

I-16 弾性基礎上の円筒構造物の振動性状について

北 大 正会員 芳村 仁
北 大 正会員 三上 隆
新日鐵(株) 正会員 O 藤森 明

1. まえがき 近年、軟弱地盤上においても円筒構造物が建設されており、特に地震時において円筒構造物の動的挙動が大きな意味をもってくる。従って、本報告は、軟弱基礎上の円筒構造物を側壁、および底板より構成されるとし、側壁を円筒殻、底板をWinkler形基礎上の円板として有限帯板法により固有振動解析、および応答解析を試みたものである。応答解析の際には、入力波として卓越周期の異なる3種類の地震記録波を用いて解析を行なうものとする。

2. 解析手法

(a) 側壁要素の振動方程式

図-1に示すように、軸方向(x方向)変位をu、円周方向(θ方向)変位をv、半径方向変位をwと定め、リング要素の両端の節線をi, jとする。側壁要素の変位関数を軸方向にxの多項式、円周方向にフーリエ級数展開すると次式で定義される。

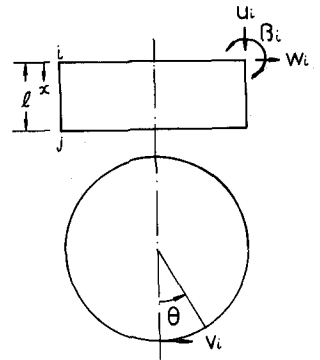


図-1

$$\left. \begin{aligned} U_n &= [(1-\gamma)U_{in} + \gamma U_{jn}] \cos n\theta \\ V_n &= [(1-\gamma)V_{in} + \gamma V_{jn}] \sin n\theta \\ W_n &= [(1-3\gamma^2 + 2\gamma^3)W_{in} + l(\gamma + 2\gamma^2 + \gamma^3)\beta_{in} \\ &\quad + (3\gamma^2 - 2\gamma^3)W_{jn} - l(\gamma^2 - \gamma^3)\beta_{jn}] \cos n\theta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

但し、 $\gamma = \frac{x}{l}$

マトリックス表示すると $U_n = N_n d_n$ (2)

側壁要素の歪-変位関係式は次式で表わされる。

$$e = \{ \epsilon_x, \epsilon_\theta, \epsilon_{x\theta}, -\chi_x, -\chi_\theta, \chi_{x\theta} \}^T \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}, \epsilon_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{r}, \epsilon_{x\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \chi_x &= \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \chi_\theta = \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right), \chi_{x\theta} = \frac{\gamma}{r} \left(-\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial \theta} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) \end{aligned}$$

但し $\epsilon_x, \epsilon_\theta, \epsilon_{x\theta}$: 面内ひずみ

$\chi_x, \chi_\theta, \chi_{x\theta}$: 面外ひずみ r : 半径

式(2)を代入し、マトリックス表示すると

$$e = \sum_{n=0}^{\infty} e_n = \sum_{n=0}^{\infty} B_n d_n \quad (4)$$

側壁要素の応力-歪関係式は次式で表わされる。

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_\theta \\ N_{x\theta} \\ M_x \\ M_\theta \\ M_{x\theta} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} B & & & & & \\ & B_1 & B & & & \\ 0 & 0 & B_2 & & & \\ 0 & 0 & 0 & D & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_1 & D \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_\theta \\ \epsilon_{x\theta} \\ -\chi_x \\ -\chi_\theta \\ \chi_{x\theta} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{但し } B &= \frac{Eh}{1-\nu^2}, B_1 = \nu B, B_2 = \frac{1-\nu}{2} B \\ D &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, D_1 = \nu D, D_2 = \frac{1-\nu}{2} D \end{aligned}$$

E: 弾性係数, ν : ポアソン比, h: 板厚

式(5)をマトリックス表示すると $\sigma = DE$ (6)

