

## 放射状造成体の鉛直支持力特性に関する基礎的研究

## - (その3) 形状効果のメカニズムに関する一考察 -

ハザマ 正会員 ○木村 誠, 足立 有史, 浦野 和彦, 三反畑 勇

## 1. はじめに

放射状造成体は、鉛直荷重に対して簡易推定値以上の支持力を発揮し、それが主に先端付近で生じる形状効果に起因することが明らかになってきている<sup>1)2)</sup>。そこで、単杭の鉛直載荷試験結果に対して造成体先端付近の地盤変形挙動を簡易にモデルで仮定し、弾性理論を借りて形状効果のメカニズムについて考察を加えた。

## 2. 放射状造成体先端付近の地盤変形のモデル化

## (1) 地盤変形のモデル化

放射状模型先端付近の地盤変形は図-1に示す簡易モデルを仮定した。(a)(b)のように、羽間が円弧で囲まれた閉塞領域を仮定し、半径方向に要素分割して各要素の変形挙動と模型に作用する応力の関連性を考察した。地盤領域は模型の貫入に伴い、模型先端直下の地盤が圧縮ひずみ( $\varepsilon_v$ )を一様に生じながら押出されるように閉塞領域へ弾性変形すると仮定する。したがって、地盤は模型からの伝達荷重による圧縮変形と貫入による水平方向の強制変形が生じることとする。

## (2) 形状効果のメカニズムの仮定

本研究では杭頭変位が杭径の10%( $D_{10}$ )に達した時点を超え支持力として一連の検討を行っている。通常、地盤の応力～ひずみ関係は地盤材料固有の物理・力学特性により決定され、要素レベルでは応力を伝達する模型の形状による影響は少ないと考えられる。よって

今回のアクリル加工の剛体と見なせる小型模型(圧縮弾性率  $E=3000\text{MN/m}^2$ )を  $D_{10}$  貫入(≡先端地盤変位)した際には、形状によらず同じ応力が地盤に伝達されていると考えられる。しかし、杭先端で計測された軸応力は円形に比べて放射状模型が非常に大きな値を示し、高い支持力特性に反映されている<sup>1)2)</sup>。

便宜上、先端で発揮される軸力は、見かけの力と先端地盤沈下に寄与する正味の荷重が合せて計測されたものであり、見かけの力は支持力には寄与するが杭先端地盤の沈下には寄与しないと考える。見かけの力は、図-1(c)のように、模型貫入に伴う地盤変形によって生じた水平方向のひずみ( $\varepsilon_h$ )によって作用する上向きの摩擦力( $P_v$ )であると仮定した。模型からの伝達荷重による圧縮ひずみは要素内に一様に作用するものとした。

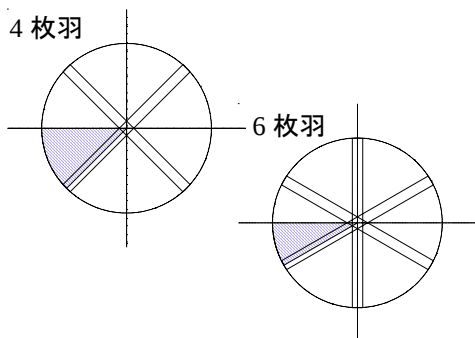
模型貫入に伴い、要素内には大きな水平ひずみが生じる。一般的にせん断剛性率( $G$ )はせん断ひずみ( $\gamma$ )依存性が高いことが知られており、 $\gamma \approx 1.0\%$ で初期剛性に対するせん断剛性は1/10程度となる<sup>4)</sup>。弾性論の範

$$D_{10} = \frac{P_v}{rG} \frac{(1-\nu)}{4} = \frac{P_v}{rE} \frac{(1+\nu)(1-\nu)}{2} \quad \left( G = \frac{E}{2(1+\nu)} \right) \quad (1)$$

