

長周期地震動による免震部材の繰り返し特性変化を考慮した基礎免震建物の応答性状

建築計画研究室 池田 壮志
(令和4年2月21日提出)

1. はじめに

近年、南海トラフ巨大地震による長周期地震動の発生が予測されている。免震建物の場合、免震部材が長時間にわたって多数回の繰り返し変形を受け、吸収エネルギーが増大し、免震部材の温度上昇によって、水平特性が変化する。免震部材の特性変化を考慮する解析方法として、精算法と簡略法が提案されているが、評価法の違いに着目した研究はなく、様々な長周期地震動による応答性状への影響は明らかになっていない。

そこで本研究では、準精算法と簡略法を用いて、繰り返し変形による部材の性能低下を考慮した地震応答解析を行い、その結果を比較することで、基礎免震建物の応答特性を評価することを目的としている。

2. 解析モデルと解析方法

検討対象は、上部構造が5階建ての基礎免震建物とし、図1に示す等価せん断型線形モデルを採用する。表1に建物の諸元を、表2に固有周期を示す。免震部材は、鉛プラグ挿入型積層ゴム支承(LRB)又は高減衰ゴム系積層ゴム支承(HDR)と弾性すべり支承(ST)で構成し、図2、表3に免震部材の配置と概要を示す。免震層の復元力特性は、LRB及びHDRを修正バイリニアモデルとする。

簡略法では、通常の時刻歴地震応答解析により累積吸収エネルギーを一括評価し、特性変化を考慮した水平特性値を求めたうえで、再度解析を行う。準精算法では、履歴曲線における折り返し位置において、累積吸収エネルギーを算出し、水平特性値を求めたうえで、時刻歴地震応答解析を行う。

3. 入力地震動

入力地震動は、南海トラフ地震を想定した大阪圏(OS1, OS2, OS3)、中京圏(CH1, CH2, CH3)など10波を、昭和南海地震は、1946年南海地震と同様の地震が発生した場合の長周期地震動18波を採用する。図3に大阪エリアにおける加速度応答スペクトルを示す。南海トラフ地震や告示式と比較して、昭和南海地震は、長周期帯での影響が大きくなっており、特に2~4秒の周期帯では、南海トラフ地震を超える加速度が発生することがわかる。

4. 免震部材の繰り返し特性変化

表4に簡略法による特性変化の算定結果を示す。HDRでは、特性変化率が大きく低下することはなく、概ね0.9以上となっている。LRBでは、OS1やCH1、東大阪市役所NS成分では、特性変化が大きく、値は小さくなっている。一方で、CH3や大阪府庁などのようにE/V_Pが小さく、特性変化のない地点も見られた。

表4 累積吸収エネルギーと免震部材の特性変化率

		OS1	OS2	OS3	CH1	CH2	CH3	大阪府庁		東大阪市役所		大阪舞洲		愛知県庁		三重県庁	
								EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
HDR	E/V _R (MPa)	26.8	13.8	7.9	24	14.6	4.6	3.4	3.6	14.2	22.8	11.8	12	1.1	0.7	1.2	2.1
	C _k	0.885	0.917	0.94	0.891	0.914	0.963	0.973	0.971	0.915	0.894	0.922	0.921	0.991	0.994	0.99	0.982
	C _b , C _u	0.933	0.955	0.969	0.938	0.953	0.982	0.987	0.986	0.954	0.94	0.958	0.958	0.996	0.997	0.995	0.992
LRB	E/V _P (MPa)	389.97	180.71	103.81	375.78	232.62	77.56	54.07	45	209.36	332.91	165.35	175.13	2.97	1.1	6.35	15.46
	k	0.446	0.781	0.954	0.464	0.682	1.000	1.000	1.000	0.725	0.521	0.813	0.792	1.000	1.000	1.000	1.000

