

北海道大学 学生員 岩倉 肇
 北海道大学 正 員 渡辺 昇
 北海道大学 正 員 金子 孝吉

1. まえがき

本研究は、構造物の動的解析を水平動二成分および、上下動の三成分の地震波が同時に立体的に入力した場合について行なったものである。構造物としては、1 質点 3 自由度系モデルにさらに x、y、z 軸回りの回転を考慮した 6 自由度の剛体モデルを扱い、数値計算により入力に対する応答を求めた。また、円筒タンク模型を用いた振動実験の結果も示す。

2. 回転を考慮した 6 自由度剛体モデルの運動方程式

剛体の運動範囲を微小範囲に制限するものとすれば、慣性モーメントおよび慣性相乗積を定数とみなしうる。また、剛体の回転運動を座標 3 軸回りの角変位の時間的変化で表現できる。

さらに、座標軸を剛体の慣性主軸に一致させることにより、慣性相乗積を消去した。

減衰力、減衰モーメントは、それぞれ速度、角速度に比例するものとする。運動方程式は式(1)となる。

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{X}_G(t) \\ \ddot{Y}_G(t) \\ \ddot{Z}_G(t) \\ \ddot{\theta}(t) \\ \ddot{\phi}(t) \\ \ddot{\psi}(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_\psi \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{X}_G(t) \\ \dot{Y}_G(t) \\ \dot{Z}_G(t) \\ \dot{\theta}(t) \\ \dot{\phi}(t) \\ \dot{\psi}(t) \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} & k_{x\theta} & k_{x\phi} & k_{x\psi} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} & k_{y\theta} & k_{y\phi} & k_{y\psi} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} & k_{z\theta} & k_{z\phi} & k_{z\psi} \\ k_{\theta x} & k_{\theta y} & k_{\theta z} & k_{\theta\theta} & k_{\theta\phi} & k_{\theta\psi} \\ k_{\phi x} & k_{\phi y} & k_{\phi z} & k_{\phi\theta} & k_{\phi\phi} & k_{\phi\psi} \\ k_{\psi x} & k_{\psi y} & k_{\psi z} & k_{\psi\theta} & k_{\psi\phi} & k_{\psi\psi} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_G(t) \\ Y_G(t) \\ Z_G(t) \\ \theta(t) \\ \phi(t) \\ \psi(t) \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m\ddot{g}_x(t) \\ m\ddot{g}_y(t) \\ m\ddot{g}_z(t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

m : 剛体の質量 [$kg \cdot sec^2/cm$]

I_i : i 軸に関する慣性モーメント [$i=x, y, z : kg \cdot sec^2 \cdot cm$]

c_i : 減衰係数 [$i=x, y, z : kg \cdot sec/cm, i=\theta, \phi, \psi : kg \cdot sec \cdot cm$]

k_{ij} : 復原係数 $\begin{bmatrix} kg/cm & kg/rad \\ kg & kg \cdot cm/rad \end{bmatrix} \quad k_{ij}=k_{ji} \quad (i \neq j)$

$X_G(t), Y_G(t), Z_G(t)$: 重心の x、y、z 方向の相対変位 [cm]

$\theta(t), \phi(t), \psi(t)$: x 軸、y 軸、z 軸回りの角変位 [rad]

$\ddot{g}_i(t)$: i 方向の地震動の加速度 [$i=x, y, z : cm/sec^2$]

2 質点 6 自由度のモデルについては、質量と減衰係数の比が一定という条件 ($C_1/2m_1 = C_2/2m_2$) のもとで、ラプラス変換 (ゼロ初期条件) することにより、伝達関数を求めることができた。

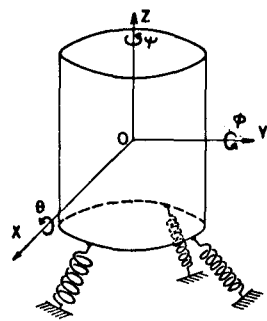


図-1

3. 数値計算例と振動実験結果

剛体モデルの入力に対する応答を、Runge-Kutta-Gill 法を用いて数値計算により求めた。剛体モデルの構造諸元は、表-1 に示すとおりであり、質量と慣性モーメントについては実験に用いた円筒タンク模型とはほぼ同じ値にそろえた。剛体モデルの持つ共振点は、モード解析によって求めた。最小の共振点の $T_1 = 0.027$ 秒に対して、数値計算におけるキザ幅を $\Delta t = 0.01$ 秒とした。剛体モデルへの入力波、振動実験における入力波はともに、正弦波 (x 方向のみ) とした。 (任意波形の入力波についての数値計算例は、当日発表する予定である)