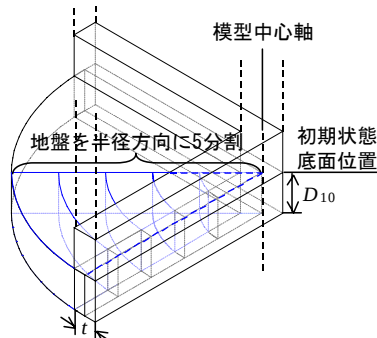
$$\nu = \frac{K_0}{1+K_0} \quad (K_0 = 1 - \sin \phi_d) \quad (2)$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 1/2-\nu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

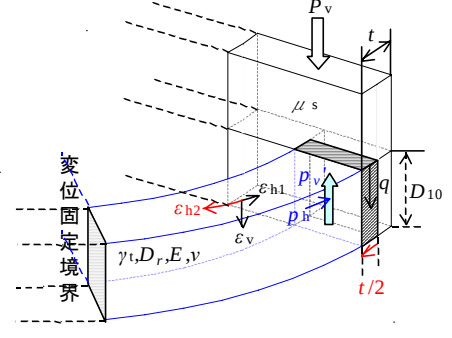
(a) 仮定地盤領域



(b) 分割要素概要



(c) 分割要素に作用する応力



$D_{10}$ :先端変位量,  $r$ :半径,  $t$ :羽厚,  $q$ :杭先端応力,  $\mu_s$ :模型表面静止摩擦係数,  $\gamma_t$ :土の単位体積重量,  $D_r$ :相対密度,  $E$ :ヤング率,  $\nu$ :ポアソン比,  $\varepsilon_v$ :圧縮ひずみ,  $\varepsilon_{h1}$ :圧縮による水平ひずみ,  $\varepsilon_{h2}$ :強制変位による水平ひずみ,  $p_h$ :水平力,  $P_v$ :見かけの力( $=\mu_s P_h$ )

図-1 放射状模型先端付近の地盤変形のモデル化

キーワード: 支持力, メカニズム, 高圧噴射, 地盤改良

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 ハザマ技術研究所 TEL:029-858-8813

表 - 1 閉塞地盤領域の土質定数

| 相対<br>密度 $D_r$ | 単位体積重量<br>$\gamma_s(\text{kN/m}^3)$ | 静止摩擦<br>係数 $K_0$ | ポアソン<br>比 $\nu$ | ヤング率 $E(\text{kN/m}^2)$ |      | 模型表面静止<br>摩擦係数 $\mu_s$ |
|----------------|-------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------|------|------------------------|
|                |                                     |                  |                 | 小型土槽                    | 大型土槽 |                        |
| 30%            | 13.8                                | 0.49             | 0.33            | 3400                    | 558  | 2.14                   |
| 70%            | 15.0                                | 0.38             | 0.27            | 22850                   | —    |                        |
| 90%            | 15.7                                | 0.32             | 0.24            | 37200                   | —    |                        |

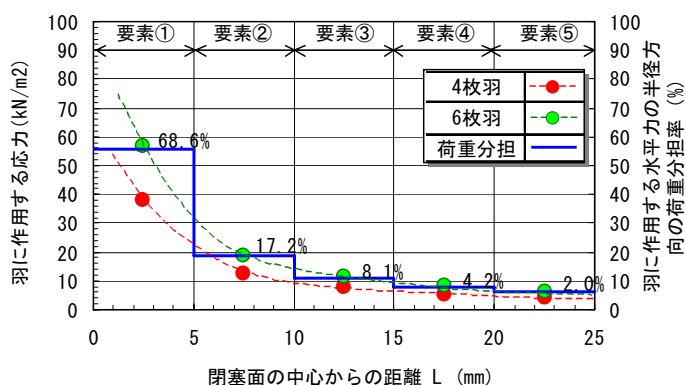


図 - 2 羽に作用する見かけの応力分布

囲内では同様の傾向が軸ひずみに対しても適用できると考えられるため、摩擦力の算定は剛性のひずみ依存性を考慮した。地盤に作用する正味の荷重は式(1)の Randolph & Wroth の提案式<sup>3)</sup>から推定した。表-1 に使用した土質定数をまとめる。