※累積吸収エネルギー量: E/V, 特性変化率: C_k(等価剛性), C_b(等価減衰定数), C_u(降伏荷重特性比), k(水平特性の変化率)

階	重量(kN)	初期剛性(kN/cm)
5	116519.4	10430.8
4	116519.4	18775.5
3	116519.4	25034.0
2	116519.4	29206.4
1	116519.4	31292.5
免震層	174779.1	-

次数	固有周期(s)
1	1.500
2	0.612
3	0.387
4	0.283
5	0.224

図1 モデル

記号	ゴム層厚(mm)	外径(mm)	種別
○	250	1000	LRB 又は HDR
◐		1100	
◑		1200	
●	40	1000	ST

図2 免震部材の配置

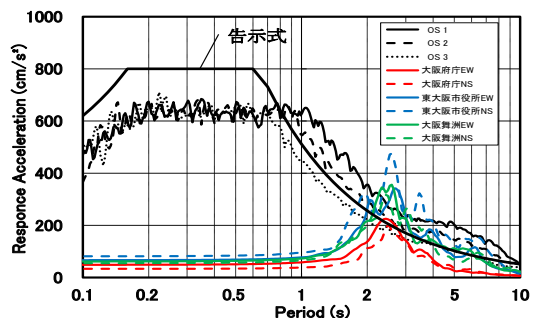


図3 大阪エリアにおける加速度応答スペクトル(h=5%)

5. 解析結果

図4にHDRの場合における地震応答解析結果の一例を示す。図4より、HDRでは、入力地震動に関わらず、準精算法と簡略法とで応答差は小さく、概ね一致する結果となった。

図5にLRBの場合における地震応答解析結果の一例を、図6にLRBの場合における特性変化率と免震層の応答値比の関係を示す。これらの図より、最大応答加速度、最大応答層せん断力係数では、準精算法が大きく評価されており、特性変化が大きくなるに従い、準精算法と簡略法とで応答差が大きくなるのがわかった。最大応答加速度は、概ねどの層でも応答差が生じるのに対し、最大応答層せん断力係数は、免震層では、ほぼ一致し、上層ほど応答差が大きくなっている。また、特性変化がない場合でも、大阪府庁では応答差がないが、愛知県庁や三重県庁では応答差が生じることがわかった。

図7に免震層における最大応答層間変位の比較を示す。図7より、HDRでは、準精算法と簡略法の違いによる応答差は小さく、概ね一致する結果となった。LRBでは、OS1やCH1、東大阪市役所で簡略法は準精算法より大幅に大きくなっており、OS1では、免震層のクライテリア75cmを超えている。また、大阪舞洲のように、特性変化率が同程度であっても、応答差に大きな違いが生じており、過大に評価している恐れがある。

図8に免震層の累積吸収エネルギー量を示す。三重県庁EW成分のように、応答差が生じた地点では、累積吸収エネルギー量が小さいことが要因として考えられる。

6. まとめ

本研究では、長周期地震動に対する免震部材の繰り返し特性変化を考慮した地震応答解析を行い、以下の知見を得た。

1. 特性変化の割合について、HDRでは、入力地震動に関わらず、大きく低下することはない。LRBでは、累積吸収エネルギーの増加に伴い低下し、OS1、CH1、東大阪市役所では大幅な低下が見られた。
2. 応答性状について、HDRの場合、入力地震動に関わらず、評価法の違いが応答に与える影響は極めて小さいため、簡略法でも十分な応答評価が可能である。
3. LRBの場合、特性変化が大きくなるに従い、応答差が大きくなり、解析精度が悪化していく。また、本研究で採用したLRBでは、特性変化率が0.8より小さくなると、簡略法では過大に免震層の変位を評価する恐れがある。
4. 本研究で採用したLRBでは、免震層の累積吸収エネルギーが30MN・m程度を下回ると準精算法と簡略法とで応答に差が生じ、特性変化を考慮した解析自体が精度よくできない恐れがある。

