

1. はじめに

過去の地震被害調査などから、建物の基礎が浮き上がることによって上部構造の被害が低減される場合があることが指摘されており、基礎浮き上がりによって上部構造の応答が低減される理由がいくつか考察されている(例えば1)2)。

本論文は基礎浮き上りを考慮した地盤-建物系モデルを対象として、地震動に対する応答ベースシア係数スペクトルを比較、検討することにより、その地震応答性状を明らかにすることを目的とする。

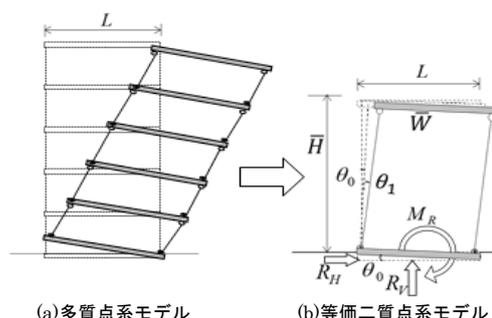


図1 解析モデル

2. 解析モデルと解析条件

2.1 解析モデル

多層建物の上部構造を一質点系に置換した地盤(基礎)-建物系の等価二質点有限回転角モデル³⁾を用いる(図1)。ここで、 θ_1 : 上部構造の回転角、 θ_0 : 基礎の回転角である。基礎が固定されたFixedモデル、地盤との相互作用を考えスウェイとロッキングを考慮したSRモデル、およびスウェイとロッキングに加え基礎の浮き上がりも考慮したUpliftモデルの3つのモデルを用いる。

上部構造: 弾性とし、P- Δ 効果を考慮する。各層高さ4 m、平面 $L \times L$ m²、単位面積重量12 kN/m²、減衰は2%とする。 n 層建物を一質点に置換後の等価重量 \bar{W} (kN)および等価高さ \bar{H} (m)は逆三角形1次モードで振動している状態を考え、算出する。

基礎: SRモデルおよびUpliftモデルにおいて、平面 $L \times L$ m²で単位面積重量は20 kN/m²とする。地盤の剛性と減衰は田治見の円形基礎に対する近似解⁴⁾により算出する。

Upliftモデルについては、底面は平面を保持し、鉛直方向の地反力は地面各部の沈み込み量に比例し引張応力を負担させないものと仮定する。基礎と地盤の幾何学的関係から、水平、鉛直方向の地盤反力 R_H 、 R_V および回転に対する抵抗モーメント M_R を求める。

2.2 解析方法

上部構造の固有周期 T_0 は0.1 sから3.0 sとする。アスペクト比 \bar{H}/L は1,3,5とし、地盤のせん断波速度は比較的硬質な地盤を想定し $V_s=300$ m/sとする。有限回転角モデルにおけるベースシア係数 C_B は次式で算出した。

$$C_B = (k\theta_1/\bar{H})/\bar{W} \quad (1)$$

上式において k : 柱脚回転バネの回転剛性である。

2.3 入力地震動

設計によく用いられる2つの標準地震動に、内陸直下4記録と長周期2記録を加えた計8つの地震動(表1)を最大地動速度(PGV)0.25,0.5,1 m/sに基準化して用いる。ただし、本稿ではPGV=1 m/sの結果のみを述べる。

3. 解析結果と考察

3.1 ベースシア係数スペクトル

図2に各地震動に対するベースシア係数スペクトルを示

表1 入力地震動

	地震名	観測点	成分	PGA(m/s ²)	PGV(m/s)
標準	1940 Imperial Valley	El Centro	NS	3.44	0.34
	1952 Kern Country	Taft	EW	1.76	0.17
内陸直下	1995 兵庫県南部	JMA神戸	NS	8.18	0.91
		JR鷹取	NS	6.08	1.30
	2004 新潟県中越	川口	EW	16.76	1.54
		山古志	NS	5.24	1.07
長周期	1968 十勝沖	八戸港湾	EW	1.80	0.37
	2003 十勝沖	苫小牧	EW	0.76	0.35

