

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

われわれは、種々の機会に、地震時においては、基礎地盤の変形が杭の横抵抗に大きな影響をおよぼすことを示してきた。埋立て地やその他の軟弱地盤中に使用された杭については特にその傾向が著しい。従来使用されている杭の耐震設計法は、いずれも、上部構造物に伝わる地震時慣性力を水平力として杭頭に作用させ、基礎地盤は杭の曲げ変形に対して地盤の水平反力係数に比例する抵抗を生ずるという仮定の下に立っている。このような仮定は、地震時においては基礎地盤は上層も下層も同一の動きをなしているとみなしている。しかし、実際の地震記録からみわかるように、地盤は上層と下層とでは異なった動きを示している。この基礎地盤変形の影響を取り入れた杭の耐震設計法の確立を目的として研究を進めてきた。

本論は、種々の地盤について基礎から地震波を受けた場合の地盤の変形を電子計算機によって計算し、その結果、地震時における地盤の変形が簡単な深さの函数で表わせることがわかった。ここではその結果を利用して、地盤のせん断弾性係数がわかった場合の地震時における地盤の変形を三角函数又は直線によって表わされるものと見て杭に生ずる曲げモーメントおよび土圧分布の静的計算法を提案したものである。

II. 微分方程式およびその解

図-1は、図-1に示すようにそれぞれ杭の変位、地表面からの杭の深さとする。EIは杭の曲げ剛性、Kは地盤の水平反力係数、Dは杭径、 u は地盤の変位を表わすものとすれば次の微分方程式がなり立つ。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + KDy = KD u \quad \text{--- (1)}$$

ここで、(1)式の境界条件としては次のような条件を考える。

$$(1) \quad x=0 \text{ において} \quad EI \frac{d^3 y}{dx^3} = 0, \quad \frac{dy}{dx} = 0 \quad \text{--- (2)}$$

$$(2) \quad x=L \text{ において} \quad EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 0, \quad EI \frac{d^3 y}{dx^3} = 0 \quad \text{--- (3)}$$

(i) u を三角函数として次のように仮定する。

$$u_s = u_0 \left(\cos \frac{\pi x}{2L} - 1 \right) = u_0 \left(\cos \frac{\pi}{2} s - 1 \right) \quad (\text{ただし } s = \frac{x}{L}) \quad \text{--- (4)}$$

このとき(1)式の解 y は近似的に $\theta \gg 1$ の場合次のように表わされる。 $(\theta \gg 1)$ の場合のみ取り扱う。

$$y_1 = \frac{\theta u_0 (\pi/2)^3}{e^{\theta} (\theta^4 + \pi^4/64)} (\sin \theta \sin \theta s \sinh \theta s + \cos \theta \cos \theta s \cosh \theta s) - u_0 \left(1 - \frac{\theta^4}{\theta^4 + \pi^4/64} \cos \frac{\pi}{2} s \right) \quad \text{--- (5)}$$

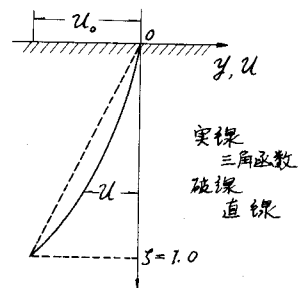


図-1 地盤の変位

この場合の曲げモーメント M_1 は次のように表わされる。

$$M_1 = \frac{EI}{L^2} \cdot \frac{2\theta^3 U_0 (\pi/4)^3}{e^{\theta} (\theta^2 + \pi^2/4)} \left(\cos \theta \sin \theta 5 \sinh \theta 5 - \sin \theta \cos \theta 5 \cosh \theta 5 + \frac{\theta e^{\theta}}{\pi} \cos \frac{\pi}{2} 5 \right) \quad (6)$$

ここに、 $\theta^2 \equiv (KD L^4 / 4EI)$ 、 U_0 は杭先端と杭頭部との相対地盤変位を表わす。

(iii) U と直線として次のように仮定した場合。

$$U_2 = -U_0 (x/L) = -U_0 5 \quad (7)$$

この場合の (1) 式の解 y_2 は次のようになる。

$$y_2 = \frac{U_0}{2\theta} \left\{ e^{-\theta 5} (\sin \theta 5 - \cos \theta 5) - 2\theta 5 \right\} \quad (8)$$

全深に、曲げモーメント M_2 に対しては次のように表わすことができる。

$$M_2 = \frac{EI}{L^2} \theta U_0 e^{-\theta 5} (\sin \theta 5 + \cos \theta 5) \quad (9)$$

Ⅲ. 曲げモーメントの計算

求める曲げモーメントは (1) 式で地盤の変位がない場合の曲げモーメントと組み合わせることによって得られる。すなわち、これには Chang の式と同じ式と使用する。Chang の式での曲げモーメントを M_c と表わすと次式のようなになる。

$$M_c = \frac{\alpha W L}{2\theta} e^{-\theta 5} (\cos \theta 5 - \sin \theta 5) \quad (10)$$

従って、求める曲げモーメント M はそれぞれ次のように表わせる。

$$\left. \begin{aligned} M &= M_1 + M_c \\ \text{または} \\ M &= M_2 + M_c \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Chang の式による杭の変位を y_c とすると次式で与えられる。

$$y_c = \frac{\alpha W L^3}{4EI\theta^3} e^{-\theta 5} (\sin \theta 5 + \cos \theta 5) \quad (12)$$

地盤の変形を考えた場合の土圧 P は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} P &= KD (y_1 + y_c - U_1) \\ \text{または} \\ P &= KD (y_2 + y_c - U_2) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Ⅳ. おわりに

図-2 は三角函数と仮定した場合の曲げモーメント M_1 の分布を、図-3 は直線と仮定した場合の M_2 の分布を示したものであるが、本論文の2種類の地盤変形の仮定による計算結果から変形の影響が著しいことがわかる。このことから杭基礎の耐震設計には地盤の動きを正確に知る必要がある。

計算に使用した数値は次のとおりである。

$$EI = 1.418 \times 10^{11} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2, K = 4.0 \text{ kg/cm}^3, D = 500 \text{ cm}, \theta = 8.67$$

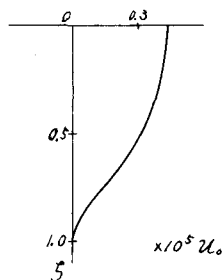


図-2 モーメント図 M_1
 $U = U_0 (\cos \frac{\pi}{2} 5 - 1)$ のとき

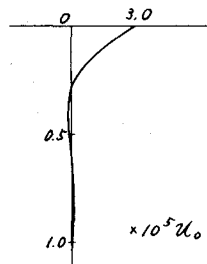


図-3 モーメント図 M_2
 $U = -U_0 5$ のとき