杭頭部の軟弱地盤を良質土で置換えた場合の等価換算K値の算定法

(株)第一コンサルタンツ　正員　右城　猛
(株)第一コンサルタンツ　正員　○明坂　宣行
(株)　相　愛　正員　中村　和弘

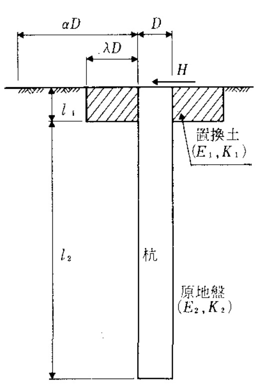
1．まえがき

軟弱地盤に設けられる杭の水平抵抗力を増加させるには，杭頭付近の地盤を良質土で置換えるのが効果的である。しかしながら，この場合の解析は，複合地盤中の杭として取扱わねばならず極めて複雑である。そこで，杭の水平抵抗問題に広く用いられているChang式の適用を可能にすることを目的として，等価換算K値の算定方法について研究した。

2．置換土の換算変形数

杭頭付近の軟弱地盤を図－1のように良質土で置換えた場合，置換幅が無限に近ければ単に深さ方向の二層系地盤として取扱うことができる。しかしながら，有限であると横方向に関しても二層系と考えねばならず解析が複雑である。そこで，l_1区間を横方向に一層とみなすため換算変形係数の概念を用いる。

杭頭に水平力Hが作用したとき，l_1区間の杭前面に地盤反力σ_0が発生し，これが水面方向にθの角度で分散するものとすると，杭前面よりxだけ離れた地点の地盤応力σ_xは (1) 式で求めることができる。また，その地点の歪は (2) 式で与えられる。従って，置換土の変位量δ_1は (3) 式で，また置換土前面の原地盤の変位量δ_2は (4) 式で表わされる。一方，杭前面地盤を$\overline{E}_1$の均一地盤とみなすと，変位量$\bar{\delta}$は (5) 式で与えられる。ここで，$\delta_1+\delta_2=\bar{\delta}$ とおくことにより換算係数は (6) 式のように表わされる。



図－1　置換範囲

$$\sigma_x=\frac{H}{(D+2x\tan\theta)l_1} \quad \cdots\cdots (1)$$

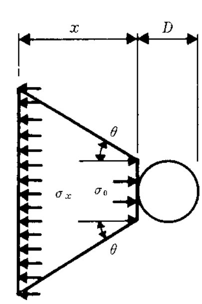
$$\varepsilon_x=\frac{1}{E_1}\frac{H}{(D+2x\tan\theta)l_1} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\delta_1=\int_0^{\lambda D}\varepsilon x dx=\frac{H}{2E_1 l_1\tan\theta}\log(1+2\lambda\tan\theta)\cdots (3)$$

$$\delta_2=\int_{\lambda D}^{\alpha D}\varepsilon_x dx=\frac{H}{2E_2 l_1\tan\theta}\log\frac{1+2\alpha\tan\theta}{1+2\lambda\tan\theta}\cdots (4)$$

$$\bar{\delta}=\int_0^{\alpha D}\varepsilon_x dx=\frac{H}{2\overline{E}_1 l_1\tan\theta}\log(1+2\lambda\tan\theta)\cdots (5)$$

$$\overline{E}_1=\frac{\log(1+2\alpha\tan\theta)}{\frac{1}{E_1}\log(1+2\lambda\tan\theta)+\frac{1}{E_2}\log\frac{1+2\alpha\tan\theta}{1+2\lambda\tan\theta}}\cdots (6)$$



図－2

3．等価換算K値

置換土を換算変形係数でもって評価すると，地盤は深さ方向の二層系地盤とみなすことができる。これをさらに一層系地盤に換算すればChang式の適用が可能となる。そこで，杭頭の水平変位量に着目し，二層系地盤と等価な水平変位量を与えるK値（等価換算K値）を算出する。

杭を半無限長とすると，二層系地盤における杭頭変位量は横山の式を用いて (7) 式で与えられる。一方，一層系地盤の杭頭変位量はChang式より (8) 式のようになる。(7) 式と (8) 式で得られる変位量が等しいとおくと，(9) 式の等価

ここに，$\overline{E}_1$：置換土の換算変形係数，D：杭径，θ：荷重の分散角で一般には30°，λ：置換幅比，α：地盤の変形を考慮しなければならない範囲と杭径との比，E_1：置換土の変形係数，E_2：原地盤の変形係数

