

III-521

群杭基礎の水平方向荷重分担に関する実験的研究

正員 首都高速道路公団 山崎和夫
 正員 同上 植木 博
 正員 同上 斉藤 亮
 ○ 正員 建設技術研究所 五瀬伸吾

はじめに

杭基礎の水平方向の変位量が比較的大きい場合に、各杭の水平方向の荷重の分担率が大きく異なることが最近判ってきている。筆者らはこの分担率が異なる理由として純粋な杭相互間の相互作用（相互作用係数と呼ぶ）に加えて杭頭の変位が全て等しいことによる影響（剛性低下係数と呼ぶ）の2要因を考慮することを提案した。これらの要因の実験式を求め、実験した群杭（9本杭）に関して大変形まで精度よくシミュレーション解析を行うことができたので報告する。

1. 相互作用係数(α_{ij})と剛性低下係数(α_{gi})の考え方

α_{ij} は図1に示すようにj杭に荷重 P_j が作用した場合にi杭に付加される変位 δ_{ij} を模式的に示したものでこれを次の式1で示したものを相互作用係数 α_{ij} とする。

$$(\alpha_{ij})_{P_j} = (\delta_{ij}/\delta_j)_{P_j} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 δ_j は単杭に荷重 P が作用した場合の杭頭水平変位である。

通常、杭基礎は杭頭部をフーチングで連結しているため、図2に示すように杭頭部で各杭の変位量は等しい。したがって、i杭に抵抗する地盤はj杭の抵抗地盤でもあり、j杭の変形により周辺地盤はせん断変形や圧縮変形しその非線形適性質から、i杭に抵抗する地盤の剛性が見かけ上低下すると考えることができる（この影響はi杭がj杭より大きいと思われる）。この剛性の低下による変位量の増大量(δ_{gi})を評価する係数を剛性低下係数 α_{gi} とし、式2で表現する。

$$(\alpha_{gi})_{P_i} = (\delta_{gi}/\delta_i)_{P_i} \dots \dots \dots (2)$$

結局、i杭、j杭の変位量は、次式で示すように単杭の変位量に相互作用と剛性低下による変位量の増大量を付加した式3で表わされる。

$$\delta_i^* = \delta_i \cdot (1 + \alpha_{gi}) + \delta_j \cdot \alpha_{ij}$$

$$\delta_j^* = \delta_j \cdot \alpha_{ji} + \delta_i \cdot (1 + \alpha_{gi})$$

単杭の水平方向バネ定数を式4で定義するとi、j杭に関して式5のマトリックスをつくることができる。

$$k_s = P(\text{荷重})/\delta(\text{変位}) \dots \dots \dots (4)$$

$$\begin{pmatrix} \delta_i^* \\ \delta_j^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1 + \alpha_{gi})/k_{oi} & \alpha_{ij}/k_{oj} \\ \alpha_{ji}/k_{oi} & (1 + \alpha_{gj})/k_{oj} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_i \\ P_j \end{pmatrix} \dots \dots \dots (5)$$

5式で $\delta_i^* = \delta_j^* = \delta$ （群杭の水平変位）としn本杭に拡張すると式6が得られる。式6において単杭に関するバネ定数 k_s が既知であれば、基礎に作用する水平荷重 H は設計荷重であることから未知数である荷重分担率 $P_1, P_2, \dots, P_n$ および杭基礎の変位 δ を求めることができる。ただし、 α_{ij} 、 α_{gi} および k_{oi} は荷重 P_i の関数であることから当初、荷重分担率 P_i を仮定し、 α_{ij} 、 α_{gi} および k_s を計算し仮定した荷重分担率に一致するまで繰り返し計算する必要がある。

