

群杭井筒基礎の3次元変形解析法に関する研究

鳥取大学大学院 学生 ○福田 毅

鳥取大学工学部 正 西村 強 木山 英郎

清水 建設 正 風間 広志

1. はじめに

現在、基礎工法の一つとして鋼管矢板複合井筒基礎工法¹⁾が提案されている。これは上部鋼管矢板と下部場所打ち杭から構成されており、下部場所打ち杭においては、周辺地盤による土圧等の影響を受けることで杭間に接触力が発生し、井筒が一体構造物として挙動することにその特徴を有する。このような挙動を解析する場合、杭間において相互的に作用する接触力を考える必要がある。そこで、本文では、接触計算ならびに開発した計算法により、方形配置させた下部杭の解析例を報告する。

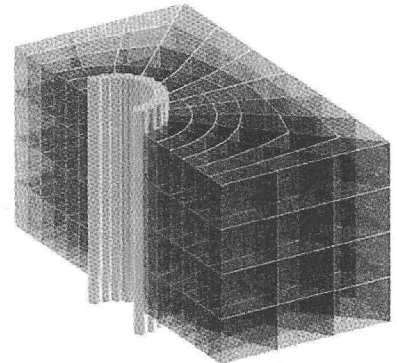


図-1 群杭井筒基礎の一例

2. 接触算定法と接触力の計算

杭の変形は、はり要素を用いてモデル化をしている。また、杭間には、簡易な接触モデルを導入している。はり要素を表す(局所)座標系として、図心軸を $\bar{z}$ 、断面の慣性主軸方向を $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ とする右手系直交座標系を用いる。全体座標系 (x, y, z) から局所座標系 $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ への座標変換マトリックスを $[T]$ とし、変換後の変位増分や節点力増分などを以下のように書く。

$$(\Delta \bar{u}_i, \Delta \bar{v}_i, \Delta \bar{w}_i, \Delta \bar{u}'_i, \Delta \bar{v}'_i, \Delta \bar{\theta}'_i) \quad (\Delta \bar{V}_{xi}, \Delta \bar{V}_{yi}, \Delta \bar{P}_i, \Delta \bar{M}_{yi}, \Delta \bar{M}_{xi}, \Delta \bar{M}_{zi})$$

軸方向・曲げ・ねじりの変形を表現する一般的なはり要素の局所座標系に対する剛性方程式は次のように得られる。

$$\begin{bmatrix} [K_u] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [K_v] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [K_w] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [K_\theta] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{u} \\ \Delta \bar{v} \\ \Delta \bar{w} \\ \Delta \bar{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta f_u \\ \Delta f_v \\ \Delta f_w \\ \Delta f_\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{ここに、} \left\{ \begin{array}{l} \Delta \bar{u} = [\Delta \bar{u}_i \quad \Delta \bar{u}'_i \quad \Delta \bar{u}_j \quad \Delta \bar{u}'_j]^T \\ \Delta \bar{v} = [\Delta \bar{v}_i \quad \Delta \bar{v}'_i \quad \Delta \bar{v}_j \quad \Delta \bar{v}'_j]^T \\ \Delta \bar{w} = [\Delta \bar{w}_i \quad \Delta \bar{w}_j]^T, \Delta \bar{\theta} = [\Delta \bar{\theta}_i \quad \Delta \bar{\theta}_j]^T \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta f_u = [\Delta \bar{V}_{xi} \quad \Delta \bar{M}_{yi} \quad \Delta \bar{V}_{yj} \quad \Delta \bar{M}_{xj}]^T \\ \Delta f_v = [\Delta \bar{V}_{yi} \quad \Delta \bar{M}_{xi} \quad \Delta \bar{V}_{xj} \quad \Delta \bar{M}_{yj}]^T \\ \Delta f_w = [\Delta \bar{P}_i \quad \Delta \bar{P}_j]^T, \Delta f_\theta = [\Delta \bar{M}_{zi} \quad \Delta \bar{M}_{zj}]^T \end{array} \right\}$$