図2は、剛体モデルに加えられた正弦波とそれに対するx、y方向の絶対加速度の応答波形である。(a)においては、入力方向の応答値と同程度かそれ以上の応答値をy方向で記録している。また、(a)と(b)を比較すると減衰振動の違いがはっきりとわかる。図3は、振動実験における正弦波とそれに対するx、y方向の絶対加速度の応答波形である。(図-3は定常振動の状態に入ってからのものである)。やはり(b)のように正弦波の周期によっては、入力方向よりもy方向の方が大きい応答値を示すことがある。また、(b)、(c)の減衰振動部分に現われている、うなりはx、y方向の応答にz軸回りの回転が影響していると考えられる。図-4は、振動実験において正弦波の周期を変化させたときの、x方向、y方向の入力加速度に対する倍率をプロットしたものである。周期0.22秒、0.28秒付近でともにピークを示しており、また周期0.22秒、0.32秒付近ではy方向の倍率がx方向の倍率より大きいことがわかる。剛体モデルの数値計算の結果と振動実験の

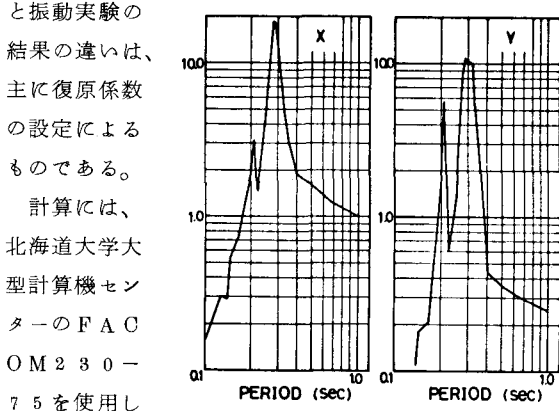


図-4

た。

質量、慣性モーメント						
$m = 2.4 \times 10^{-2}$			[kg·sec ² /cm]			
$I_x = I_y = 2.4 \times 10^{-2}$, $I_z = 4.5$			[kg·sec ² /cm]			
減衰係数						
$C_x = C_y = 5.0 \times 10^{-2}$			$C_z = 5.0 \times 10^{-1}$ [kg·sec/cm]			
$C_\phi = C_\psi = 5.0 \times 10^{-2}$			$C_\theta = 1.0 \times 10^{-2}$ [kg·sec/cm]			
復原係数 (単位は式(1)の場合と同様)						
1.7×10^7	7.7	-7.7×10^7	7.7×10^7	5.7×10^7	-1.9×10^8	
	15×10^7	-6.6×10^7	7.8×10^7	9.2×10^7	-2.4×10^8	
		1.3×10^8	-5.2×10^7	-5.0×10^7	8.9×10^7	
			4.0×10^6	-1.0×10^6	-5.7×10^3	
sym.				4.0×10^6	-5.8×10^3	
					1.6×10^4	

表-1 構造諸元

共振点 (SEC)

$T_1 = 0.027$, $T_2 = 0.102$, $T_3 = 0.188$
 $T_4 = 0.199$, $T_5 = 0.283$, $T_6 = 0.354$

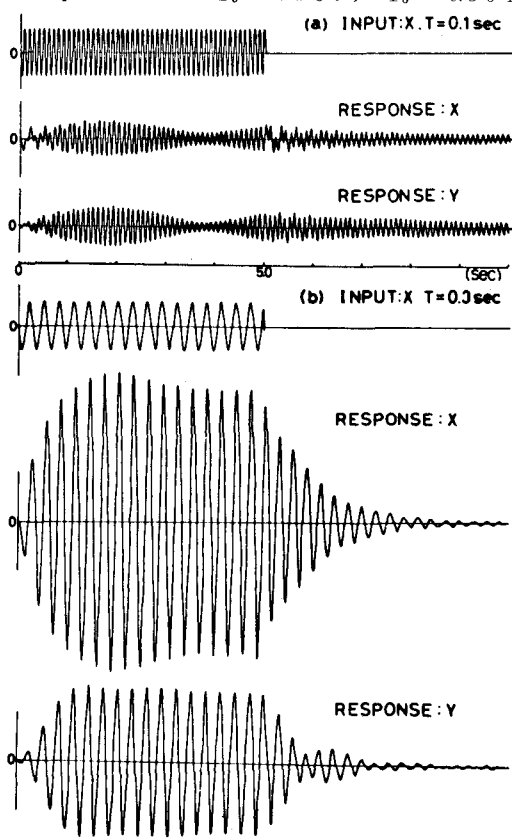


図-2

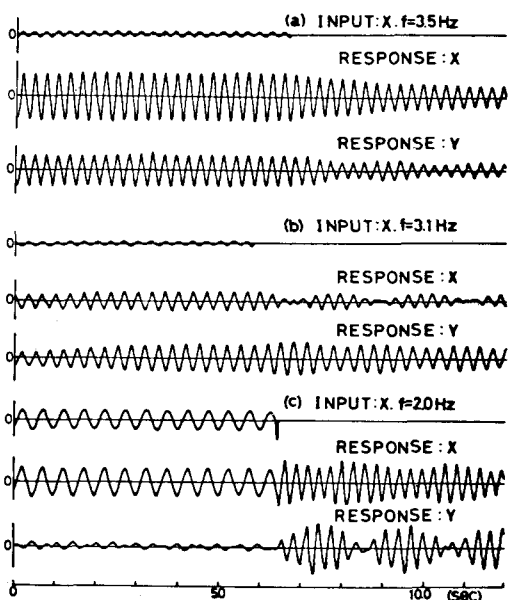


図-3