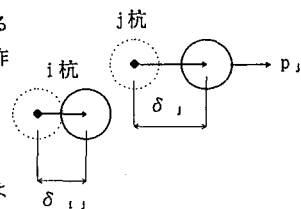


図1 相互作用係数の説明図

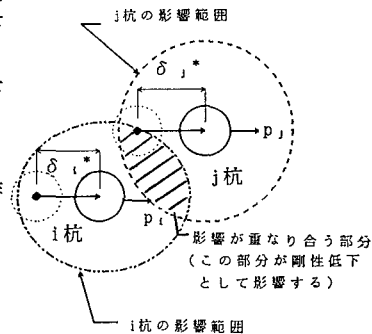


図2 剛性低下係数の説明図

$$\begin{pmatrix} (1+\alpha_{g1})/K_{g1} & \alpha_{12}/K_{g2} & \cdots & \alpha_{1n}/K_{gn} \\ \alpha_{21}/K_{g1} & (1+\alpha_{g2})/K_{g2} & \cdots & \alpha_{2n}/K_{gn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1}/K_{g1} & \alpha_{n2}/K_{g2} & \cdots & (1+\alpha_{gn})/K_{gn} \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} -1 \\ -1 \\ \vdots \\ -1 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \\ \delta \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ H \end{Bmatrix} \cdots (6)$$

2. 実験式の誘導

相互作用係数 α_{ij} を求めるための実験は、杭頭を連結していない2本杭について杭間隔と荷重方向を変えての実験を行った。実験杭は、肉厚2mm、長さ1.7mのアルミニウム管を用いており、地盤は気乾状態の小名浜砂である。式7に実験式を示す。杭間隔は6D(D:杭径)まで行っているが、10Dで群杭効果は無いものとして式を求めている。

$$\alpha_{ij} = 0.0228 \left\{ -a + b(D/S) + c(P/Pa) - d(D/S)(P/Pa) \right\} e^{3.778\phi/\pi} \cdots (7)$$

ここに、 $a=0.121$, $b=0.968$, $c=2.368 \times 10^{-4}$, $d=1.894 \times 10^{-3}$ であり、 S は杭間隔、 Pa は荷重 P を無次元化するためのもので 1kgf/cm^2 とする。また、 ϕ は荷重方向に対する影響杭の角度である。

地盤剛性低下係数 α_{gi} は互いに杭頭部を連結した(杭頭自由)9本杭の荷重と変位の関係と単杭の載荷試験結果および α_{ij} の実験式から式3の関係を用いて求めた。 α_{gi} は杭頭変位が大きい場合、荷重 P に関係なく一定となる傾向を示し、式8で表わされる。

$$\alpha_{gi} = (A + B\delta_i + C/\delta_i) \cdot (Ka + Kb(n-1)) \cdots (8)$$

ここに、 $A=3.0405$, $B=0.05218$, $C=1.258$, $Ka=-1.427+8.721(D/S)-10.934(D/S)^2$, $Kb=-1.427+8.721.934(D/S)^2$ また、 δ_i は荷重 P_i が作用した時の単杭の変位、 n は杭列数を意味している。

これらの実験式を用いた場合の荷重分担と群杭の荷重と変位に関するシミュレーション結果を、それぞれ図3、4に示す。よく実験結果を再現していることが判る。

おわりに

今回提示した方法により群杭の水平方向荷重分担に関する評価式を求めることが可能である。ただし、ここで求めた実験式は杭頭自由の9本杭(3行×3列)の場合であり、これを m 行× n 列に拡張することが今後の課題である。

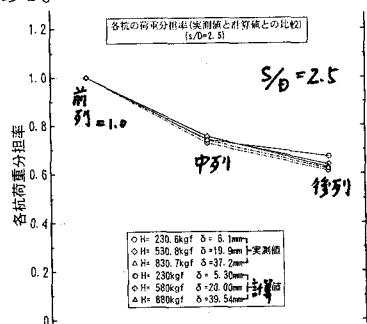


図3 杭頭分担力(せん断力)に関する比較

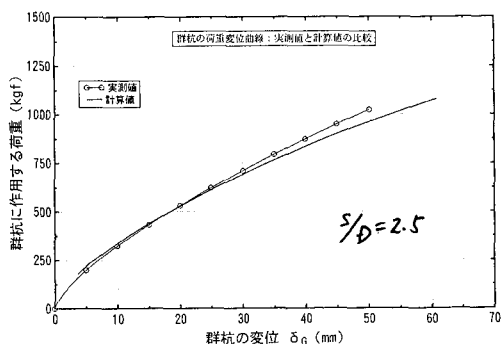


図4 群杭の荷重と変位に関する比較