

基礎浮き上がりと地盤の材料非線形による 構造物の応力低減効果のエネルギー収支に基づく検討

徳島大学大学院 学生会員 ○井上 貴文
徳島大学大学院 正会員 三神 厚

1. はじめに

性能設計への移行に伴い、基礎の回転角やそれに伴う上部構造物の応答を精度良く予測する必要があるが、そのためには特に基礎の浮き上がりの考慮が不可欠であることが指摘されている¹⁾。林²⁾は直接基礎の浮き上がりによって構造物の地震被害が低減される可能性を指摘した。その際、地盤は等価線形的に扱っていた。基礎の浮き上がり挙動には地盤の材料非線形が影響を与えと考えられる。そこで本研究では、基礎の浮き上がりと合わせて地盤の材料非線形を考慮することができるマクロエレメントモデルを用い、砂質地盤上にある直接基礎を有する構造物-基礎-地盤モデルを対象として、構造物の応力低減効果について検討を行う。ここでは構造物-基礎-地盤系のエネルギー収支に着目し現象、応力低減メカニズムの理解を深める。

2. 砂質地盤上にある浅い基礎のマクロエレメントモデル

検討にあたり、中谷ら¹⁾が開発した解析プログラムを用いる。中谷らのモデルでは、基礎の変位増分と荷重増分を以下のように関係づける。

$$dx = (D^{el-up} + D^{pl})dF \quad (1)$$

ここで、 dx は基礎の全変位成分、 dF はフーチング底面に作用する荷重、 D^{el-up} は浮き上がりによる剛性低下を考慮した弾性コンプライアンス、 D^{pl} は塑性コンプライアンスである。塑性コンプライアンスを決定するために必要となる支持力曲面として次式を仮定している。

$$f_{cr} = h^2 + m^2 - \xi^2(1 - \xi)^{2\zeta} = 0 \quad (2)$$

ここで、 ξ 、 h 、 m は V 、 H 、 M を中心鉛直荷重を受けるときの極限支持力 V_m でそれぞれ無次元化した荷重であり、 $\xi = V/V_m$ 、 $h = H(\mu V_m)$ 、 $m = M(\nu B V_m)$ である。 B は基礎幅である。地盤の塑性化の進展を記述するために、支持力曲面の内側でそれと相似な降伏曲面が発展すると考える、等方硬化を仮定している。浮き上がりの影響として、次式の関係を保定する。

$$M = \frac{M_0}{\theta_0} \theta \quad (M \leq M_0), \quad M = M_0 \left(3 - 2\sqrt{(\theta_0/\theta)}\right) \quad (M > M_0), \quad M_0 = (BV)/6 \quad (3)$$

ここで、 M は基礎に作用するモーメント、 θ は基礎の回転変位、 M_0 は浮き上がり開始時のモーメント、 θ_0 は M_0 に対応する基礎の回転変位、 B は基礎幅、 V は鉛直荷重である。

3. 構造物-基礎-地盤モデルと入力地震動

図1に対象とする構造物-基礎-地盤モデルの概念図を、そしてそのパラメーターを表1に示す。基礎-地盤モデルとして、(1)基礎固定、(2)弾性地盤、(3)弾性地盤と基礎浮き上がり、そして(4)弾塑性地盤と基礎浮き上がりの4ケースを考え、それらのベースシアを比較する。梁要素の減衰として剛性比例型を仮定し減衰定数を5%とする。マクロエレメントモデルの弾性コンプライアンスと減衰係数はGazetas³⁾に基づいて設定し、地盤の弾性コンプライアンスについては周波数依存性を無視する。また降伏関数、塑性ポテンシャル、そして硬化則のパラメーターはNova and Montrasio⁴⁾と中谷ら¹⁾に基づいて決定する。入力地震動として、正弦波を考え、加振振動数として、基礎固定モデルの固有振動数である2.18Hzと設定する。

