

I-485 任意の方向から加振を受ける剛体の浮上りを伴うロッキング振動について

東京大学名誉教授 正員 奥村 敏恵
 東京電機大学 理工学部 正員 松井 邦人
 東京電機大学 理工学部 学生員○ 本田 満彦
 東京電機大学 理工学部 学生員 鈴木 知宏

1. はじめに

剛体は加振されると、一般に加速度応答倍率が高く、基礎底面が浮上がりを生じやすい。このような浮上りを伴う振動は、耐震設計上非常に重要な課題の一つである。本研究では問題を簡単にするため、剛体が底面の4点で鉛直方向、水平方向にばね支持されていると仮定し、加振方向を変えて動的解析を行っている。そして浮上りを生じるとそうでない場合に、地盤反力及びベースシアーがどのようになるかを比較検討している。

2. 解析方法

図1に示されている剛体のばねは、底面の4頂点ですべて同じであるとし、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向のばね剛性を k_x 、 k_y 、 k_z としている。また剛体の質量は m である。無次元化を図るため $\omega^2 x = 4k_x/m$ 、 $\omega^2 y = 4k_y/m$ 、 $\omega^2 z = 4k_z/m$ と置き更に $\alpha = h/b$ 、 $r = a/b$ とする。このとき剛体の基本運動方程式は式(1)で示される。

$$[M] \{\ddot{X}\} + [K] \{X\} = \{Q\} \quad (1)$$

ここに

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & \frac{1+\alpha^2}{12} \end{bmatrix} \quad \{\ddot{X}\} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad \{X\} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \end{bmatrix} \quad \{Q\} = \begin{bmatrix} -\ddot{x}_0 \\ -\ddot{y}_0 \\ -\ddot{z}_0 - g \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} \omega_x^2 & & & & & \\ & \omega_y^2 & & & & \\ & & \omega_z^2 & & & \\ & & & \frac{1}{2}\omega_x^2 & & \\ & \frac{1}{2}\omega_x^2 \alpha & \frac{1}{2}\omega_y^2 \alpha & & -\frac{1}{6}\omega_z^2 r D_c & \\ & \frac{1}{2}\omega_y^2 \alpha & \frac{1}{2}\omega_z^2 \alpha & \frac{1}{4}(\omega_x^2 \alpha^2 + \omega_y^2 \alpha^2) D_a & -\frac{1}{6}\omega_z^2 r D_0 & \\ \frac{1}{2}\omega_x^2 & -\frac{1}{6}\omega_z^2 D_c & -\frac{1}{6}\omega_z^2 r D_c & & \frac{1}{4}(\omega_x^2 \alpha^2 + \omega_y^2 \alpha^2) r^2 D_a & \\ & & & & & \frac{1}{4}(\omega_x^2 \alpha^2 + \omega_y^2 \alpha^2) r^2 D_a \end{bmatrix}$$

$$D_a = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4, \quad D_b = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4, \quad D_c = -\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4, \quad D_0 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4$$

ε_i ($i=1 \sim 4$)は、ばねと剛体の接触状態を示すパラメータであり、 $\varepsilon_i = 1$ は i 番目の接点がばねと接触していることを示しており、 $\varepsilon_i = 0$ は i 番目の接点が浮上がり、ばねと非接触状態にあることを意味している。なお式(1)では水平ばねは浮上りを生じて接触状態を維持していると仮定している。また $\ddot{x}_0, \ddot{y}_0, \ddot{z}_0$ は加速度入力 $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ 軸方向の成分である。加速度が作用するとき表1に示すように全部で14ケースの剛体とばねの接触状況が考えられる。それぞれのケースについてモーダル解析を行うと、各ケースについて6個の独立した2階の微分方程式を導くことができる。各々のモードに対し減衰定数を h_i とすると

$$P_i + 2h_i \omega_i P_i + \omega_i^2 P_i = -q_i(t) \quad (i=1 \sim 6) \quad (2)$$

で表すことができる。本研究では上式をDuhamel積分に基づく、Nigam-Jennings法を用いて解いている。使用した時間間隔は $\Delta t = 0.02$ 秒、減衰定数は $h = 0.1$ とした。

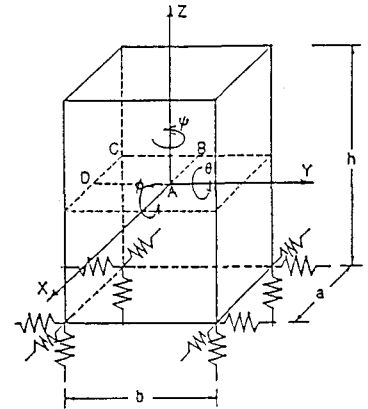


図1 解析モデル

表1 接触状態と ε_i の関係

		ε_1	ε_2	ε_3	ε_4
1	全点接触	1	1	1	1
2	1点浮上	0	1	1	1
3		1	0	1	1
4		1	1	0	1
5		1	1	1	0
6	2点浮上	0	0	1	1
7		1	0	0	1
8		1	1	0	0
9	3点浮上	0	1	1	0
10		0	0	0	1
11		1	0	0	0
12		0	1	0	0
13		0	0	1	0
14		0	0	0	0

