

円錐状多翼鋼管杭の支持力機構に関する研究

正会員 ○浅見 将史*1
同 土屋 勉*2
吉田 勝之*3

1. はじめに

軟弱地盤における基礎杭として、円錐状多翼鋼管杭(図1)が開発¹⁾されている。これは、杭に取り付けた複数の翼による回転推進力によって低騒音、無排土で設置され、設置後は翼による支持力増を期待する特殊杭であって、住宅地等の狭隘敷地でも施工可能である。実杭の載荷試験結果より、通常のスレート杭に比べてこれらの杭は大幅な支持力増大が認められているが、その支持力機構に関する理論的検討は未だ不足している。

本論文は、円錐状多翼鋼管杭の支持力機構を明らかにすることを目的として、杭設置によって生ずる残留応力について検討した後、杭頭載荷時における杭体軸部・先端部・翼部の支持力～沈下関係をバイリニアで評価するモデルを示し、これを荷重伝達法に組み込んで、実杭の載荷試験4例のシミュレーションを試みたものである。

2 残留応力と杭頭載荷応力

2.1 残留応力測定例及びその原因

図2は、円錐状多翼鋼管杭の載荷試験開始前に測定された杭体歪分布である。杭打設前の歪度を基準にしているため、杭設置による残留応力を表したものと考えられる。現場(埼玉県大利根)は、加須低地と呼ばれる沖積低地の一面に位置しており、地表面はG.L.-8mまでは比較的均質な砂が分布しているが、それ以深はN値0~4程度の軟質な粘性土が深度25mまで厚く堆積している。

杭体歪度分布を見ると、杭軸部(G.L.-7m以浅)では引張歪が発生するが、それ以深では徐々に圧縮歪が増大する分布となっている。土を押しつけて施工される杭(Displacement pile)では、杭設置によって残留応力が発生することが知られている。しかし、図2の分布は通常の打込み杭の場合とかなり異なっているため、この発生メカニズムについて以下に考察する。

通常の杭では杭頭部の打撃力や押し込みによって貫入されるため、杭頭部の荷重を取り去っても、図4(1)のような圧縮力が杭体に残留することが古くから報告²⁾されている。それに対して、多翼鋼管杭では、図3に示すような杭の回転による翼部の推進力が杭軸部の周面摩擦力や杭先端支持力に打ち勝って貫入する。この後、杭頭部回転力を取り去っても軸力の変化は小さいものと推定される。これらのことから、本論文では、多翼鋼管杭の残留応力が図4(2)の実線に示すような階段状の軸力分布になると考えた。図2では測定位置が多くないため、これを明確に説明できるまでは至っていないが、歪の分布傾向は近似している。

なお、図4には杭打設以前の状態を基準にした杭体軸力を破線で示した。従って、杭打設後の杭頭載荷直前を基準とする通常の載荷試験による軸力は、破線と実線の差すなわち斜線を施した部分となる。従って、残留応力のある杭では、それが無い杭に対して、次のような特性を有することになる。

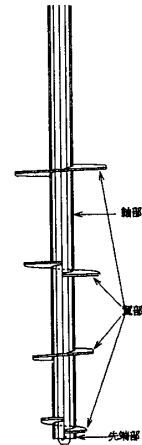


図1 多翼鋼管杭

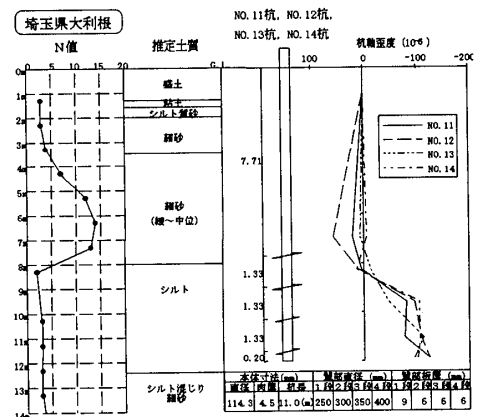


図2 杭設置後の杭体歪分布

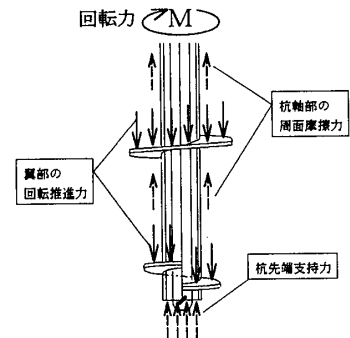


図3 杭設置中に作用する杭体各部の応力

(1) 打込み、押込み杭：軸部の表層付近では負の摩擦力が残留し、周面摩擦力が大きい。深部では正の摩擦力が残留し、周面摩擦力は小さい。先端部では圧縮力が残留し、先端支持力は小さい。

