

日本鋼管(株) 正員 舩田 直之
 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

構造物の耐震設計を行なうにあたり、一方向のみから入力した場合の応答を調べるだけでは不十分ということで、著者らは水平・上下方向から同時に入力した場合の立体的な地震応答解析を行なって、すでにその一部を発表した¹⁾。ここでは非対称性構造物に対する多入力で多自由度の応答解析を行ない、実験で得られた結果の検証を行なった。特に多自由度応答における伝達特性および質量・減衰係数の比が一定でない非比例減衰の場合について検討した。

2. 三成分地震波入力に対する多自由度応答の理論

非対称支持の剛体モデル(参考文献2)を考え、剛体自体の振動変位および角変位が微小である場合、入力方向を $i=X, Y, Z$ 、応答を $j=X, Y, Z$ および各軸回りの回転を $j=\theta, \phi, \phi$ とすれば運動方程式は

$$m \ddot{u}(t) + c \dot{u}(t) + k u(t) = -m \ddot{g}(t) \quad (1)$$

で表わすことができる¹⁾。ただし、質量マトリックス m は質量 m ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{cm}$) と j 軸回りの慣性モーメント I_j ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{cm}$) を要素とし、減衰係数マトリックス c は c_j ($j=X, Y, Z$ で $\text{kg} \cdot \text{sec}/\text{cm}$ 、 $j=\theta, \phi, \phi$ で $\text{kg} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}$)、復元係数マトリックス k は k_{jk} $\begin{bmatrix} \text{kg}/\text{cm} & \text{kg} \\ \text{kg} & \text{kg}/\text{cm} \end{bmatrix}$ の 6 行 6 列要素からなる。ここで c/m が一定でない非比例減衰として扱っており、式 (1) をラプラス変換して得られる特性方程式を解くと、6 組の共役な複素根 $-\alpha_k \pm i\beta_k$ ($k=1 \sim 6$) が得られる。 α_k は減衰定数を示し、 β_k は固有円振動数である。さらに特性方程式の逆マトリックスをとれば伝達関数マトリックス $H(s)$ が求まり、それを逆変換することにより変位インパルス応答関数 $h(t)$ が次式のように求まる。

$$H_i(s) = \sum_{jk} \frac{i\gamma_{jk}s + i\delta_{jk}}{s^2 + \alpha_k^2 + \beta_k^2}, \quad h_i(t) = \sum_{jk} e^{-\alpha_k t} \left\{ \frac{i\gamma_{jk}\alpha_k + i\delta_{jk}}{\beta_k} \sin\beta_k t + i\gamma_{jk} \cos\beta_k t \right\} \quad (2)$$

($j=1 \sim 6, k=1 \sim 6$)

従って運動方程式の解は変位、速度および絶対加速度(角変位、角速度、角加速度を含む)が、

$$u(t) = \int_0^t h(t-\tau) \ddot{g}(\tau) d\tau, \quad \dot{u}(t) = \int_0^t \dot{h}(t-\tau) \ddot{g}(\tau) d\tau + v(t) \quad (3)$$

$$\ddot{u}(t) + \ddot{z}(t) = \int_0^t \ddot{h}(t-\tau) \ddot{g}(\tau) d\tau + a(t)$$

のように誘導される。速度応答には $v(t)$ 、絶対加速度応答には $a(t)$ なる量加わり、

$$v(t) = \sum_i \gamma_{jk} \dot{g}_j(t), \quad a(t) = \sum_i \gamma_{jk} \ddot{g}_j(t), \quad \ddot{z}(t) = \sum_i (2i\gamma_{jk}\alpha_k - i\delta_{jk}) \ddot{g}_j(t) \quad (4)$$

で表わされる。なお $i\gamma_{jk}$ は時間量係数であるため、 $\ddot{g}_j(t)$ なる加速度の変化率を含む $a(t)$ は加速度量である。これらの付加項は非対称性が強まる程に無視できない量となる。周波数領域において振動系の特性を表わす周波数応答関数は変位について、

$$H_i(i\omega) = \sum_{jk} \frac{i\gamma_{jk} + i\gamma_{jk}\omega_j}{\alpha_k^2 + \beta_k^2 - \omega_j^2 + 2i\alpha_k\omega_j} \quad (5)$$

($i^2 = -1$)

なる式で表わされる。

3. 非対称支持構造物の応答解析

表-1 に示した構造諸元を有する非対称支持構造物モデルについて解析する。特性方程式を解いて求めた固有値は表-2 の通りであるが、減衰係数は実験による自由振動記録より推定し

表-1 構造諸元

$M = 1.48 \times 10^2$ $I_x = 1.42 \times 10^1$ $I_y = 2.56 \times 10^1$ $I_z = 2.80 \times 10^1$ $C_x = 4.0 \times 10^2$ $C_y = 1.0 \times 10^2$ $C_z = 1.8 \times 10^2$ $C_\theta = 4.0 \times 10^3$ $C_\phi = 1.0 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ $C_\phi = 1.8 \times 10^3$ $C_\psi = 1.8 \times 10^3$ $C_\omega = 1.8 \times 10^3$ $C_\alpha = 1.8 \times 10^3$ $C_\beta = 1.8 \times 10^3$ $C_\gamma = 1.8 \times 10^3$ $C_\delta = 1.8 \times 10^3$ $C_\epsilon = 1.8 \times 10^3$ $C_\zeta = 1.8 \times 10^3$ $C_\eta = 1.8 \times 10^3$ $C_\theta = 1.8 \times 10^3$ 					
---	--	--	--	--	--

