

節杭を用いたプレボーリング拡大根固め工法での杭先端の設置位置 (根固め部の破壊を考慮した F E M による検討)

正会員 ○小椋 仁志*
同 山崎 雅弘**

杭 先端支持力 有限要素法

1. はじめに

既製杭のプレボーリング工法（セメントミルク工法）が開発された当初は、杭先端面を掘削底に着ける（以下、着底型）が基本であった。その後開発されたプレボーリング拡大根固め工法では、杭先端面を掘削底面から離す（以下、離間型）のが一般的になった。これは、軸力を杭先端面から根固め底面全体に伝達するためには、ある程度の距離が必要であると考えたためであろう。しかし、拡大根固め部に節杭を使った場合は節部からも軸力が伝達されるため、あえて離間型にする必要があるかどうかは疑問が持たれた。そこで、前報¹⁾では、これを軸対称 FEM によって検討した。ただし、杭体と根固め部は弾性体としたため、非線形性や破壊は考慮できていなかった。今回、それらを考慮した解析によって杭先端の設置位置を検討し、着底型の妥当性を検証した。本報では、この解析結果について述べる。

2. 解析の概要

前報では、地盤を初期ヤング係数 $E = 50, 100, 150 \text{ N/mm}^2$ (3 種類)の完全弾塑性体（破壊規準：モール・クーロン）、杭体は $E = 40000 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.2$ の弾性体、根固め材は $E = 2000, 20000 \text{ N/mm}^2$ (2 種類)、 $\nu = 0.2$ の弾性体として、離間型と着底型での地盤に生ずる応力の違いを軸対称 FEM によって検討した。その結果、両者とも鉛直応力 σ_z は杭体から根固め部を介して地盤にスムーズに伝わっている。せん断応力 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。両者とも、根固め部の角部付近に接する地盤には大きな τ_{rz} が生じており、根固め部は杭体の一部のような挙動をしている。とより、対象とした杭径や掘削径（後述）の範囲では、着底型も離間型(0.5m)も地盤に生ずる応力には差がないものと結論づけられた。

しかし、この解析では根固め部は弾性体と仮定しており、非線形性や破壊は考慮されていない。そこで、それらを考慮した解析を行って、杭先端の設置位置が杭の支持力に及ぼす影響を検討した。以下に解析条件等を示すが、Kotsvos モデルなど解析方法の詳細は文献 2),3)を参照されたい。

要素：軸対称 4 角形要素（ガウスポイントの積分点：4 点）図 - 1 に、着底型のメッシュ割りを示す。

杭体寸法（前報と同じ）：杭径 800mm(節部径)- 600mm 600mm(軸部径)、肉厚 90mm、節部間隔 1000mm

根固め部寸法（前報と同じ）：外径 1050mm（ただし、掘削底から上方 0.25m までは 850mm）。位置は掘削底～杭先端より 2m 上方。掘削底と杭先端との距離は 0 m（着底

型）と 0.5m（離間型）

の 2 種類。
杭体の定数：等方弾性体とし、 $E = 40000 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu = 0.20$ 。

根固め部の定数：構成式は Kotsvos モデルとし、一軸圧縮強度 20 N/mm^2 、 $E = 2000 \text{ N/mm}^2$ 。

杭周充填部の定数：構成式は Kotsvos モデルとし、一軸圧縮強度 10 N/mm^2 、 $E = 100 \text{ N/mm}^2$ 。

ただし、根固め部と杭周充填部の E は、一軸圧縮強度の 40% 時の割線係数が上記の値となるように補正係数を乗じた。は応力状態によって異なるが、おおよそ 0.14 となる。