す。各図においてFixedモデル、SRモデル、Upliftモデルが示されており、SRモデル、Upliftモデルの末尾の数字はアスペクト比1,3,5を表している。各地震動でのベースシア係数スペクトルの特徴は標準地震動と内陸直下地震動が比較的似ているのに対し、長周期地震動による結果は他の6記録に比べてかなり特徴が異なる。すなわち、標準地震動および内陸直下地震動でのベースシア係数スペクトルは上部固有周期 T_0 が概ね0.5 s近傍でFixedモデルとSRモデルがピークに達し、0.1~1.0 sまでほぼ一定であるUpliftモデルとの差が短周期域で大きくなるのに対し、長周期地震動では、いずれのモデルにおいても上部固有周期 T_0 が3.0 s辺りまでスペクトルの起伏が緩やかであり、ベースシア係数は T_0 に依存しない。

標準地震動に内陸直下地震動を加えた計6つの地震動によるベースシア係数の平均をとった図3(a)を見ると、[a] $T_0 \leq 0.4$ の時はSR>Fixed>Upliftになっており、[b] $0.4 < T_0 \leq 1.0$ の時はSR=Fixed>Uplift、[c] $1.0 < T_0 \leq 2.0$ の時はFixed>SR>Uplift、[d] $2.0 < T_0$ の時はFixed>SR=Upliftと3モデルの大小関係が推移していくことがわかる。

SRモデルでのベースシア係数をFixedモデルでのベースシア係数で除したものを図4(a)に示す。[a]ではSR/Fixedが1~1.6程度となり、[b]ではほぼ1となる。[c][d]の範囲ではSR/Fixedが約0.4~0.6に低減している。

Upliftモデルでのベースシア係数をSRモデルでのベースシア係数で除した図4(b)を見ると[a][b][c]の範囲では最小で0.4程度となっている。上部固有周期 T_0 が1.5~2.0 s以

