

東洋大学工学部 正員 高田孝信
 “ “ “ 新延泰生

土木構造物の耐震設計には最近地震力に対する構造物の応答加速度をおいて行く方法が取られる場合が多くなりつつあるが、その応答計算には構造物を多質点系に置換する方法がとられている。しかしその計算では構造物の振動特性をいかに想定するかによりかなり異ってくる。

耐震性に大きな影響をおよぼすのは基礎構造物の特性であり、その特性は構造形式により異ってくる。本文中では基礎構造物は簡単な剛体基礎とし、その上に設置される構造物は一質点に置換したものとする。かかるときはこのような構造系は剛体基礎とその上にはばねおよび減衰係数で支持された一質点よりなるものと考えられる。このような構造系に水平地震力が作用した場合の各部の振動の応答性状を取扱うこととする。

水平動地震力により誘起される剛体基礎の運動は一般的には二自由度の運動であるが、近似的には図-1に示すようなロッキングセンター O_R 点まわりの回轉運動と見なすことができる。かかるときは水平地震加速度 $\ddot{Y}$ による基礎部に対する回轉運動の方程式は

$$(I_G + m_0 l_G^2) \ddot{\theta} + C_0 \dot{\theta} + k_0 \theta = k_1 l y_1 - m_0 l_G \ddot{Y}$$

基礎頂部の変位を $y_0 = l_0 \theta$ と表せば、

$$\begin{aligned} \ddot{y}_0 + 2\varepsilon_0 \dot{y}_0 + p_0^2 y_0 \\ = \frac{k_1 l_0 l}{I_0} y_1 - \frac{m_0 l_0 l_G}{I_0} \ddot{Y} \end{aligned} \quad \dots (1)$$

上部質点 m_1 に対する運動の方程式は

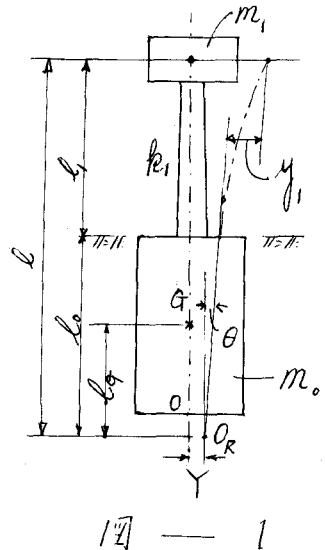
$$m_1 (\ddot{Y} + l \ddot{\theta} + \ddot{y}_1) + C_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 = 0$$

$$\text{よって } \ddot{y}_1 + 2\varepsilon_1 \dot{y}_1 + p_1^2 y_1 = -\frac{l}{l_0} \ddot{y}_0 - \ddot{Y} \quad \dots (2)$$

従ってこの系の自由振動周期は近似的には減衰係数を無視することによりつぎの二式

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y}_0 + p_0^2 y_0 - \frac{k_1 l_0 l}{I_0} y_1 &= 0 \\ \frac{l}{l_0} \ddot{y}_0 + \ddot{y}_1 + p_1^2 y_1 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

の解とこゝ



$$\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = \frac{1}{2} \left[1 + \left(1 + \frac{m_1 \ell^2}{I_0} \right) \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \pm \sqrt{\left\{ 1 + \left(1 + \frac{m_1 \ell^2}{I_0} \right) \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \right\}^2 - 4 \left(\frac{p}{p_0} \right)^2} \right]$$