$[K_w][K_u][K_v][K_\theta]$ ：軸要素・曲げ要素・ねじり要素の剛性マトリックス

図-2より、点 g が杭要素 J に接することを考える。接触条件は以下である。

$$|\vec{ij}| > |\vec{ik}|, |\vec{kg}| < 2r \quad (\text{杭同士の接触}) \quad (2)$$

まず、図心軸上の点 k の位置における変形に関する量を示す。図-3を参照すると、

$$\bar{u}_k = (1 - \xi) \Delta \bar{u}_i + \Delta \bar{u}_j \quad (\xi = |\vec{ik}| / |\vec{ij}|) \quad (3)$$

杭の断面内せん断変形は無視でき、変形前に図心軸に対して垂直な線は、変形後も直線のまま、かつ図心軸に対しても垂直であるとの仮定を導入し杭表面上の点 p に発生する変位増分を算出する。図-4を参考に図心軸方向の変位増分、また、ねじり変形による変位増分は次式により算出する。

$$\Delta \bar{w}_p = -r \cdot \Delta \bar{u}'_k, \quad \Delta \bar{v}_p = r \cdot \Delta \bar{\theta}'_k \quad (4)$$

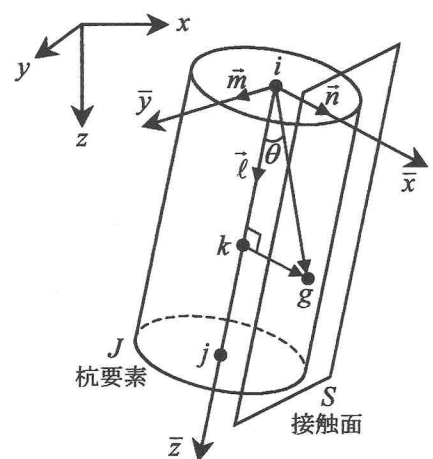


図-2 接触モデル

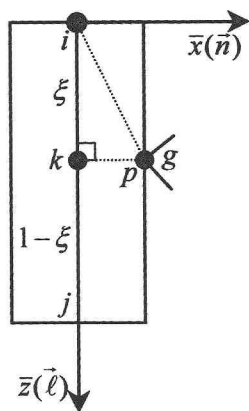


図-3 図心軸上の変位増分

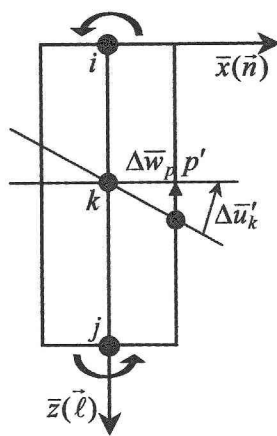


図-4 たわみ角増分による変位増分

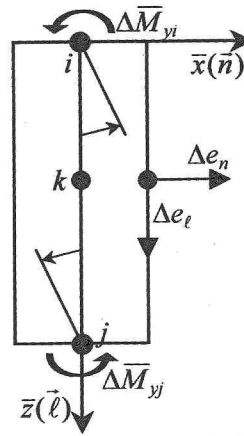


図-5 接触力による節点モーメントの換算

以上から、点 p の変位量増分は以下ようになる。

$$\Delta \bar{u}_{np} = \Delta \bar{u}_k, \quad \Delta \bar{v}_{mp} = \Delta \bar{v}_k + \Delta \bar{v}_p, \quad \Delta \bar{w}_{lp} = \Delta \bar{w}_k + \Delta \bar{w}_p \quad (5)$$

したがって、接触相対変位増分を次式より求め得る。

$$\Delta \bar{u}_{nc} = \Delta \bar{u}_{np} - \Delta \bar{u}_{ng}, \quad \Delta \bar{v}_{mc} = \Delta \bar{v}_{mp} - \Delta \bar{v}_{mg}, \quad \Delta \bar{w}_{lc} = \Delta \bar{w}_{lp} - \Delta \bar{w}_{lg} \quad (6)$$

$$\text{ただし、点 } g \text{ での変位増分は、} \Delta \bar{u}_{ng} = \Delta \bar{u}_g, \quad \Delta \bar{v}_{mg} = \Delta \bar{v}_g + r \cdot \Delta \bar{\theta}_g, \quad \Delta \bar{w}_{lg} = \Delta \bar{w}_g - r \cdot \Delta \bar{u}'_g \quad (7)$$