3. 解析結果

八戸波(N.S)の最大加速度を500galとし、地盤と水平方向で入力角度を変えて動的解析を行った。図2は $\rho=0^\circ$ と $\rho=45^\circ$ における各接点の浮上がり状況を示している。浮上がりが生じた時刻が縦の実線で示されおり、 $\rho=45^\circ$ の時浮上がりが生じ易い事を示している。また、水平方向と鉛直方向のばね定数の比を1:2に保ち、質量とばね定数の比を変え、応答計算を行った。その結果を用い鉛直反力スペクトル及び水平反力スペクトルを図3、4に描いた。水平反力スペクトルは水平方向2成分を合成したものである。

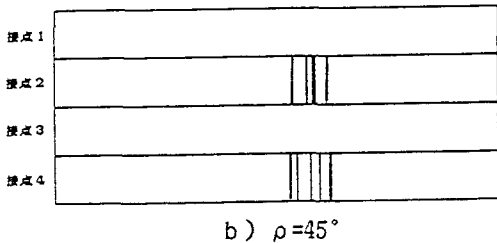
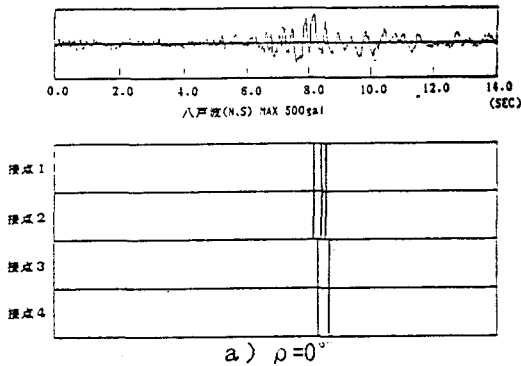


図2 剛体底辺端部の浮上がり状況

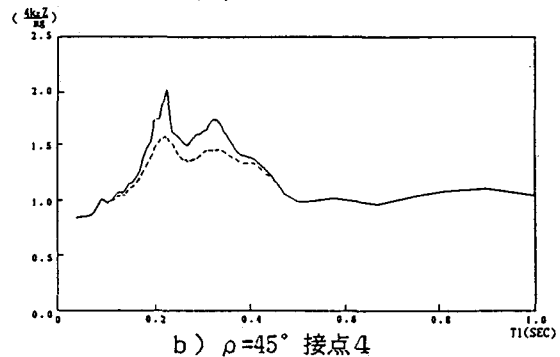
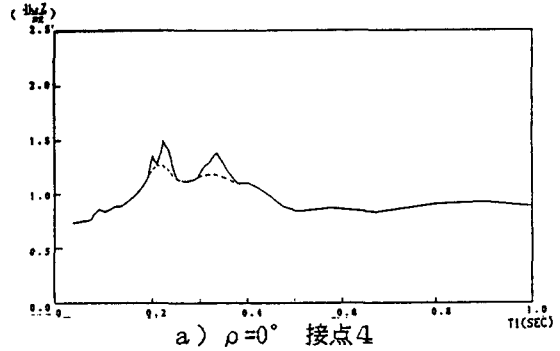


図3 鉛直反力スペクトル

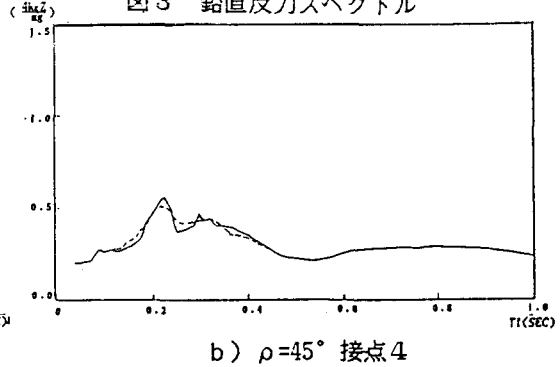
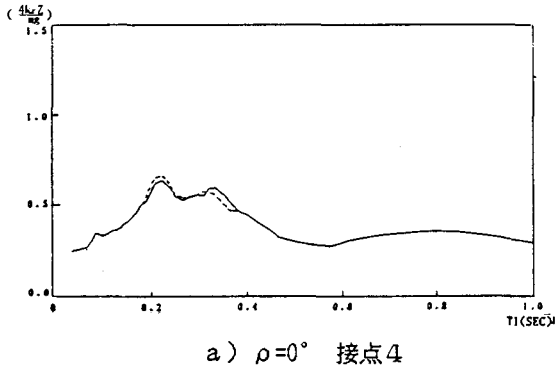


図4 水平反力スペクトル

4. あとがき

- 1) $\rho=45^\circ$ のとき、 $\rho=0^\circ$ のときに比べ浮上がり易い。
- 2) 浮上がりの生じ易い固有周期の範囲が存在する。
- 3) 剝離を許す場合は、そうでない場合に比べ鉛直反力スペクトルが浮上がり領域で大きくなっているが、水平反力スペクトルは必ずしもそうとは限らない。
- 4) Nigam-Jennings法で効率的に浮上がりを伴う非線形挙動を追跡できる。

参考文献 鈴木・奥村・松井：Nigam-Jennings法による剛体のロッキング震動解析 第41回年次学術講演会講演概要集 1-432 昭和61年