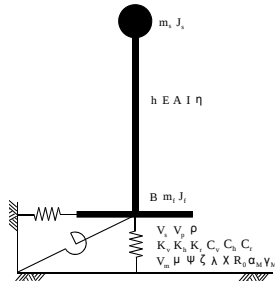


図1 構造物-基礎-地盤モデルの概念図

表1 構造物-基礎-地盤モデルのパラメーター

パラメーター	単位	値
集中質量 m_s	t	500
集中質量における慣性モーメント J_s	$t \cdot m^2$	4167
構造物高さ h	m	10
ヤング係数 E	kN / m^2	24500000
断面積 A	m^2	4.423
断面二次モーメント I	m^4	1.557
剛性比例型の減衰の比例定数 η		0.05
基礎幅 B	m	10
基礎質量 m_f	t	100
基礎部での慣性モーメント J_f	$t \cdot m^2$	833
S波速度 V_s	m / s	230
ポアソン比 ν		0.3
Lysmerの波動速度 V_{La}	m / s	356
地盤密度 ρ	t / m^3	1.539
鉛直地盤ばね定数 K_v	kN / m	2640110
水平地盤ばね定数 K_h	kN / m	2155052
回転地盤ばね定数 K_r	$kN \cdot m / rad$	52300000
鉛直の地盤減衰係数 C_v	kNs / m	50953
水平の地盤減衰係数 C_h	kNs / m	35397
回転の地盤減衰係数 C_r	$kNsm$	92190
極限支持力 V_m	kN	51503
降伏曲面のパラメーター μ		0.9
降伏曲面のパラメーター ψ		0.48
降伏曲面のパラメーター ζ		0.95
塑性ポテンシャルのパラメーター λ		0.45
塑性ポテンシャルのパラメーター χ		0.45
硬化則のパラメーター R_0		26742
硬化則のパラメーター α_M		2.8
硬化則のパラメーター γ_M		1.7

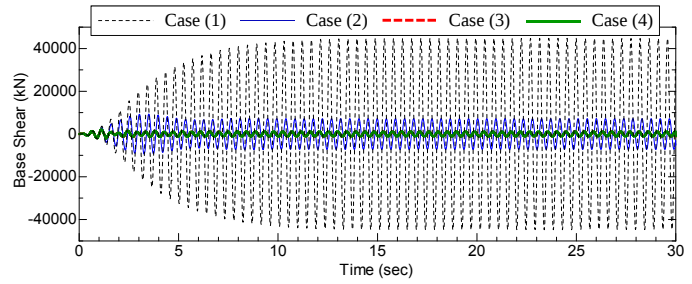


図2 ベースシアの時刻歴

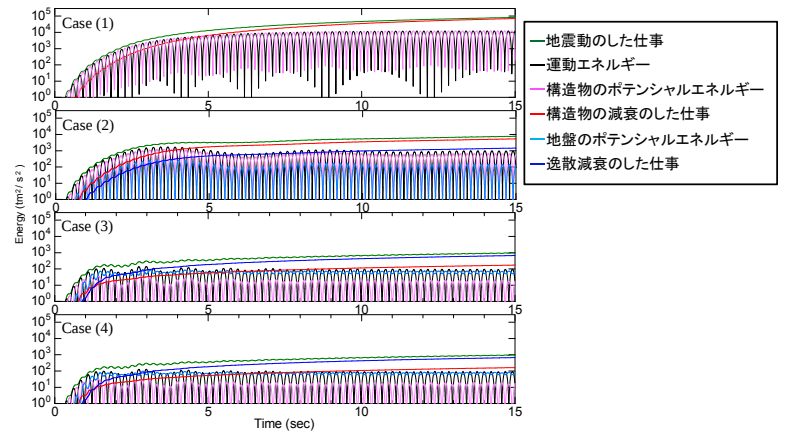


図3 エネルギーの時刻歴

4. 解析結果

図2に構造物に発生するベースシアの時刻歴を示す。ケース(1)のベースシアが最大であり、それと比較してケース(2)のものが小さくなり、ケース(3)、(4)では更に小さくなっており、顕著な応力低減効果が見られる。基礎の浮き上がりで構造物に生じる応力が低減する現象のメカニズムについて検討するため振動エネルギーを用いた評価を行う。図3に構造物-基礎-地盤モデルの振動エネルギーの時刻歴を示す。モデルへの入力エネルギーである地震動のした仕事に着目すると、顕著な応力低減効果が見られるケース(3)、(4)では入力エネルギーが他のケースと比較して小さくなっていること

とわかる。このことから、応力低減効果は入力エネルギーの低減と関係している可能性がある。

謝辞

土木研究所において中谷氏らによって開発された解析プログラムを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 中谷昌一，白戸真大，河野哲也：直接基礎の地震時挙動を予測するための数値解析モデルの開発，土木研究所資料，第 4101 号，2008 年 2 月
- 2) 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 年 7 月
- 3) Gazetas, G. Foundation vibrations, *Foundation Engineering Handbook*, Fang HY (ed.), van Nostrand Reinhold: NY, 1991.
- 4) Nova R, Montrasio L. Settlements of shallow foundations on sand. *Géotechnique* 1991; 41(2): 243-256.