より求められ、周期の関係を $m_1 \ell^2 / I_0$ をパラメータとして図示すれば、図-2 のようになる。

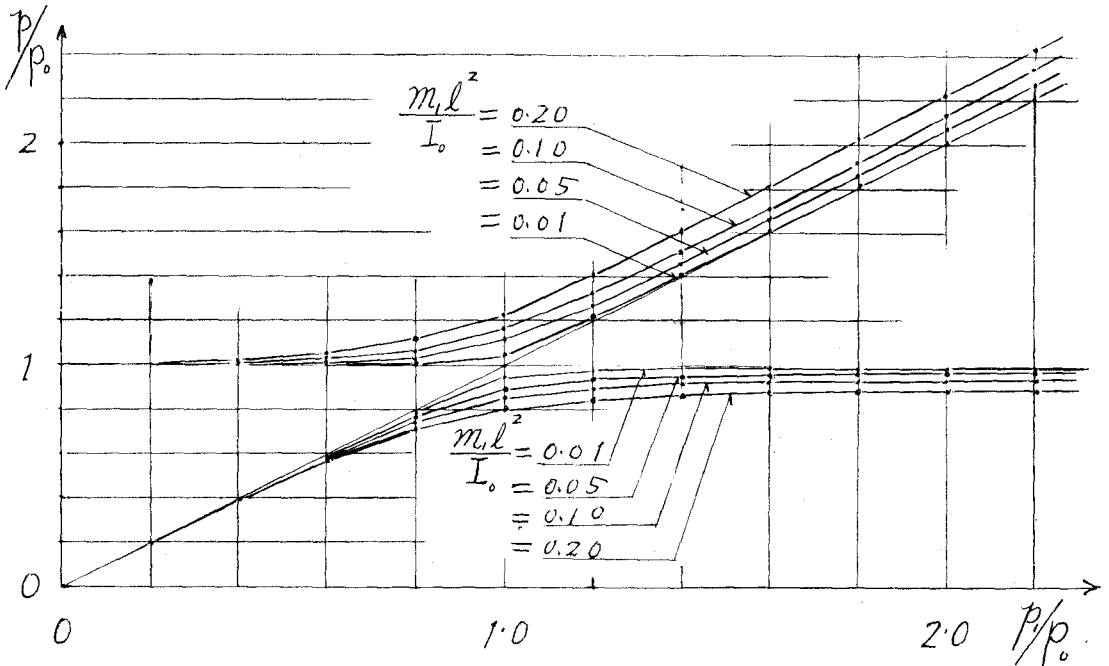


図 - 2

この図より $m_1 \ell^2 / I_0$ が小さい場合には基礎部のみの固有周期に対する上部質量 m_1 の影響は極めて小さいことが分る。従つて基礎部の応答加速度を求める場合には m_1 を無視した図-2 により修正された固有周期を基にして取扱つてゐた誤差は生じない。かつて此の取扱ひではまづ基礎部のみに対する応答を求め、質量 m_1 はばねおよび減衰系を通じて基礎工頂部より加振されるものとする。このとき(1)および(2)の両式はつぎの二式におきかえらる。

$$\text{基礎工頂部の応答} : \ddot{y}_0 + 2\varepsilon_0 \dot{y}_0 + p_0^2 y_0 = -\beta \ddot{Y} \quad \dots \dots (1)'$$

$$\text{質量 } m_1 \text{ の応答} : \ddot{y}_1 + 2\varepsilon_1 \dot{y}_1 + p_1^2 y_1 = -\frac{1}{\ell} \ddot{Y} \quad \dots \dots (2)'$$

$$\text{ただし } \ddot{Y} = \ddot{y}_0 + \beta \ddot{y}_1, \quad \beta = m_0 \ell_0 \ell_1 g / I_0 \quad (\text{ロッキング係数と呼ぶこととする})$$

基礎工の最大応答加速度 S_{A0} についてはすでに多くの地震記録について求められてゐる。此の振動特性としてそれの固有周期 T_0, T_1 を取つた場合、それらの相互関係により質量 m_1 の最大

