

上部構造の塑性化を考慮した基礎浮き上がり構造物のベースシア係数スペクトル

福富 将

1. 研究の背景と目的

過去の地震被害調査から、基礎の浮き上がりにより建物の被害が低減できた事例が報告されている。そこで、基礎浮き上がり構造物に関する様々な研究が進められているが^{例え}、多くの研究では上部構造を弾性と仮定しており、上部構造が塑性化した場合の浮き上がり挙動を検討した例は少ない。

本研究では、基礎浮き上りを伴う地盤－建物系モデルにおいて、上部構造の塑性化を考慮し、上部構造の塑性率に応じた必要ベースシア係数スペクトルを比較し検討することで、基礎浮き上がりが上部構造の応答性状に及ぼす影響を検証する。

2. 解析モデルと解析条件

2.1. 解析モデル

図1のように、多層建築物の上部構造を1自由度に置換した等価4自由度系有限回転角モデルを用いる³⁾。上部構造の回転角を θ_1 、基礎の回転角を θ_0 、水平変位を x_0 、鉛直変位 y_0 とした(図2参照)。

上部構造は、多層建物が逆三角形1次モードで振動していると考えて1自由度に置換し、等価質量 M_1 (kN)と等価高さ $\bar{H}$ (m)を算出した。2次剛性を初期剛性 K_1 の1/100としたバイリニア型の復元力を持つ弾塑性モデルとした。各層高さ4 m、床面積 $L \times L$ [m²]、単位面積重量は12 kN/m²、減衰比は初期剛性比例型で2%とした。

基礎構造は、単位面積重量20 kN/m²とした。地盤剛性と減衰は田治見⁴⁾の円形基礎に対する近似解より算出した。基礎と地盤の関係を、図2下部に示す3通り考えた。すなわち、基礎の3自由度を $\theta_0 = x_0 = y_0 = 0$ とし基礎を固定したFixedモデル、基礎の水平と回転移動を考慮したSway-Rocking (以下、SR) モデル、SRモデルに基礎浮き上りを許容したUpliftモデルの計3つを用いる。Upliftモデルでの基礎浮き上がりでは、基礎底面を平面保持とし、

基礎底面に沈み量に比例した鉛直応力が作用するが、沈み込み量が負の部位に作用する応力を零と仮定する。これらの仮定と、浮き上がり時の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 と R_V 及びモーメント反力 M_R を求める。

2.2. 解析方法

上部構造の固有周期 T を0.1 s から3.0 s の0.1 s 刻みとし、アスペクト比 $\bar{H}/L$ を1, 2, 3, 4, 5とした場合のモデルを解析した。地盤のせん断波速度を、比較的硬質な地盤を想定して $V_s = 300$ m/sとした。上部構造の塑性率 μ を1、2、4の3通り考え、それぞれの塑性率に対応するベースシア係数(以下、 C_B と表す)を求めた。 C_B を下式から算出した。ここで、 M は上部構造の柱脚にかかるモーメント、 g は重力加速度である。

$$C_B = M/\bar{H}M_1g \quad (1)$$

2.3. 入力地震動

El Centro (1940)のNS成分、JMA神戸 (1995)のNS成分、およびK-NET苫小牧 (2003)のEW成分の3つの地震動記録を、それぞれ最大地動速度が0.5 m/s、1 m/sとなるよう基準化して用いた。ただし、本稿ではEl Centroの1 m/sの結果についてのみ述べる。

3. 解析結果

図3(a)に、塑性率ごとの C_B の算出方法の概略を示す。縦軸は C_B で、横軸は上部構造の回転角 θ_1 (rad)である。図3(b)は、縦軸を C_B 、横軸を固有周期 T (s)としたFixedモデルのベースシア係数スペクトルを示す。3本の太実線はそれぞれ $\mu=1, 2, 4$ に対する C_B を示しており、また、図中には $0.2R_t$ (R_t は、ここでは第2種地盤の振動特性係数である)を、設計用ベースシア係数のおおよその下限を表すも

