

中間層免震構造物の地震時動的応力に関する研究  
—拘束条件が応力に及ぼす影響—

A Study on Dynamic Stresses during an Earthquake of Structure with Mid-story Isolation System  
- The influence gives a restriction condition to stress -

○寺山悠貴<sup>2</sup> 古橋剛<sup>1</sup>, 坂巻拓哉<sup>3</sup>

Yuuki Terayama<sup>2</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Takuya Sakamaki<sup>3</sup>,

In this report, we use three-dimensional frame model in the analysis. It calculates momentary dynamic stress of an earthquake by the model. The influence is studied that is given by each member with different restriction condition. Each result is evaluated with the index shown in the previous report and is organized in a chart to view the tendency of the problem.

2-1. はじめに

前報では、立体フレームモデルにおいて時々刻々の地震時動的応力を確認することで直上・直下の柱において設計応力を越える地震時動的応力が確認された。また、耐震壁量が増加するにつれて設計応力に対する地震時応力の倍率が低減する傾向が見られた。

本報では、各モデル及び中央部柱の応力状態を確認することで、柱部材の拘束条件による違いを把握する。また、柱の外端通りと中央通りの応力分布の違いについても検討する。

2-2. 拘束条件が応力に及ぼす影響

2-2-1 モデル概要

質点系モデルは前報同様、基本モデル周期 0.5 秒、免震設置層 5 層目とし、免震塑性周期 4 秒、降伏せん断力は上部構造重量の 3%、初期剛性は 2 次剛性の 10 倍とした 9 層せん断型モデルを用いる (Figure 1-1, Table 1-1, 1-2)。

応力を算出する際の立体フレームモデル概要及び部材諸元も前報同様である (Table 1-3, Figure 1-2, 1-3)。

2-2-2 拘束条件が応力に及ぼす影響

Figure 2-1 に Model1, Model2, Model3 各モデルの中央部柱の設計応力及び動的応力の関係を部材箇所ごとに示す。また、Figure 2-1 の入力地震動は前報の Table 1-4, Figure 1-4 に示した最大速度 50cm/s に基準化した El Centro 1940 NS のみを用いることにする。

Figure 2-1 に着目すると、前報の Figure 1-5 において直上柱頭及び直下柱頭において大きく危険側となったのは、動的地震力応力が設計地震力応力よりも大きな値となったことと設計地震力応力と設計 P-Δ 応力が異符号で、足し合わせの際に危険側となったと考えられる。

次に耐震壁量の違いによる各応力の推移を確認する。まず、地震力応力が各部材において耐震壁量が増加すると動的応力・設計応力ともに地震力応力が減少していき、P-Δ 応力が増加する傾向が確認できる。地震力応力が減少傾向にあるのは、耐震壁が地震力を負担し、柱が負担する応力が減少することが考えられる。次に、P-Δ 応力が増加傾向にあるのは、各柱が耐震壁

によって変形が拘束されることによって大きくなっているということが考えられる。また、各モデルにおいては設計 P-Δ 応力と動的 P-Δ 応力のバラつきは小さく、設計地震力応力と動的地震力応力は反曲点のバラつきが大きく影響するということが考えられる。

