

## 高機能社会における既存建物の耐震性能評価 (その2) 地震応答解析結果

正会員 ○彦坂 智基\*1 同 曾我 裕\*2  
同 福和 伸夫\*3 同 護 雅史\*4  
同 高橋 広人\*5

高機能社会 中高層建物 時刻歴地震応答解析  
耐震性能 非線形性 想定東海・東南海地震

### 1. はじめに

本論では、(その1)で提案された建物、基礎-地盤モデル、入力地震動を用いて、上部建物の非線形性や、地盤との動的相互作用効果を考慮した地震応答解析を実施する。

### 2. 検討対象

図1に伏見における入力地震動の加速度波形を、表1に各サイトにおける最大加速度応答値を示す。以下、伏見における諸元データを基にした地震応答解析の流れを記述する。

#### 2.1 上部建物応答解析モデル

上部構造は、各階の重量を質点に集約した多質点系の等価せん断型のモデルで表現した。図2に解析モデルの概要を示す。今回、建物の復元力特性をNormal-Tri-Linearで与え、骨格曲線は静的増分解析より得られた結果を基に、図3に示す形で近似した。表2に建物モデルの諸元を示す。なお、各サイトで建物モデルは同一であるが、基礎は各地盤状況にあわせた杭基礎としている。

#### 2.2 地盤ばね

本検討では、地盤との相互作用を考慮したSRモデルとして、基礎底面に水平ばねと回転ばねを付与し、解析を行う。そのため、等価線形解析による非線形化した地盤物性値を用いて、薄層要素法と有限要素法を、容積法を用いた動的サブストラクチャー法によって結合した文らによる手法<sup>1)</sup>により、動的地盤ばねを計算する。このとき、告示波とサイト波で等価地盤物性値を分け、告示3波は平均値を用いた。用いた等価地盤物性値を、図4に示す。なお、図中には点線で初期値も同時に示している。

動的地盤ばねを定式化するに当たり、SRモデルにおいては、実部の静的な値を地盤ばね剛性、1次固有振動数における虚部の傾きを減衰係数として用いる。今回、1次固有振動数の値は、基礎固定系における上部構造の値を用いた。モデル毎の各定数を、表3に示す。

### 3. 地震応答解析結果

各モデルにおける固有振動数を表4に示す。今回の解析事例では、振動モデルをSRモデルにすることにおける固有振動数の変化はみられなかった。これは伏見だけではなく、名駅、栄においても同様の結果である。

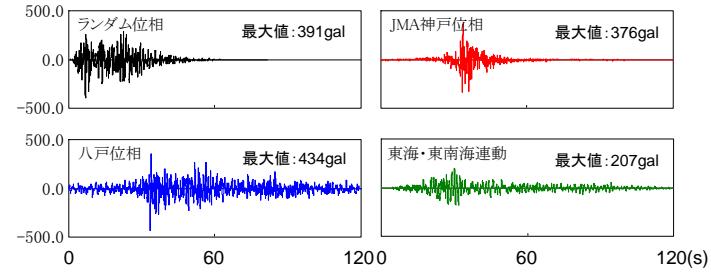


図1 伏見における入力地震動加速度波形

表1 各サイトにおける入力地震動の最大加速度応答値

サイト名	ランダム位相	八戸位相	JMA神戸位相	東海・東南海連動
名駅	332	273	230	151 (gal)
伏見	391	434	376	207 (gal)
栄	448	509	470	187 (gal)