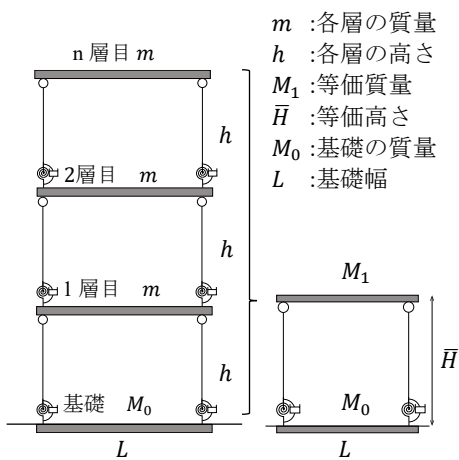


図1 上部構造を1自由度系へ置換

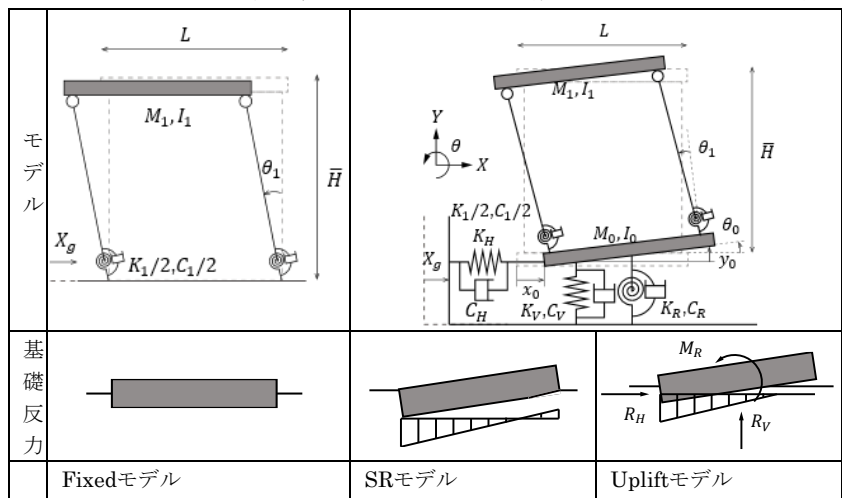


図2 上部構造と基礎地盤のモデル化

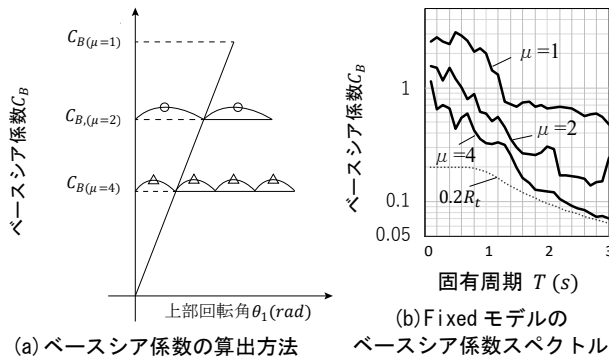


図3 塑性毎の C_B の算出方法と
Fixedモデルのベースシア係数スペクトル

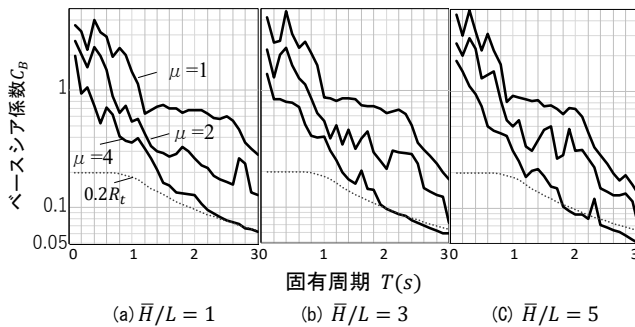


図4 SRモデルのベースシア係数スペクトル

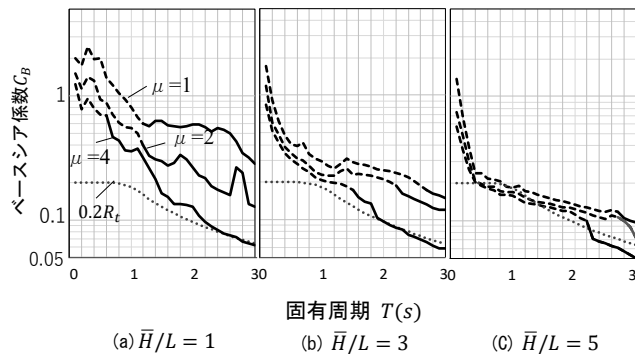


図5 Upliftモデルのベースシア係数スペクトル

のとして点線で示した。図4と5は、それぞれSRモデルとUpliftモデルの C_B をアスペクト比 $\bar{H}/L=1, 3, 5$ の場合について示す。図5における線種の区別については後述する。図3と図4(a)~(c)を比較するとFixedモデルとSRモデルとでは C_B にあまり大きな差は見られず、地盤と基礎の相互作用が C_B に及ぼす影響が小さい。図4を見ると、アスペクト比がSRモデルの C_B に及ぼす影響が小さいことが分かる。