仮想仕事の原理より、側壁要素の振動方程式は次式で与えられる。

$$\sum_{n=0}^{\infty} \{ M_n d_n + k_n d_n \} = P_n \quad (7)$$

ここで、 M_n は側壁要素の質量マトリックスの第n項

$$M_n = \int_0^l \int_0^{2\pi} \rho h N_n^T N_n r l d\theta dx \quad (8)$$

但し、 ρ : 単位重量

k_n は側壁要素の剛性マトリックスの第n項

$$k_n = \int_0^l \int_0^{2\pi} B_n^T D B_n r l d\theta dx \quad (9)$$

P_n は集中外力の列ベクトル

零以外の質量マトリックス、および剛性マトリックスの具体的な値を示す。

$$M_n = \rho r h \begin{bmatrix} m_{11} & \cdots & m_{16} \\ & \ddots & \\ & & m_{88} \end{bmatrix} \quad m_{ij} = m_{ji}$$

$$m_{11} = m_{22} = m_{33} = m_{44} = \frac{\pi}{3} l, m_{33} = m_{77} = \frac{13}{35} \pi l$$

$$m_{44} = m_{55} = \frac{\pi \rho^3}{105}, m_{51} = m_{42} = \frac{\pi}{2} \rho l, m_{43} = -m_{57} = \frac{11\pi}{210} \rho l^2, m_{73} = \frac{9\pi}{70} \rho l$$

$$m_{74} = -m_{53} = \frac{13\pi}{420} \rho l^2, m_{84} = -\frac{\pi}{140} \rho l^3$$

$$K_n = \pi \rho l \begin{bmatrix} k_{11} & \cdots & k_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{81} & \cdots & k_{88} \end{bmatrix} \quad k_{ij} = k_{ji}$$

$$k_{11} = k_{55} = \frac{1}{2} B + \frac{\pi^2}{3} B_2, k_{22} = k_{44} = \frac{\pi^2}{3} B + \frac{1}{2} B_2 + \frac{\pi^2}{3} D + \frac{4}{\pi^2} D_2$$

$$k_{21} = -\frac{\pi}{2} (B_1 - B_2), k_{31} = k_{71} = -\frac{1}{2} B_1, k_{61} = -\frac{\pi}{2} (B_1 + B_2)$$

$$k_{65} = -k_{21}, k_{52} = -k_{61}, k_{53} = k_{75} = -k_{31}, k_{44} = k_{84} = -\frac{1}{2} B_1$$

$$k_{32} = k_{76} = \frac{7}{20} \frac{\pi^2}{r^2} B + \frac{\pi^2}{120} D_1 + \frac{7}{20} \frac{\pi^2}{r^2} D + \frac{4\pi^2}{15} D_2, k_{81} = k_{44} = -k_{41}$$

$$k_{33} = k_{77} = \frac{13}{35} \frac{\pi^2}{r^2} B + \frac{12}{10} D + \frac{12\pi^2}{5} D_1 + \frac{13\pi^2}{35} D + \frac{24\pi^2}{5} D_2$$

$$k_{42} = \frac{2\pi}{20} B + \frac{\pi}{12} D_1 + \frac{\pi^2}{20} D, k_{86} = -k_{42}$$

$$k_{43} = \frac{11\pi}{20} B + \frac{6}{5} D + \frac{11\pi^2}{15} D_1 + \frac{2\pi^2}{20} D + \frac{2\pi^2}{5} D_2, k_{87} = -k_{43}$$

$$k_{44} = k_{88} = \frac{10\pi^2}{105} B + \frac{4}{3} D + \frac{4\pi^2}{15} D_1 + \frac{7\pi^2}{15} D + \frac{8\pi^2}{15} D_2$$

$$k_{51} = -\frac{1}{2} B + \frac{\pi^2}{6} B_2, k_{62} = \frac{\pi^2}{15} B - \frac{1}{2} B_2 + \frac{\pi^2}{6} D - \frac{4}{\pi^2} D_2$$

$$k_{63} = k_{72} = \frac{3\pi}{20} B - \frac{\pi}{12} D_1 + \frac{3\pi^2}{20} D - \frac{4\pi^2}{15} D_2, k_{44} = \frac{\pi}{20} B + \frac{\pi^2}{30} D$$

$$k_{73} = \frac{9}{20} B - \frac{2}{3} D - \frac{12\pi^2}{5} D_1 + \frac{9\pi^2}{20} D - \frac{24\pi^2}{5} D_2, k_{82} = -k_{44}$$

$$k_{74} = \frac{13\pi}{420} B - \frac{6}{5} D - \frac{13\pi^2}{420} D_1 + \frac{13\pi^2}{420} D - \frac{2\pi^2}{5} D_2, k_{83} = -k_{74}$$

$$k_{84} = -\frac{6}{140} B + \frac{2}{3} D - \frac{\pi^2}{15} D_1 - \frac{\pi^2}{140} B - \frac{2\pi^2}{15} D_2$$