接触点に対して、ばねを仮定することにより接触力を算出する。

また、節点モーメントについては、図-5を参考に以下のように求め得る。

$$\left. \begin{aligned} \Delta \bar{M}_{yi} &= \Delta e_n \cdot |\vec{ik}| - \Delta e_t \cdot r \\ \Delta \bar{M}_{xi} &= -\Delta e_m \cdot |\vec{ik}| \\ \Delta \bar{M}_{zi} &= \Delta e_m \cdot r \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} \Delta \bar{M}_{yj} &= -\Delta e_n \cdot (|\vec{ij}| - |\vec{ik}|) - \Delta e_t \cdot r \\ \Delta \bar{M}_{xj} &= \Delta e_m \cdot (|\vec{ij}| - |\vec{ik}|) \\ \Delta \bar{M}_{zj} &= \Delta e_m \cdot r \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

3. 方形配置の解析例

解析モデル及び境界条件を併せて図-6に示す。杭頭に水平方向へ一様な強制変位 δ_x を与える。所定の変位毎に杭頭での節点反力を求め、杭頭総荷重 F -変位 u 関係を求める。この時、杭間の接触剛性係数 (K_n (法線方向), K_s (接線方向)) の変化による剛性の違いをみる。杭の諸元は、下部の場所打ちコンクリート杭を想定して、ヤング率: $E_c = 30(\text{GPa})$, ポアソン比: $\nu = 0.2$, 杭半径: $r = 0.6(\text{m})$, 杭長: $L = 20(\text{m})$ と設定した。解析結果を図-7に示す。縦軸は杭頭総荷重 F , 横軸には杭頭変位 δ_x を示す。図より、接触剛性係数の上昇に伴い、剛性の向上がみられる。つまり、これは前章で述べた手法により杭間の接触力伝達を表現できていることに他ならない。しかし、演算可能範囲内で接触剛性係数に上限値があり、今後はその上限値に対する改善をはかりたい。

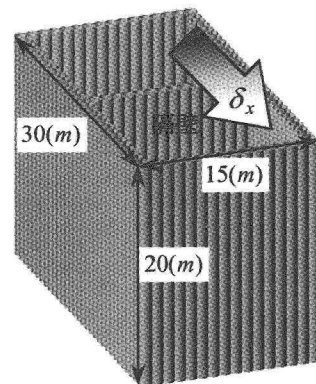


図-6 解析モデル

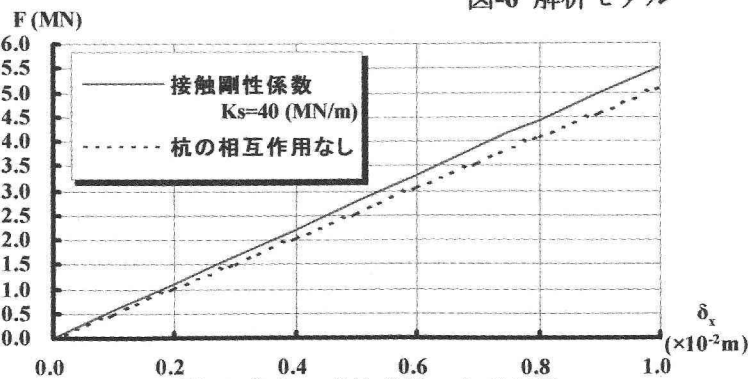


図-7 荷重-変位曲線 (方形配置)

参考文献

- (1) 大久保浩弥 他(2001): 鋼管矢板複合井筒基礎工法の概要, 第24回日本道路会議, 一般論文集.