

プレボーリング拡大根固め工法に用いる節杭の先端位置 (FEM による検討)

杭 先端支持力 有限要素法

(株)ジオトップ ○正 会 員 今 広人
同上 国際会員 小 椋仁志
同上 正 会 員 須見光二
同上 国際会員 藪内貞男

1. はじめに

既製杭のプレボーリング根固め工法では、杭先端を掘削孔から 0.5m 以上離して設置する例が多いが、その根拠や意味は明確ではない。今回、節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法を対象にして、杭先端を掘削孔に着けた場合(以下、「着底型」と呼ぶ)と、離れた場合(以下、「離間型」と呼ぶ)の違いを軸対称 FEM によって検討した。本報は、この結果を紹介したものである。

2. 離間型の必要性

セメントミルク工法が開発された当時に発行された施工指針¹⁾には、一見、離間型に見える図-1が示されている。しかし、解説文に「高止りは 0.5m 以内を原則とする」とあるように、「着底型が原則で離しても 0.5m 以下」が基本であった。ところが、その後開発されたプレボーリング根固め工法や同拡大根固め工法では離間型が多い。この理由は当時の報文にも示されていないので、推測すると下記の事項が考えられる。

- ① 施工上必ず離間型になる中掘り根固め(拡大)工法に合わせたため。
- ② 支持層の不陸や掘削時の孔壁崩壊などにより掘削底の深さが変化しても、杭の位置をある程度は合わせやすいため。
- ③ 杭からの力を拡大根固め部の底面全体に伝えるには、杭先端から底面までの間にある程度の距離が必要と思われたため。

離間型では、施工上は②の長所がある反面、杭を建て込んだ後、所定の高さに保持しておくのが手間になる。③についてはある程度ストレート杭では納得できるが、節杭を用いた拡大根固め工法では離間型にする必要があるかどうかは疑問になる。そこで、着底型の妥当性を FEM によって検討することとした。

3. FEM モデル

ストレート杭の根固め部は山崎らが詳細な FEM 解析を行っており²⁾、杭の内外面と根固め材との付着の有無が大きな要因になることを指摘している。本解析では内外面とも「付着あり」としてスリップ要素を入れてないが、節杭であるため杭外面の付着の有無はあまり問題にならないものと考えられる。

また、今回の解析は杭体から根固め材を介して地盤に流れる応力の伝わり方を調べることを主眼にしているため、「根固め材は地盤より先には破壊しない」ことを前提にしている。したがって、地盤は非線形性を考慮するが、杭体と根固め材は弾性体として考える。図-2に解析に用いたメッシュを示す。解析条件やパラメータは以下の通りである。

ソフト：SIGMA-W

要素：軸対称 4 角形要素 (8 節点)、軸対称 3 角形要素 (6 節点)

杭体寸法：φ800mm(節部径)－φ600mm(軸部径)、肉厚 90mm

根固め径：φ1050mm (ただし、掘削底から上方 250mm までは φ850mm)

杭体：弾性体 ヤング係数 $E_p = 40000 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.2$ 、

根固め材：弾性体 ヤング係数 $E_m = 2000, 20000 \text{ N/mm}^2$ の 2 種類、 $\nu = 0.2$

地盤：完全弾塑性体 (破壊規準：モール・クーロン)

初期ヤング係数 $E_s = 50, 100, 150 \text{ N/mm}^2$ の 3 種類 (N 値 18, 36, 54 に相当)

