

I-508 調和外力を受ける剛体の 浮き上がりを伴う動的挙動について

東京電機大学 大学院 学生員 ○本田 満彦
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 正 員 佐々木 利規

1. はじめに

剛体は加振されると基礎底面の浮き上がりが生じ易い。このような浮き上がりを伴う振動は、耐震設計上基本的に重要な問題である。本研究では、簡単なばねモデルに調和外力（正弦波）を入力した場合を取り上げ、浮き上がりによる非線形性を考慮したモーダル解析を行い、浮き上がり後の剛体の動的挙動及び、完全浮き上がり（両端浮き上がり）がどのように発生するかを検討した。

2. 解析方法

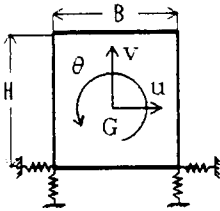


図-1 剛体モデル

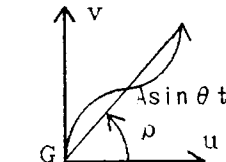


図-2 調和外力
の入力方向

解析モデルは、図-1に示す様に質量 m の剛体を底端部において水平、鉛直方向にそれぞればね定数 k_H , k_V のばねで支持しているものとした。鉛直方向のばねは、重力の作用により剛体と接触しており、水平方向のばねは鉛直方向のばねと接合しているものとする。座標軸原点は、ばねが自然長の状態で剛体と接触している時の重心位置としている。従って静止している時には鉛直方向に $-mg/k_V$ だけ初期沈下している。ここで、 $\alpha=H/B$, $\omega_H^2=2k_H/m$, $\omega_V^2=2k_V/m$ として、図-2に示す様な方向で正弦波が入力された時の運動方程式は、

$$M\ddot{q} + Kq = -f(t) \quad (1)$$

となる、ここで

$$M = \begin{pmatrix} \frac{1+\alpha^2}{12} & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{pmatrix}, \quad \ddot{q} = \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{u} \\ \ddot{v} \end{pmatrix}, \quad q = \begin{pmatrix} \theta \\ u \\ v \end{pmatrix}$$

$$f(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ -\cos \rho A \sin \theta t \\ -\sin \rho A \sin \theta t - g \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} \left(\frac{\omega_V^2}{2} + \frac{\alpha^2 \omega_H^2}{2} \right) D_1 & \frac{\alpha \omega_H^2}{2} D_1 & -\frac{\omega_V^2}{2} D_2 \\ \frac{\alpha \omega_H^2}{2} D_1 & \frac{\omega_H^2}{2} D_1 & 0 \\ -\frac{\omega_V^2}{2} D_2 & 0 & \frac{\omega_V^2}{2} D_1 \end{pmatrix}$$

$$D_1 = (\varepsilon_L + \varepsilon_R), \quad D_2 = (\varepsilon_L - \varepsilon_R)$$

表-1 各接触状態別の ε_R , ε_L

	全接触	一部浮上		全浮上
		右側浮上	左側浮上	
ε_R	1	0	1	0
ε_L	1	1	0	0

剛性マトリックス内の ε_L , ε_R は接触状態を表すパラメータであり表-1に示す通りである。

上記の運動方程式についてモーダル解析を行うと

$$q = \sum \gamma_s P_s(t) \quad (2)$$

ここで、 γ_s , $P_s(t)$ はそれぞれ S 次の固有ベクトル及び基準座標であり、各次の減衰は一定として比例減衰 h を考えると $P_s(t)$ は

$$P_s + 2h\omega_s P_s + \omega_s^2 P_s = \frac{1}{M_s} \gamma_s^T f \quad (3)$$

ここで、 ω_s^2 は S 次の固有値で、 M_s は S 次の換算質量である。本研究では式(3)を厳密解に基づいて解き、 $\Delta t=0.005\text{sec}$ として解析を行った。

3. 解析結果及び考察

両端浮き上がりを含む浮き上がり後の動的挙動を観測するため、共振付近での解析を中心に行った。

図-3は第一次固有円振動数が 24.8rad/s の剛体モデル($\alpha=1.5$, $\omega_0=\omega_H=50.0\text{rad/s}$, $h=0.1$)に外力を $A=150\text{gal}$, $\theta=25.0\text{rad/s}$, $\rho=0.0$ として入力した時の、重心に於ける各軸方向の変位の時刻歴応答($t=30\sim 40\text{sec}$)である。図中で実線は両端接触、破線は片側浮き上がり、太線は両端浮き上がりである。図より b θ 及び u 方向の振動は、定常的な波形の振幅がしだいに大きくなり、やがて片側一端が浮き上がり、ある程度振幅が大きくなると両端浮き上がりが生じている。それにより定常的な振動波形が乱れている。その後、両点接地の振動に戻っているのは入力波の円振動数が剛体モデルの第一次固有円振動数より高いためと思われる。 v 方向の変位は浮き上がりにより生じている。また両端浮き上がりは、図-4に示すように、片側浮き上がりの状態で b θ 及び u 方向の変位がピーク値より原点に戻るときに発生している。今回の解析では両端浮き上がりは図-4の場合のみ発生し、加振方向への水平移動はみられなかった。

