

# 横荷重を受ける杭の非線形たわみ挙動の計算例

豊橋技術科学大学 学生会員 ○高木翔太, 吉野貴仁  
 豊橋技術科学大学 正会員 三浦均也, 松田達也

## 1. はじめに

横荷重を受ける杭基礎の設計には、地盤反力の評価が重要である。非線形性が強い地盤反力を数式で解くことは困難であるため、線形解析によって近似してきた<sup>(1)</sup>。しかし、この方法は地盤反力を適切に評価できない問題を有していた。そこで、本研究では線形解析に変わる地盤反力の近似方法を開発した。本論文では、新たに開発した非線形解析による近似方法と従来の近似方法とを比較した。

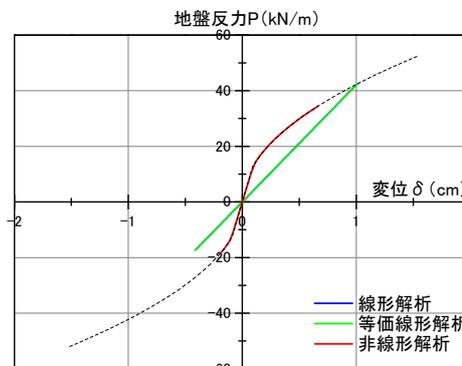


図1 地盤反力と変位の関係 (解析1)

## 2. 均質地盤での解析法の比較

均質地盤 (N 値 3), 杭 (STK400 角形鋼管 400×9, L=5m) の条件で杭頭に①Q=49.0(kN), M=0(kNm), ②Q=146.5(kN), M=0(kNm)の異なる 2 つの荷重を与え、各解析法の比較を行った。①Q=49.0(kN)は線形解析で杭頭変位  $\delta=1.0(\text{cm})$ になる時の荷重で、②Q=146.5(kN)は線形解析で杭頭変位  $\delta=3.0(\text{cm})$ になる時の荷重である。非線形解析の杭の分割数は 20 と設定した。

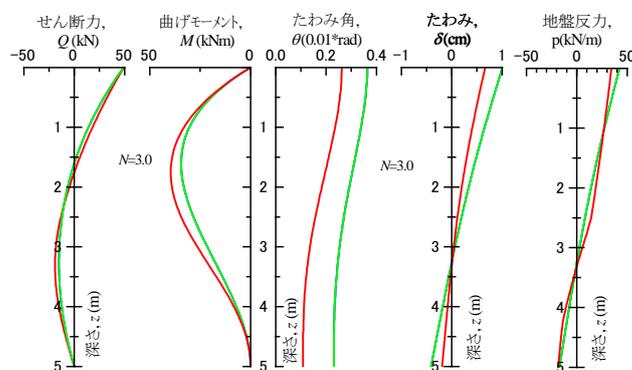


図2 杭深さ方向における分布 (解析1)

### 2.1 荷重条件①での解析法の比較 (解析1)

図1に示すのが、荷重条件①の各解析法の解析結果を比較したもので、地盤反力と変位の関係を示している。また、図2は杭の深さ方向における分布を示している。線形解析の結果がないのは、荷重条件①では線形解析で杭頭変位  $\delta=1.0(\text{cm})$ になる時の荷重であるため、等価線形解析と地盤反力の近似直線が同じになりグラフが重なっているからである。図1の点線は地盤がN値3における骨格曲線で、線形解析、等価線形解析は点線と直線で囲まれた部分を考慮できておらず、地盤反力を過小評価している。非線形解析は、折れ線により骨格曲線に沿って近似できており、地盤反力を適切に評価できている。その結果、非線形解析が他の解析法と比べ杭頭での変位を抑えることができている (図2)。

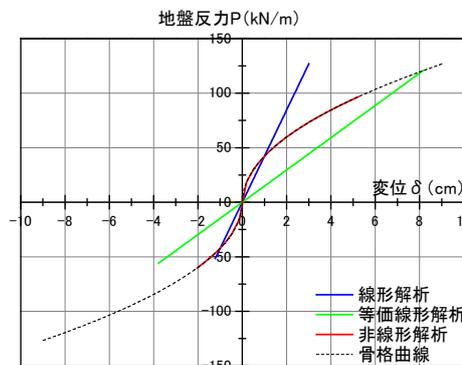


図3 地盤反力と変位の関係 (解析2)

### 2.2 荷重条件②での解析法の比較 (解析2)

図3, 図4に示すのが荷重条件②での各解析方法の比較である。この荷重条件は、線形解析で杭頭変

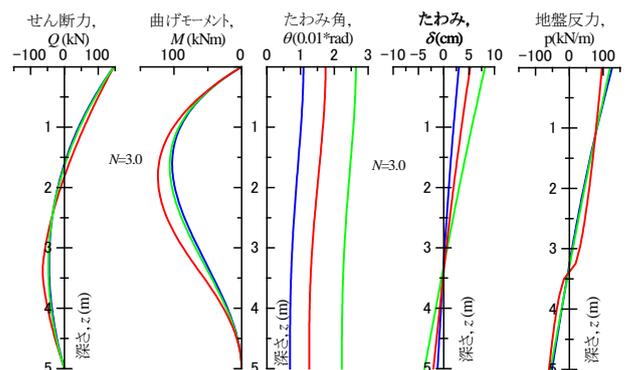


図4 杭深さ方向における分布 (解析2)

