

九州大学工学部 正員 小坪 清 真
同 大学院 学生員 〇荒 牧 章 治

1. まえがき

岸壁、トルフィン等によく用いられている斜組杭の耐震設計法は通常、上部構造物の地震時慣性力が頭部に水平に静的に作用するものとして行っている。すなわち基礎地盤は地震時には深さ方向に同一の振動をしていて、杭の変形に比例した抵抗を杭に及ぼすと仮定している。しかしながら地盤は実際にはせん断振動を行い深さ方向に違った変形をしているはずである。したがって地盤中の杭は、地盤のせん断振動によって、従来考えられてきたものとは多少違った変形をしているものと考えられる。特に斜組杭では軸力で地震時外力に抵抗しようとするものであるが、その杭頭の変位が小さいので、地震時における地盤変形の影響を敏感にうける。ゆえに斜組杭の耐震設計と行うためには、地盤の変形も考慮に入れて計算を行うべきであろう。本研究はこの地盤の動きが斜組杭の応力にどのような影響を及ぼすかを考察したものである。

2. 地盤変形を考慮した場合の杭の横方向及び軸方向振動理論

斜組杭は図-1のように3本(直杭1, 斜杭2)で構成されているものとする。斜杭はモーメントと軸力を、直杭はモーメントのみを受け持つ。地中部分の杭の振動微分方程式は次式のように表わされる。

$$\text{直杭の横方向} \quad \frac{\partial^2}{\partial z^2} (EI \frac{\partial^2 \bar{y}_1}{\partial z^2}) = -\frac{wA}{f} \frac{\partial^2 \bar{y}_1}{\partial z^2} + P_m \quad (1)$$

$$P_m = K(z) D (\bar{u} - \bar{y}_1) - \frac{w_m b D}{f} \frac{\partial^2 \bar{y}_1}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\text{斜杭の横方向} \quad \frac{\partial^2}{\partial s^2} (EI \frac{\partial^2 \bar{y}_1}{\partial s^2}) = -\frac{wA}{f} \frac{\partial^2 \bar{y}_1}{\partial s^2} + P_m \quad (3)$$

$$P_m = K_0(s) D (\bar{u} \cos \theta - \bar{y}_1) - \frac{w_m b D}{f} \frac{\partial^2 \bar{y}_1}{\partial s^2}$$

$$\text{斜杭の軸方向} \quad \frac{wA + Q}{f} \frac{\partial^2 \bar{x}}{\partial s^2} = EA \frac{\partial^2 \bar{x}}{\partial s^2} - f \pi D (\bar{x} - \bar{u} \sin \theta) \quad (5)$$

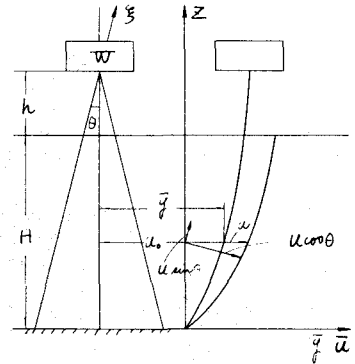


図-1

ここに、 P_m は杭の単位長さ当りに働く工圧、 EI は杭の曲げ剛性、 wA は単位長さ当りの重量、 D は杭径、 $K(z)$ 、 $K_0(s)$ は直杭及び斜杭の横方向地盤反力係数、 $\bar{y}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{u}$ は杭の横方向と軸方向及び地盤の絶対変位、 y 、 x 、 u は杭及び地盤の下層地盤に対する相対変位、 u_0 は下層地盤の絶対変位、 w_m は工の単位体積重量、 Q は杭の軸方向振動における工の附着重量、 $w_m b D$ は杭の横方向振動における工の附着重量である。 f は周面における軸方向地盤係数である。上記の絶対変位と相対変位の間には次の関係がある。 $\bar{u} = u_0 + u$ 、 $\bar{y} = u_0 + y$ 、 $\bar{x} = u_0 \sin \theta + x$ 。

上記の方程式において下層地盤の変位を定常振動とし $u_0 = \frac{\alpha f}{\omega^2} \sin \omega t$ と仮定する。 $u = U(z) \sin \omega t$ 、 $y = Y(z) \sin \omega t$ において微分方程式に代入して次のように書く事が出来る。

$$\text{直杭} \quad EI \frac{d^4 Y}{dz^4} - \left\{ \frac{(wA + w_m b D) \omega^2}{f} - K(z) D \right\} Y = \alpha' (wA + w_m b D) + K(z) D U \quad (6)$$

周期が長い時、すなわち ω が0に近づいた時には簡単に次のようになる。

$$EI \frac{d^2 Y_2}{dz^2} + K(z) D Y_2 = \alpha' (WA + W_m b D) + K(z) D U \quad (7)$$

斜杭も同様に 横方向 $EI \frac{d^2 Y_1}{d\xi^2} + K_0(\xi) D Y_1 = \alpha' (WA + W_m b D) \cos \theta + K_0(\xi) D U \cos \theta \quad (8)$

