

国鉄構造物設計事務所 正員 田村浩一
 国鉄東京第三工務局 正員 鬼頭 誠
 国鉄構造物設計事務所 正員 ○ 西村昭彦

1. まえがき 軟弱地盤中の杭の振動時の挙動を調査し、動的応答の基礎資料を得るため、武蔵野操車場内に設置してある鋼管杭に対して起振機による振動実験を行った。鋼管杭は直径400^{mm}厚さ10^{mm}長さ6~7^mの鋼管を溶接して作成し、地中39^mまで打ち込んだ。杭頭部には縦、横2^m高さ1.6^mのコンクリートブロック(重さ60^t)を載荷した。試験地盤はG.L.-35^mまで軟弱な沖積層が堆積し、その下部は洪積砂層洪積粘性土が堆積している。図-1に土質柱状図を示す。

強制振動試験は杭頭部のコンクリートブロック上に東京電力株式会社南管技術研究所の10t起振機を設置し実施した。振動数は0.5~10^{Hz}の範囲で行った。結果を図-5に示す。0.5^{Hz}付近の共振点は起振機の制御がむずかしくて振幅は正確にとらえられていない。モードでは0.5^{Hz}付近の共振点では水平成分が卓越し4.5^{Hz}付近の共振点では回転成分が卓越する。

2. 力学モデルと運動方程式

1) はりの変形基本式; 図-2で示すようにはりの両端に水平力および曲げモーメントが作用するときの力と変形の関係式は、変形を y , θ とすれば次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= \theta_1 y_1 - \frac{E I}{2} \theta_1 - \theta_1 y_2 - \frac{E I}{2} \theta_2 \\ M_1 &= -\frac{E I}{2} y_1 + \frac{E I}{3} \theta_1 + \frac{E I}{2} y_2 + \frac{E I}{6} \theta_2 \\ Y_2 &= -\theta_1 y_1 + \frac{E I}{2} \theta_1 + \theta_1 y_2 + \frac{E I}{2} \theta_2 \\ M_2 &= -\frac{E I}{2} y_1 + \frac{E I}{6} \theta_1 + \frac{E I}{2} y_2 + \frac{E I}{3} \theta_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし $\theta_1 = \frac{12 E I}{l_1^3}$

2) 節点における力の釣合い; 図-3に示すように i 点に於てはりが連結された場合の力と変形の関係式は水平力は $i-1$ はりの Y_2 と i はりの Y_1 を加えたものであり同様に曲げモーメントも M_2 と M_1 を加えたものであるから、次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} Y_i &= -\theta_{i-1} y_{i-1} + \frac{E I}{2} \theta_{i-1} + (\theta_{i-1} + \theta_i) y_i + \left(\frac{E I}{2} \theta_{i-1} - \frac{E I}{2} \theta_i \right) \theta_i - \theta_i y_{i+1} - \frac{E I}{2} \theta_{i+1} \\ M_i &= -\frac{E I}{2} y_{i-1} + \frac{E I}{6} \theta_{i-1} + \left(\frac{E I}{2} \theta_{i-1} - \frac{E I}{2} \theta_i \right) y_i + \left(\frac{E I}{3} \theta_{i-1} + \frac{E I}{3} \theta_i \right) \theta_i + \frac{E I}{2} y_{i+1} + \frac{E I}{6} \theta_{i+1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3) 力学モデルと運動方程式; 図-4に示すように杭頭部のコンクリートブロックは剛体で水平運動、回転運動をし、杭は水平運動をするモデルを考える。

(コンクリートブロックの釣合い): コンクリートブロックに働く抵抗力は鋼管杭の変形による力と考えると鋼管の f 点の変形は $y_f = y_i - e \theta_i$, $\theta_f = \theta_i$ であるから、コンクリートブロックの釣合いは次のようになる。

