

中間層免震構造物の地震時動的応力に関する研究
—立体モデルにおける地震時動的応力—

A Study on Dynamic Stresses during an Earthquake of Structure with Mid-story Isolation System
- Study of the Three Dimensional Model -

○坂巻拓哉², 古橋剛¹, 寺山悠貴³,
Takuya Sakamaki², Takeshi Furuhashi¹, Yuuki Terayama³,

Design stress is not certain that can be considered dynamic stress in mid-story isolated building design. In contrast with this problem, design method considering dynamic stress is suggested. However, it is greatly safe side of design in many cases. Also, it is only considered in a simple frame model. In this report, we improve the proposed design method, and reduce excessive overestimate.

1-1. はじめに

免震構造は、大地震に対して構造体を弾性範囲内で設計することが可能な有用性の高い構造である。中でも、免震層を建物の中間部に設けた中間層免震構造物は、近年、建設数が増加している。この中間層免震構造物の上部・下部構造は、一般的に時刻歴応答解析を用いた下記の方法で設計されている。

- 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
- 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

上記のように現行の中間層免震構造物の設計では、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、部材設計に関しては、設計応力が動的な応力を考慮できているかは不明確である。

このような問題に対し、既往の研究¹⁾²⁾によって地震時の動的な応力を考慮した設計手法が提案されているが、簡易的なフレームモデルでの検討しかされていない。そこで本研究では、立体フレームモデルを用いて地震時における時々刻々の動的応力を算出し、拘束条件の違いが各部材の応力に及ぼす影響を把握する。

1-2. 立体フレームモデルにおける地震時動的応力

1-2-1 モデル概要

応答解析用の質点系モデルは、9層せん断型モデルを用いる。また、基本モデル周期を0.5秒、免震設置層を5層目とし、免震層諸元は、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倍としたモデルを使用する (Figure 1-1, Table 1-1, 1-2)。なお、部材減衰は上部・下部構造にそれぞれ剛性比例型で1次に1%付与し、免震層の減衰はないものとする。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を

Table 1-3, Figure 1-2, 1-3 に示す。立体フレームモデルは、スパン 6500mm, 階高 3000mm の9層4スパンでX方向, Y方向ともに同一のスパン及び通り数とする。全ての梁の断面二次モーメントは1.5倍とし、軸方向変形抑制のため、断面積を十分に大きな値を用いて解析を行う。

拘束条件の違いを比較するため、純ラーメン構造としたモデル (Figure 1-2-a) Model-1, 耐震壁をY1, Y5通りのX3-X4通り間に配置したモデル (Figure 1-2-b) Model-2, Y1, Y5通りのX1~X5通り全てに配置したモデル (Figure 1-2-c) Model-3 の三つのモデルについて検討する。なお、耐震壁の壁厚は200mmとし、(1-1)式に示すブレース置換法によって線材置換を行っている。

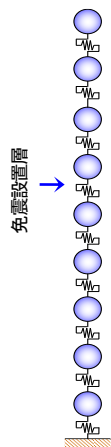


Figure 1-1 モデル図

Table 1-1 基本モデルの質量, 剛性, 減衰係

| FL | 質量 [ton] | 初期剛性 [kN/m] | 減衰係数 [kN・s/m] |
|----|----------|-------------|---------------|
| 9 | 100 | 575000 | 440 |
| 8 | 100 | 575000 | 440 |
| 7 | 100 | 575000 | 440 |
| 6 | 100 | 575000 | 440 |
| 5 | 100 | 12300 | 0 |
| 4 | 100 | 575000 | 440 |
| 3 | 100 | 575000 | 440 |
| 2 | 100 | 575000 | 440 |
| 1 | 100 | 575000 | 440 |

Table 1-2 免震層パラメータ

| | |
|----------|------|
| 免震設置層 | 5 |
| 免震周期 [s] | 4 |
| 降伏せん断力係数 | 0.03 |
| バイリニア係数 | 0.1 |

Table 1-3 部材断面及び材料特性

| 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 | 22668.95 | 9445.39 |
| 梁 | 350×700※1 | | |

