

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3 フレームモデルの地震応答解析

正会員 ○橋本直央\* 同 鈴木光雄\*  
同 堤 千春\* 同 永瀨飛鳥\*

フレームモデル 地震応答解析 鉄骨部材  
高次モード

1. はじめに

その2では、フレームモデルの層剛性が目標の層剛性となるように遺伝的アルゴリズムによる部材の選定を行った。その3では、選択された部材による平面フレームモデルの地震応答解析を行い、応答性状の確認を行う。

2. 検討対象のフレームモデル

その2の表5に示した部材モデルを  $M_{c1}$  とし、その2の表7に示した柱が上階から下階にかけて柱断面が大きくなるように制限した部材モデルを  $M_{clm}$  とする。

本手法は最大応答層せん断力を静的に作用させたときのフレーム変位より剛性を算出する簡易な方法である。フレームモデルの層間変形は、各柱梁の部材変形の合算として評価される。部材構成が異なると、各柱梁のフレームモデルの層間変形への寄与する割合が異なるため、フレームモデルのせん断変形、曲げ変形の割合も異なることになり、静的な加力により算出された層剛性が同じであっても、地震応答にばらつきが生じる可能性が考えられる。このため、部材構成の違いによる応答のばらつきを確認するため、初期条件を変えて更に2回部材探索を行ったモデル  $M_{c2}$ 、 $M_{c3}$  (表1、2) も検討対象に加える。これらのモデルの目標層剛性との誤差は2%以下である。

以下で、 $M_{c1}$ 、 $M_{c2}$ 、 $M_{c3}$ 、 $M_{clm}$  について、地震応答性状を確認する。

表1 モデル  $M_{c2}$  部材リスト

柱断面リスト			梁断面リスト	
階	C1	C2	FL	G1
5	□-450*450*9	□-350*350*9	R	H-750*300*16*32
4	□-450*450*22	□-300*300*16	5	H-700*300*16*28
3	□-400*400*12	□-400*400*22	4	H-750*350*16*32
2	□-450*450*22	□-400*400*19	3	H-800*300*16*32
1	□-400*400*16	□-500*500*22	2	H-650*300*16*32
			1	H-1000*400*19*32

表2 モデル  $M_{c3}$  部材リスト

柱断面リスト			梁断面リスト	
階	C1	C2	FL	G1
5	□-400*400*9	□-400*400*9	R	H-750*350*14*25
4	□-450*450*9	□-500*500*16	5	H-700*300*14*25
3	□-300*300*19	□-550*550*22	4	H-600*300*16*28
2	□-400*400*22	□-400*400*22	3	H-850*300*16*28
1	□-450*450*14	□-450*450*19	2	H-750*300*16*28
			1	H-1000*400*19*32

3. 各モデルのモード形状

各モデルの上部構造（ピン支持）の固有周期を表3に示す。各次の周期の平均値に対する周期比を図1に示す。4次モードで5%程度のばらつきを有している。

表3 各モデルの固有周期

モデル	各モードの周期(s)				
	1次	2次	3次	4次	5次
$M_{c1}$	1.049	0.373	0.214	0.143	0.108
$M_{c2}$	1.047	0.373	0.209	0.139	0.110
$M_{c3}$	1.049	0.372	0.212	0.140	0.108
$M_{clm}$	1.050	0.372	0.216	0.146	0.110
平均	1.049	0.373	0.213	0.142	0.109

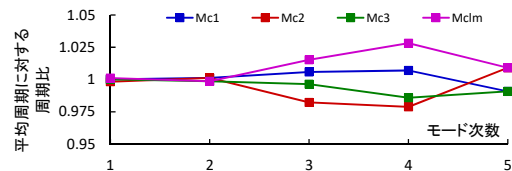
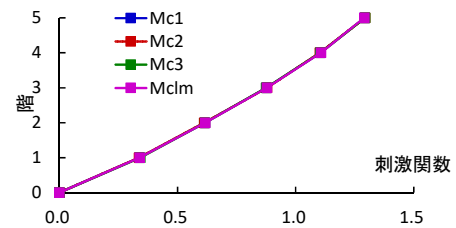
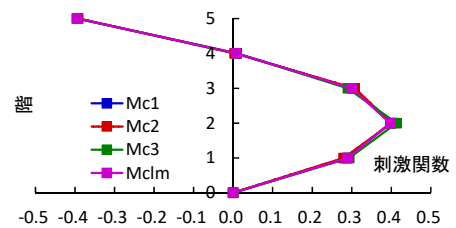


図1 各次モード周期比

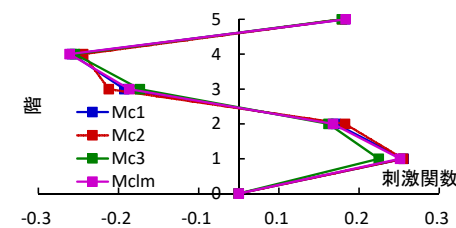
また、刺激関数を図2に示す。



(1) 1次モード



(2) 2次モード



(3) 3次モード

図2 刺激関数

An efficient method of selecting cross-sections of frame models for uniformizing multiple seismic responses (Part 3 Seismic response analyses of frame models)