(2) 多翼鋼管杭：軸部では正の摩擦力が残留し、周面摩擦力は小さい。先端部では圧縮力が残留し、先端支持力は小さい。翼部では翼上面に負の応力が残留し、翼の支持力は大きい。

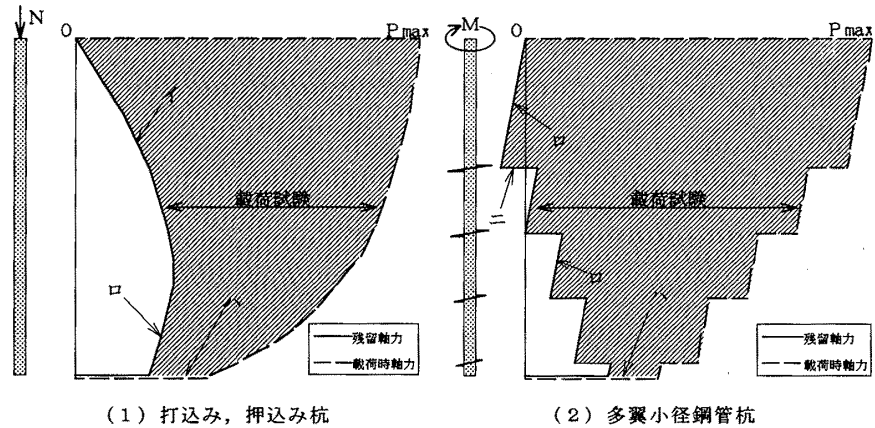


図4 杭体軸力分布の考え方

2.2 杭体各部の支持力発揮過程

図5は、上記の残留応力を考慮に入れて、図4(1)及び(2)の杭体各部の支持力～沈下関係をモデル的に表したものである。実線は、杭頭載荷が開始されてからの各部の支持力発揮過程である。

多翼鋼管杭についてみると、杭設置中の杭軸部には正の摩擦力が作用する。この摩擦力の残留がロの場合、杭頭載荷に伴って摩擦力が増加後に減少し、又は残留応力がロ'のように大きい場合は、載荷試験開始時から減少する場合も考え得る。杭先端部では、圧縮軸力が残留(ハ、ハ')するため、残留応力が大きいほど杭頭載荷による先端部支持力は小さくとなると考えられる。翼部では、杭設置中の回転推進力による反力が翼上面に作用するため、設置後は負の応力(ニ、ニ')が残留すると考えられる。杭頭載荷による翼部支持力は大きなものになると考えられる。

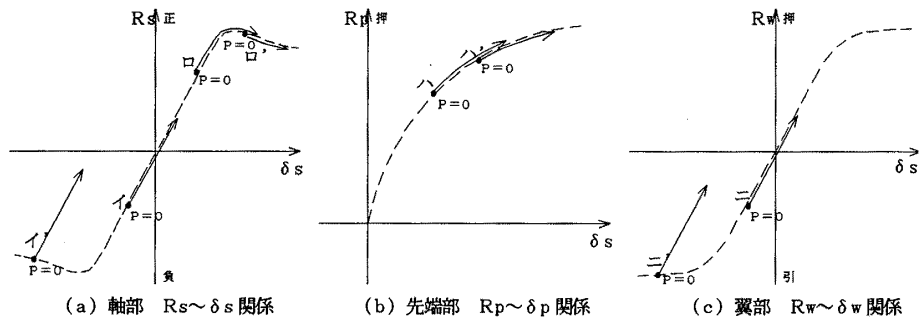


図5 杭体各部の支持力発揮過程

3 載荷試験シミュレーション

3.1 試験杭及び地盤概要

図6に示す多翼鋼管杭の載荷試験4例を解析対象とした。埼玉県大利根 (NO.3, NO.4) の地盤は図2に同じであるが、佐賀県神崎 (TW1, TW2) の敷地は筑後川によって形成された後背湿地帯である。