応答加速度 S_{A1} がいか様になるかを数値的に求めて見た。その場合地震記録としては

エルセントロ (1940) N-S 成分 $\ddot{Y}_{max} = 313.06 \text{ gal}$

明石 (1963) N-S 成分 $\ddot{Y}_{max} = 79.88 \text{ gal}$

を採用し、減衰係数 $h = c/p$ とする

$h_0 = 0.05, 0.10, 0.20$

$h_1 = 0.01, 0.03$

などについて計算を行った。その結果は図-3, 4に示す如くになる。これら図では横軸に質量 m_1 の固有周期 T_1 ととり、縦軸としては図-3では地盤最大加速度に対する S_{A1} の増巾度を示し、図-4においては基礎工頂部の最大加速度 $\ddot{Y}_{max}$ に対する S_{A1} の増巾度ととり、両者の共振性がどの程度のものであるかを数値的に把握することとした。その結果採用した二つの地震記録に対する二質点系の最大応答加速度の増巾率はかなり異なっているに拘らず本計算に示した質量 m_1 の基礎工に対する共振性状は周期 T_1 に対してかなりの中と有しているが、両者肉には余り大きな相異は認められないことがわかる。なほ図-3, 4に示した S_{A1} の増巾率即ち縦軸目盛はロッキングな状態に対する応答である。即ちこれらは基礎式(1)', (2)'にて $\beta = 1$, $l/l_0 = 1$ とおいたときの場合である。従ってロッキング現象を起す場合には基礎工頂部に対しては β を、質量 m_1 に対してはさらに l/l_0 を乗ぜねばならぬ。したがって図-3, 4の縦軸はそれぞれ $S_{A1}/l_0 \cdot \beta \cdot \ddot{Y}_{max}$, $S_{A1}/l_0 \cdot \ddot{Y}_{max}$ となる。したがってロッキング中心の位置如何は基礎工頂部および質量 m_1 の応答性に大きく影響を及ぼすことがわかる。なほロッキング中心が基礎底面の中央Oにある場合には $\beta = 1.2 \sim 1.25$ 本文は適当な位置により剛体基礎上の高橋脚や吊橋主塔に対する震度の取り方に対する一つの事例を示している。二質点系として応答性状に対する比較に対しては当日述べる。

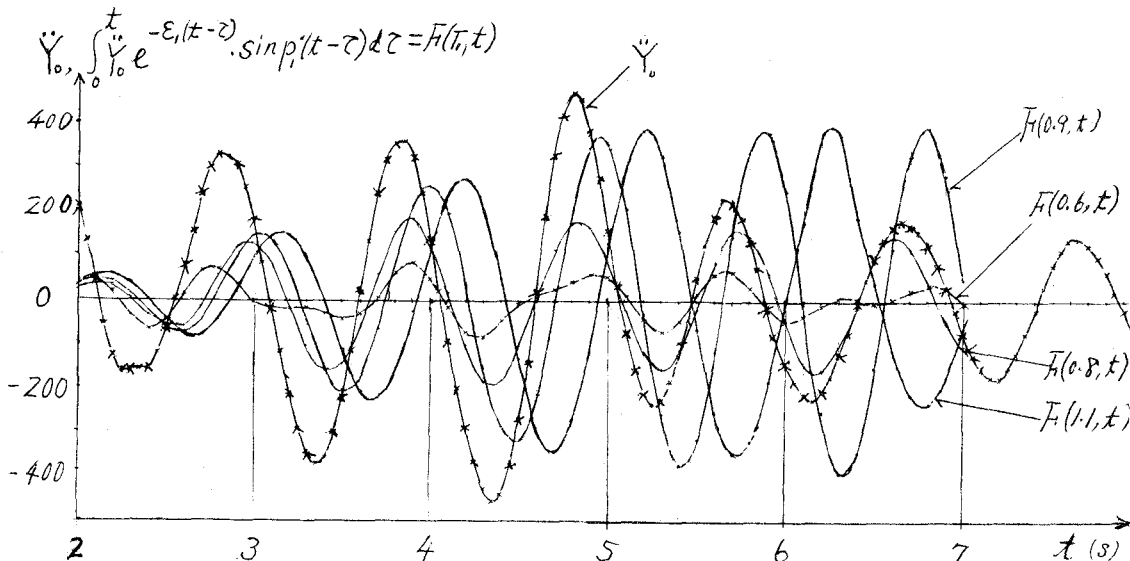


図-5 エルセントロ地震記録に対する基礎工頂部および m_1 の応答状況
但し $T_0 = 1.0 \text{ s}$; $h_0 = 0.05$; $h_1 = 0.03$; $T_1 = 0.6, 0.8, 0.9, 1.1 \text{ s}$ とす。