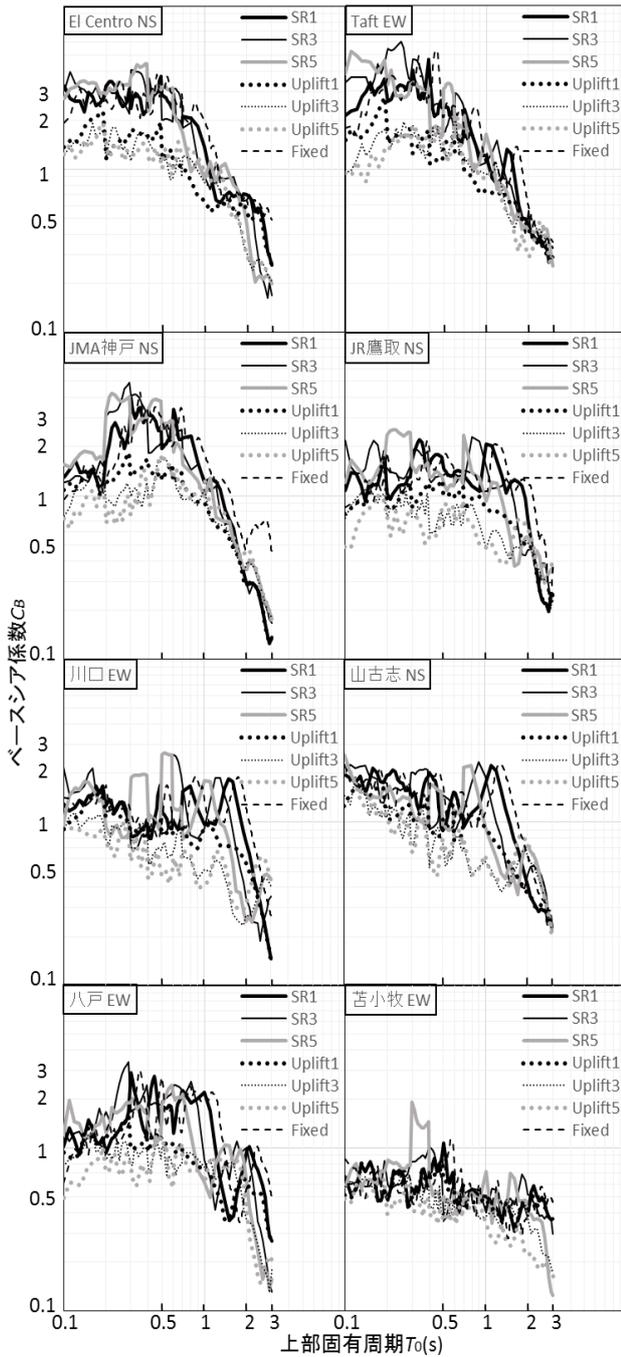


図2 各地震動のベースシア係数スペクトル

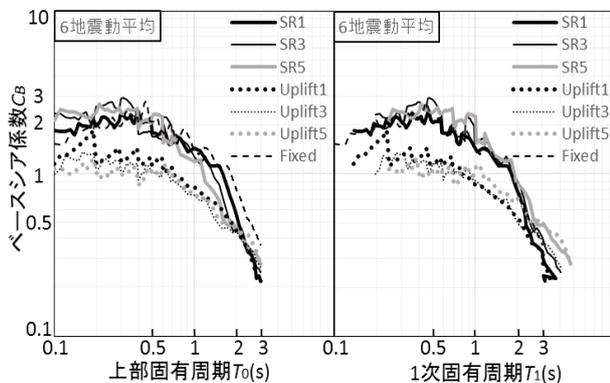


図3 6地震動の平均ベースシア係数スペクトル

上の高層建物になると、浮き上がりが生じ難くなっていくため、UpliftモデルとSRモデルの差が徐々に小さくなっている。

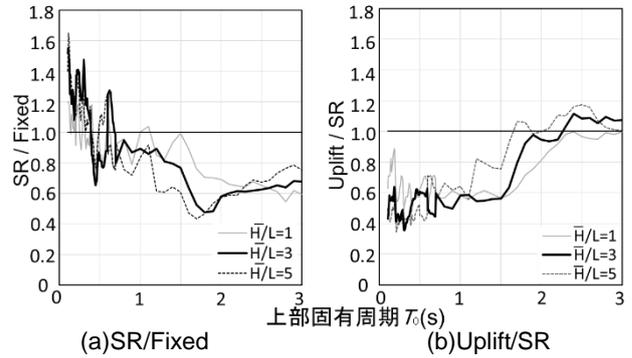


図4 ベースシア係数比

3.2 応答周期の変化による影響

SRモデルおよびUpliftモデルは上部回転角、基礎回転角、基礎水平変位の3自由度であり系全体の固有周期は3次まで存在するが、そのうちのSRモデルの1次固有周期 T_1 を横軸にとった6地震動平均のベースシア係数スペクトルを図3(b)に示す。ただしFixedモデルの横軸は上部固有周期 T_0 のままである。地盤との相互作用により、 T_1 は T_0 より長くなる。

図3(a)と比較すると図3(b)ではFixedモデルとSRモデルのスペクトルがおおよそ重なっていることから、SRモデルではベースシア係数が最大となる際には1次固有周期 T_1 に近い周期で応答していると考えられ、すなわちSRモデルにおける相互作用による応答の変化の相当部分は応答周期の伸びによるものだと考えられる。

一方、Upliftモデルでは浮き上がりの大きさに応じて固有周期が絶えず変化するため、ベースシア係数が最大となる際の応答周期を求めることは容易でない。そのため、図3(b)において横軸はSRモデルの1次固有周期 T_1 としてスペクトルを描いているが、いずれにしても依然としてFixedモデルおよびSRモデルとの差が大きいままであることから、応答周期の変化だけで応答低減の理由を説明するのは難しいことがわかる。

4. まとめ

- 標準に内陸直下を加えた6つの地震動の平均の最大ベースシア係数は[a] $T_0 \leq 0.4$ のときはSR>Fixed>Uplift、[b] $0.4 < T_0 \leq 1.0$ のときはSR=Fixed>Uplift、[c] $1.0 < T_0 \leq 2.0$ のときはFixed>SR>Uplift、[d] $2.0 < T_0$ のときはFixed>SR=Upliftとなり、Upliftモデルは最小でSRモデルの0.4倍程度になる。
- SRモデルの相互作用による応答の変化は応答周期の伸びが大きく影響している。
- Upliftモデルの応答低減の要因は応答周期の変化だけで説明するのは難しい。

参考文献

- A. Rutenberg, et al., The response of Veterans Hospital Building 41 in the San Fernando earthquake, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 10, No. 3, 359-379, 1982
- 林康裕：直接基礎構造物の基礎浮き上がりによる地震被害低減効果、日本建築学会構造系論文集、第485号、pp53-62、1996.7
- 熊谷智之ほか：スウェイ・ロッキングと基礎浮き上りを考慮した有限回転モデル、日本建築学会大会学術講演梗概集 pp413-414、1998.9
- 田治見宏ほか：建築構造学大系地震工学、彰国社、1968.11