### 3. モデルの検証結果

放射状模型の羽に作用する見かけの応力分布を図-2 に示す。羽の中心方向へ向かうほど、作用する応力は指数関数的に大きくなる。これは貫入に伴う強制変位の影響度合によるものであり、見かけの応力の約 70% が中心に一番近い要素の変形によって生じている。

図-3 に見かけの応力を仮定した形状効果の検証結果を示した。放射状模型の先端抵抗力は Randolph & Wroth の式(1)に対して大きな値を示している。本研究では、放射状模型の実験値は、①地盤が変位する際の正味の荷重( $P_v$ )と、②摩擦抵抗力( $\mu_s P_h$ )の和として仮定している。したがって、①に図-2 で仮定した見かけの応力による先端の摩擦力(②)を加えたものを理論値とした。図-3 の通り、実験値と 1:1 の値付近に集まっている。さらに、先端抵抗に占める見かけの力の割合は図より、地盤が緩いほど大きい傾向を示しており、鉛直載荷試験の一連の結果と同じ傾向を示している。

以上の結果より、形状効果は先端付近の見かけの摩擦力によって生じる可能性が高いことが分かった。今回は基礎的な検討としてこの摩擦力は模型貫入により羽間の砂が強制圧縮されることで生じると仮定した。しかし、先端閉塞領域は土被り圧と模型羽で拘束され

大型土槽 scale

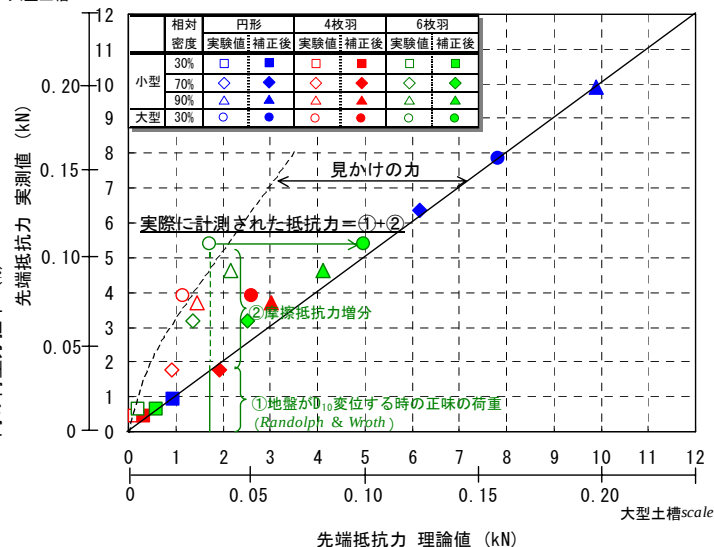


図 - 3 仮定した形状効果の検証

たほぼ定体積条件下で変形が生じていると見なすことができ、ひずみが卓越した条件下では砂の正の dilatancy が発揮され、定体積定条件では圧力増加に繋がることから摩擦力が増加しているとも考えられる。今後は、閉塞地盤領域の stress-dilatancy 等にも十分着目して検討を進めていきたいと考えている。

### 4. まとめ

本検討により得られた主な結果を以下にまとめる。

- 1) 形状効果は、先端付近の地盤の変形に起因する見かけの摩擦力によるものである可能性が高いことが示唆された。
- 2) 先端の軸力は見かけの摩擦力と先端地盤沈下に寄与する正味の荷重の和として発揮されることが考えられる。

### 参考文献

- 1) 木村, 他: 放射状造成体の鉛直支持力特性に関する基礎的研究-(その1)単杭の室内載荷試験結果について-, 平成19年度土木学会第62回年次学術講演会, 2007.9 (投稿中)
- 2) 木村, 他: 放射状造成体の鉛直支持力特性に関する基礎的研究-(その2)群杭の室内載荷試験結果について-, 平成19年度土木学会第62回年次学術講演会, 2007.9 (投稿中)
- 3) (社)地盤工学会: 杭基礎の鉛直荷重～変位特性の評価法入門, 3.解析による単杭の荷重～変位特性の評価方法(その1), 土と基礎, 47-9, pp.55-60, 1999.9
- 4) 足立, 龍岡: 新体系土工学 18, 技法堂出版, 1986.