(b) 底板要素の振動方程式

図-2に示すように、半径方向変位を u 、円周方向変位を v 、板厚方向変位を w とし、底板を一般的なWinkler形の弾性バネで支持された円板とする。

底板要素の変位関数を半径方向に r の多項式、円周方向にフーリエ級数展開すると次式で定義される。

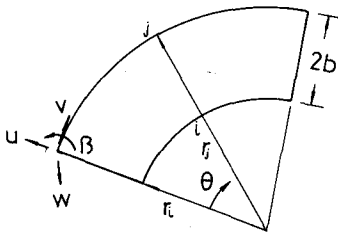


図-2

$$\left. \begin{aligned} u_n &= \left[\left(1 - \frac{R}{2}\right) u_{in} + \frac{R}{2} u_{jn} \right] \cos n\theta \\ v_n &= \left[\left(1 - \frac{R}{2}\right) v_{in} + \frac{R}{2} v_{jn} \right] \sin n\theta \\ w_n &= \left[\left(1 - \frac{3}{2} R^2 + \frac{1}{2} R^3\right) w_{in} + b(R - R^2 + \frac{1}{2} R^3) \beta_{in} \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{3}{2} R^2 - \frac{1}{2} R^3\right) w_{jn} + b\left(\frac{1}{4} R^3 - \frac{1}{2} R^2\right) \beta_{jn} \right] \cos n\theta \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\text{但し } R = \frac{r - r_i}{b}, \quad b = \frac{r_i - r_o}{2}$$

円板の歪-変位関係式は次式で表わされる。

$$\epsilon = \{ \epsilon_r, \epsilon_\theta, \epsilon_{r\theta}, -\chi_r, -\chi_\theta, \chi_{r\theta} \}^T \quad (11)$$

$$\epsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}, \epsilon_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{1}{r}, \epsilon_{r\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r}$$

$$\chi_r = \frac{\partial^2 w}{\partial r^2}, \chi_\theta = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + \frac{\partial w}{\partial r} \right), \chi_{r\theta} = -\frac{2}{r} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r \partial \theta} - \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right)$$

応力-歪関係式は次式で表わされる。

$$\sigma = D \epsilon \quad (12)$$

$$\text{但し } \sigma = \{ N_r, N_\theta, N_{r\theta}, M_r, M_\theta, M_{r\theta} \}^T$$

基礎地盤の地盤反力係数を次式で定義する。

$$E_k = \begin{bmatrix} E_{ku} & 0 & 0 \\ 0 & E_{k\theta} & 0 \\ 0 & 0 & E_{kw} \end{bmatrix} \quad (13)$$

但し E_{ku} 、 $E_{k\theta}$: 水平地盤反力係数

E_{kw} : 鉛直地盤反力係数

仮想仕事の原理より、底板要素の振動方程式は次式で表わされる。

$$\sum_n \{ M_n d_n + (k_n + k_n') d_n \} = P_n \quad (14)$$

$$M_n = \rho h \int_{r_i}^{r_o} N_n^T N_n r dr d\theta \quad (15)$$

$$k_n = \int_{r_i}^{r_o} B_n^T D B_n r dr d\theta \quad (16)$$

k_n' は弾性バネの剛性マトリックスの第 n 項

$$k_n' = \int_{r_i}^{r_o} N_n^T E_k N_n r dr d\theta \quad (17)$$

零以外の質量マトリックス、および剛性マトリックスの具体的な値を示す。

$$M_n = \pi \rho h \begin{bmatrix} m_{11} & \cdots & m_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{81} & \cdots & m_{88} \end{bmatrix} \quad m_{ij} = m_{ji}$$

$$m_{11} = m_{22} = \frac{\pi}{2} (b + r_i), m_{33} = \frac{\pi}{2} b (6b + 13r_i)$$

