

複数地震動の時刻歴応答包絡一様化のためのフレームモデルの効率的な部材断面選定方法 その1 方法の概要と質点モデルの一様化

正会員 ○堤 千春* 同 鈴木光雄*
同 永淵飛鳥* 同 橋本直央*

地震応答解析 フレームモデル 等価質点モデル
一様応答

1. はじめに

構造設計における部材検討では、仮定断面を作成し、長期、短期時の応力を求め、応力の要求性能を満足するように部材断面を決定する。地震応答解析の検討が必要な場合は、応力条件に加え、部材の剛性を調整し、地震応答解析を繰り返して部材断面を決定していく。

地震応答解析では、変形条件のクライテリアを満足させることが主要な検討事項の一つとなる。地震応答分布は、層崩壊防止のために一様な分布が理想的な応答状態と考えられ、さらに一様な応答分布とすることで、最大応答変形角の低減につながる効果が確認されている¹⁾。時刻歴応答の一様化は、建物の剛性を制御することにより可能となる。ただし、一様な応答を実現する層剛性を目標として、部材断面を決定するには、一般に繰り返し検討が必要となり、かなり負担のかかる作業となる。本報告では、免震構造の上部構造の平面フレームモデルを対象とし時刻歴応答の一様化を実現する部材を選定するための効率的な手法を試みる。

2. フレームモデルの応答一様化手順

計算機能力の性能向上が著しい現在においてもフレームモデルの地震応答解析を繰り返し行うことは負担が過大である。このため、その都度地震応答解析結果を確認するのではなく、目標とする層剛性の条件を満足しているかを確認することに置き換える方針とする。目標層剛性は、フレームモデルを質点モデルに置き換え算出する。一様な応答を実現する層剛性は、一次固有モード逆問題の閉形式を利用することにより求められる²⁾。この方法は時刻歴応答解析にも適用可能であり³⁾、さらに複数地震動の応答を包絡した一様応答となる層剛性算出も可能となる¹⁾。また、層剛性を目標とした部材選定では、遺伝的アルゴリズムによる最適化手法を採用し、部材断面決定の効率化を試みる。

以上を踏まえ、以下の手順で検討を行う。

- ①質点モデルで一様な応答等を実現する各層の剛性を求める。(その1)
- ②①で得られた各層の剛性を実現し、応力条件を満足するように遺伝的アルゴリズムを用いて、フレームモデル

の部材断面を決定する。(その2)

- ③②で選択された部材断面で構成されたフレームの地震応答解析を行い、応答性状を確認する。(その3)

3. 解析モデル

解析モデルは、上部構造が5層2スパンの鉄骨造の基礎免震構造の平面フレームモデルとする。免震構造の上部構造は、レベル2応答においても弾性設計が可能であり、提案手法の適用可能性が高く、手法の妥当性確認としてふさわしいものと判断し採用した。

免震層のモデルはノーマルバイリニアの履歴特性とし、降伏比 0.03、降伏変位 10mm、降伏後の接線周期は 4.0 秒とする。上部構造の初期状態の部材リストを表 1 に、建物重量と剛性を表 2 に示す。ここで剛性は 1 FL をピン支持とし、予備応答解析の最大層せん断力で加力した時の重心変位から求めた。1 FL をピン支持とした状態の固有周期は 1.06 秒である。減衰は、上部構造を剛性比例型で減衰定数 1%、免震層は減衰を 0 とする。

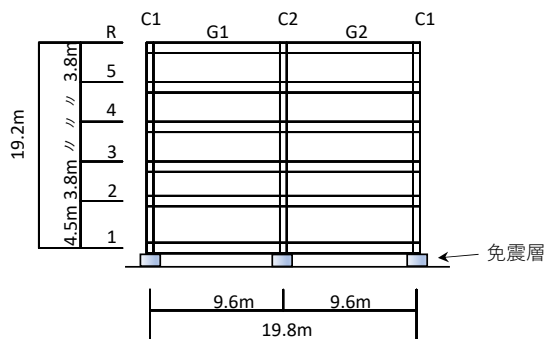


図1 フレームモデル

表1 部材断面リスト(初期状態)

柱断面リスト		
階	C1	C2
5	□-450×450×9	□-450×450×9
4	□-450×450×12	□-450×450×12
3	□-450×450×12	□-450×450×12
2	□-450×450×14	□-450×450×14
1	□-450×450×16	□-450×450×19

梁断面リスト

FL		G1
R	H-800×250×14×22	
5	H-800×250×14×22	
4	H-800×250×14×25	
3	H-800×250×14×25	
2	H-800×250×16×28	
1	H-1000×400×19×32	

表2 上部建物諸元

重量	
FL	重量(kN)
R	1120.6
5	918.1
4	922.2
3	925.2
2	942.9
1	1589.5

剛性(初期状態)	
階	剛性(kN/mm)
5	36.6
4	40.6
3	40.6
2	44.9
1	44.6

An efficient method of selecting cross-sections of frame models for uniformizing multiple seismic responses (Part 1 Outline and uniformizing equivalent mass-spring model)

TSUTSUMI Chiharu, SUZUKI Mitsuo,
NAGABUCHI Asuka, HASHIMOTO Naohiro

4. 入力地震動およびレベル

入力地震動は、建設省告示第 1461 号に定められるスペクトルで作成された地震動（位相は Hachinohe1968(NS)、JMA-Kobe1995(NS)）と、観測地震波（最大速度 0.5m/s）の El Centro1940(NS)、Taft1952(EW)、Hachinohe1968(NS)、および BCJ-L2 を 0.815 倍したものである。