HASHIMOTO Naohiro, SUZUKI Mitsuo  
TSUTSUMI Chiharu, NAGABUCHI Asuka

最大応答層せん断力を静的に作用させた変位を基に目標層剛性を一致させる方法は、主に1次モードの適合を目的としたものと言える。表3および図1、2に示されるように1次モードに比べ、高次モードで固有周期、刺激関数のばらつきが比較的大きくなることが確認できる。

#### 4. 地震応答解析結果の確認

フレームモデルの地震応答解析を行う。解析ソフトは(株)構造システムのSNAP<sup>7)</sup>を使用する。

まず初めに、Mc1の最大応答変形角を図3に示す。その1の図3で示した質点モデルと同様、1~3階で告示(Kobe)が卓越し、4~5階でEl Centroが卓越する結果となっている。

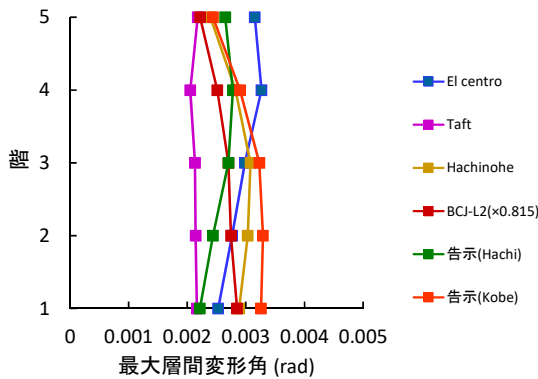


図3 最大層間変形角 (モデル Mc1)

次に、6地震動の応答を包絡した最大応答変形角について、初期状態と制御後および、フレームモデル Mc1、Mc2、Mc3、Mclmと質点モデルの応答比較を図4に示す。

制御後の質点モデルとフレームモデルでは、5階で3.6%程度の差異が生じている。また、フレームモデル Mc1、Mc2、Mc3、Mclm間でのばらつきは、4階で2.3%程度である。

これらは高次モードの影響と考えられるが、いずれのモデルも様な応答であり、目標とした応答状態が概ね実現できていることが確認できる。

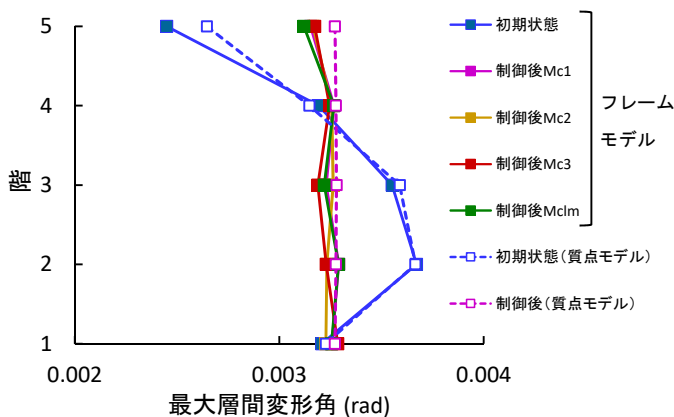


図4 包絡最大層間変形角

免震層の最大応答変位は表4の通りである。上部構造のモデルの違いにより、あまり大きな応答の差異は見られない結果となっている。

表4 免震層最大応答変位 (mm)

Mc1	Mc2	Mc3	Mclm
277.5	277.6	277.3	277.3

参考で各モデルの鉄骨量(単位重量と部材芯間距離の積)の比較を表5に示す。鉄骨量を考慮した部材選定は、今後の課題である。

表5 鉄骨量の比較 (t)

Mc1	Mc2	Mc3	Mclm
40.5	41.7	38.4	37.5

#### 5. まとめ

指定した層剛性をターゲットとする簡易な目標設定で部材選定された4種類のフレームモデルに対して、地震応答性状の確認を行った。その結果、複数地震動の応答を包絡するフレームの実現が可能であることを確認した。

本検討では、フレームモデルの部材選定で、指定した層剛性を目標として応力検定条件を満足することを課した。この際、遺伝的アルゴリズムによる最適計算手法を取り入れた。この部材選定段階では、個体数50、世代数100~200程度の長期時、地震時の構造解析を行っている。ただし、振動解析の検討が必要ないため、検討負担の大幅な削減が可能となっている。

#### 参考文献

- 1)鈴木光雄: 複数地震動の最大応答層間変形角を包絡して一様化するための剛性設定法,日本建築学会構造系論文集,784,pp.901-911,2021
- 2)Nakamura, Tsuneyoshi, and Takashi Yamane. "Optimum design and earthquake-response constrained design of elastic shear buildings." Earthquake engineering & structural dynamics 14.5 (1986): 797-815.
- 3)永野康行, 辻聖晃, 上谷宏二: 非単調変位応答スペクトル適合設計用入力地震動に対する時刻歴応答解析を用いたせん断型構造物の性能指定設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.343-344,2003
- 4)鈴木光雄: 免震構造における上部建物の層間変形角の均等化について. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp.669-670,2020
- 5)OpenSees PEERC, UC Berkeley
- 6)S. Fujita: OSforGH -a component for using OpenSees on Grasshopper, OPENSEES DAYS EURASIA, Torino-Turin, Italy, 2022.7
- 7)SNAP 株式会社構造システム