地盤定数：杭先端位置を GL-40m、水中単位体積重量を 8 kN/m^3 とすると、解析モデル地盤上面の鉛直

有効応力は 296 kN/m^2 となる。地盤の初期応力は、これと釣り合うように設定した（静止土圧係数 $K_0=1.0$ ）。構成方程式は Duncan 等のモデルを採用²⁾した。砂地盤を想定して粘着力は $c=0$ とした。内部摩擦角 ϕ と剛性 K は、 N 値が 20、40、60 の 3 種類の地盤で杭先端沈下量が節部径の 10% に達した時に、先端抵抗が 430 NAp （430 はこの工法の先端支持力係数 (kN/m^2) 、 A_p は節部断面積）となるように設定した。その結果、 N 値が 20、40、60 でそれぞれ、 $(K, \phi) = (4500, 36.5^\circ)$ 、 $(8000, 43.5^\circ)$ 、 $(9000, 49.5^\circ)$ となった。Duncan 等のモデルに必要な他の定数は、 $R_f=0.8$ 、 $K_b=0.75K$ 、 $m=0.5$ 、 $n=0.3$ とした（記号は文献 3）参照）

3. 解析結果

図 - 2 (a), (b)に、地盤の N 値が 60 で、荷重が $430 \text{ NAp} = 430 \times 60 \times 0.8^2 \times \pi/4 = 12960 \text{ kN}$ 13000kN 時の耐力比²⁾の分布を示す。(a)が着底型、(b)が離間型である。耐力比が 1 になった要素は、破壊状態に至ったことになる。これらの図には、根固め部と杭周充填部の変形と耐力比を示し、杭体と地盤は変形のみを示している。

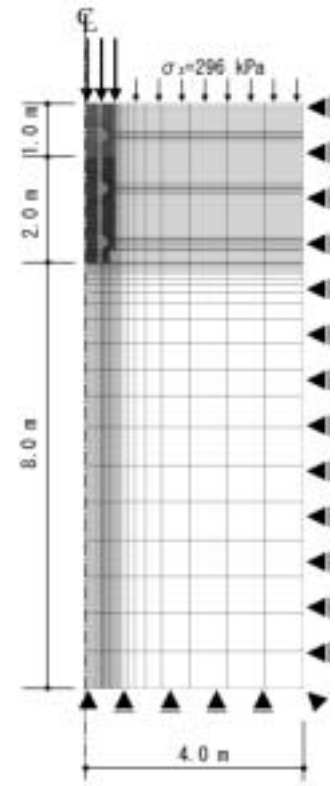
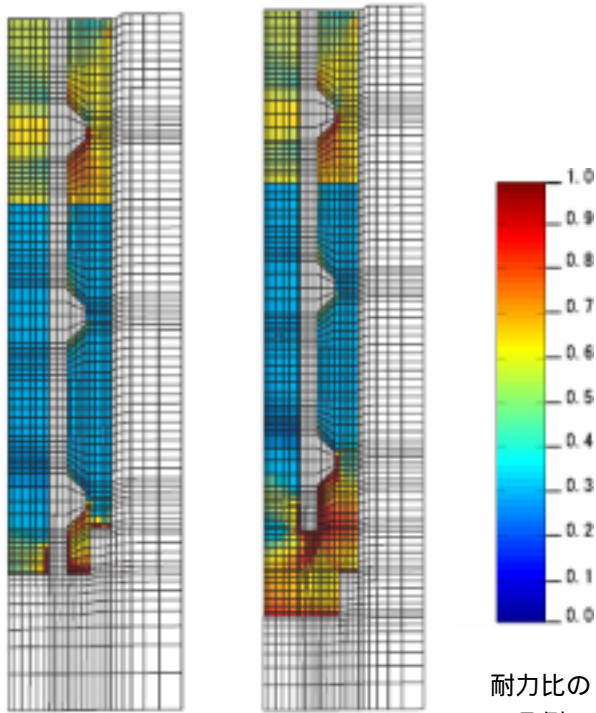


図 - 1 メッシュ割り
(着底型)



(a)着底型 (b)離間型(0.5m)
図 - 2 耐力比の分布 (13000kN時)

図 - 2 の根固め部を見ると、着底型、離間型とも最下端節部の下方で杭体と根固め部の境界付近を中心に破壊域が現れているが、離間型では杭先端から下方の部分まで破壊が進行し、破壊域が広く分布していることが分かる。

