

杭の水平変位と根固め効果

東海大学大学院 学生会員 ○池谷 真希・Dyah Sri Utami

新日本開発工業 非会員 赤石 勝

東海大学 正会員 杉山 太宏

1. まえがき

近年では、鉛直支持力増加を期待して根固め杭が利用されることが多い。根固め部の断面積増加で杭の支持力増加を期待するには、根固め部の強度を支持地盤の強度以上にすることが必要だと考えられる。しかし、有限要素法（FEM）による支持力解析では、杭の断面積に比較し、根固め部が極端に大きくなければ根固め部自身の強度が支持力に及ぼす影響は大きくない¹⁾。また、根固め部が軟岩層内に位置する場合、軟岩の強度以上の均質な根固め部を築造するのは容易でない。根固め部の強度にバラツキがある場合、根固め部全体の強度や支持力の評価も難しい²⁾。著者らが調べた範囲では、地震力のような水平荷重を受ける根固め杭の支持力に関する研究は見いだせなかった。地震力により杭上部は破損しても杭先端部の影響は小さいためと考えられるが、不健全な根固め部を有する杭の水平支持力評価は必要と考えられる。

本研究では、根固め部を有する鋼管杭の水平荷重～変位関係をFE解析により検討した。根固め部の強度とその周囲の支持層である軟岩の強度を地盤反力係数に反映させ、その地盤反力係数の大小が根固め杭に発生する水平変位量や曲げモーメントにほとんど影響しない計算事例について報告する。

2. FEM プログラムと根固め部の地盤反力係数と拘束条件

Brebbia の有限要素解析プログラム Pframe.for の一部を改造し、鋼管杭を弾性バネで支持する梁要素を計算に用いた³⁾。弾性地盤上の梁に関するChang の式では、杭は無限長であり深さ方向の地盤反力係数も一定にする必要がある⁴⁾。FE解析では、鋼管杭径 0.6 m、ヤング係数 E と断面二次モーメント I の積 $EI=2 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 、図-1 の要素図に示すように根固め部の根入れ深さ $D_f=2 \text{ m}$ で杭長は 20 m（各要素長 1m）とし、杭先端部の地盤反力係数と杭の水平変位・曲げモーメントならびに変形拘束条件の影響を調べる。杭の水平変位に抵抗する弾性バネの地盤反力係数 k_h とは N 値には両対数目盛上で直線関係が認められている⁵⁾。軟岩で 100 に近い N 値には、その力学的意味に疑問は残るが、 N 値=100 で $k_h=2 \times 10^5 \text{ kN/m}^3 (=20 \text{ kgf/cm}^3)$ 、また、 N 値=1 で $k_h=2000 \text{ kN/m}^3$ と推定・利用した。

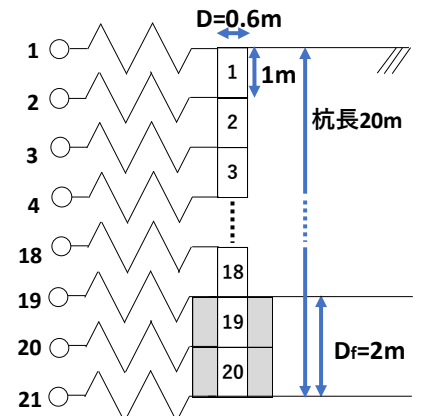


図-1 要素模式図

3. 計算結果と考察

3.1 プログラムチェックと根固め部の拘束条件

地盤反力係数 k_h を 0, 20, 2000 kN/m^3 としたバネ支承杭の水平変位量と曲げモーメント分布をそれぞれ図-2 と図-3 に示した。黒点線で示す $k_h=0$ は杭先端

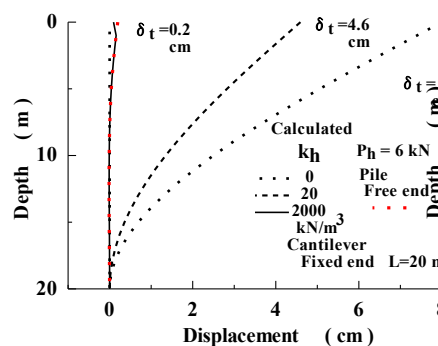


図-2 片持ち梁と杭水平変位

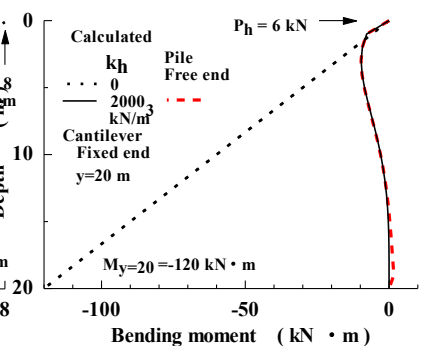


図-3 片持ち梁と杭曲げモーメント

キーワード 有限要素法, 地盤反力係数, 水平変位

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 TEL : 0463-58-1211 E-mail : sugi@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