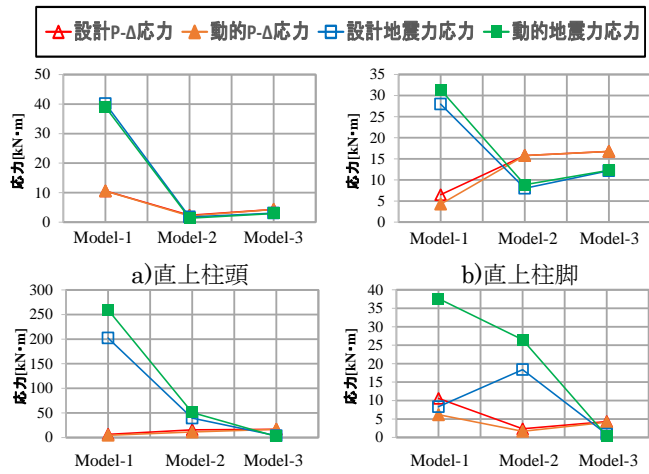


Figure 2-1 各モデルにおける中央部柱の動的応力と設計応力値

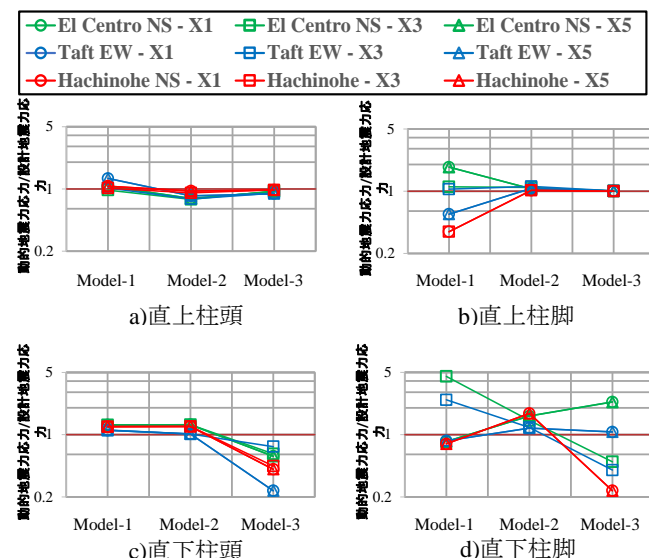


Figure 2-2 各通りにおける動的地震力応力と設計地震力応力

1: 日大理工・教員・建築  
2, 3: 日大理工・学部・建築

Professor, College of Science and Technology, Nihon University, Dr. Eng  
College of Science and Technology, Nihon University

Figure 2-2 に各モデルについて通り数を凡例に各応力を示す. 各通りにおける応力の関係を把握する. 設計地震力応力に対する動的地震力応力の倍率を Figure 2-2 に示す. 凡例に X1, X3, X5 通りをとっている.

Figure 2-2 を見ると, 直上柱頭及び直下柱頭においては各通りで変化が見られなかったが, 直上柱脚の Model-1 及び直下柱脚の Model1-2 については倍率が大きく異なる. また, 直下柱頭においては, 中央の X3 通りにおいて, 耐震壁量が増加に伴い倍率が低下したが, X5, X1 通りにおいては倍率が上昇する結果となった. これら拘束条件が応力に及ぼす影響から検討箇所ごとに地震力応力の割増の式が提案できる.

### 2-3. 拘束条件を考慮した割増の提案式とその評価

#### 2-3-1 割増率と評価方法

提案する割増の式を 2-1~2-4 式に示す.

また, 評価方法として, 割増率を乗じた設計地震力応力と設計 P-Δ 応力の絶対値による絶対値和法で足し合わせる方法と 2-5 式による二乗和平方根法で足し合わせる方法を提案する.

$$\alpha_1 = 1 + 0.5 \times (1 - w) \quad (2-1)$$

$$\alpha_2 = 1.5 + 0.5 \times (1 - w) \quad (2-2)$$

$$\alpha_3 = 1.0 + 4 \times (1 - w) \quad (2-3)$$

$$\alpha_4 = 1.0 + 2.5 \times w \quad (2-4)$$

$\alpha_1$ : 直上・直下柱頭の割増率       $\alpha_2$ : 直上柱脚の割増率  
 $\alpha_3$ : 直下柱脚の中央通り柱の割増率       $\alpha_4$ : 直下柱脚の外端通り柱の割増率  
 $w$ : Y 通り長さに対する壁長さ (model1:  $w=0$ , model2:  $w=1/4$ , model3:  $w=1$ )

$$Md = \sqrt{M_{p-\Delta}^2 + (\alpha_i M_{EQ})^2} \quad (2-4-3)$$

$M_d$ : 設計応力     $M_{p-\Delta}$ : 設計 P-Δ 応力     $M_{EQ}$ : 設計地震力応力  
 $\alpha_i$ : 割増率

#### 2-3-2 提案設計による応力と有効性の確認

2-1~2-4 式の割増率を用いて算出した提案設計応力に対する最大動的応力のグラフを Figure 2-3 に示す.