位が 3cm になる時の荷重で、比較的大きい荷重である。図 4 より杭頭の変位を比較すると、線形解析が一番変位を抑えていて、続いて非線形解析、等価線形解析の順となっている。線形解析は、地盤を過小評価している問題もあるが、本解析のように荷重が大きい場合は、地盤反力を過大評価してしまう問題もある。図 3 より変位が 1cm を超えたあたりから、骨格曲線を上回っており地盤反力を過大評価しているのがわかる。この過大評価の問題を解決するために、杭頭変位に応じて地盤反力を低減させているのが等価線形解析である。しかし、荷重条件①同様に地盤反力を過小評価しているため、杭頭での変位が他の解析方法に比べ大きくなっている。非線形解析では、荷重が大きくなっても、折れ線によって骨格曲線に沿って近似し地盤反力を適切に評価できることで、等価線形解析よりも変位を抑えられている。

### 3. 層状地盤での解析方法の比較（解析 3）

層状地盤（3層；1層目 N 値 3 厚さ 1m, 2層目 N 値 4 厚さ 2m, 3層目 N 値 5 厚さ 2m）、杭（STK-400 角形鋼管 400×9, L=5m）の条件で杭頭に  $Q=146.5(kN)$ ,  $M=0(kNm)$  を与えた。

解析結果は図 5 に示す通りで、点線は各層の骨格曲線を示したものである。層状地盤の場合は、各層の N 値に合わせて基準地盤反力を変化させ、骨格曲線に沿って折れ線により近似する。図 5 より層ごとの骨格曲線に沿って近似できているのが確認でき、層状地盤においても、非線形解析は均質地盤同様に地盤反力を適切に考慮することができていると言える。線形解析は各層の基準地盤反力を通る直線で近似している。等価線形解析は杭頭変位が 6.22cm と算出され、各層の地盤反力を変位が 6.22cm の点と原点を結び直線近似している様子がわかる。

### 4. まとめ

非線形性が強い地盤反力を 3通りの方法で近似する解析法について解析結果を比較した。均質地盤においては、荷重の大きさに関わらず非線形解析は骨格曲線に沿って折れ線で近似し、地盤反力を適切に評価できていることを確認した。また、層状地盤でも層ごとに基準地盤反力を変化させ、骨格曲線に沿って近似することができる。線形解析・等価線形解

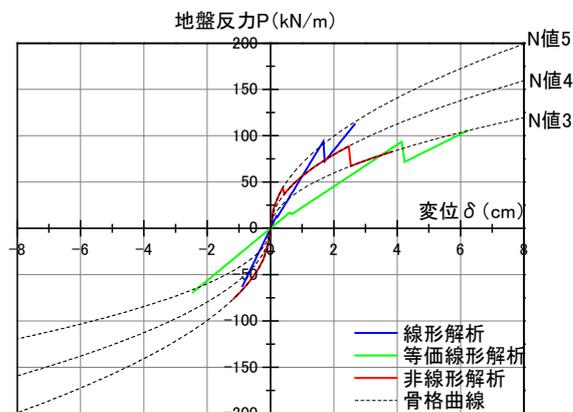


図 5 地盤反力と変位の関係（解析 3）

析では、原点を通る一直線で地盤反力を近似しているため、本来の地盤反力を適切に考慮できない。

過去に行った杭基礎の実験を基に非線形解析による杭基礎の設計の妥当性を検証した。杭頭に  $Q=12.8kN$ ,  $M=115.2kNm$ （線形解析で杭頭変位  $\delta=1cm$  と算出された荷重）を与えた時の実験値と解析値の杭頭変位を比較すると、実験値の杭頭変位が解析値の約 3分の1になり、他の改良体の影響などを考慮したとしても実験値が解析値に比べ約 2分の1と算出された。以上のことから非線形解析を用いた杭基礎の設計は安全側であると確認した。さらに今後は、比較的大きい荷重に対しての載荷試験を行い、非線形解析の妥当性の検証を行う予定である。

### 5. 参考文献

- 1) 建築基礎構造設計指針 6.6 節；日本建築学会 (2001), pp. 262-296.
- 2) 右城猛(2006)；鋼矢板を用いた自立式土留め工の設計，四国地方整備局研修資料
- 3) 三浦均也，松田達也，羽柴慶太，KEODUANGCHITH (2014)；風荷重を受ける看板・交通標識を支持する杭基礎の重複反射法を用いた設計法，第 23 回調査・設計・施工技術報告会，地盤工学会中部支部
- 4) 道路標識設置基準・同解説；日本道路協会 (1987)
- 5) 三浦均也，高木翔太，ケオドゥンチット・ソムチット，松田達也 (2014)；水平荷重を受ける支柱 - 杭一体構造の設計・施工法とその載荷試験，第 59 回地盤工学シンポジウム，地盤工学会
- 6) 三浦均也，松田達也，高木翔太(2015)；看板を支持する層状地盤における杭基礎構造の設計・施工例，第 24 回調査・設計・施工技術報告会，地盤工学会中部支部