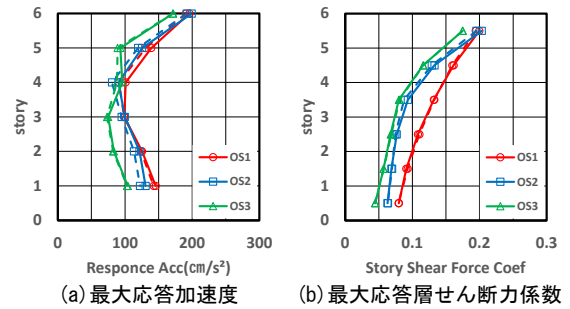


図4 HDRの場合の解析結果(実線: 準精算法, 破線: 簡略法)

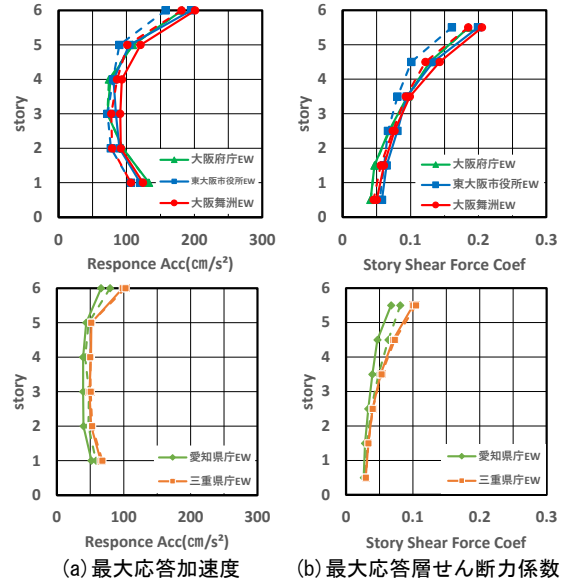


図5 LRBの場合の解析結果(実線: 準精算法, 破線: 簡略法)

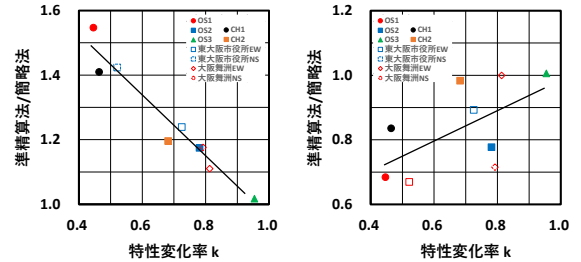


図6 特性変化率と応答値比(準精算法/簡略法)の関係

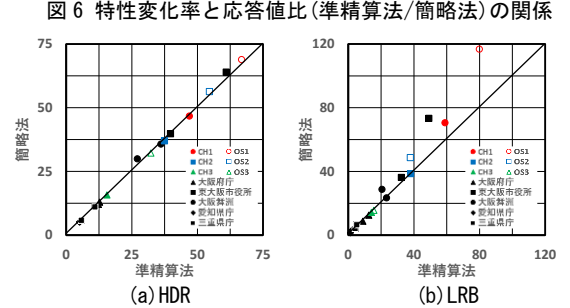


図7 免震層における最大応答層間変位の比較

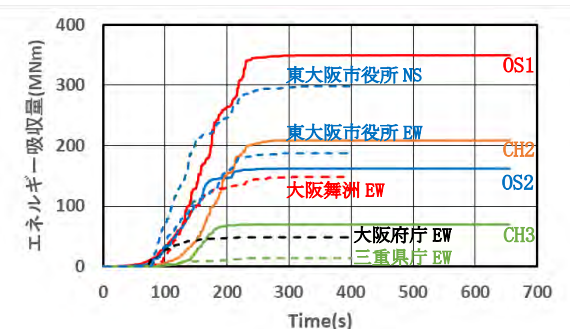


図8 免震層の累積吸収エネルギー量