$$m_{44} = \frac{2}{35} b^3 (b + \frac{4}{3} r_i), m_{55} = m_{66} = b (b + \frac{2}{3} r_i)$$

$$m_{77} = \frac{2}{7} b (4b + \frac{13}{3} r_i), m_{88} = \frac{2}{7} b^3 (b + \frac{4}{3} r_i), m_{43} = \frac{2}{15} b^2 (b + \frac{4}{3} r_i)$$

$$m_{51} = m_{62} = \frac{\pi}{2} b (b + r_i), m_{73} = \frac{9}{35} b (b + r_i), m_{74} = \frac{1}{15} b^2 (2b + \frac{13}{3} r_i)$$

$$m_{81} = -\frac{1}{35} b^2 (4b + \frac{13}{3} r_i), m_{84} = -\frac{2}{35} b^2 (b + r_i), m_{87} = -\frac{2}{7} b^2 (b + \frac{4}{3} r_i)$$

$$k_n = \pi \begin{bmatrix} k_{11} & \cdots & k_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{81} & \cdots & k_{88} \end{bmatrix} \quad k_{ij} = k_{ji}$$

$$k_{11} = \frac{1}{2b} (b + r_i) B + b (I_0 - I_1 + \frac{1}{4} I_2) (B + B_2 n^2) - B_1$$

$$k_{21} = \frac{\pi}{2} (B_2 - B_1) + b n (B + B_2) (I_0 - I_1 + \frac{1}{4} I_2)$$

$$k_{22} = b (n^2 B + B_2) (I_0 - I_1 + \frac{1}{4} I_2) + \frac{1}{2b} B_2 (3b + r_i)$$

$$k_{33} = \frac{3}{2b^2} (1 + \frac{r_i}{b}) D + \frac{3}{b} n^2 (I_0 - I_1 - \frac{3}{2} I_2 + I_3 - \frac{1}{4} I_4) D_1$$

$$+ \frac{9}{4b} K_1 (I_2 - I_3 + \frac{1}{4} I_4) + K_2 (3J_1 - \frac{3}{2} J_2 - \frac{9}{4} J_3 + \frac{9}{8} J_4 - \frac{3}{8} J_5)$$

$$+ b K_3 (L_0 - \frac{1}{2} L_2 + \frac{1}{4} L_3 + \frac{1}{16} L_4 - \frac{3}{8} L_5 + \frac{1}{16} L_6)$$

$$k_{43} = \frac{1}{b} (1 + \frac{r_i}{2b}) D + n^2 D_1 (2I_0 - \frac{3}{2} I_2 + \frac{7}{2} I_3 - \frac{3}{4} I_4) + K_1 (-\frac{3}{2} I_1$$

$$+ \frac{1}{4} I_2 - \frac{3}{8} I_3 + \frac{9}{16} I_4) + b K_2 (-J_0 + 2J_1 + \frac{3}{2} J_2 - 4J_3 + \frac{9}{8} J_4 - \frac{3}{8} J_5)$$

$$+ b^2 K_3 (L_1 - L_2 - \frac{1}{2} L_3 + L_4 - \frac{7}{16} L_5 + \frac{1}{16} L_6)$$

$$k_{44} = (1 - \frac{r_i}{2b}) D - D_1 + b K_1 (I_0 - 4I_1 + \frac{1}{2} I_2 - 3I_3 + \frac{9}{8} I_4)$$

