

九州大学 工学部 正員 小坪 清 真
九州工業大学 正員 高西 照 彦
九州大学 工学部 学生員 河島 正 治

1. まえがき 著者等は前論⁽¹⁾において、弾性論を用いて横方向群杭効果を近似的に評価する解析法を提案して、2,3の計算例を示し、実験値との対比を行った。前論における基本的な考え方は次の通りである。(i)一層地盤中に打設された単杭が、その頭部に水平加力を受けたとき、杭及び周辺地盤の弾性変形を弾性論を用いて解析的に求める。(ii)杭が2本以上打設された場合、(i)で求めた解を用いて、 i 杭の変位によって影響を受ける j 杭の変位を近似的に次のように評価する。すなわち、 i 杭が水平加力を受けて変位を生じたとき、その影響による j 杭の変位は、 j 杭の中心軸上に位置する地盤の変位に等しいと看做す。(iii)群杭を構成する各杭の変位は、例えば i 杭については、 i 杭が水平力を受けたときの i 杭自身の変位と i 杭以外の杭が水平力を受けたときその杭の変位によって生ずる i 杭の変位の総和とを加えた値で与えられる。上記の考え方に従えば、(ii)において、 i 杭以外の杭が i 杭に与える変位の影響分を求めるときに、 i 杭の曲げ剛性を無視したことになる。従って本論では、前論の解法(以下、 α 1近似解という。)における(ii)の考え方を改めて、以下に述べるように、他杭による変位の影響分を見積るときに自杭の曲げ剛性を考慮する新しい考え方(以下、 α 2近似解という。)を提案し、2,3の計算例を示した。本論の新しい基本的な考え方を、特に2本杭及び2本杭の場合について詳論する。杭本数が多い場合についても同様に考えればよいのは改めて言うまでもない。以下に述べる所論を別にすれば、諸量の定義、解析上の仮定その他についてはすべて前論の場合と全く同様である。

2. 群杭効果の理論 α 2. 2本杭(軸方向変位の場合)

2本杭がその軸方向に水平力を受けた場合、杭の変形曲線を次のように考えて求めた。すなわち、2本杭の杭頭の連結を断ち、杭頭部の拘束条件はそのまま、以下に述べる操作を各杭に加えればよい。(i)図-1(a)に示すように、 i 杭の頭部に単位水平力を加えたとき、 i 杭及び j 杭の中心軸上の地盤の変位 $y_{ip}^{(1)}(z)$ 、 $u_j^{(1)}(z)$ を求める。この変形曲線の理論式は前論に示したのでここでは省略する。(ii) j 杭に適当な水平分布力 $p_j^{(1)}(z)$ を加えて、 j 杭の変形曲線 $y_{js}^{(1)}(z)$ を(i)で求めた j 杭の中心軸上の地盤の変形曲線 $u_j^{(1)}(z)$ に一致させる。このとき $p_j^{(1)}(z)$ は次式によって求めることができる。

$$p_j^{(1)}(z) = EI \frac{d^4 y_{js}^{(1)}(z)}{dz^4} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 EI : 杭の曲げ剛性
 z : 深さ方向の座標

(iii) $p_j^{(1)}(z)$ を加えて地盤と全く等しい変形をさせた j 杭に、今度は図-1(b)に示すように、その同じ $p_j^{(1)}(z)$ を前と逆方向に加える。そしてそのときの j 杭の変位 $y_{jp}^{(1)}(z)$ と i 杭の中心軸上の地盤の変位 $u_i^{(1)}(z)$ とを求める。(iv) i 杭に適当な水平分布力 $p_i^{(1)}(z)$ を加えて、 i 杭の現在の変形曲線に対する相対変位が(iii)で求めた $u_i^{(1)}(z)$ になるようにする。このとき $p_i^{(1)}(z)$ は(1)式と同型の式によって表わされる。(v)図-1(c)に示すように、 i 杭に(iv)で求めたと同じ水平分布力 $p_i^{(1)}(z)$ を、今度は前と逆方向に加えて、 i 杭の変位及び j 杭の中心軸上の地盤の変位を求める。(vi)以下、上述の操作を繰返して、杭の修正変位量が十分小さくなるようにする。このとき i 杭及び j 杭の変形曲線は次式によって求めることができる。

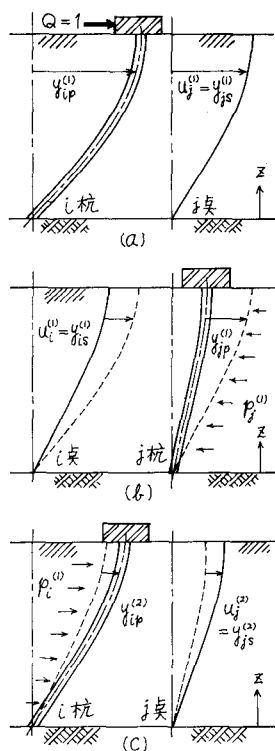


図-1

$$\left. \begin{aligned} y_i(z) &= \sum_{k=1}^n \{ y_{ip}^{(k)}(z) - y_{is}^{(k)}(z) \} \\ y_j(z) &= \sum_{k=1}^n \{ y_{jp}^{(k)}(z) - y_{js}^{(k)}(z) \} \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

従って、2本杭に $Q_2=2$ の水平力を加えたときの杭頭変位は(2)式から $y_2 = y_i(H) + y_j(H)$ ----- (3)