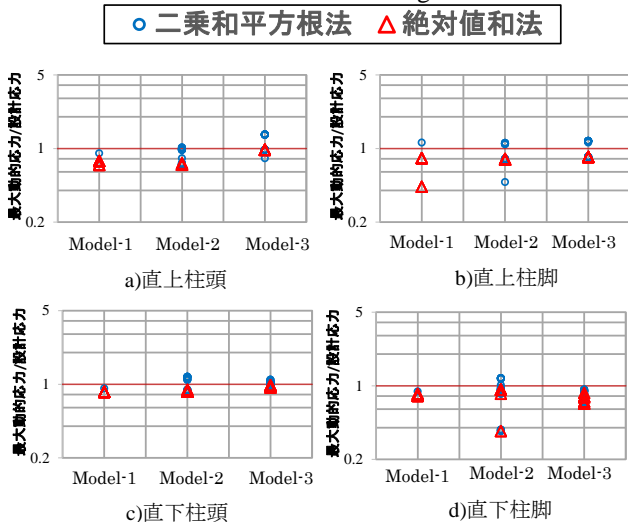


図 2-3 最大動的応力/提案設計応力

2-3-1 で示す評価方法より算出した Figure 2-3 の結果から, 絶対値和法に着目すると, 過剰な安全率を見込めている部材が存在するものの, 全ての場合で安全側となっており有効な設計手法であるといえる. 一方で, 二乗和平方根法は, 一部において危険側となる場合が確認できるため, 二乗和平方根法での足し合わせには配慮する必要がある. また, 純ラーメンモデルにおいて, 地震力の影響が支配的な直下の柱等には有効な設計法であると言える.

### 2-4. まとめ及び今後の検討課題

前報では, 既往の研究<sup>1)2)</sup>から解析モデルを立体フレームモデルに拡張し, 時々刻々の動的な応力を算出した. また, 設計応力と比較することで, 免震層直上・直下の柱において設計応力を超える地震時の動的な応力が発生することを示した.

本報では, 前報で算出した動的応力を確認し, 柱・梁の拘束条件(耐震壁量)の違いによる比較を行った. その結果, 耐震壁がない場合の Model-1 では地震力応力が支配的となり, 耐震壁量が増加するにつれて P-Δ 応力が支配的となることが確認できた. その原因は, 地震力を耐震壁が負担することで柱に対する地震力応力が低減することが支配的となる応力が変化する要因となっているのではないかと考えた. また, それらの結果から立体フレームモデルの地震力応力に乗じる必要のある新たな割増率の式を提案し, 有効性を確認した.

今後, 本検討では, 明らかにすることができなかった, 魚骨モデルと立体フレームモデルの関係性を明らかにし, 割増率を整備する. これにより精密な部材設計が可能となる.

また, 立体モデルにおいて構造体周期を変化させた解析を行い, データの蓄積を行う必要がある. 以上に加え, 質点系の固有値や応答値と部材応力との関係を明らかにできれば, より効率的に動的応力を考慮した設計法が可能となる.

#### 【参考文献】

- 1) 稀代康平, 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, 2013.8
- 2) 登坂遼太郎, 古橋剛ら: 中間層免震構造物における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
- 3) 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, 技報堂, 2007.1
- 4) 藤井大地: Excel で解く 3 次元建築構造解析, 丸善出版, 2005.3
- 5) 小林正人, 洪忠憲: 中間層免震構造の地震応答予測と動的設計手法の合理化, 日本建築学会構造系論文集, 2005.6