5. フレームモデルと質点モデルの応答の確認

その 1 では、質点モデルで応答の一様化を行う。ここで、フレームモデルと質点モデルの応答の確認を行う。フレームの部材は、表 1 に示す通りで通常の応力検討で決定される部材を想定したものである。このフレームの最大応答せん断力を作用させたときのフレーム変形から各層の剛性を算出して設定した。

最大応答層間変形角の比較を図 2 に示す。最大値は概ね一致している。

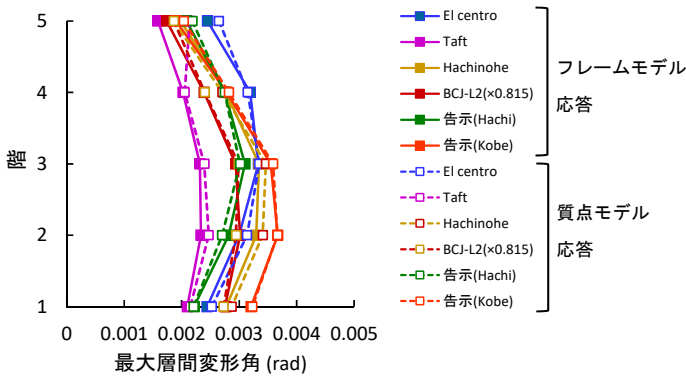


図 2 最大層間変形角（初期状態）

6. 応答一様化方法

(1) 一次固有モード逆問題に対する閉形解

n 質点のせん断型モデルを考え、 j 層の質量、せん断剛性を m_j 、 k_j とし、1 次の固有円振動数を $\omega^{(1)}$ 、モードベクトル成分を $u_j^{(1)}$ とする。減衰のない多自由度系の自由振動に関する固有値問題を考え、 k_j について整理すると下式の通り表される。

$$k_j = \left(\omega^{(1)2} \sum_{l=j}^n m_l u_l^{(1)} \right) / (u_j^{(1)} - u_{j-1}^{(1)}) \quad (1)$$

(1)式は、一次固有モード逆問題に対する閉形解表現である²⁾。この式を利用して、時刻歴応答解析結果に基づいて設定された一次固有モード分布と、一次固有周期から剛性を算出し、目標とする応答値を実現する。

(2) 剛性の制御方法

6 地震動の応答解析結果の包絡最大応答層間変位 Δy_j を用い、一次モードの層間成分 $\Delta u_j^{(1)}$ を以下のように設定する。目標応答層間変位 $t_g \Delta y_j$ に対する各層変位 Δy_j の比を $ayp_j (= \Delta y_j / t_g \Delta y_j)$ とし、その逆数を $\Delta u_j^{(1)}$ にかける。更新された $_{upd} \Delta u_j^{(1)}$ は下式のようなになる。

$$_{upd} \Delta u_j^{(1)} = \Delta u_j^{(1)} / ayp_j \quad (2)$$

手順は参考文献 4 と同じである。本検討では収束判定として、 ayp_j の各層の平均値 \overline{ayp} と ayp_j が下記条件を満足した時とした。

$$\left| 1.0 - \overline{ayp} / ayp_j \right| < 0.02 \quad (3)$$

7. 質点モデルの応答一様化結果

上部構造の応答を対象に一様化を行った結果を図 3 に示す。繰り返し回数は 2 回である。上部構造の各層の応答変位は一様な応答であることが確認でき、建物全体の最大層間変形角は低減されている。剛性の分布を図 5 に示す。この図に示す制御後の剛性を目標剛性として、その 2 においてフレームモデルの部材選定を行う。

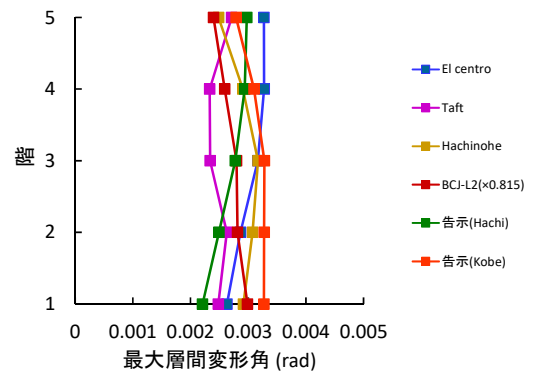


図 3 最大層間変形角（質点モデル制御後）

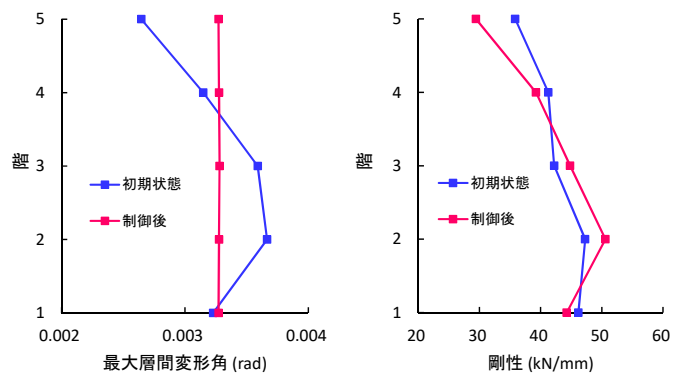


図 4 包絡最大層間変形角比較

図 5 剛性比較

8. まとめ

フレームモデル応答の一様化のための効率的な部材選定手順を示し、その 1 として、免震構造の質点モデルの上部構造の一様化を行い、目標とする層剛性の設定を行った。

参考文献

その 3 にまとめて示す。