図4のSRモデルと図5のUpliftモデルを比較すると、 $\bar{H}/L=3, 5$ のように、アスペクト比が大きい場合にはUpliftモデルの C_B がSRモデルよりもかなり小さい。また、図5を見ると、Upliftモデルでは、アスペクト比が大きいほど、塑性率が C_B に及ぼす影響が小さく、 $\bar{H}/L=5$ では、 $\mu=1$ から4の範囲で、 C_B の違いがほとんどないことが分かる。

4. 考察

Upliftモデルの応答性状を検証するために、基礎の最小接地率が0.5以下を記録した建物、すなわち、応答中に基礎の半分以上が地盤から離れた状態に一度でもなった場合を浮き上がり大とし、最小接地率が0.5未満であった場合を浮き上がり小と区別して、以下に比較する。浮き上がり大の場合を図5に点線で、浮き上がり小の場合を同図に実線で示している。 $\bar{H}/L=1$ の場合、 $\mu=1$ は $T \leq 1.2$ s、 $\mu=2$ は $T \leq 1.2$ s、 $\mu=4$ は $T \leq 0.6$ sで浮き上がり大となっている。すなわち、塑性率が大きくなると浮き上がり大となる周期帯が小さくなる傾向にある。 $\bar{H}/L=3, 5$ の場合も、 $\mu=1, 2, 4$ の順で浮き上がり大となる周期帯が大きくなるが、アスペクト比が大きくなるほど、浮き上がり大の周期帯が広がっており、 $\bar{H}/L=1$ で浮き上がり大となる周期帯が小さかった $\mu=4$ の場合でも、 $\bar{H}/L=3$ や5では浮き上がり大となる周期帯が広がっている。つまり、塑性率 μ が小さいほど、アスペクト比 $\bar{H}/L$ が大きいほど、浮き上がりを生じやすく、 C_B が低減されやすいと考えられる。

表1は、固有周期 $T=2$ sのUpliftモデルで、 $\bar{H}/L=1$ (図5(a)に対応)、および $\bar{H}/L=5$ (図5(c)に対応)の場合で、塑性率 μ ごとに上部構造回転角 θ_1 の最大値、その時点の基礎構造回転角 θ_0 、および $\theta_1/(\theta_1+\theta_0)$ を示す。浮き上がり大と判別された場合には、全体変形($\theta_1+\theta_0$)に占める θ_1 の割合が小さくなっていたことを表1より確認できる。浮き上がりによって θ_0 が励起され、それに伴って θ_1 が相対的に小さくなったと考えられる。また、基礎が浮き上がることによって θ_1 が頭打ちになり、特に $\bar{H}/L=5$ の場合に塑性率が異なっても C_B がほとんど変わらない結果をもたらしたと考えられる。

表1 Upliftモデル $T=2$ sの上部回転 θ_1 と基礎回転 θ_0

$\bar{H}/L$	μ	θ_1 (rad)	θ_0 (rad)	$\theta_1+\theta_0$	$\theta_1/(\theta_1+\theta_0)$
1	1	-0.0106	-0.0035	-0.0141	0.74
	2	-0.0096	-0.0009	-0.0104	0.92
	4	0.0092	0.0004	0.0097	0.95
5	1	-0.0024	-0.0078	-0.0102	0.23
	2	-0.0040	-0.0088	-0.0128	0.32
	4	-0.0075	-0.0053	-0.0128	0.58

5. まとめ

- SRモデルとFixedモデルでベースシア係数スペクトル C_B の差が小さかった。つまり、地盤と基礎の相互作用が C_B に及ぼす影響は小さいと考えられる。

- Upliftモデルの C_B は、アスペクト比が1の場合は、FixedモデルやSRモデルと変わらないが、アスペクト比が3や5と大きい場合は、FixedモデルやSRモデルよりかなり小さい。

- アスペクト比が大きい場合、Upliftモデルの C_B は、固有周期0.2から2秒の範囲で、塑性率の影響を受けなかった。この固有周期帯では、浮き上がり率が大きく、基礎部の回転角が大きいため、相対的に上部構造の変形が抑えられることを解析結果から見出した。

参考文献

- 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
- 石山祐二、麻里哲広、井上圭一：構造特性係数の極値について・P-Δ効果を考慮した1自由度モデルの解析、日本建築学会構造系論文集、第520号、pp29-35、1999.6
- 田治見宏ほか：建築構造学体大系地震工学、彰国社、1968.11