

京都大学工学部 正員 後藤尚男

京都大学大学院 学生員 〇龜田弘行

要旨 われわれは、上部構造の重量を載荷した橋脚を図-1の振動モデルで表示し、その実地震に対する応答、ランダムな地震動に対する橋脚頂部の加速度の自乗平均応答について解析を行なった。ここではさらに基礎杭に生ずる曲げモーメントの自乗平均応答を、ランダムな地震波が基礎層から入射する場合について解析考査した。

1. 振動モデルの力学的特性

地表層の地震動を均質な粘弾性地盤中におけるせん断波の1次元伝播として取り扱うと、変位が $e^{i\omega t}$ なる調和波が基礎層から入射したときの地表層中の点 n (ここでは $n=0,1,2,3$)における地動変位 x_n および橋脚頂部の絶対変位 z_3 は次式で表わせる。

$$x_n = V_n(\omega) e^{i\omega t}, \quad z_3 = H_0(\omega) B(\omega) e^{i\omega t}$$

ここに、 $V_n(\omega)$ は基礎層からの入射波に対する x_n の複素周波数応答、 $H_0(\omega)$ は z_3 の複素周波数応答であり、 $B(\omega)$ は $B(\omega) = \sum_{n=0}^3 u_n V_n(\omega)$ で与えられる。ただし u_n は地表層中の点 n の地動が z_3 に及ぼす影響度を表わしている。

点 n における基礎杭の絶対変位を z_n とし、 $\mathbf{z} = \begin{Bmatrix} z_0 \\ z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{Bmatrix}$, $\mathbf{v}(\omega) = \begin{Bmatrix} V_0(\omega) \\ V_1(\omega) \\ V_2(\omega) \\ V_3(\omega) \end{Bmatrix}$ とおくと、

$$\mathbf{z} = \mathbf{A}^{-1} [\mathbf{K} \mathbf{v}(\omega) - \mathbf{H}_0(\omega) B(\omega) \mathbf{d}] e^{i\omega t}$$

これより杭体に生ずる曲げモーメント M_n ($n=1,2,3$)は次式により算出される。

$$\frac{M}{k} = \mathbf{S} \bar{\mathbf{z}} = M_0(\omega) e^{i\omega t}, \quad \bar{\mathbf{z}} = \begin{Bmatrix} \mathbf{z} \\ z_3 \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{M} = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし $\mathbf{A}$, $\mathbf{K}$ は 4×4 , $\mathbf{S}$ は 3×5 の stiffness matrixであり、 M_0 は次式で与えられる。

$$M_0(\omega) = \mathbf{S} \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{A}^{-1} [\mathbf{K} \mathbf{v}(\omega) - \mathbf{H}_0(\omega) B(\omega) \mathbf{d}] \\ \mathbf{H}_0(\omega) B(\omega) \end{array} \right\}, \quad \mathbf{d}: 4 \times 1 \text{ stiffness matrix}$$

2. 地震動の変位スペクトル密度

上記の考えより、基礎杭に生ずる曲げモーメントを知るためには、基礎層から入射する地震動の変位特性を与えることが必要である。いまこの入射地震波の変位 $z(t)$ を Gaussian stationary process とし、そのスペクトル密度を $S_z(\omega)$ とする。一方 El Centro, 1940, EW, および Taft, 1952, EW の二つの強震記録を積合して得た地動変位のフーリエ・スペクトルを計算して図-2を得た。ただし両

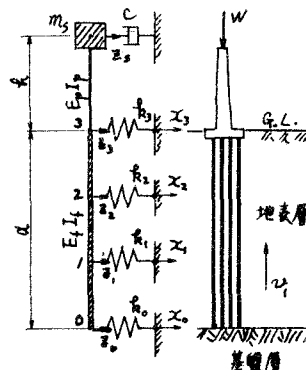


図-1 振動モデル

地震とも、それぞれの加速度 r.m.s. (自乗平均平方根) で除して標準化してある。

$S_{\dot{y}}(\omega)$ がこれらのフーリエ・スペクトルに比例するものと仮定し、図-2の折線は1本の直線で表わされるものとして、

$$S_{\dot{y}}(\omega) = C e^{-a|\omega|} \quad (\text{cm}^2/\text{rad}/\text{sec}) \quad \dots\dots (2)$$

とおく。これより地震加速度 $y(t)$ のスペクトル密度 $S_y(\omega)$ は

$$S_y(\omega) = C \omega^4 e^{-a|\omega|} \quad (\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-3}/\text{rad})$$

で与えられる。 $S_y(\omega)$ は図-3のように $\omega = \omega_0 = 4/a$, ($a\omega_0 = 4$) にピークを持つ関数で、加速度 r.m.s. は $48C/a^5$ となる。これらの諸量が田畑見-Jennings式から得られる地震加速度のスペクトル密度

$$\bar{S}_y(\omega) = \frac{2.875(1+\omega^2/147.8)}{(1-\omega^2/242)^2 + \omega^2/147.8} \quad (\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-3}/\text{rad})$$

から算出される値に等しくなるように a, C を選ぶと、 $a = 0.3183$, $C = 0.01864$ をうる。

3. 基礎杭に生ずる曲げモーメント自乗平均応答

基礎層から入射する地震動が上述のような性質を持つものとすれば、式(1)、(2)から図-1の点 n における基礎杭内の曲げモーメント自乗平均応答は、次式から算出される。

$$E[\{M_n\}^2] = \int_{-\infty}^{\infty} |M_{0n}(\omega)|^2 S_{\dot{y}}(\omega) d\omega = C \int_{-\infty}^{\infty} |M_{0n}(\omega)|^2 e^{-a|\omega|} d\omega$$

ただし $M_{0n}(\omega)$ は $M_0(\omega)$ の n 番目の要素である。かかる曲げモーメントの自乗平均応答、その他については、講演時に報告する。

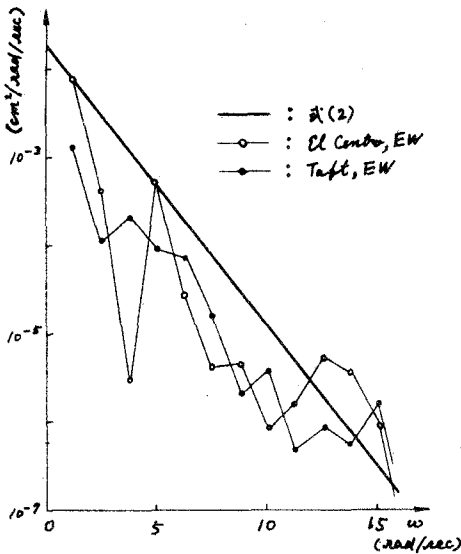


図-2 地震動変位のスペクトル密度

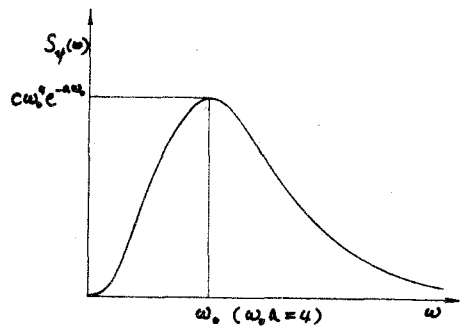


図-3 地震加速度のスペクトル密度