換算K値を求める式が得られる。

この等価換算K値は変位量に着目したものである。従って，杭頭変位量以外に対しては，この等価換算K値を用いChang式で計算した値と図－3のモデルで計算した値とは当然一致しない。しかしながら，両者の解析結果が工学的に許容できる範囲内にあるとすれば，等価換算K値を用いてChang式で解析することの実用的価値は高い。そこで，$D=1.0\mathrm{m}$ の場所打ち杭を想定し，等価換算K値を用い，Chang式で計算したときの最大曲げモーメントM_1と，二層系地盤として計算したときの最大曲げモーメントM_2とを比較してみた。その結果を図－4に示す。$K_1/K_2 \leqq 20$ で$\beta_1 l_1 \geqq 1.0$の範囲であれば解析誤差は10％以内であり，しかも大きめのモーメントを与えることから実用上問題ないといえる。

4．今後の課題

①置換土の換算変形係数の算定式として(6)式を提案したが，$\overline{E_1}$の値は図－5に示すように地盤の変形範囲αの値に大きく支配される。E_1/E_2が1に近い場合は$\alpha=3\sim5$とすれば良いであろうがE_1/E_2が大きい場合にはさらに大きな値をとる必要があると思われる。

②杭頭付近は変位置が大きくなること，E_1/E_2が大きいと置換土に荷重の集中が生じることから地盤の塑性を無視できなくなる。従って，E_2は地盤の塑性化を考慮して低減させた値を採用すべきと思われる。

以上の点については，今後模型実験，FEM解析等によって検討してゆきたいと考えている。

$$f_1=\frac{H}{2EI\left(\frac{K_1 D}{4EI}\right)^{\frac{3}{4}}}\phi_{HH} \quad \cdots (7) \qquad f_2=\frac{H}{2EI\left(\frac{\overline{K}\cdot D}{4EI}\right)^{\frac{3}{4}}} \quad \cdots (8)$$

$$\overline{K}=K_1\,(\phi_{HH})^{-\frac{3}{4}} \quad \cdots\cdots (9)$$

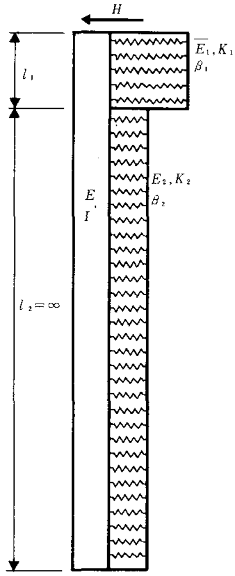
ここに

$$\phi_{HH}=1/\Delta\,[(1+n)^2(1+n^2)-2(1-n^2)\{(1-n^2)\sin 2\beta_1 l_1 - 2n\cos 2\beta_1 l_1\}e^{-2\beta_1 l_1}-(1-n)^2(1+n)^2 e^{-4\beta_1 l_1}]$$

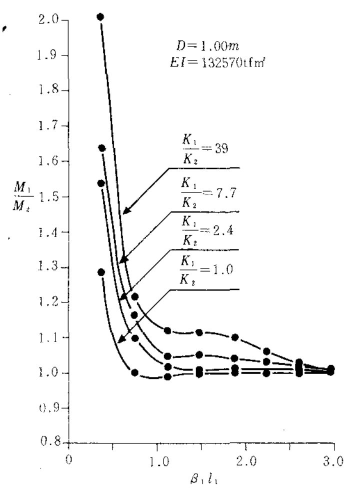
$$\Delta=(1+n^2)(1+n^2)-2(1-n^2)\{2(1+n^2)-(1-n^2)\cdot\cos 2\beta_1 l_1 - 2n\sin 2\beta_1 l_1\}e^{-2\beta_1 l_1}+(1-n)^2(1+n^2)\cdot e^{-4\beta_1 l_1}$$

$$n=\frac{\beta_2}{\beta_1}\ , \qquad \beta_1=\sqrt[4]{\frac{K_1 D}{4EI}}\ , \qquad \beta_2=\sqrt[4]{\frac{K_2 D}{4EI}}$$

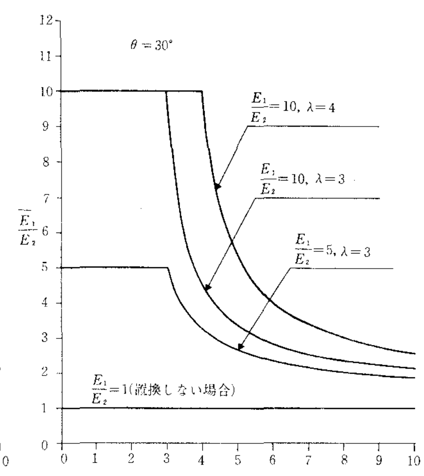
$$K_1=\overline{E}_1 D^{-\frac{3}{4}}\ , \qquad K_2=E_2\cdot D^{-\frac{3}{4}}$$



図－3　解析モデル



図－4　等価換算K値を用いChang式で計算した最大モーメントの誤差



図－5　αと換算変形係数の関係