4. おわりに

今回の解析結果より次のことが言える

- 1) 全接地及び片側一端浮き上がりでは定常的な振動をするが、両端浮き上がりが生じると振動は乱れる。
- 2) 両端浮き上がりは一方に変位（水平、回転）が進行して生じるのではなく、変位がピーク値より原点に戻るときに発生している。
- 3) 入力が水平方向のみで、ある程度減衰が大きい場合、浮き上がりは第一次固有円振動数付近で生じ易く、高次の円振動数付近では生じにくい。
- 4) 今回の解析モデル及び外力の入力方向では剛体の移動はみられなかった。

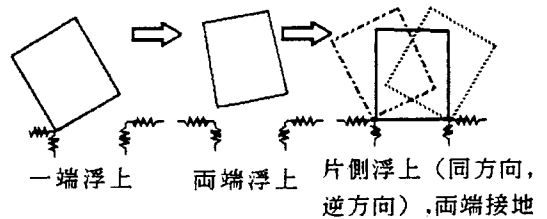


図-4 両端浮き上がりの発生状況

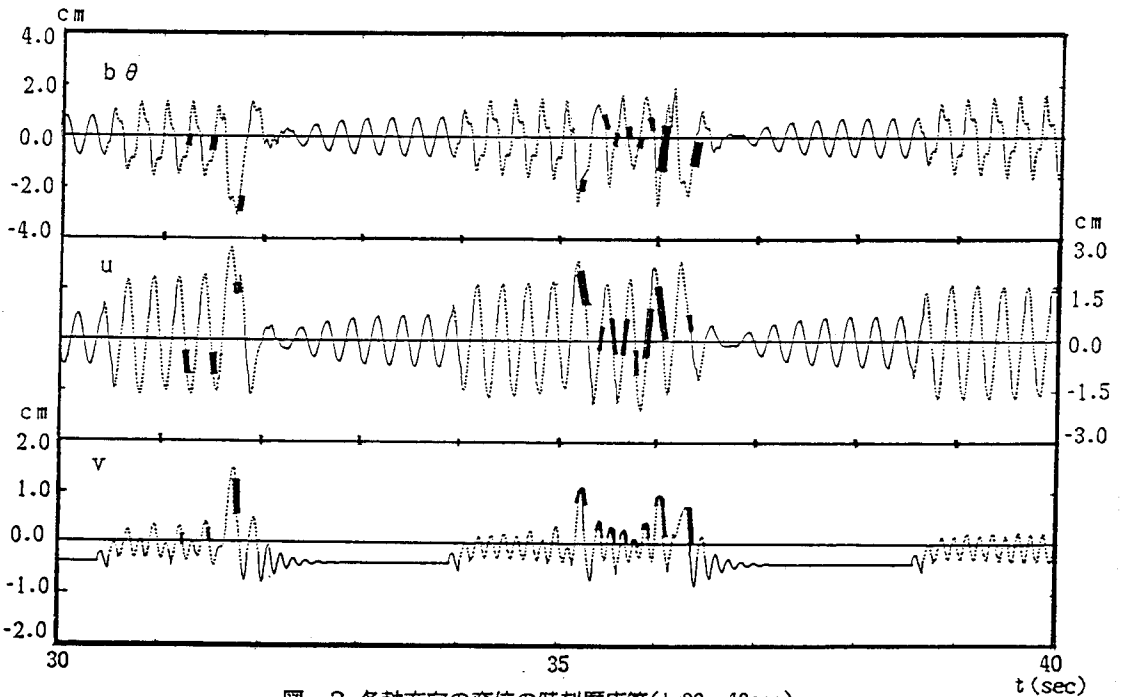


図-3 各軸方向の変位の時刻歴応答($t=30\sim 40\text{sec}$)

謝辞 本研究を行うにあたり奥村利恵先生（東京大学名誉教授）に多くの助言を頂きました。ここに深く謝意を表します。