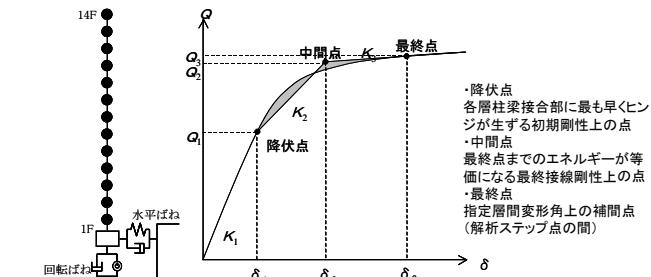


図2 解析モデル

表2 建物モデルの解析諸元

階数	重量	階高	長辺方向(X方向)						短辺方向(Y方向)					
			剛性(kN/m)			強度(kN)			剛性(kN/m)			強度(kN)		
			$K_1$	$K_2$	$K_3$	$Q_1$	$Q_2$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$Q_1$	$Q_2$	$K_1$	$K_2$
14	6790	400	$4.23 \times 10^5$	$1.76 \times 10^4$	0.0	6163	6199	$2.71 \times 10^5$	$1.74 \times 10^5$	$6.40 \times 10^3$	4785	5896		
13	5211	400	$4.31 \times 10^5$	$9.55 \times 10^4$	$3.69 \times 10^3$	7013	7379	$2.91 \times 10^5$	$2.02 \times 10^5$	$9.79 \times 10^3$	5181	7110		
12	5200	400	$4.62 \times 10^5$	$2.20 \times 10^4$	$7.61 \times 10^3$	7865	9232	$3.26 \times 10^5$	$1.93 \times 10^5$	$1.10 \times 10^4$	6560	8795		
11	5210	400	$4.93 \times 10^5$	$1.64 \times 10^5$	$7.60 \times 10^3$	9326	10755	$3.50 \times 10^5$	$2.32 \times 10^5$	$2.00 \times 10^4$	7278	9837		
10	5236	400	$5.19 \times 10^5$	$2.06 \times 10^5$	$1.62 \times 10^4$	9997	11724	$3.68 \times 10^5$	$2.43 \times 10^5$	$2.04 \times 10^4$	7844	10822		
9	5236	400	$5.31 \times 10^5$	$2.66 \times 10^5$	$1.93 \times 10^4$	10291	12449	$3.84 \times 10^5$	$2.40 \times 10^5$	$2.11 \times 10^4$	8488	11670		
8	5254	400	$5.53 \times 10^5$	$3.16 \times 10^5$	$1.96 \times 10^4$	10386	13106	$4.10 \times 10^5$	$2.35 \times 10^5$	$2.20 \times 10^4$	9254	12420		
7	5273	400	$5.65 \times 10^5$	$3.04 \times 10^5$	$2.08 \times 10^4$	11130	13682	$4.27 \times 10^5$	$2.22 \times 10^5$	$2.38 \times 10^4$	9879	13110		
6	5279	400	$5.77 \times 10^5$	$2.81 \times 10^5$	$2.43 \times 10^4$	11780	14153	$4.44 \times 10^5$	$2.13 \times 10^5$	$2.55 \times 10^4$	10475	13229		
5	5280	400	$5.87 \times 10^5$	$2.98 \times 10^5$	$2.75 \times 10^4$	11850	14566	$4.65 \times 10^5$	$2.21 \times 10^5$	$3.23 \times 10^4$	10971	14229		
4	5287	400	$6.00 \times 10^5$	$2.75 \times 10^5$	$0.0$	12301	15064	$4.88 \times 10^5$	$2.38 \times 10^5$	$3.14 \times 10^4$	11387	14861		
3	5295	400	$6.06 \times 10^5$	$2.71 \times 10^5$	$3.51 \times 10^4$	12667	15496	$5.13 \times 10^5$	$2.75 \times 10^5$	$3.93 \times 10^4$	11727	15445		
2	5476	500	$5.38 \times 10^5$	$2.42 \times 10^5$	$3.05 \times 10^4$	12959	16338	$4.83 \times 10^5$	$2.77 \times 10^5$	$3.30 \times 10^4$	11997	16748		
1	6203	580	$8.04 \times 10^5$	$1.56 \times 10^5$	$1.43 \times 10^4$	14797	19188	$7.39 \times 10^5$	$1.68 \times 10^5$	$2.80 \times 10^4$	15249	19234		