$$\begin{aligned}
& +b^2K_2(-2J_1+6J_2-6J_3+\frac{5}{2}J_4-\frac{3}{8}J_5)+b^3K_3(L_2-2L_3+\frac{3}{2}L_4-\frac{1}{2}L_5+\frac{1}{8}L_6)+b^2n^2D_1(4I_1-7I_2+4I_3-\frac{3}{2}I_4) \\
k_{51} &= -\frac{1}{2b}B(b+ri)+\frac{1}{2}(B+n^2B_2)(I_1-\frac{1}{2}I_2) \\
k_{52} &= \frac{n}{2}(B_1+B_2)+\frac{1}{2}n(I_1-\frac{1}{2}I_2)(B+B_2) \\
k_{53} &= \frac{1}{2b}(b+ri)B+B_1+\frac{1}{4}b(B+n^2B_2)I_2 \\
k_{61} &= -\frac{n}{2}(B_1+B_2)+\frac{1}{2}b n(B_1+B_2)(I_1-\frac{1}{2}I_2) \\
k_{62} &= \frac{1}{2}b(I_1-\frac{1}{2}I_2)(n^2B+B_2)-\frac{1}{2b}(b+ri)B_2 \\
k_{63} &= \frac{n}{2}(B_1-B_2)+\frac{1}{4}b n I_2(B+B_2) \\
k_{44} &= \frac{1}{2b}B_2(ri-b)+\frac{1}{4}I_2(n^2B+B_2) \\
k_{73} &= -\frac{3}{2b}D(1+\frac{r}{b})+\frac{1}{2b}n^2D_1(-I_0+I_1+\frac{3}{2}I_2-2I_3+\frac{1}{2}I_4) \\
& -\frac{1}{4b}K_1(I_2-I_3+\frac{1}{4}I_4)+K_2(-\frac{3}{2}J_1+\frac{3}{2}J_2+\frac{7}{4}J_3-\frac{3}{8}J_4+\frac{3}{8}J_5) \\
& +bK_3(\frac{3}{2}L_2-\frac{1}{4}L_3-\frac{1}{8}L_4+\frac{3}{8}L_5-\frac{1}{8}L_6) \\
k_{74} &= -\frac{1}{b}D(1+\frac{r}{b})+\frac{n^2}{2}D_1(-3I_1+9I_2-\frac{9}{2}I_3+\frac{3}{2}I_4)+ \\
& K_1(\frac{3}{2}I_1-\frac{1}{2}I_2+\frac{3}{8}I_3-\frac{1}{8}I_4)+bK_2(-\frac{1}{4}J_2+4J_3-\frac{1}{8}J_4 \\
& +\frac{3}{8}J_5)+b^2K_3(\frac{1}{4}L_3-L_4+\frac{1}{8}L_5-\frac{1}{8}L_6) \\
k_{75} &= \frac{3}{2b}D(1+\frac{r}{b})+\frac{3}{2}n^2D_1(-\frac{3}{2}I_2+I_3-\frac{1}{4}I_4)+\frac{1}{4b}K_1(I_2 \\
& -I_3+\frac{1}{4}I_4)+K_2(-\frac{3}{2}J_3+\frac{1}{8}J_4-\frac{3}{8}J_5)+bK_3(\frac{1}{8}L_4-\frac{3}{8}L_5 \\
& +\frac{1}{8}L_6) \\
k_{83} &= \frac{1}{b}D(2+\frac{r}{b})+n^2D_1(I_0-\frac{3}{2}I_1-\frac{3}{2}I_2+\frac{5}{2}I_3-\frac{3}{2}I_4) \\
& +K_1(\frac{3}{2}I_2-\frac{1}{8}I_3+\frac{1}{8}I_4)+bK_2(J_1-\frac{3}{2}J_2-\frac{1}{2}J_3+\frac{1}{8}J_4-\frac{3}{8}J_5) \\
& +b^2K_3(-\frac{1}{2}L_2+\frac{1}{4}L_3+\frac{3}{8}L_4-\frac{1}{8}L_5+\frac{1}{8}L_6) \\
k_{84} &= D(1+\frac{r}{b})+b n^2D_1(I_1-\frac{7}{2}I_2+3I_3-\frac{3}{2}I_4)+bK_1(-I_1+\frac{1}{4}I_2 \\
& -\frac{1}{4}I_3+\frac{1}{8}I_4)+b^2K_2(\frac{3}{2}J_2-3J_3+\frac{1}{8}J_4-\frac{3}{8}J_5)+b^3K_3(-\frac{1}{2}L_3 \\
& +\frac{3}{2}L_4-\frac{3}{8}L_5+\frac{1}{8}L_6) \\
k_{87} &= -\frac{1}{b}D(2+\frac{r}{b})+n^2D_1(\frac{3}{2}I_2-\frac{5}{2}I_3+\frac{3}{2}I_4)+K_1(-\frac{3}{2}I_2+\frac{1}{8}I_3-\frac{1}{8}I_4) \\
& +bK_2(\frac{3}{2}J_3-\frac{25}{8}J_4+\frac{3}{8}J_5)+b^2K_3(-\frac{3}{8}L_4+\frac{1}{8}L_5-\frac{1}{8}L_6) \\
k_{88} &= (3+\frac{r}{b})D+D_1+b n^2D_1(-I_2+2I_3-\frac{3}{2}I_4)+bK_1(I_2 \\
& -\frac{3}{2}I_3+\frac{1}{8}I_4)+b^2K_2(-J_3+\frac{1}{8}J_4-\frac{3}{8}J_5)+b^3K_3(\frac{1}{4}L_4-\frac{1}{4}L_5+\frac{1}{8}L_6)
\end{aligned}$$

