

京都大学工学部 正員 後藤 尚男
 京都大学大学院 学生員 尾田 弘行
 京都大学大学院 学生員 小国 俊樹

1. はしがき

一柱式橋脚の振動および耐震性については、ここ数年来、理論解析や振動実験などが行なわれ、その結果はすでに報告されている。^{1), 2)} 本研究においては、さらに、一柱式橋脚の振動性状を、主として基礎的な地震応答の面より解析を行なった。

2. 自由振動

本研究では、一柱式橋脚を図-1のような上・下部両構造の並進および回転の連成された、4自由度の振動モデルとして解析を行なった。この振動モデルの自由振動の微分方程式は次式で与えられる。³⁾

$$M\ddot{y} + Ky = 0$$

$$\text{ここに、} M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & m_1 e & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & m_2 d \\ m_1 e & 0 & m_1(e^2 + r^2) & 0 \\ 0 & m_2 d & 0 & m_2(d^2 + r^2) \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix}, \quad \ddot{y} = \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{\varphi}_1 \\ \ddot{\varphi}_2 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_{rp} & -k_{rp} & -\frac{k_{rp} l}{2} & -\frac{k_{rp} l}{2} \\ -k_{rp} & (k_r + k_{rp}) & \frac{k_{rp} l}{2} & \frac{k_{rp} l}{2} \\ -\frac{k_{rp} l}{2} & \frac{k_{rp} l}{2} & k_{rp} \left(\frac{3l}{h} - 1 \right) \frac{r^2}{4} & -\frac{k_{rp} l}{2} \\ -\frac{k_{rp} l}{2} & \frac{k_{rp} l}{2} & \left(\frac{3l}{h} - 1 \right) \frac{k_{rp} r^2}{4} & \left\{ k_r + \left(1 + \frac{3l}{h} \right) \frac{k_{rp}}{4} \right\} \end{bmatrix}$$

ただし、

$$l = 2d + h,$$

$$k_{rp} = \frac{12EI}{h^3}$$

$$k_r = \frac{4EI}{h}$$

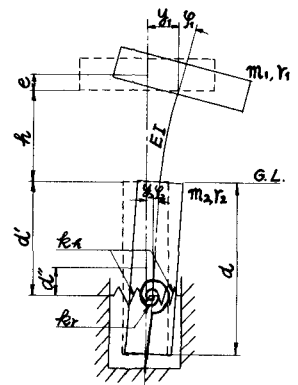


図-1 振動モデル

式(1)において、 $y = U \cos nt$ とおくと、

$$(n^2 M - K)U = 0$$

式(2)から、固有振動数 n は $\det(n^2 M - K) = 0$ より、また固有ベクトル（基準振動形） U は得られた n の値を式(2)に代入

することにより求められる。数

表-1 数値計算のデータ

$\frac{(kg/cm^2)}{m_1}$	$\frac{(cm)}{r_1}$	$\frac{(kg/cm^2)}{m_2}$	$\frac{(cm)}{r_2}$	$\frac{(cm)}{e}$	$\frac{(cm)}{h}$	$\frac{(cm)}{d}$	$\frac{(cm)}{d'}$	$\frac{(cm)}{d''}$	$\frac{(kg/cm^2)}{E}$	$\frac{(cm^4)}{I}$	$\frac{(kg/cm)}{k_r}$	$\frac{(kg/cm)}{k_{rp}}$
510.2	46788	918.3	88707	300	1200	3000	2000	500	2.10	3.98	900	450

値計算の一例として、表-1の各

表-2 固有周期、固有ベクトル

数値を用いて行なった計算結果を表-2に示す。なお地盤反力係数は三角形分布とし、井筒下端における値は 10 kg/cm^2 とした。

この結果から一柱式橋脚はかなりたわみやすく、また第1次固有周期も比較的大きくなって、地震の卓越周期と相前後する恐れが十分あることがわかる。

固有周期 ($T_i = 2\pi/n_i$, $i=1, 2, 3, 4$)			
$\frac{(sec)}{T_i}$	0.6156	0.1261	0.0616
固有ベクトル U			
y_{i0}	1	1	1
y_{20}	8.7693×10^{-3}	1.5602×10^{-1}	-7.8220×10^{-1}
φ_{i0}	1.1783×10^{-3}	-2.1706×10^{-3}	-1.9036×10^{-3}
φ_{20}	6.1744×10^{-5}	5.3256×10^{-4}	-4.0759×10^{-4}