(a)60mモデル

階数	重量	階高	長辺方向(X方向)						短辺方向(Y方向)					
			剛性(kN/m)			強度(kN)			剛性(kN/m)			強度(kN)		
			$K_1$	$K_2$	$K_3$	$Q_1$	$Q_2$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$Q_1$	$Q_2$	$K_1$	$K_2$
8	6586	380	$2.86 \times 10^5$	$5.19 \times 10^4$	0.0	5491	5800	$2.41 \times 10^5$	$2.06 \times 10^5$	$9.77 \times 10^3$	4507	5606		
7	5072	380	$3.14 \times 10^5$	$6.14 \times 10^4$	0.0	7252	8380	$2.68 \times 10^5$	$2.04 \times 10^5$	$1.02 \times 10^4$	6180	8324		
6	5084	380	$3.26 \times 10^5$	$1.97 \times 10^5$	$1.63 \times 10^4$	7840	9858	$2.86 \times 10^5$	$2.07 \times 10^5$	$1.17 \times 10^4$	7824	10310		
5	5125	380	$3.84 \times 10^5$	$2.44 \times 10^5$	$2.21 \times 10^4$	8595	11142	$3.42 \times 10^5$	$2.18 \times 10^5$	$1.06 \times 10^4$	9214	12005		
4	5141	380	$4.10 \times 10^5$	$2.37 \times 10^5$	$3.27 \times 10^4$	9673	12166	$3.68 \times 10^5$	$2.14 \times 10^5$	$3.27 \times 10^4$	10118	13022		
3	5148	380	$4.71 \times 10^5$	$2.54 \times 10^5$	$3.74 \times 10^4$	10544	13262	$4.19 \times 10^5$	$2.61 \times 10^5$	$3.98 \times 10^4$	9858	13895		
2	5184	380	$5.03 \times 10^5$	$3.22 \times 10^5$	$3.54 \times 10^4$	11221	14538	$4.43 \times 10^5$	$2.85 \times 10^5$	$4.99 \times 10^4$	10491	14709		
1	5548	430	$6.97 \times 10^5$	$3.93 \times 10^5$	$4.59 \times 10^4$	12601	16269	$6.24 \times 10^5$	$2.99 \times 10^5$	$5.70 \times 10^4$	12271	16393		

### 3.1 層間変形角、塑性率の比較

本節では、層間変形角、塑性率の観点から、建物応答を評価する。伏見における応答解析結果を図5に示す。なお、図中において、点線白抜きの図形は基礎固定モデルとしたときの応答結果を示している。

図5より、応答値は告示波の方が大きくなっていることがわかる。60mモデルにおいては、低層部で最大層間変形角が1/80、塑性率は2~3程度となっている。建物に大きな損傷が発生している可能性はあるが、倒壊するほどの応答には至っていないと考えられる。サイト波の場合は、層間変形角で1/100以下、塑性率で2以下となっており、一般的な中高層建物のクライテリアを十分に満足する状況となっている。

30mモデルにおいても、告示波の方が大きな応答値を示している。低層部では最大層間変形角が1/50近く、塑性率は3をやや超える部分もあり、60mモデルに比べ、さらに大きな応答となっている。対象建物は、最も変形性能の高いS造純ラーメン建物ではあるが、人命を保護するというクライテリアにおいて、ほぼ安全限界に近い状況まで応答したといえる。外装材はPcaCW、ALC、ガラスCWを想定しており、相互の衝突により、部分的には脱落してしまっている状態が想定される。

さらに、名駅における応答解析結果を図6に示す。図6(a)より、60mモデルにおいて、低層部で伏見に比べ大きな応答となっている。告示波においては、層間変形角で1/50、塑性率で3~4近くまで応答している。名駅の告示波は周期1秒台の後半に150~180kineの山を有しており、これに反応したものと考えられる。サイト波については、伏見同様、一般中高層建物のクライテリア以内の応答となっている。以上のように、各サイトにおける表層地盤の地震動增幅特性が、建物応答値に大きな影響を与えるということが改めて確認された。

また、栄における応答解析結果は、60mモデル、30mモデルとともに伏見地区の結果に近いものが得られている。

### 4.まとめ

S造中高層事務所ビルの地震時（告示波、サイト波）の被害程度を名駅、伏見、栄、各サイトにおいて、層間変形角と塑性率に注目してまずは把握した。1棟建物としての結果の評価、各地区における集合被害としての評価、被害シナリオ作成における利用展開方法については今後の課題である。また、名古屋経済圏における典型的建物として、生産施設、商業施設に関する同様の検証を進めたいと考えている。

### ＜参考文献＞

- 1) 文学章：地盤と構造物との動的相互作用における基礎形式・基礎形状・隣接建物の影響に関する解析的研究、名古屋大学学位論文、2006.3.