内部摩擦角 $\phi = 15 + \sqrt{15N}$ より計算、粘着力 $c = 0.01 \text{ N/mm}^2$

ポアソン比 $\nu = 0.3$

掘削底と杭先端との距離：0 (着底型)、0.25m、0.5m (離間型) の 3 種類

荷重：杭体に対して、1000kN (6.94 N/mm^2) を加える。

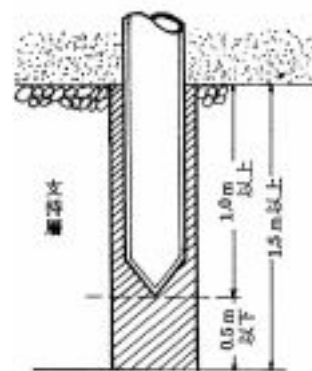


図-1. 杭の位置¹⁾

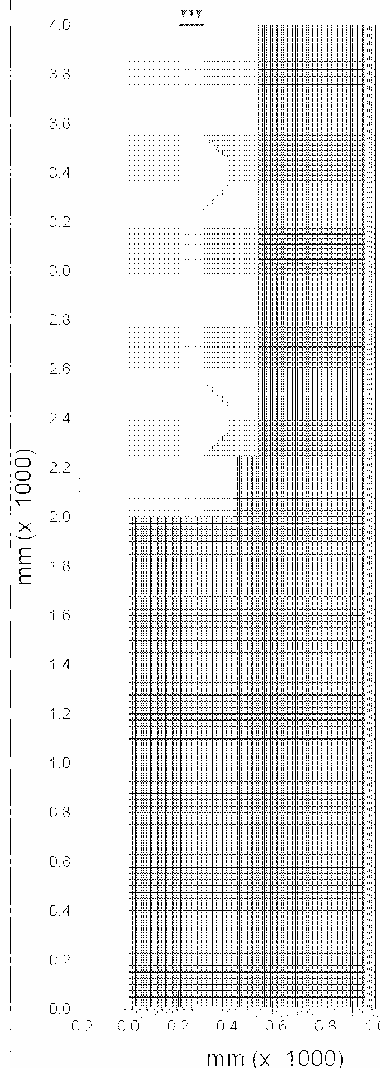


図-2. メッシュ割り
(着底型)

4. 解析結果と考察

図-3(a),(b)と図-4(a),(b)に、解析結果の一例 ($E_m=2000\text{N/mm}^2$, $E_s=100\text{N/mm}^2$ の場合) を示す。図-3は着底型、図-4は離間型(0.5m)であり、(a)は鉛直方向応力 σ_z 、(b)はせん断応力 τ_{rz} の分布図である。

