

模擬地震動と多質点モデルの応答特性に関する考察

正会員 ○鈴木光雄*1

模擬地震動

多質点モデル

固有周期

1. はじめに

告示波は、設定された応答スペクトルを目標として、継続時間、時刻歴の包絡関数、各周期の位相を設定して作成される。位相の設定においては、乱數位相や実地震動の位相が用いられ、乱數位相では無数の地震動作成が可能である。乱數位相による地震動の応答解析の結果は、ばらつきを有することが知られており、位相の違いによる建物応答への影響については、これまでに多くの検討例がある¹⁾。主な検討は、多数の応答解析を行い、解析結果のばらつきの程度を統計的に評価するものである。

実務では限られた地震動の検討となるため、作成された個々の地震動の性状を把握することは重要である。本報告では、一般の建物が多質点モデルとなることから、一次モードと高次モードの同時性に着目して、地震動の性状を把握することを試みる。

2. 地震応答解析

対象とする地震動は、告示 1461 号に規定される工学的基盤上の極めて稀に発生する地震動とする。地震の継続時間は 120 秒、時刻歴の包絡関数、応答スペクトルのフィッティング条件は文献 2 により定め、位相は乱数を用いて設定し、10 波作成した。

建物は、文献 3 のテーマストラクチャー 10 層、20 層のモデルを採用し、骨組みは弾性とし、減衰は剛性比例型減衰とし、減衰定数は制震効果を見込むものとして、応答スペクトルの設定に合わせ 1 次モードに対して 5% とする。

各地震動に対する応答として、最大応答変形角を図 3 に示す。このうち、各モデルの応答の特徴的な地震動として rnd04, 05, 06, 10 を取り上げて (図 4) 詳細検討を行う。

擬似速度応答スペクトルを図 2 に示す。建物中間層の応答の大小は、一次固有周期のスペクトルの大小関係に対応している。図 5 には最大応答せん断力係数を示す。各層の分布は、地震動によりそれぞれ特徴的な形状を示す。10 層モデルでは rnd04, 10 で、20 層モデルでは rnd04, 06 で、中間階から上層にかけ応答の傾きが大きくなっている。

表 1. 固有周期

mode	固有周期 T_i (s)	
	10層モデル	20層モデル
1	2.012	3.705
2	0.758	1.412
3	0.462	0.863

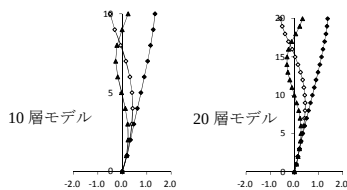


図 1. 刺激関係

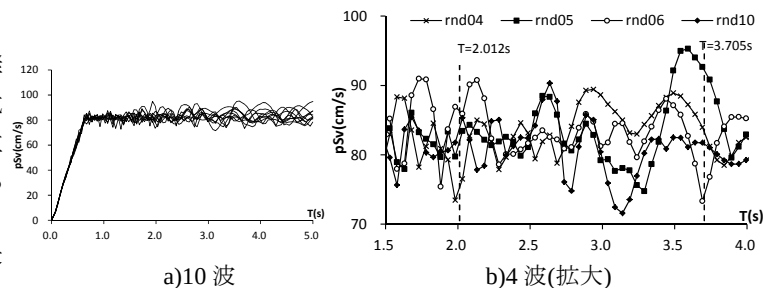


図 2. 擬似速度応答スペクトル

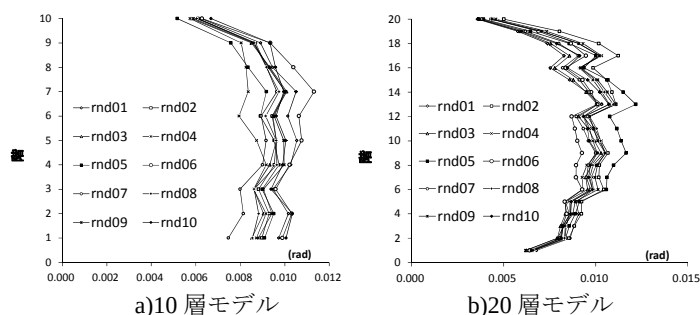


図 3. 最大応答層間変形角(10波)