て決めた。正弦波入力による応答波形の一部を示すと、図-1はX及びY方向から最大100gal、Z方向から50galの振幅をもち、0.2秒周期の正弦波入力に対する応答波形である。X方向の応答は入力100galに対してさほど応答していないのに対して上下方向Z成分がかなり卓越している。このように共振点0.2秒はZ成分を有する振動型に対応していることが判る。そこで正弦波入力に対する応答波の最大値がどの成分に多く現われるか比較して表-3に示した。X方向のみに100gal振幅で入力した場合とX,Y,Zに100:100:50gal振幅で入力した場合にそれぞれの応答スペクトルのピークを大きい方から順に番号をつけ、さらにピークの値が接近している場合には()をつけた。入力波や各成分がそれぞれ異なる場合最大ピークの位置がかなりずれていることが判る

4. 理論値と実験値との比較

図-2(a),(b)はX方向に30gal振幅の正弦波を入力させた場合の最大加速度応答スペクトル図であり、実線が実験値で点線が理論値である。(a)はX成分、(b)はZ成分であるが、よく一致しているピークと一致していないピークがある。

最大ピークの応答倍率はXで15倍Yで5倍程度である。構造系の持つ固有値特性を有するところの、ある振動型で応答するため、応答スペクトルではその振動型の卓越する成分のところのピークとなる。

5. あとがき

三成分の入力波による非対称性構造物の立体的振動応答の解析を行ない、さらに最大加速度応答スペクトルによって振動実験による結果との比較をこころみた。

表-3 ピークの比較

・X:Y:Z=100:0:0

	0.127	0.145	0.201	0.257	0.323	0.363s
	7.86	6.89	4.98	3.89	3.09	2.76hz
X				(1)	(2)	
Y		4		(2)	(3)	(1)
Z		3	2	1		4
θ		1	3			2
ψ		1	2	3		
ϕ		3		1		2

X:Y:Z=100:100:50

X	4			1	3	2
Y	3	4		2		1
Z		4	1	2		3
θ	1	(2)	(4)			(3)
ψ	2	1		4		3
ϕ	3			1		2

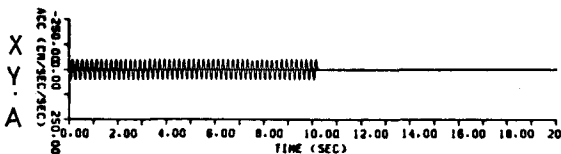
参考文献

- 1) 岩倉, 渡辺 他: 三成分地震波入力による構造物の回転を考慮した応答解析について, 第34回年次講演
- 2) 金子, 渡辺, 舩田: 三成分地震波入力による非対称支持構造物の振動実験, 第35回年次講演

表-2 固有値

固有周期 (sec)	減衰定数
$T_1=0.127$	$\alpha_1=2.66 \times 10^{-4}$
$T_2=0.145$	$\alpha_2=1.54 \times 10^{-3}$
$T_3=0.201$	$\alpha_3=1.96 \times 10^{-2}$
$T_4=0.257$	$\alpha_4=3.77 \times 10^{-3}$
$T_5=0.323$	$\alpha_5=4.80 \times 10^{-2}$
$T_6=0.363$	$\alpha_6=3.41 \times 10^{-2}$

INPUT



RESPONSE

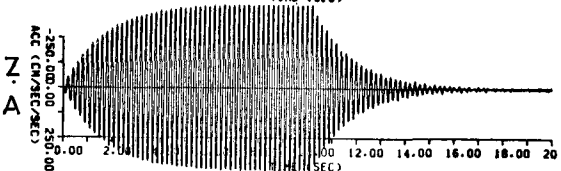
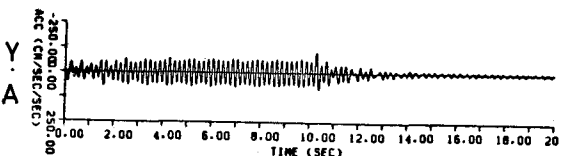
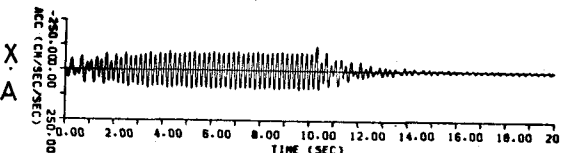


図-1 正弦波入力による応答

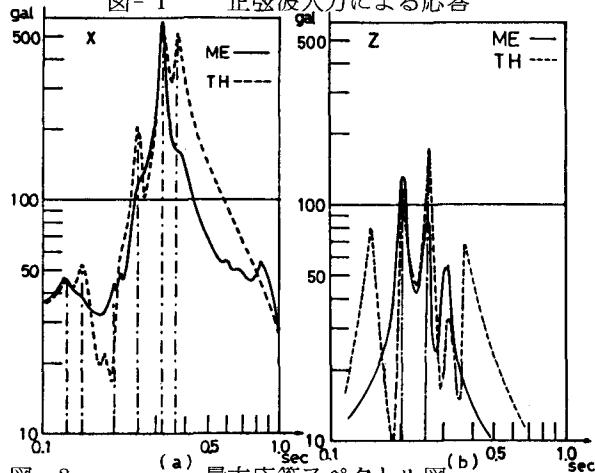


図-2

(a) 最大応答スペクトル図

(b) 最大応答スペクトル図