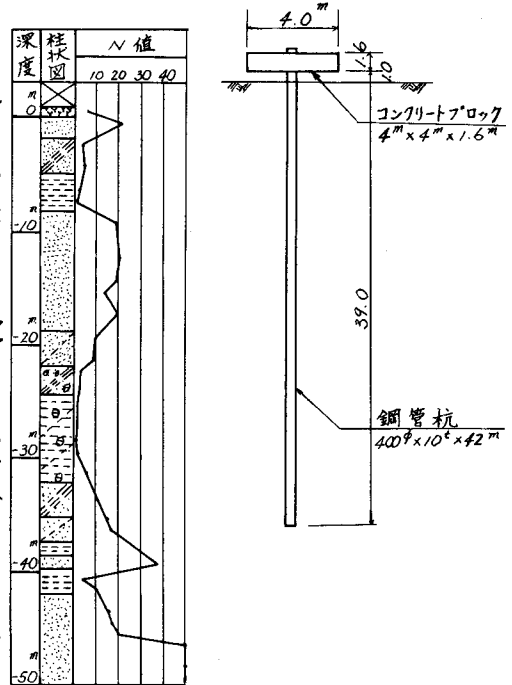


図-1 土質柱状図およびくい打込図

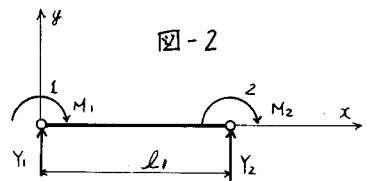


図-2

$$m_i \ddot{y}_i + b_i (y_i - e\theta_i) - \frac{b_i l_i}{2} \theta_i - b_i y_2 - \frac{b_i l_i}{2} \theta_2 + K_i (y_i - e\theta_i) = Q \sin \omega t$$

$$I \ddot{\theta}_i - \frac{b_i l_i}{2} (y_i - e\theta_i) + \frac{b_i l_i^2}{3} \ddot{\theta}_i + \frac{b_i l_i}{2} y_2 + \frac{b_i l_i^2}{6} \ddot{\theta}_2 - \left\{ b_i (y_i - e\theta_i) - \frac{b_i l_i}{2} \theta_i - b_i y_2 - \frac{b_i l_i}{2} \theta_i \right\} e - K_i (y_i - e\theta_i) e = Q a \sin \omega t$$

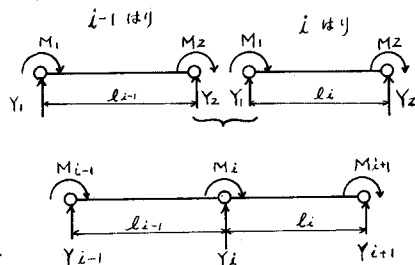


図-3

(鋼管くいの釣合い) : くいの回転慣性は無視すると

$$m_i \ddot{y}_i - \left\{ b_{i-1} y_{i-1} + \frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2} \theta_{i-1} + (b_{i-1} + b_i) y_i + \left(\frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2} - \frac{b_i l_i}{2} \right) \theta_i - b_i y_{i+1} - \frac{b_i l_i}{2} \theta_{i+1} \right\} + K_i y_i = 0$$

$$\left\{ -\frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2} y_{i-1} + \frac{b_{i-1} l_{i-1}^2}{6} \theta_{i-1} + \left(\frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2} - \frac{b_i l_i}{2} \right) y_i + \left(\frac{b_{i-1} l_{i-1}^2}{3} + \frac{b_i l_i}{3} \right) \theta_i + \frac{b_i l_i}{2} y_{i+1} + \frac{b_i l_i^2}{6} \theta_{i+1} \right\} = 0$$

よって $i = 2$ 以降についてはモーメントの釣合い方程式は 0 (節点モーメントは作用しない) となるからそれらの式をマトリックス表示すると次のようになる。