$$\text{但し } K_1 = D + 4n^2D_2 \quad K_2 = n^2(D + 4D_2)$$

$$K_3 = n^2(n^2D + 4D_2)$$

$I_0 \sim I_4, J_0 \sim J_5, L_0 \sim L_6$ の値は、次の積分を行なうと得られる。

$$I_0 = \int_0^R \frac{R^2}{bR+ri} dR \quad t=0 \sim 4, \quad J_0 = \int_0^R \frac{R^2}{(bR+ri)^2} dR \quad t=0 \sim 5$$

$$L_0 = \int_0^R \frac{R^2}{(bR+ri)^3} dR \quad t=0 \sim 6$$

k_n の具体的な値は省略する。

(C) 固有振動解析

$$\sum_n | -\omega^2 \bar{M}_n + \bar{K}_n | = 0 \quad (18)$$

但し、 ω : 固有円振動数

$\bar{M}_n, \bar{K}_n$ は、側壁および弾性基礎上の底板の質量マトリックス、剛性マトリックスを座標変換により重ね合わせたものである。

(d) 応答解析

$$\sum_n \{ \bar{M}_n \bar{d}_n + \bar{K}_n \bar{d}_n = \bar{P}_n \} \quad (19)$$

式(19)にモーダルアプリシスを適用して応答解を求めるが、そのさい数値積分は、ルンゲ・クッタ法を使用した。

3. 解析例

フーリエ級数展開次数

$n=1$ の場合について解析する。

図-3の断面寸法として次の値を与える。

側壁の高さ $L=20\text{ cm}$

側壁の板厚 $h=10\text{ cm}$

底板の板厚 $h=10\text{ cm}$

底板の半径 $r=35\text{ mm}$

ポアソン比 $\nu=1/6$

弾性係数 $E=2.1 \times 10^9 \text{ dyne/cm}^2$

単位重量 $\rho=2.5 \text{ g/cm}^3$

側壁、および底板要素

をそれぞれ15等分割する。

(a) 固有振動解析結果

	EKW=2.0	EKW=5.0	EKW=50.0
1次周期	0.9809	0.7065	0.3453
2次周期	0.0505	0.0504	0.0499
3次周期	0.0238	0.0232	0.0225

(unit: sec)

表-1

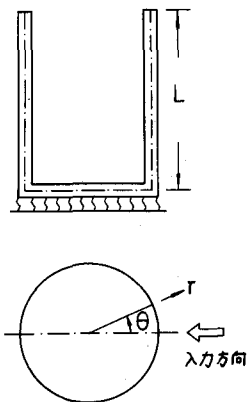


図-3

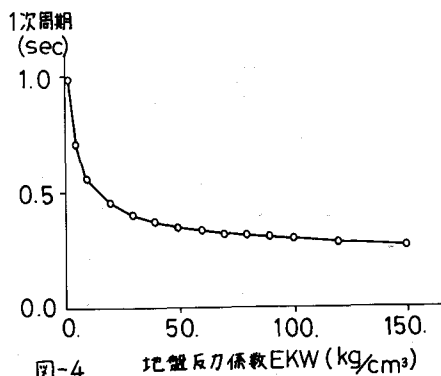


図-4 地盤反力係数EKW (kg/cm³)