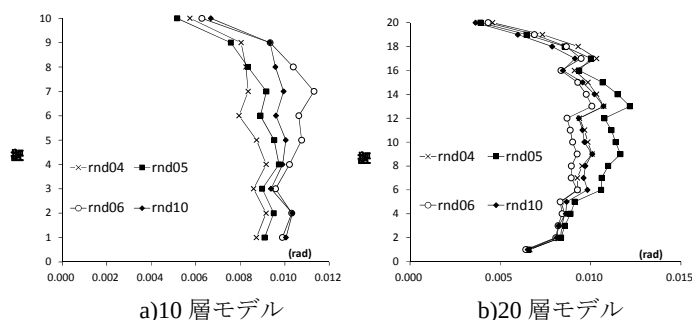


図 4. 最大応答層間変形角(4波)

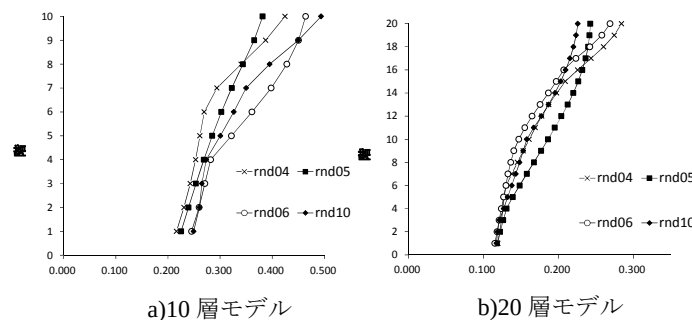


図 5. 最大応答せん断力係数(4波)

3. 高次モードの影響

最大応答は、応答の時刻歴の中で、異なる時刻で発生した複雑な応答の集計結果である。単純な検証は困難であるが、図5等から高次モードの影響が推察される。

高次モードの影響の要因を考察するために、異なる周期の応答を足し合わせた応答値の確認を行う。ここでは簡単に、一質点の応答として、一次モードを想定した固有周期 T_1 の応答速度 v_1 、および、高次モードを想定した固有周期 T_j の応答速度 v_j を考える。一次モードと高次モードの応答の同時性を評価するために、下記の指標を用いる。

$$mv = \max(|v_1| + |v_j|) \quad (1)$$

ここで、絶対値の和としているのは、一次モードと高次のモードの足し合わせる場合、同符号で足し合わせる場合に応答が大きくなる階と、異符号で足し合わせる場合に応答が大きくなる階があるためである。また、一次モードの減衰定数を h_1 とし、 v_j を解析するときの減衰は、剛性比例型減衰の高次モードの減衰を想定し、下式のように設定する。

$$h_j = (T_1/T_j)h_1 \quad (2)$$

次に、 mv が得られる時刻 t_m での一次モードの応答速度 v_1 と高次モードの応答速度 v_j の比を次式のように設定する。

$$pv = v_j(t_m)/v_1(t_m) \quad (3)$$

各地震動について、横軸に T_1 、縦軸に T_j をとり、図6に pv を示す。10層、20層のモデルの2次モード、3次モードに対応する点を*で示し、表2に pv の数値を示す。2次モードでの絶対値が0.4以上のセルを強調して示す。せん断力係数で、1階から中間階までの傾きと、中間階から最上階までの傾きが大きく異なっている地震動と概ね対応する。

ただし、10層モデルのrnd05で例外となる。これは mv が一時刻での評価であることや、2次モードと3次モードの同時性の非考慮などが考えられる。

図6からは、周期のわずかな違いで、 pv が大きく変化することがわかる。模擬地震動は、一質点の応答を制御するものであり、高次モードの同時性を制御することが困難である。地震動を選択する際には、

わずかな周期の違いで、高次モードの同時性が大きく変化することを、理解しておく必要があるものと考えられる。

4. まとめ

告示波の多質点建物の応答において、高次モードの影響について、一次モードに対する高次モードの同時性を評価する指標 pv を用い考察を行った。 pv 値はわずかな周期の違いで、大きく変動することを確認した。