$$\begin{bmatrix} \frac{b_1 l_1^2}{3} + \frac{b_2 l_2^2}{3}, & \frac{b_1 l_1^2}{6}, & 0, & \dots, & 0 \\ \frac{b_1 l_1^2}{3} + \frac{b_2 l_2^2}{3}, & \frac{b_1 l_1^2}{6}, & \frac{b_2 l_2^2}{6}, & \dots, & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{b_{i-1} l_{i-1}^2}{3} + \frac{b_i l_i^2}{3}, & \frac{b_{i-1} l_{i-1}^2}{6}, & \frac{b_i l_i^2}{6}, & \dots, & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{b_{i-1} l_{i-1}^2}{3} + \frac{b_i l_i^2}{3}, & \frac{b_{i-1} l_{i-1}^2}{6}, & \frac{b_i l_i^2}{6}, & \dots, & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_2 \\ \theta_i \\ \vdots \\ \theta_i \\ \theta_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{b_1 l_1}{2}, & -\frac{(3b_1 l_1 c + b_1 l_1^2)}{3}, & -\left(\frac{b_1 l_1}{2} - \frac{b_2 l_2}{2} \right), & \frac{b_2 l_2}{2}, & 0, \dots, 0 \\ 0, & 0, & \frac{b_2 l_2}{2}, & \dots, & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2}, & -\left(\frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2} - \frac{b_i l_i}{2} \right), & \frac{b_i l_i}{2}, & \dots, & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2}, & -\left(\frac{b_{i-1} l_{i-1}}{2} - \frac{b_i l_i}{2} \right), & \frac{b_i l_i}{2}, & \dots, & \vdots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ \theta_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \\ \theta_i \\ y_6 \end{Bmatrix}$$

SYM. B C {X₂} {X₁}

$\therefore B\{X_2\} = C\{X_1\} \quad \therefore \{X_2\} = B^{-1}C\{X_1\}$ また水平力の釣合いから次の式が得られる。

$$M\{\ddot{X}\} + D\{X_1\} + E\{X_2\} = \{P\} \quad \text{ただし} \quad M = \text{diag} \begin{bmatrix} m_1, I_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6 \end{bmatrix}$$

$$\{P\} = \begin{bmatrix} Q \sin \omega t, Q a \sin \omega t, 0, \dots, 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} b_1 K_1, & -(b_1 e + \frac{b_1 l_1}{2} + K_1 e), & -b_1, & \dots, & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} -\frac{b_1 l_1}{2}, & 0, & \dots, & 0 \\ \frac{b_1 l_1 e + b_1 l_1^2}{2}, & 0, & \dots, & 0 \\ \frac{b_1 l_1}{2}, & \frac{b_2 l_2}{2}, & \dots, & \frac{b_5 l_5}{2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix}$$

SYM.

よって運動方程式は $M\{\ddot{X}\} + \{D + EB^{-1}C\}\{X_1\} = \{P\}$ となる。

4. 計算結果 運動方程式をモード分解によって解き減衰を速度に比例するとして計算した結果と実験値との比較を図-5に示す。これで見ると結果は傾向的にはほぼ一致しており、以上の式で杭の運動を表わせると思うが、杭につく付加質量は3次以上の高次モードに効果があるためこの実験ではそれを決定することはできなかった。計算に使用した数値; コンクリートの単位重量 2.25 t/m^3 , 鋼ヤング率 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $l_1 = 4.3, l_2 = 8.8, l_3 = 8.8, l_4 = 8.8, l_5 = 8.8 \text{ m}$, $K = 4 \text{ kg/cm}^3$, 減衰定数 0.07

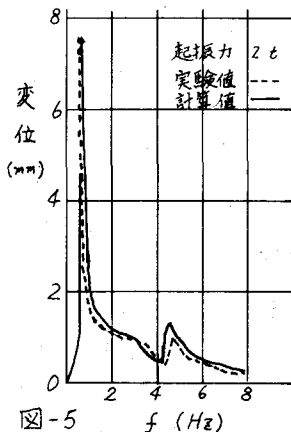
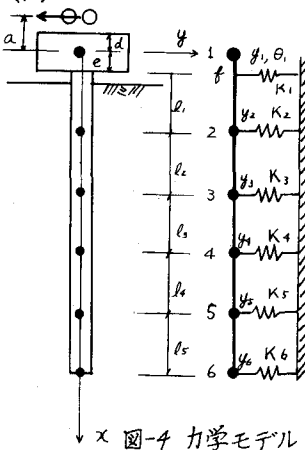


図-5