

九州大学工学部 正員 小坪 清 真
同 大学院 学生員 緒方 信 英

まえがき

杭基礎の横抵抗に関する従来の理論は、Changの式に見られるように、基礎地盤の水平反力係数 k のみを導入して杭の横抵抗を取り扱っている。しかるに、最近の地震観測データによれば、地震時においては地盤そのものも変形し、地表と地下ではその震動の大きさが異なることが明らかにされている。従って、杭基礎の耐震設計を合理的に行うには、地盤反力係数 k のみでなく、地盤の変形をも考慮して、杭の横抵抗を求めなければならない。特に杭が使用される軟弱な地盤においては、基礎地盤の地震時における変形は極めて大きく、地盤の変形を考慮すると否とでは杭の耐震性について大きな相異が生ずるものと思われる。本論はこのような地盤の変形を考慮に入れた場合、杭基礎に生ずる曲げモーメントを求め、従来の計算法による結果と比較検討したものである。

I. 地盤の変形を考慮に入れた杭基礎の横抵抗理論

図-1に示すように、軟弱地盤の深さを h とし、その下層は岩盤であるとし、杭基礎は岩盤に連れているものとする。杭の直径を d 、単位体積重量を w 、断面積を A 、断面2次モーメントを I 、ヤング率を E 、載荷重量を W 、地盤のせん断弾性係数を G_m 、単位体積重量を γ_m 、水平反力係数を k 、重力加速度を g 、岩盤上の地震動を $(\alpha g/w^2)\sin wt$ 、岩盤と共に動座標から計った杭および地盤の水平変位をそれぞれ、 y および u とすれば、杭の変位 y に関する微分方程式は次のようになる。

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} = -\frac{wA}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \alpha W A \sin wt + P_m \quad (1)$$

P_m は杭に付らく土圧で次式で示される。

$$P_m = 2kd(u - y) - \frac{\gamma_m b d}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2)$$

図-1

ここに、 $b d$ は杭の単位長に附着すると考えられる土の体積である。

また、地盤の変形 u は次の微分方程式

$$G_m \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\gamma_m}{g} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \alpha \gamma_m \sin wt \quad (3)$$

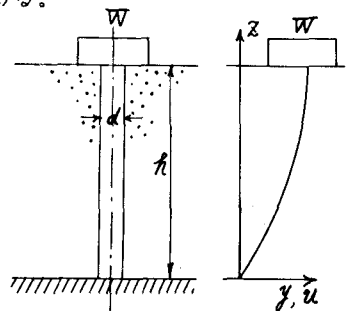
を境界条件

$$\left. \begin{array}{l} \text{(i) } z=0 \text{ にて } u=0 \\ \text{(ii) } z=h \text{ にて } \partial u / \partial z = 0 \end{array} \right\} \quad (4)$$

によって解けば、次のように求められる。

$$u = \frac{\alpha g}{w^2} \left\{ \cos \delta z + \tan \delta h \cdot \sin \delta z - 1 \right\} \sin wt \quad \left(\delta^2 = \frac{\gamma_m \omega^2}{g G_m} \right) \quad (5)$$

式(5)を(2)式に代入して P_m を求め、さらに(1)式に入れると、杭のそれぞれの境界条件に応じて解 y が得



られ、したがって杭に生ずる曲げモーメントが得られる。(1)式の解を $y = Y \sin \omega t$ とすれば、 Y は次式で与えられる。

$$(i) \frac{1}{EI} \left\{ \frac{wA + w_m t d}{g} \omega^2 - 2kd \right\} = \varepsilon'' > 0 \text{ のとき}$$

$$Y = C_1 \sinh \varepsilon z + C_2 \cosh \varepsilon z + C_3 \sin \varepsilon z + C_4 \cos \varepsilon z - \frac{\alpha g (wA \omega^2 - 2kd g)}{\omega^2 (wA + w_m t d) \omega^2 - 2kd g} - \frac{\alpha g \cdot 2kd g (\cos \delta z + \tanh \delta h \cdot \sin \delta z)}{\omega^2 (wA + w_m t d) \omega^2 - 2kd g - EI g \delta^4}$$

$$(ii) \frac{1}{4EI} \left\{ 2kd - \frac{wA + w_m t d}{g} \omega^2 \right\} = \rho'' > 0 \text{ のとき} \quad (6)$$

