軟弱地盤中の杭基礎の耐震設計について

九州大学工学部　正員　小坪清真
同　大学院　学生員○緒方信英

I. まえがき

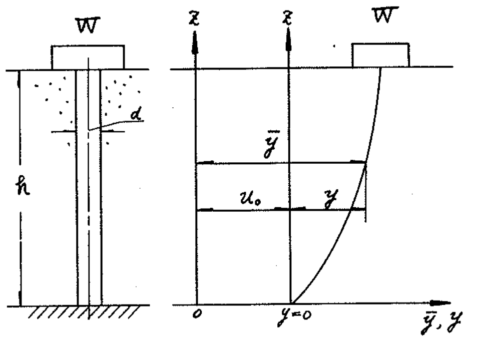
従来の杭基礎の横抵抗理論は、地盤の水平反力係数Kのみを導入し、解析を行っている。しかしながら著者らは、先に[1]地震時においては地盤そのものの変形により、杭基礎に従来の Chang の式による計算値よりも非常に大きな曲げモーメントが生ずる事を静力学的取扱いによって示した。

本論は、これを更に進めて、土の性質の深さ方向の変化および地震の周期との関係について考察し、土の変形を考慮に入れた杭の合理的な耐震設計法を確立しようとしたものである。

II. 地盤の変形を考慮に入れた杭基礎の横抵抗理論

軟弱地盤の深さをh，その下層は堅い地盤で、杭基礎はその地盤に達しているものとする。杭の直径をd，単位体積重量をw，断面積をA，断面二次モーメントをI、ヤング率をE，載荷重量をW，また軟弱地盤のセン断弾性係数をG_m，単位体積重量をw_m，杭に対する水平反力係数をK，重力の加速度をg，下層地盤上の地震動を$(\alpha g/\omega^2)\sin\omega t$，杭と地盤の水平変位の絶対座標及び下層地盤に対する相対座標を図-1の様に各々$(\bar{y}, y)$，$(\bar{u}, u)$とすれば，杭について次の微分方程式を得る。

図 - 1



$$EI\frac{\partial^4 \bar{y}}{\partial z^4} = -\frac{wA}{g}\frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial t^2} + p_m \qquad (1)$$

$$p_m = K(z)\,d(\bar{u}-\bar{y}) - \frac{w_m bd}{g}\frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial t^2} \qquad (2)$$

杭の境界条件（IIIを参照）

(i) $z=0$ において　$\bar{y} = u_0$

$EI\,\partial^2\bar{y}/\partial z^2 = 0$

(ii) $z=h$ において　$\partial\bar{y}/\partial z = 0$

$EI\,\partial^3\bar{y}/\partial z^3 = \frac{W}{g}\,\partial^2\bar{y}/\partial t^2$

ここに、bd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、地盤の変位$\bar{u}$は、次の微分方程式(3)を以下の境界条件の下で解く事により求められる。

$$\frac{\partial}{\partial z}\left\{G_m(z)\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right\} = \frac{w_m}{g}\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} \qquad (3)$$

地盤の境界条件

(i) $z=0$ において　$\bar{u} = u_0$

(ii) $z=h$ において　$G_m\,\partial\bar{u}/\partial z = 0$

ここに、u_0は下層地盤の水平変位である。

$$\begin{cases} \bar{y} = u_0 + y \\ \bar{u} = u_0 + u \end{cases} \qquad (4)$$

今、$u_0 = (\alpha' g/\omega^2)\sin\omega t$ とおけば、$y = Y(z)\sin\omega t$、$u = U(z)\sin\omega t$ となり、(1),(2),(3),(4)より YおよびUを求めれば、必要な量が求まる。

Ⅲ.階差方程式

$z = h\zeta$ とおけば、(1),(2)式より

$$\frac{EI}{h^4}\frac{d^4Y}{d\zeta^4} + \left\{Kd - \frac{wA + w_m bd}{g}\omega^2\right\}Y = \alpha'(wA + w_m bd) + KdU \qquad (5)$$

(3)式より

$$G_m\frac{d^2U}{d\zeta^2} + \frac{dG_m}{d\zeta}\frac{dU}{d\zeta} + \frac{w_m h^2\omega^2}{g}U = -\alpha' w_m h^2 \qquad (6)$$

K及びG_mが共に地盤の深さ方向に一定の値をとるときには、直接、微分方程式を解く事により解が求まる。[1] 一方K，G_mが深さと共に変化する場合には一般に微分方程式を解いて、解を求める事は困難である。従って、ここでは杭の上端において回転拘束、下端において回転自由、変位拘束の条件の下に階差方程式を作り、これより諸量を計算し、一般的な傾向を求めた。

Ⅳ.数値計算

ここではK，G_mが一定の場合で、$w_m bd$を考慮しない場合の値を示す。またKとG_mの値は別々に与える。更に、ωの値を色々変えて計算を行うと、地表面の加速度は $\alpha'(g+\omega^2U_s)$ (U_sは地表面の変位をα'でわった値）となり、ωの値によって、非常に異ってくる。特にωが地盤の共振状態のそれに近づくと、地表面加速度は著しく大きくなる。ここではωの値の如何にかかわらず、地表面加速度を一定値αgに保つ様に、計算で得られた値に$\alpha g/\alpha'(g+\omega^2 U_s)$を乗じて、この場合の変位及びモーメントを図示した。図から明らかな様にChangの式による値よりも大きな曲げモーメントを生じ、杭の下部では著しく異った様子を示す事がわかる。

尚、この計算結果では杭頭において最大曲げモーメントを生じているが、必ずしも（一般には）そうではない。

数値計算には九大電子計算機OKITAC-5090を使用した。

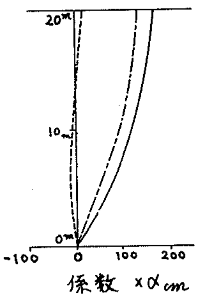
$W = 100\,t$，$h = 20\,m$，$d = 50\,cm$

鋼管(コンクリート詰)の厚さ 9 mm，

$w_m = 1.8\,t/m^3$，$G_m = 21.43\,kg/cm^2$

$K = 4.0\,kg/cm^3$

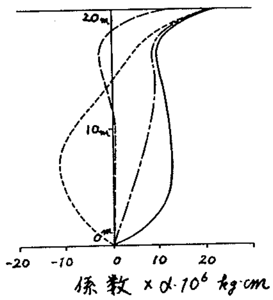
変位図



係数 ×α cm

Chang ―――――
ω = 0 ―――――
ω = 2.7 ‐・‐・‐
ω = 8.0 ‐‐‐‐‐‐‐

モーメント図



係数 ×α·10⁶ kg·cm

共振周期 T及びω

1次 $T_1 = 2.34$秒 $\omega_1 = 2.68$

2次 $T_2 = 0.78$秒 $\omega_2 = 8.05$

(1) 小坪、緒方　軟弱地盤中の杭基礎の耐震性について。第20回年次学術講演会概要