の提案設計手法より Figure6-2 の結果から直上柱頭ですべての設計応力が最大動的応力を満足したことがわかり、直上柱脚でもおおむね安全の結果となることがわかる。以上のことから新たな提案設計手法が柱において現行の設計より設計応力が最大動的応力を満足した結果となることがわかる。また、既往の提案設計手法と比較しても、過剰になりすぎている問題も解消することができる。

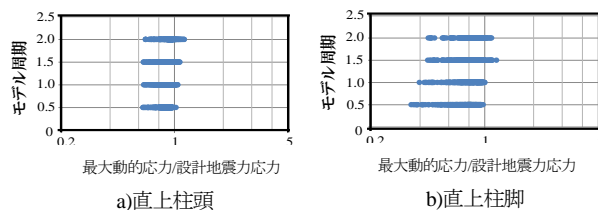


Figure 6-1 The proposed design approach ①

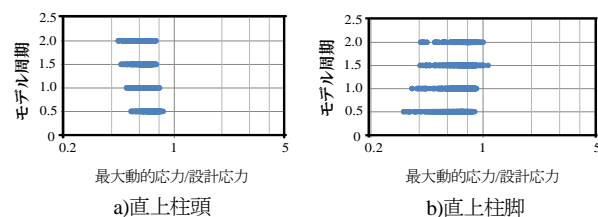


Figure 6-2 The proposed design approach ②

### 7. まとめ

本研究では基礎免震構造物の最大動的応力を確認し、単純な足し合わせでは設計応力を超える最大動的応力が生じる場合があることを明らかにした。以上の問題を解決するため、設計手法を提案し現行の設計と比較、また既往の提案設計手法とも比較し本研究の提案設計手法の有効性を示した。

#### 【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, 2014 年度日本建築学会大会 (近畿)学術講演会
- [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