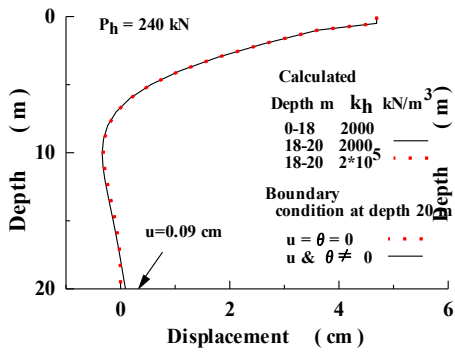


図-4 根固め杭
拘束条件と水平変位

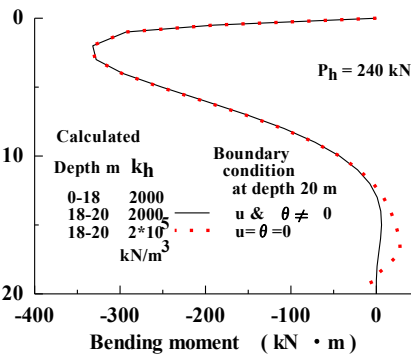


図-5 根固め杭
拘束条件とモーメント

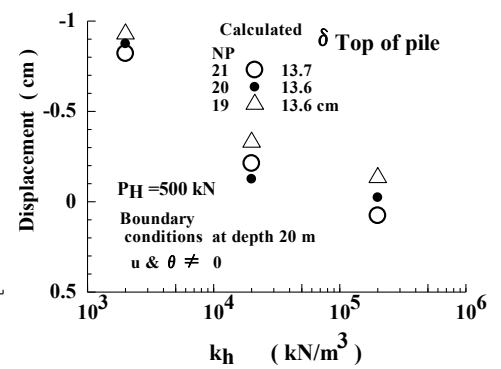


図-6 根固め部変位量と k_h

を固定した片持ち梁の FE 計算結果であり、変位量 8cm と固定端の曲げモーメント 120 kN・m が正確に計算されている。Chang の式による載荷部の杭頭変位量は 0.20 cm であるが、図-2 のそれは 0.11 cm である。 k_h を 20 kN/m³ (黒破線)、2000 kN/m³ (黒実線) としたバネ支承の片持ち梁の変位量は大きく減少する。しかし、 $k_h=2000$ kN/m³ で杭先端を自由にした赤点線のそれらは黒実線とほぼ同じである。図-3 の曲げモーメント分布図から、深度 18～20 m の杭先端根固め部強度の拘束条件が杭本体の変形に及ぼす影響は小さいことがわかる。

3.2 根固め効果

$k_h=2000$ kN/m³ は N 値≒1 の地盤を想定している。根固め部根入れ長 2 m が軟岩層内に位置する場合は、前節のとおり N 値≒100 に対応する根固め部の k_h を 2×10^5 kN/m³ とした。水平荷重 $P_h=240$ kN による水平変位量と曲げモーメント分布がそれぞれ図-4 と図-5 である。根固め部先端節点拘束条件を水平変位量とたわみ角 θ をゼロにした場合が黒実線、赤点線はそれぞれを自由にした計算結果である。Chang の式による載荷部の杭頭変位量は 7.87 cm、深さ 4 m で最大曲げモーメントが発生するが、両図のそれらは 4.70 cm と 332 kN・m (深さ 3m) であり大きな差は認められない。両図の計算結果では、根固め部拘束条件による水平変位量と曲げモーメントの差は極めて小さい。

杭頭水平荷重を 500kN に増加した根固め部の k_h と水平変位量の計算結果を図-6 に示した。根固め部 k_h は N 値で 1, 10 そして 100 に相当するが、根固め部の水平変位量は ± 0.5 cm 以下である。杭頭水平変位量は約 8.2cm、深さ 3m の最大曲げモーメント 8.3kN・m で鋼管の曲げ引張強度に近いが、いずれも k_h の大きさには影響されない。

4.まとめ

弾性地盤上の梁として扱う次元有限要素弾性解析で不健全な根固め部を有する杭先端部の変位量を計算し、施工された根固め部の健全性との関係を検討した。不均質で強度にバラツキがある根固め部を地盤反力係数の大きさの変化として表した計算結果であるが、根固め部の水平変位量は 0.05cm 以下であった。杭の水平支持力に近い荷重が作用しても、根固め部不健全性で杭が破壊する可能性は少ない。

参考文献

- 1) 池谷真希, 吉富隆弘, 赤石勝, 杉山太宏: 根固め基礎の有限要素支持力解析, 東海大学紀要工学部, Vol.59, No.1, 2019, pp.1-4
- 2) 土屋富男, 桑原文夫: 埋込み杭の根固め部の築造方法とその強度発現に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 18 巻, 第 40 号, pp.883-888, 2012 年 10 月
- 3) Brebbia, C.A. and A.I. Ferrante: "Computational Mechanics for the Solution of Engineering Problems", Pentech Press Ltd., 1978.
- 4) Chang, Y.L.: "Discussion on 'Lateral Pile Loading Tests' by Feagin, Trans. ASCE, 1937.
- 5) 地盤工学会編: 土質基礎工学ライブラリー6 "鋼グイ" 第 2 章水平支持力, pp.143, 1969.