※1: 梁の断面二次モーメントは表に記載の断面の1.5倍

梁軸方向変形抑制のため、断面積のみ十分に大きな値を使用

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

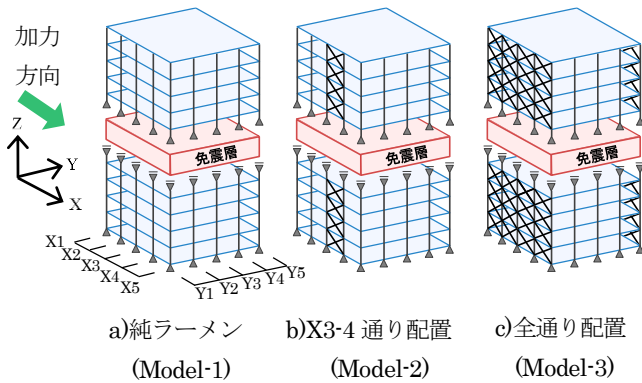


Figure 1-2 立体骨組モデル

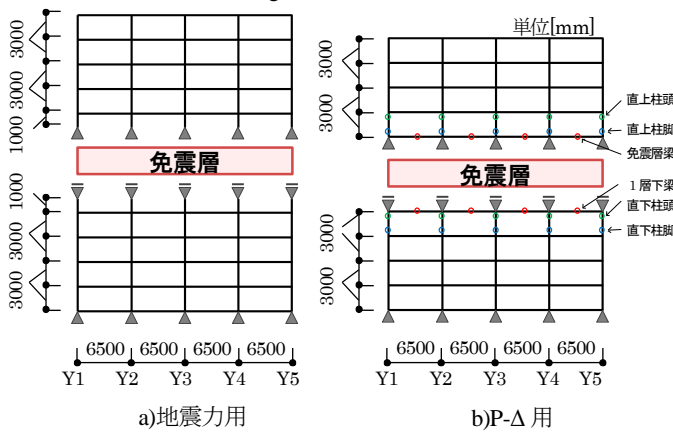


Figure 1-3 立体骨組モデル

$$Ab = \frac{G \times t \times (L^2 + H^2)^{3/2}}{2 \times \kappa \times E \times L \times H} \quad (1-1)$$

G: コンクリートのせん断弾性係数 L: スパン長さ
E: コンクリートのヤング係数 t: 耐震壁の壁厚(200mm)

1-2-2 検討手順及び入力地震動

動的な応力の算出方法は、以下の通りである。

- ① 質点系免震モデルに地震動を入力し、時刻歴応答解析を行うことにより、各時刻の層せん断力及び免震層変形、最大層せん断力（設計用層せん断力）及び最大免震層変形（設計用免震層変形）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、立体フレームモデルに入力し足し合わせることで各時刻の地震時の動的応力を求める。
- ③ 設計用層せん断力及び設計用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、立体フレーム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。以上の手順より、設計応力と最大動的応力を比較する。

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 50cm/s に基準化したものを用いる。(Table 1-4, 図 1-4)

Table 1-4 入力地震動

| | 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 |
| Taft 1952 EW | 513.54 | 50.00 | 14.65 |
| Hachinohe 1968 NS | 357.57 | 50.00 | 24.33 |

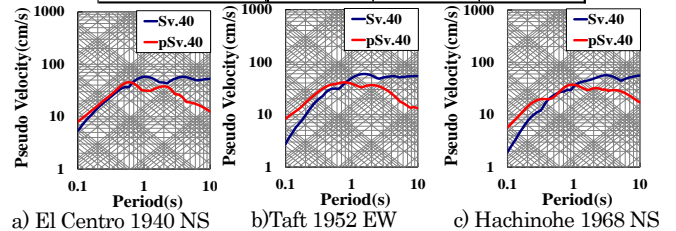
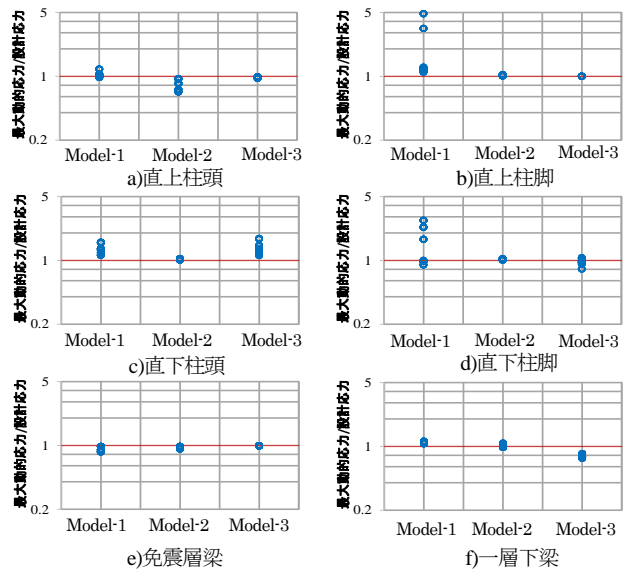


Figure 1-4 擬似速度応答スペクトル(Vmax=50cm/s 基準化)

1-2-3 解析結果

立体フレームモデルにおける設計応力に対する最大動的応力の解析結果を Figure 1-5 に示す。これらの図は、横軸に各モデルを、縦軸に設計応力に対する最大動的応力をとっており、応力検討箇所ごとにグラフを示している。従って、図中の赤線より上側が危険側、下側が安全側であることを示している。

結果に着目すると、免震層直上・直下の柱において設計応力を越える動的応力が生じており、耐震壁量が増加するにつれて設計応力に対する最大動的応力の倍率が低減する傾向がある一方、免震層梁、免震層の一層下梁は全てのモデルで概ね設計応力を満足する値となった。



【参考文献】 Figure 1-5 最大動的応力/設計応力

- 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