表-1は鉛直方向の地盤反力係数を2.0, 5.0, 50.0と仮定した時の第1次~第3次までの固有周期をそれぞれ示したものである。地盤が軟弱になるに従って、円筒構造物の周期が長くなり、特に第1次周期に対して影響が大となるが、それを図示したものが図-4である。図-5および図-6は、鉛直地盤反力係数 $E_{kw} = 2.0$ と 50.0 の場合の第1次から第3次までの振動モードを図示したものであるが、図より第3次固有周期に対する振動モードは軟弱基礎になるに従って底板の振動モードも卓越してくる。

			最大加速度(gal)	卓越周期(sec)
S-273 N-S	TOKACHIOKI	5.28.1968	112.27	0.2
S-282 N-S	OFUNADO-S	5.16.1968	78.5	1.0
S-480 N-S	KINUURA-S	9.9.1969	39.5	0.5-0.6

表-2

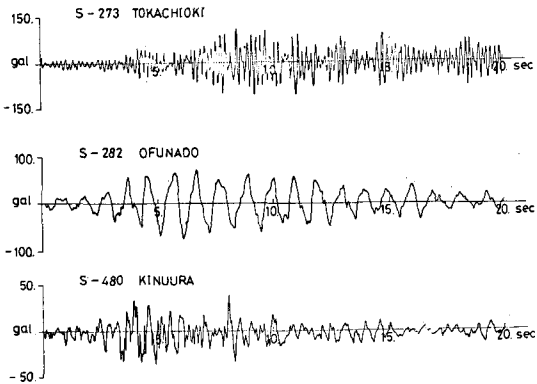


図-7

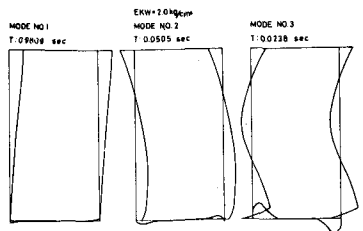


図-5

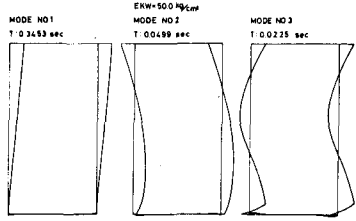


図-6

at $L = 20\text{ m}$ $\theta = 0^\circ$

	S-273		S-282		S-480	
	EKW		EKW		EKW	
w-displacement	7.92	15.90	20.86	20.87	15.96	15.09
w-acceleration	204.7	243.7	407.6	491.9	550.4	611.1

表-3

(b) 応答解析結果

応答解析を行なうにあたり減衰定数を1%と仮定し、入力波として表-2、図-7の3種類の地震記録波を用い、最大加速度を200galに拡大する。地震波の入力方向は図-3より $\theta = 0^\circ$ とし、水平振動とする。表-3は側壁上端の断面内で、地震方向上 ($\theta = 0^\circ$) の点のW方向の変位、および加速度の最大応答値を示す。

図-8はS-480地震波が作用した時の側壁部での最大応答層せん断力を示し、図-9は $\theta = 0^\circ$ における最大応答層間変位を示す。一般に軟弱地盤になるに従って加速度応答値は小さくなり、層せん断応答値は逆になり側壁下端付近で最大となる。計算には、北大大型計算機センターのFACOM 230-75を使用した。4. 参考文献 有限要素法による大型液体タンクの地震応答解析 川崎日報 59号 1975年12月

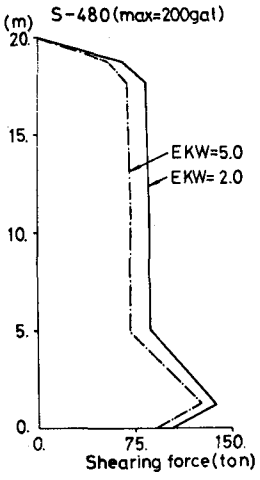


図-8

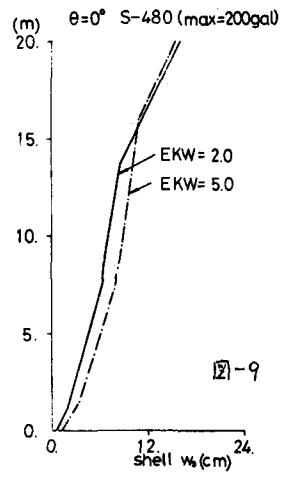


図-9