表3 地盤ばね定数一覧

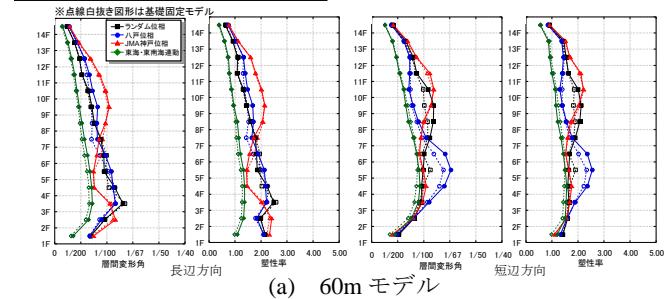
(a) 60mモデル

X方向(1次固有振動数 0.56Hz)	告示波3種平均	東海・東南海運動
水平ばね定数 (kN/m)	$8.75 \times 10^6$	$1.18 \times 10^7$
水平減衰係数 (kN·s/m)	$4.56 \times 10^3$	$4.12 \times 10^3$
回転ばね定数 (kN·m/rad)	$6.84 \times 10^6$	$8.04 \times 10^6$
回転減衰係数 (kN·m·s/rad)	$1.96 \times 10^3$	$1.68 \times 10^3$

図4 等価地盤物性値

表4 各モデルの固有振動数

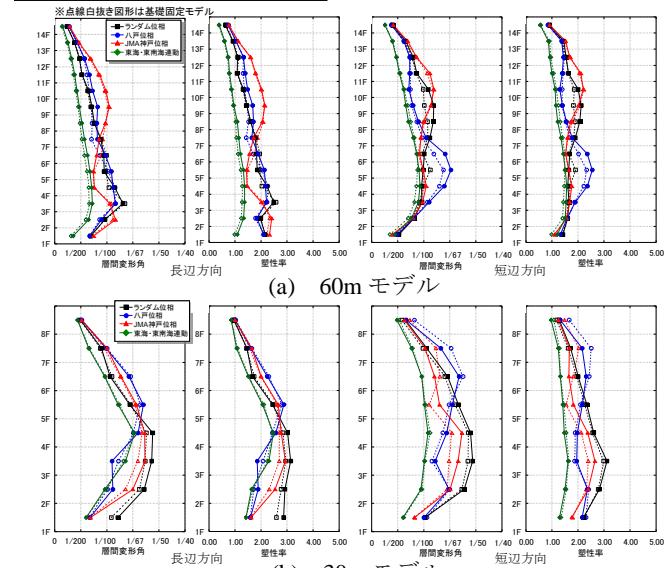
モデル	方向	振動モデル	1次(Hz)	2次(Hz)
60mモデル	X方向	基礎固定モデル	0.56	1.60
		SRモデル	0.55	1.59
30mモデル	Y方向	基礎固定モデル	0.50	1.39
		SRモデル	0.49	1.39
30mモデル	X方向	基礎固定モデル	0.84	2.33
		SRモデル	0.84	2.31
30mモデル	Y方向	基礎固定モデル	0.79	2.17
		SRモデル	0.78	2.16



(a) 60mモデル

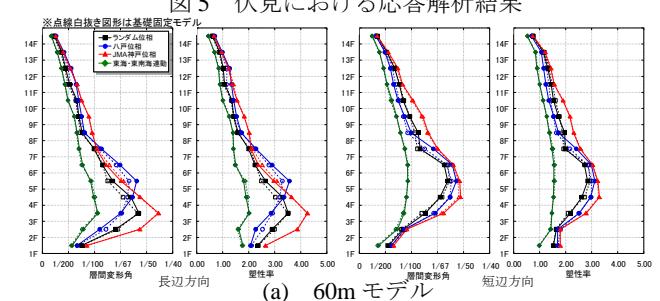
(b) 30mモデル

X方向(1次固有振動数 0.84Hz)	告示波3種平均	東海・東南海運動
水平ばね定数 (kN/m)	$8.36 \times 10^6$	$1.14 \times 10^7$
水平減衰係数 (kN·s/m)	$3.99 \times 10^3$	$3.64 \times 10^3$
回転ばね定数 (kN·m/rad)	$5.32 \times 10^6$	$6.50 \times 10^6$
回転減衰係数 (kN·m·s/rad)	$1.14 \times 10^3$	$9.20 \times 10^2$



(a) 60mモデル

(b) 30mモデル



(a) 60mモデル

(b) 30mモデル

図6 名駅における応答解析結果

\*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生

\*2 (株)竹中工務店 設計部

\*3 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博

\*4 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授・博士(工学)

\*5 応用地質株式会社・博士(工学)

\*1 Graduate Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

\*2 Building Design Department, Takenaka Corporation

\*3 Prof., Graduate, School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*4 Assoc. Prof., Graduate, School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*5 OYO Corporation, Dr. Eng.