ここに、 H は上層地盤の厚さである。他方、同じ頭部拘束条件をもつ単杭に、 $Q_1=1$ の水平力を加えたときの杭頭変位を y_1 とすれば、2本杭の場合の群杭効果 e_2 は $e_2 = y_1/y_2$ ----- (4)

6. 2本杭(軸方向直角変位の場合) この場合は a の場合と全く同様にして必要な結果を得ることができる。

C. 4本杭 4本杭の場合も基本的な考え方は2本杭の場合と全く同じであるが、杭の本数が多くなるに従って計算式の誘導に多少の手

数を要するのは止むを得ない。しかし、杭配置の対称性を利用することによって可成りその手数を節約することができる。4本杭の場合には図-2(a)に示すように、 i_1, i_2 杭と j_1, j_2 杭とをそれぞれ一組にして考える。群杭効果を求めるには、杭配置の対称性を考慮して各杭に図-2(a)のような水平力を加えて、各杭の杭頭の x 方向変位 $=1$ 、 y 方向変位 $=0$ となるような Q_x, Q_y が得られればよい。さて、 i_1, i_2 杭のそれぞれに軸直角方向単位水平力を加えたとき、 i_1, i_2 杭及び j_1, j_2 杭の中心軸上の地盤の変形曲線は、前項の所論から既知であるので、これを利用すれば、図-2(b), (c)に示すように2本杭の場合と同様な考え方に従って各杭の変形曲線を求めることができる。ただ4本杭の場合は2本杭の場合と異なり、図-2(b)に示すように i_1, i_2 杭に水平力を加えたとき、 j_1, j_2 杭の中心軸上の地盤が y 方向の変位成分をもつことに注意する必要がある。従って y 方向の拘束力 Q_y を加えてやらなければならない。いま i_1, i_2 杭の各々にそれぞれ x 方向及び y 方向単位水平力を加えたときの i 杭の x 方向及び y 方向の杭頭変位を $\delta_{ix}^{(ix)}, \delta_{ix}^{(iy)}, \delta_{iy}^{(ix)}, \delta_{iy}^{(iy)}$ 等で表わせば、 Q_x, Q_y に関する次の連立方程式が得られる。

$$\left\{ \begin{aligned} \delta_{ix}^{(ix)} + \delta_{ix}^{(iy)} \} Q_x + \{ \delta_{ix}^{(ix)} + \delta_{ix}^{(iy)} \} Q_y &= 1 \\ \delta_{iy}^{(ix)} + \delta_{iy}^{(iy)} \} Q_x + \{ \delta_{iy}^{(ix)} + \delta_{iy}^{(iy)} \} Q_y &= 0 \end{aligned} \right\} \text{----- (5)}$$

上式から Q_x を求めれば群杭効果 e_4 は $e_4 = Q_x/Q_0$ ----- (6)

3. 数値計算結果及び実験値との対比 図-3(a), (b)は、横軸に杭中心間隔と杭径の比 $l/2a$ をとって、2本杭(軸方向変位の場合)と4本杭に対する計算結果を示したものである。同図において①は外側に円形境界が存在する場合の $\alpha/2$ 近似解を、②は同じく $\alpha/1$ 近似解を、③は外側に境界が存在しない場合の $\alpha/1$ 近似解を、④は Mindlin の $\alpha/2$ 解を利用した Penzien の解⁽³⁾を、○印は王璽等の実験結果⁽²⁾をそれぞれ示している。図-3から明らかなように、著者等の理論解は Penzien の解に比べるとより実験値に近い。さらに $\alpha/2$ 近似解は $\alpha/1$ 近似解に比べると、 $l/2a$ の値の小さい所でより実験値に近くなっており、本理論の有用性が示されたといえよう。

(1): 小坪・高面「横方向群杭効果の近似解法」 九大工学集報, vol. 47, No. 3, 昭49年6月

(2): 王璽・三橋・今井「水平抵抗における群杭効果の研究」 土木学会論文集 NO. 192, 1971-8

(3): Penzien, J., Schaffey, C.F., and Parmelee, R.A., "Seismic analysis of bridges on long piles" Proc. A.S.C.E., vol. 90, NO. EM3, 1964-6.

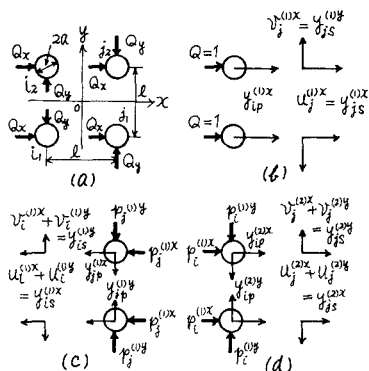
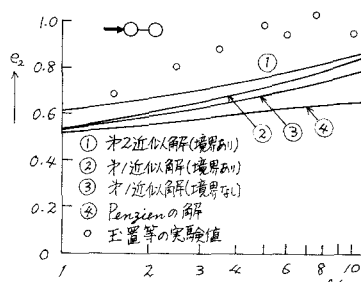
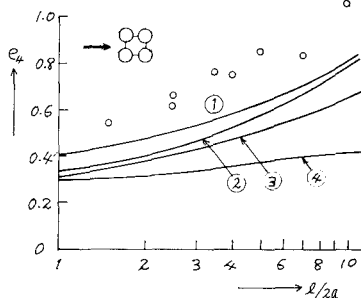


図-2



(a) 2本杭(軸方向変位の場合)



(b) 4本杭

図-3 群杭効果