

中間層免震構造における逆位相問題に関する研究
その 1 中間層免震の設計における問題点と評価手法の提案

A Story on the reverse phase problem of mid-story isolated buildings

Part:1 The proposal to the problems and estimate of design of mid-story isolated buildings

○飯田真弘², 古橋剛¹, 岩浅郁哉², 鹿野明弘²

*Masahiro Iida², Takeshi Furuhasi¹, Fumiya Iwasa², Akihiro Kano²

Basically, the upper and lower structures of the mid-story isolated structure are designed using time history response analysis. In the current design, the story shear force coefficient is calculated from the maximum response value obtained from the preliminary analysis, and the designed seismic force is determined so as to envelop the calculated story shear force.

1.1 はじめに

中間層免震構造は基本的に、時刻歴応答解析を用いて設計される。現在の設計では時刻歴応答解析から得られた最大応答値からせん断係数を計算し、計算したせん断力の包絡値で設計をしているが、動的な応力が静的な応力を上回る可能性があるとの指摘がある。そこで本報では改めて中間層免震構造の評価方法を確認し、中間層免震の設計における危険性を「逆位相問題」として定義し、その危険性の評価方法を提案する。さらに提案する評価指標を用いて中間層免震の応答特性について確認し、逆位相問題とその原因について論じていく。

1.2 検討モデル

検討モデルは、Figure1-1, Table1-1, Table1-2 に示す各層 100t, 1 次固有周期 1.0s の 9 質点系せん断型モデルとし 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。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 (Table1-3)。

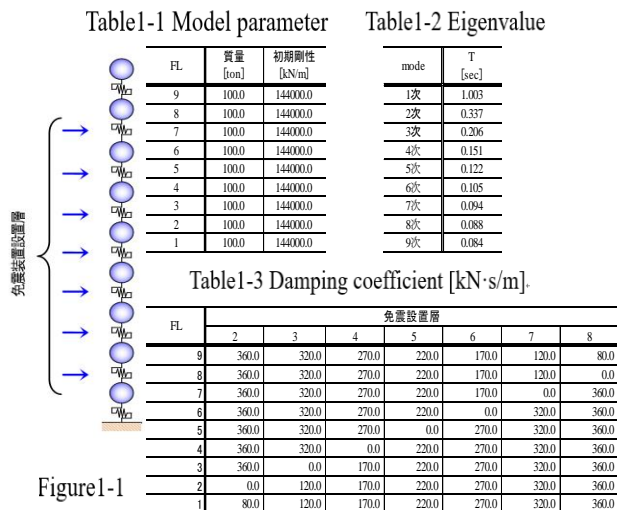


Table1-4 Parameters of seismic isolation

| 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 | 0.10 |

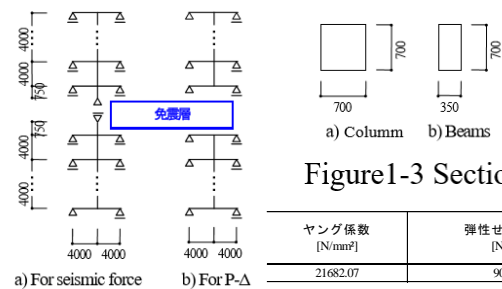


Figure1-2 Frame model Table1-5 Elastic Modulus

1.3 入力地震動

Table1-6 Input Earthquake wave

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

1.4 解析結果

図の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。最大瞬間応力を設計応力で除した値を白, 灰色, 黒で表現し、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ものとする。結果は、Figure1-4 の通りとなる。よって、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いる。よって、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。

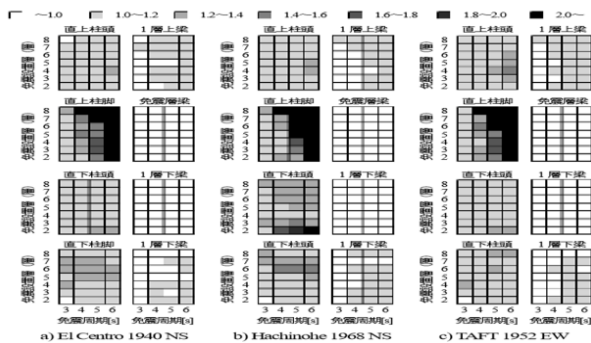


Figure1-4 Result of analysis

1.5 応力増大の原因

[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]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] 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。