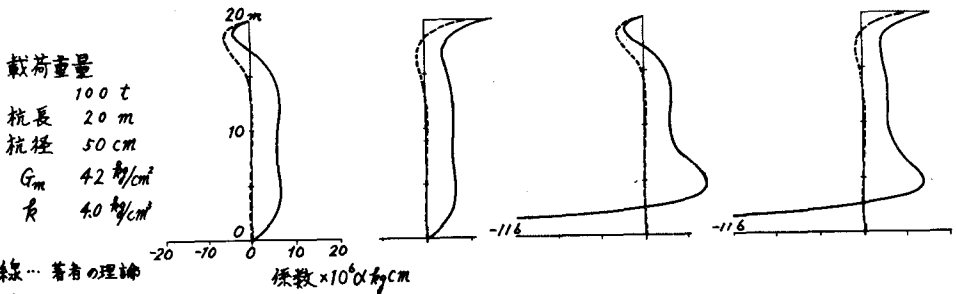
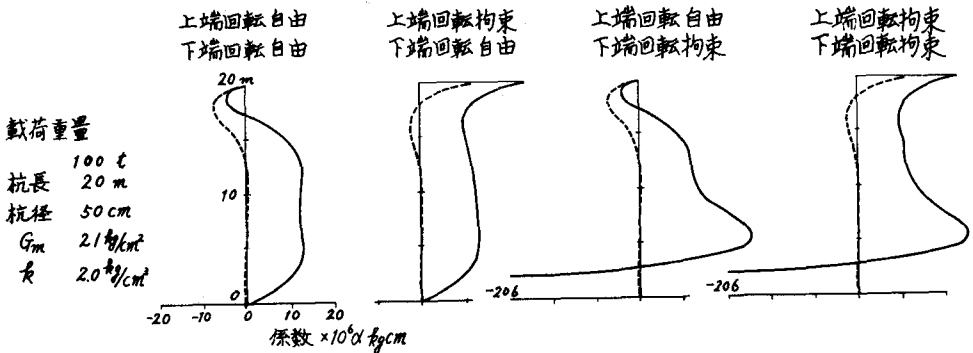
$$Y = \cos \rho z (D_1 \sinh \rho z + D_2 \cosh \rho z) + \sin \rho z (D_3 \sinh \rho z + D_4 \cosh \rho z) - \frac{\alpha g (wA \omega^2 - 2kd g)}{\omega^2 (wA + w_m t d) \omega^2 - 2kd g} - \frac{\alpha g \cdot 2kd g (\cos \delta z + \tanh \delta h \cdot \sin \delta z)}{\omega^2 (wA + w_m t d) \omega^2 - 2kd g - EI g \delta^4} \quad (7)$$

常数 $C_1 \sim C_4$ 、 $D_1 \sim D_4$ は杭の上下端の条件から求められる。

II. 数値計算

土の変形、したがって杭の応力は ω の値によって種々変化するが、下図の実線は $\omega \rightarrow 0$ の場合（静力学的取扱可能）について、地盤の厚さが 20 m、杭径 50 cm、載荷重量 100 t の鋼管杭に生ずるモーメントを、いろいろの端条件および土質の場合について計算した結果を示したものである。なお、土のせん断変形を考慮しない場合のモーメントを点線で示した。

図から明らかなように、軟弱な地盤では土の変形により、杭に大きな曲げモーメントが生ずる。また杭下端を岩盤に固定しても容易に破壊され、無意味であることがわかる。



実線… 著者の理論
点線… Changの理論