3. 仮想地震波に対する応答

図-1の振動系に地動 x が作用する場合の微分方程式はつぎのように表わされる。²⁾

$$M\ddot{y} + K y = -M\ddot{x} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 M , K , y , $\ddot{y}$ は式(1)のものに等しく、また $x = \begin{bmatrix} x \\ x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$, $\ddot{x} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{x} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

$$x = \begin{bmatrix} x \\ x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \ddot{x} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{x} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

本研究では入力 $\ddot{x}$ として、図-2に示すような矩形波と余弦波を選び、その周期 T_0 が

0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4

sec.の各場合について、前記橋脚の応答をModal Analysisの手法³⁾と位相面法とによって求めた。かくして得られた結果を応答スペクトルの形に整理したが、これを示したのが図-3である。図中、 T_1 は第1次固有周期を表わし、また添字 s は静的計算値であることを示している。これらの図において、応答の最大値は $T_0/T_1 = 1.3$ ($T_1/T_0 = 0.77$)付近に生じており、かつ矩形波の方が単一余弦波より大きな応答を生ずることが目立つ。なお T_0/T_1 がほぼ0.5以上では、震度法による静的計算値よりかなり大きい応答が算出されているが、この振動系にさらに減衰を考慮した場合について現在研究を続行している。

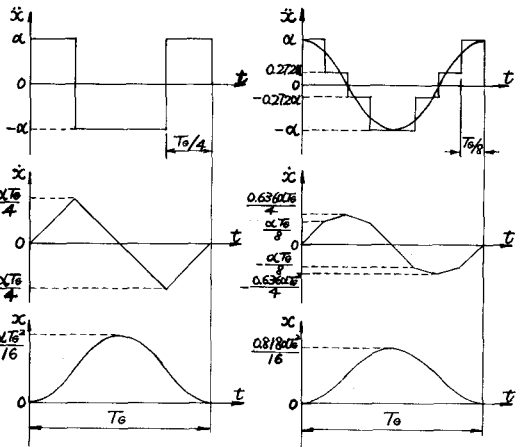


図-2 仮想地震波

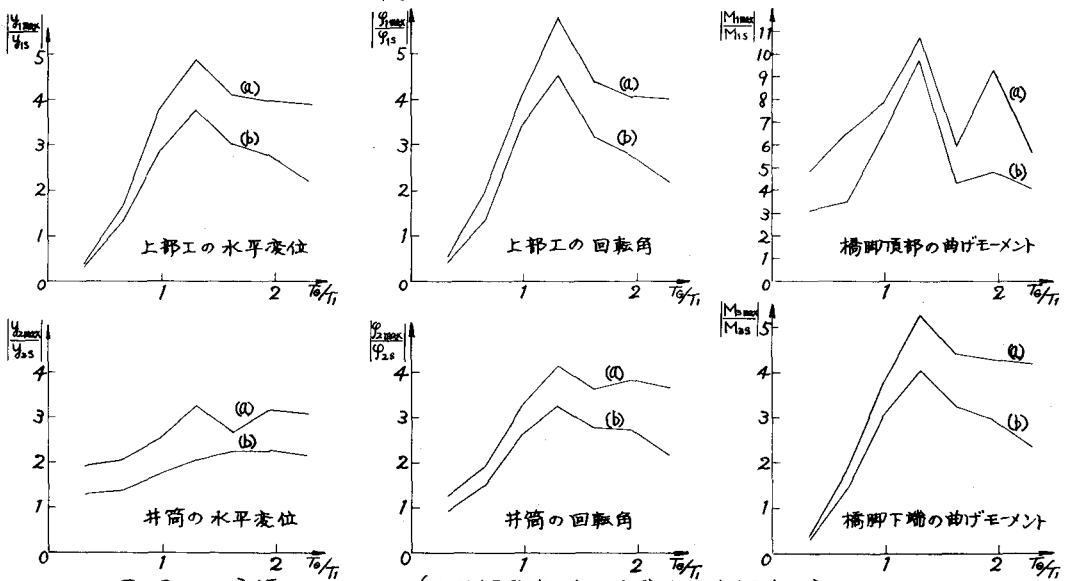


図-3 応答スペクトル (aは矩形波, bは余弦波に対するもの。)

参考文献

- 1) 後藤, 渡部: 地震工学 国内シンポジウム講演集, 昭37.11, pp.141~146
- 2) 後藤, 尾田: 土木学会論文集 109号, 昭39.9, pp.1~9
- 3) 高橋利衛: 振動工学演習(Ⅱ), オーム社, pp.25~40