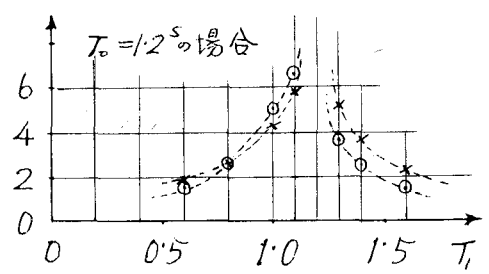
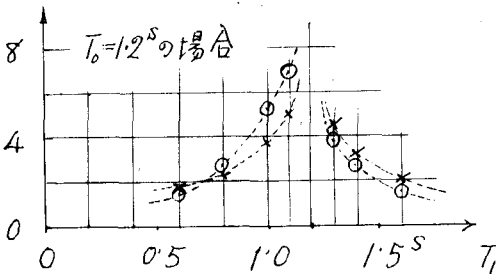
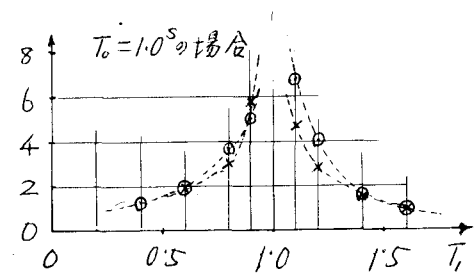
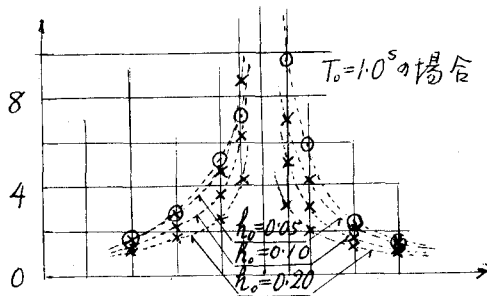
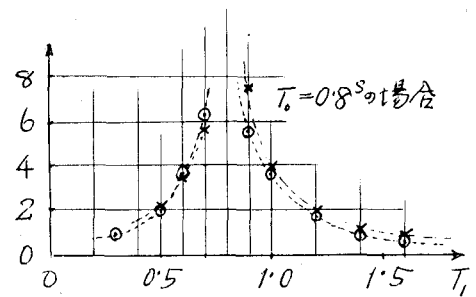
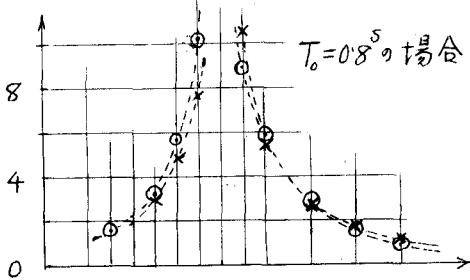
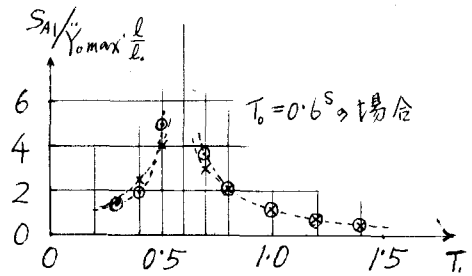
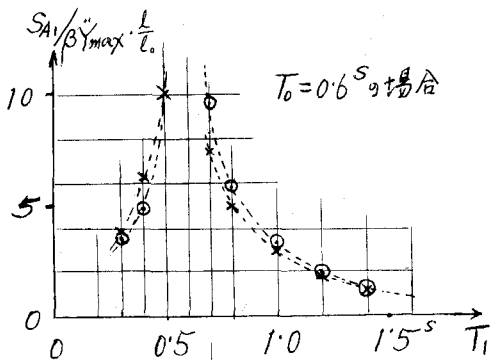


図-3 剛体基礎頂部に取り付けられた質量 m_1 に生ずる応答加速度 S_{A1} の地盤加速度に對する増巾率

図-4 剛体基礎頂部応答加速度 γ_{0max} に對する m_1 側層の増巾率

(註) 図-3, 4 にて $\cdots \times \cdots$ はエルベントロ記録, $\cdots \bigcirc \cdots$ は明石記録に對するものである。
特記なきもの減衰係数は $h_0 = 0.05$, $h_1 = 0.10$ とす。