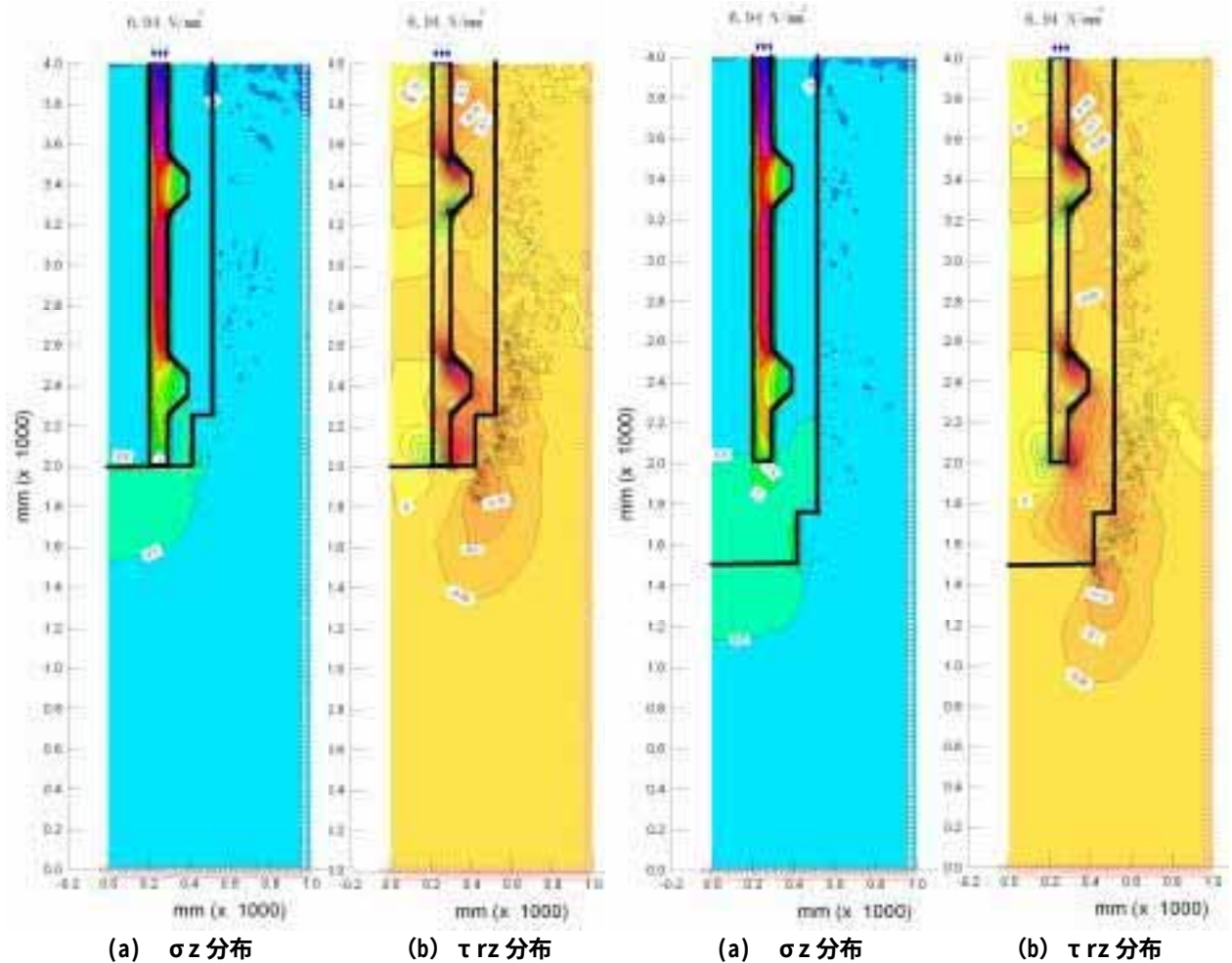


図-3 着底型

図-4 離間型(0.5m)

これらの図から、以下のことが分かる。

- ① 着底型も離間型と同じように、 σ_z は杭体から根固め材を介して地盤にスムーズに伝わっている。
- ② τ_{rz} は、着底型では主に最下端節部から、離間型では最下端節部と杭先端から根固め部へ伝わっている。
- ③ 地盤の τ_{rz} は、着底型も離間型と同じような分布になっている。根固め部の角部付近に接する地盤に大きなせん断力が生じているが、この現象は図-5のように、杭の角部に接する地盤の部分からせん断力が增大するとして高野ら³⁾や藪内ら⁴⁾の実験結果と同じである。したがって、地盤としては根固め部が杭体の一部のような挙動をしていることになる。根固め材のヤング係数($E_m=2000\text{N/mm}^2$)は杭体の $1/20$ と小さめの値を設定したが、地盤のヤング係数($E_s=100\text{N/mm}^2$: N値 36 に相当)に比べると 20 倍の値になっている。このために根固め部も杭体と同じような挙動をしたものと推測されるが、 $E_m/E_s=13.3$ となる $E_s=150\text{N/mm}^2$ (N値 54 に相当)の場合もほぼ同じ傾向であった。
- ④ 図は省略するが、他の定数や離間長さの場合も同様な傾向を示している。

以上より、対象とした杭径や掘削径の範囲では、地盤の支持力の観点からいえば着底型も離間型(0.5m)も差がないと結論づけられる。ただし、今回の解析は「根固め部は破壊しない」との前提によるものであり、今後、根固め部の非線形性なども考えた解析も考えていきたい。

5. おわりに

本報では、節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法での掘削孔底と杭先端の位置関係の影響を FEM によって検討した。その結果、杭先端を掘削孔底に着けても 0.5m 離れた場合と差がないことが分かった。

謝辞 セメントミルク工法を開発された貝戸俊一氏には、開発当時の貴重な話を伺った。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 日本建築センター編：埋込み杭設計指針・同解説—セメントミルク工法—、昭和 54 年 12 月

2) 山崎雅弘・長岡弘明：既製コンクリート杭根固め部の構造耐力機構、日本建築学会構造系論文集 No.491, pp.73-80, 1997.1.

3) 高野昭信・岸田英明：砂地盤中の Non-displacement pile 先端部地盤の破壊機構、日本建築学会構造系論文報告集 No.285, pp.51-62, 1979.11

4) 藪内貞男・平山英喜・山下啓明・上紺屋好行：杭先端抵抗と比較した節杭の節部抵抗、第 28 回土質工学研究発表会, pp.1775-1776, 1993.6.

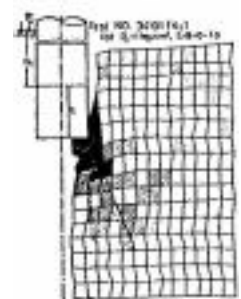


図-5 高野の実験結果³⁾