

## 中間層免震構造物の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 a middle class quake-absorbing design

○伊川大貴<sup>4</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>, 稀代康平<sup>2</sup>, 登坂遼太郎<sup>3</sup>, 鈴木雄太<sup>4</sup>, 平松勇人<sup>4</sup>\*Daiki Igawa<sup>4</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Kohei Kitai<sup>2</sup>, Ryotaro Tosaka<sup>3</sup>, Yuta Suzuki<sup>4</sup>, Hayato Hiramatsu<sup>4</sup>

In this report, a design method of isolated buildings is shown, and the possibility that there are some problems when designing mid-isolated buildings is shown, from viewpoints of deformation and stress. Also, the index to evaluate the reverse phase problem in the paper is shown.

## 1.1 はじめに

近年、東南海地震や首都直下型地震など大規模な地震が予測されており、高い対震性を確保できる免震構造に注目が集まっている。

免震構造は大きく分け、基礎部分に免震ピットを設ける基礎免震と、建物の中間階に免震層を設ける中間層免震の 2 つに分類することができる。中間層免震構造においては敷地を有効に活用できるというメリットを有している為、採用する事例が増加している。

中間層免震構造に関する既往の研究については、小林らや、寺本らにより、精力的になされている。しかし、各研究とも中間層免震構造の一般的な応答特性を見出すに至っていない。一般的な応答特性が明らかでない以上、法規定を満足する設計のみでは十分な安全が確保されているとは言い難く、現行の法規定を満足する設計を行った場合にも想定外の応答特性を示す可能性があると考えられる。

そこで、本研究ではこれまでに指摘されていない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論じる。

なお、本報その 1 では逆位相問題の定義を示し、新たな評価指標を提案する。次報その 2 では新たな評価指標を用い解析的検討を行う。次々報その 3 では解析的検討から逆位相問題における挙動について把握する。

## 1.2 免震構造の設計方法

## 1.2.1 免震構造の設計ルート

免震構造物の設計は以下の 2 通りに分けられる。

- |                                      |
|--------------------------------------|
| ①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 |
| ②時刻歴応答解析を用いた設計                       |

①に該当しない場合は②の設計を行う必要がある。なお、本研究で対象とする中間層免震については②のルートに該当する。

## 1.2.2 時刻歴応答解析と設計用地震力

時刻歴応答解析を用いた場合に行われる設計手順を Figure 1-1 に示す。現状の設計では、予備解析から求められる最大応答値から層せん断力係数を算出し、算出された層せん断力係数を包絡するように設計用地震力を決定する。さらに、求められた外力に対して許容応力度以内に収まるように各部材の設計を行い、最後に断面が決定したモデルに

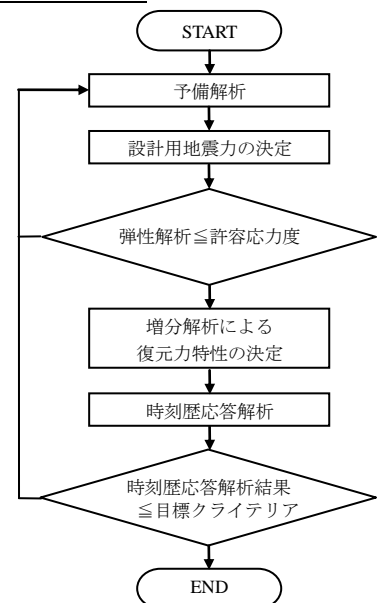


Figure1-1 Design procedure outline

対して応答値が目標クライテリアに収まっていることを時刻歴応答解析で確認して設計が完了となる。

## 1.3 中間層免震の設計における問題点

上記の設計手順の中で考慮されるべき問題点について本節で解説する。

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状と応力状態に着目すると、Figure1-2 に示す 4 通りに分類される。

Figure1-2 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 Figure1-2 のように応力が増減することになる。

	Case1	Case2	Case3	Case4
変形状態				
躯体応力				
免震層応力				
上部柱	減少	減少	増加	増加
下部柱	減少	増加	減少	増加
上部梁	増加	増加	減少	減少
下部梁	増加	減少	増加	減少

Figure1-2 The increase and the decrease of the stress by the P-Δ effect of base of base-isolated layer

しかし、現行の設計手順では設計用地震力を片側から加えたものに対して部材設計を行っている。つまり、Case1 の変形状態に対して部材設計を行っており、その他についての変形形状については考慮されていないと考えられる。現状の設計手順では柱の応力が危険側に評価されている可能性があると考えられる。

そこで本研究では、Case2, Case3, Case4 に示すような変形形状を「逆位相問題」と定義し、その評価指標の提案及び応答特性について検証する。

#### 1.4 評価指標の提案

本研究ではせん断型質点系モデルによる検討を行うものとする。また、構造体に変形を及ぼす層せん断力に着目した評価指標を提案する。

始めに、(1-1)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。

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

$P_i(t)$  と  $P_j(t)$  は各時刻の層せん断力を最大層せん断力で除した値で最大値または最小値が 1.0 もしくは -1.0 となるように無次元化したものである。さらに、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 (Figure1-3) を考える。

Figure1-3 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。

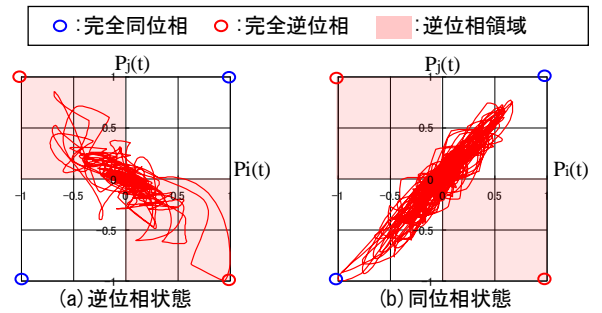


Figure1-3 The classification of modification form

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、(1-2)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。

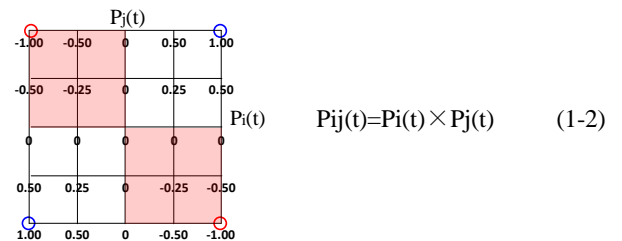


Figure1-4 Distribution of  $P_{ij}(t)$

$P_j(t)$  は時間関数であり、無次元化した各層の値を掛け合わせた値である  $P_{ij}(t)$  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を判断することが可能となる。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することで逆位相が起こりうる危険性を判断することができる。

本研究では、特に  $P_{ij}(t)_{\max}$  と  $-P_{ij}(t)_{\min}$  の値に着目して検証を行うものとする。

#### 1.5 まとめ

本報その 1 では、免震構造の設計方法を示し、中間層免震の設計をする場合、変形状態と応力状態の観点から問題点が存在する可能性を示した。また本研究で用いる、逆位相問題を評価する指標について示した。

次報その 2 では、中間層免震構造のモデルに対して解析的検討を行う。

#### 1.6 参考文献

- 1) 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
- 2) 寺本隆幸, 小野三千代: 中間層免震建物の応答に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2000.9
- 3) 日本免震構造協会: 免震構造-部材の基本から設計・施工まで- オーム社