図 - 3 は、荷重 - 変位量関係を比較したものである。この図から、次のことが分かる。

根固め部の破壊を考慮していない「弾性」では、地盤から決まる支持力は、離間型の方が着底型より少し大きい。

しかし、根固め部の破壊を考慮すると、離間型の方が根固め部の破壊が進行しやすいため、支持力は着底型よりも小さくなる。

図 - 4 に極限荷重時における耐力比の分布を示す。(a)の着底型では、図 - 2 の状態から荷重が 10000kN あまり大きくなった時に最下端節部下方・外側の根固め部が局部的に破壊状態になっている。これに対して(b)の離間型では、図 - 2 の状態から荷重が少し大きくなっただけで最下端節部下方の根固め部全体に破壊が広がっていることが分かる。

根固め部の一軸圧縮強度や地盤のN値が異なる場合も、同じ傾向が見られている。

4. おわりに

本報では、根固め部の破壊を考慮した解析によって着底型の妥当性を検証した。離間型は所定の支持力時には問題はないが、根固め部の破壊が着底型よりも早く進行するた

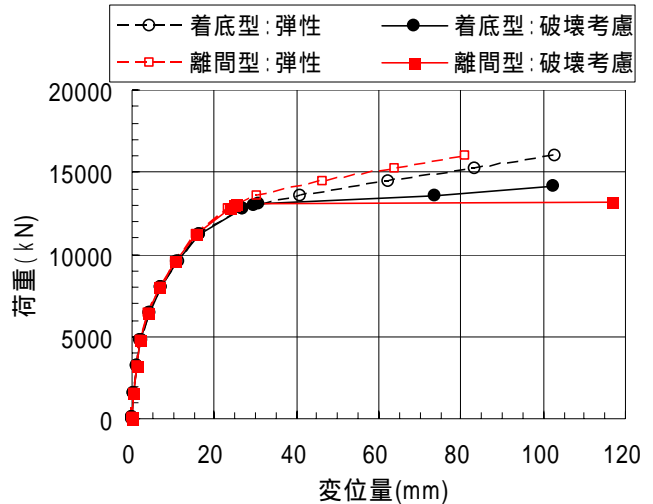
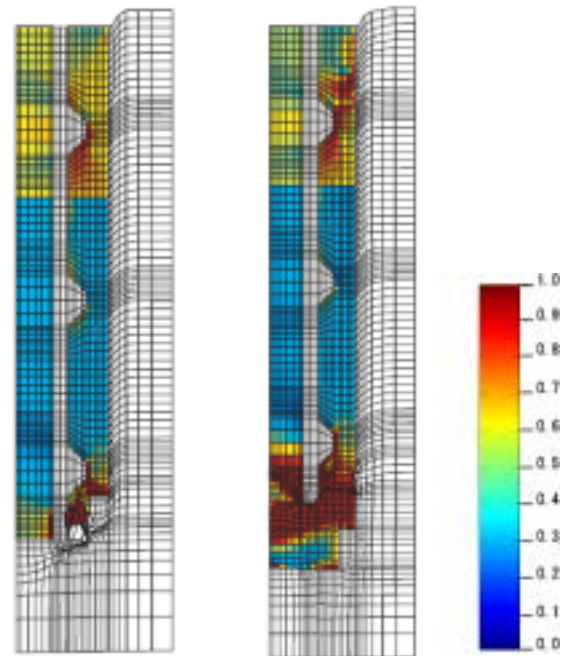


図 - 3 荷重 - 変位量関係



(a)着底型(14160kN) (b)離間型(13160kN)

図 - 4 耐力比の分布 (極限時)

め、着底型より冗長性が乏しくなる。したがって、着底型は、離間型と同等以上の支持力性能を持つといえる。

参考文献

- 1) 今 広人・小椋仁志・須見光二・藪内貞男：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)、第 40 回地盤工学研究発表会 (函館) 講演集、pp.1539-1540、2005.7
- 2) 山崎雅弘・竹脇 出・長岡弘明・中村恒善：既製コンクリート杭根固め部の構造耐力の施工形状依存性、構造工学論文集、Vol.41B、pp.467-476、1995.3
- 3) 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.

* ジャパンパイル (株)・工博

** 岡山理科大学助教授・工博