軸方向 $EA \frac{d^2 X}{d\xi^2} - f \pi D X = \alpha' (WA + \theta) \sin \theta - f \pi D U \sin \theta \quad (9)$

上記の方程式中の U は次のように地盤の変形式より求めることができる。地盤の変形の基本方程式は

$$\frac{\partial}{\partial z} (G_m \frac{\partial U}{\partial z}) = \frac{W_m}{f} \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \quad (10)$$

ここに G_m =地盤のせん断弾性定数、 α' =震度、この式を $(U)_{z=0} = \frac{\alpha' g}{\omega^2} \sin \omega t$ 、 $(G_m \frac{\partial U}{\partial z})_{z=H} = 0$ の境界条件を用い $G_m = \text{const}$ 、 $\omega = 0$ の場合について解けば次のような解が得られる。

$$U = \frac{\alpha' W_m H^2}{2 G_m} \left(\frac{2z}{H} - \frac{z^2}{H^2} \right) \quad (11)$$

(11)式を(7),(8),(9)式に代入し、又 $K(z)$ 、 $K_0(\xi)$ を一定とすると次のように簡単に解く事ができる。

$$Y_2 = \cos \alpha z \{ A_1 \cosh \alpha z + A_2 \sinh \alpha z \} + \sin \alpha z \{ A_3 \cosh \alpha z + A_4 \sinh \alpha z \} + \frac{\alpha'}{KD} (WA + W_m b D) + \frac{\alpha' W_m H^2}{2 G_m} \left(\frac{2z}{H} - \frac{z^2}{H^2} \right) \quad (12)$$

$$Y_1 = \cos \beta \xi \{ B_1 \cosh \beta \xi + B_2 \sinh \beta \xi \} + \sin \beta \xi \{ B_3 \cosh \beta \xi + B_4 \sinh \beta \xi \} + \frac{\alpha'}{KD} (WA + W_m b D) \cos \theta + \frac{\alpha' W_m H^2}{2 G_m} \left(\frac{2z}{H} - \frac{z^2}{H^2} \right) \cos \theta \quad (13)$$

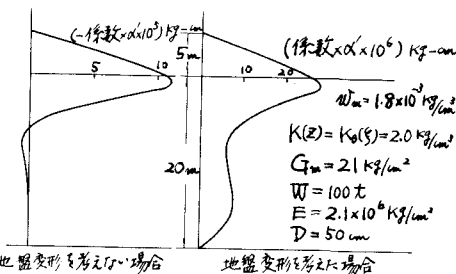
$$X = C_1 \cosh \rho \xi + C_2 \sinh \rho \xi - \frac{2 \Delta_1 \cos \theta}{H^2 \Delta_1^2} + \frac{\Delta_1}{\Delta_1} + \frac{\Delta_1}{\Delta_1} \left(\frac{2\xi}{H} - \frac{\xi^2 \cos \theta}{H^2} \right) \quad (14)$$

但し $\alpha = \sqrt{\frac{KD}{EI}}$ 、 $\beta = \sqrt{\frac{K_0 D}{EI}}$ 、 $\rho = \sqrt{\frac{f \pi D}{EA}}$ 、 $\Delta_1 = \frac{f \pi D}{EA}$ 、 $\Delta_2 = \frac{\alpha'}{EA} (WA + \theta) \sin \theta$ 、 $\Delta_3 = \frac{\Delta_1 \alpha' W_m H^2 \sin \theta \cos \theta}{2 G_m}$

$A_1 \sim A_4$ 、 $B_1 \sim B_4$ 、 $C_1 \sim C_2$ は境界条件より定まる定数である。空中部分の方程式は、地盤からの反力、慣性力の項を取りのぞいたものとなる。式及び解け略す。また定数を求める境界条件は次のようになる。 $z=0$ における条件、これはヒンジであるか自由であるかによって異なる。 $z=H$ における連続の条件。 $z=H+h$ におけるせん断力、モーメント、変位の条件、また本杭の頭部におけるせん断力と変位の関係、以上の関係より定数を定めることができる。

3. 結論

図-2は頭部、下端をヒンジとした時の、地盤変形を考慮した場合としない場合の曲げモーメントの比較の一例である。地盤変形を考慮した場合の方がはるかに小さくなっているが、これは多くの仮定を含んでいるので定量的には信用できないが、地盤変形を考慮しなければならないことを示している。ここで地盤変形を考慮しない場合



用いた、地盤の変形、反力係数、弾性定数などは、

図-2 通杭・モーメント

まだ多くの仮定を含んでいるので今後説明されねばならぬ問題である。なお現在模型実験を行っているが結果については当日発表する。

参考文献 小坪、階方 軟弱地盤中の杭基礎に生ずる地震時応力について

九州大学 工学集報 第39巻 第3号 昭41.10