参考文献

- 1) 谷垣正治、大川出、山岸邦彰：ランダム位相を用いた模擬地震動による応答のばらつきに関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000.9
- 2) 設計用入力地震動研究委員会：設計用入力地震動作成技術指針（案）、日本建築センター、1992
- 3) パッシブ制振構造設計・施工マニュアル編集委員：パッシブ制振構造設計・施工マニュアル、日本免震構造協会、2005

表2. pv 値

a)10層モデル			b)20層モデル		
	T1=2.012(s)			T1=3.705(s)	
	T2	T3		T2	T3
	0.758(s)	0.462(s)		1.412(s)	0.863(s)
rnd04	-0.803	-1.012	rnd04	0.629	0.139
rnd05	-0.436	0.455	rnd05	-0.135	0.040
rnd06	-0.153	-0.022	rnd06	0.553	0.419
rnd10	-0.447	-0.661	rnd10	0.358	0.415

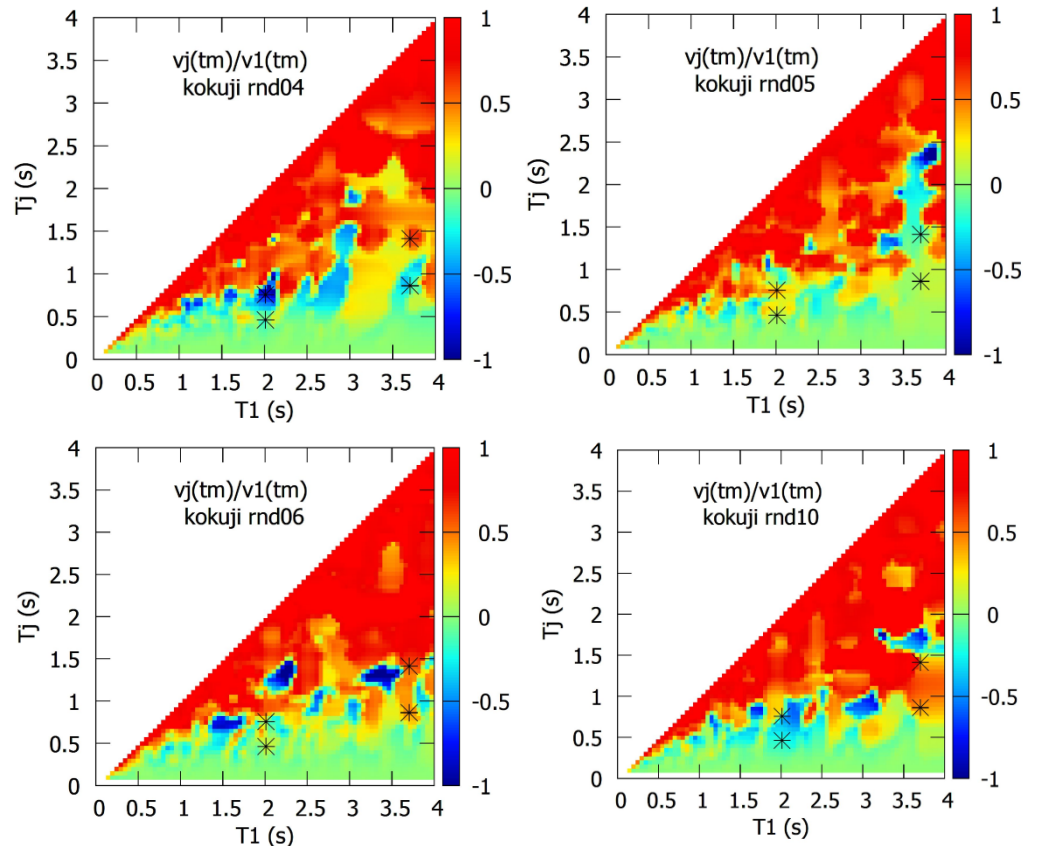


図6. 一次モードの応答速度 v_1 と高次モードの応答速度 v_j の比 pv