1.6 中間層免震の設計における問題点

まず、免震層とその上下階について、ある時刻における変形形状と応力状態に着目すると、Figure1-5 に示す 4 通りに分類される。Figure1-5 に示すように、構造体の応力は躯体に加わる荷重と免震層の変形による応力を足し合わせて考えることができる。Case1 については梁の応力が増加することになり、Case2, Case3, Case4 においては Figure1-5 のように応力が増減することになる。本研究では、Case2, Case3, Case4 に示すような変形形状を「逆位相問題」と定義し、その応答特性について検証する。

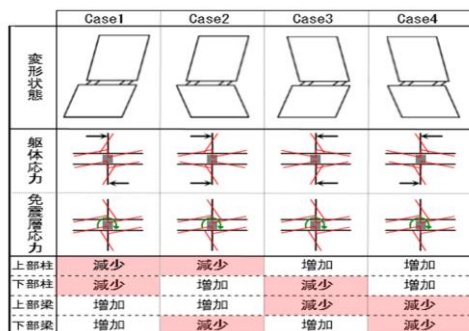


Figure1-5 The increase and the decrease of stress by the P-Δ effect of base of base-isolated layer

1.7 評価指数の提案

(I-1)式に示すように i 層と j 層の層せん断力 Q_i, Q_j から算出される値 $P_i(t)$ と $P_j(t)$ を定義する。

$$P_i(t) = \frac{Q_i(t)}{\max(\text{ABS}Q_i(t))} \quad P_j(t) = \frac{Q_j(t)}{\max(\text{ABS}Q_j(t))} \quad (I-1)$$

逆位相問題は免震層とその上下階の応答を同時に考慮

する必要があるため、縦軸に $P_i(t)$ 、横軸に $P_j(t)$ をとったグラフ(Figure1-6)を考える。

Figure1-6 に示すグラフの第 1 象限及び第 3 象限は、各層同方向に層せん断力が加わることを表し、Case1 の変形形状になっていることを意味している。一方、第 2, 第 4 象限の範囲は各層逆方向に層せん断力が加わっていることを表している為、Case2, Case3, Case4 のいずれかの変形形状になることがわかる。

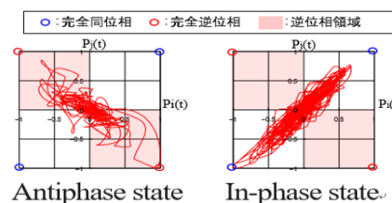


Figure1-6 the classification of modification form

つまり、第 1 象限、第 3 象限にプロットされる応答値によりも、第 2 象限、第 4 象限に大きな応答が出現する場合は逆位相問題が発生していると判断できる。さらに、(I-2)式に示すように $P_i(t)$ と $P_j(t)$ を乗じた $P_{ij}(t)$ を評価指標として定義する。

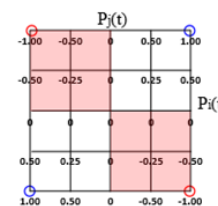


Figure1-7 Distribution of $P_{ij}(t)$

$$P_{ij}(t) = P_i(t) \times P_j(t) \quad (I-2)$$

$P_{ij}(t)$ は時間関数であり、 $P_{ij}(t)$ の符号は変形形状を表しており、ある瞬間における変形形状の判断が可能となる。さらに $P_{ij}(t)$ の最大値 $P_{ij}(t)_{\max}$ と最小値 $P_{ij}(t)_{\min}$ に -1 を乗じた値の大小関係を比較し逆位相が起こる危険性を判断できる。本研究では、特に $P_{ij}(t)_{\max}$ と $-P_{ij}(t)_{\min}$ の値に着目し検証を行う。

1.8 まとめ

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り求めた応力を比較し、現行の中間層免震構造物の設計法の不備と原因について述べた。次報ではこれを発展させ本報の評価方法を用いた解析について述べる。

【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