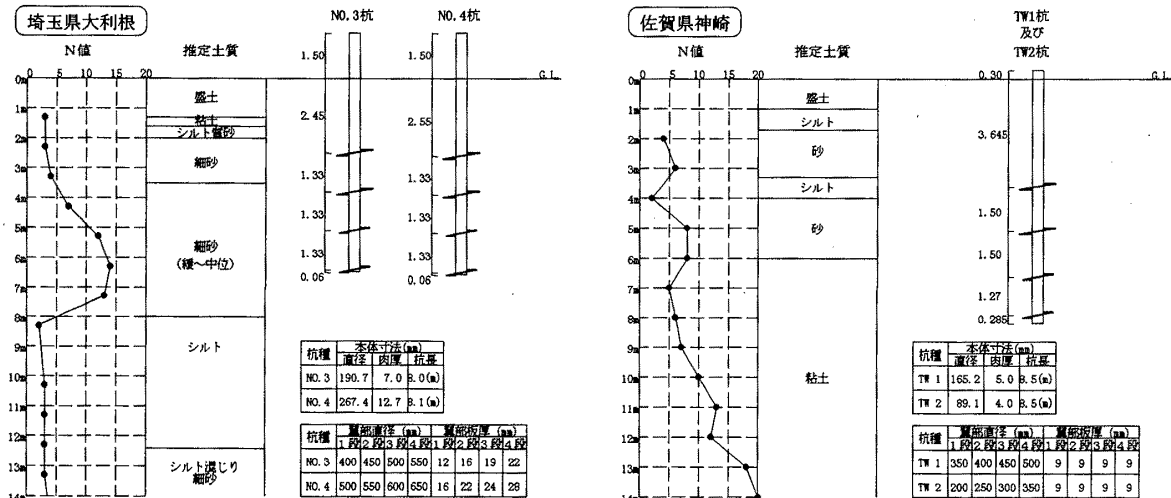


図6 土質柱状図及び杭仕様

3.2 杭体各部の支持力～沈下関係

図7は、代表例として大利根 NO.4 杭の軸部、先端部及び翼部での支持力～沈下関係について載荷開始時点基準にしてプロット（波線）したものである。種々の形状を示すが、本論文では次の方針でバイリニアモデル（実線）に置き換えた。すなわち、基本的には最大（最小）の支持力を示した時点折点としているが、折点が明確でない場合は最大支持力の1/2を折点とした。

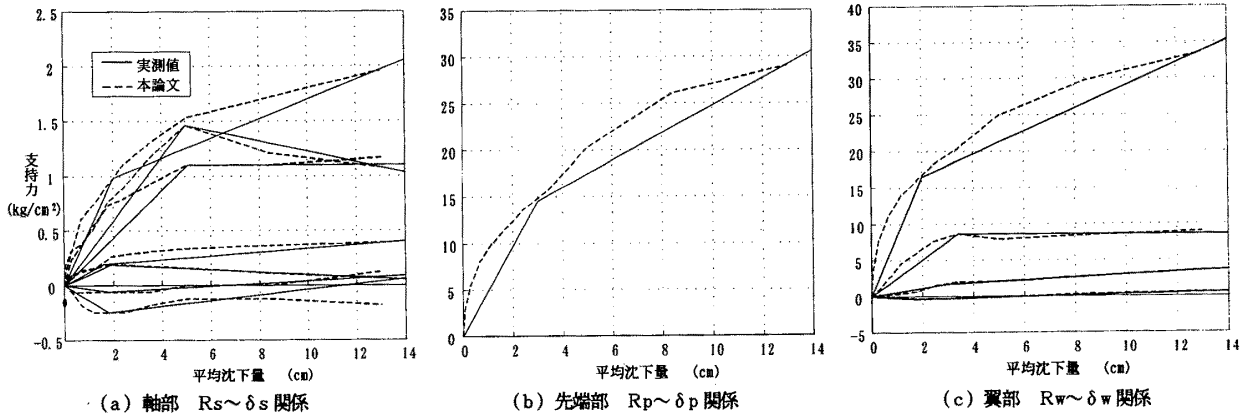


図7 杭体各部の支持力～沈下関係

それによると、これらの支持力～沈下関係は、双曲線的に増加するタイプ、及び最大支持力に達した後に減少するタイプ、更にこれらとはそれぞれ逆のタイプに分類される。先端部は双曲線的に増加するタイプ、翼部は双曲線的に増加するタイプが多いのに対して、軸部は様々なタイプが見られるのが分かる。

3.3 バイリニアモデル

図8は、本論文で用いる荷重伝達法であって、杭軸部及び翼部には円筒シェル要素で分割し、これらの節点に地盤を表現する独立バネを設けている。

図9は、図7の折点前及び折点後のバネ係数をK1及びK2(kg/cm³)として、両者の関係をプロットしたものである。軸部については、ほぼ全象限にわたって分布しており、杭別の関連性は見られない。このことから、4杭全てが残留応力の影響を同様に受けている現象を説明できる。また、K1が負になっているものもあり、残留応力は極めて大きいことが理解されよう。先端部は、全てが双曲線的に増加するタイプであり、打設中と同様に圧縮の応力が増加し続けるため、K1とK2には正の相関性がある。翼部は、ほとんどが双曲線的に増加するであり、かつ深部にある翼ほど負担力大きい傾向が見られたことから、回転推進力による残留応力が深部程大きいと云える。

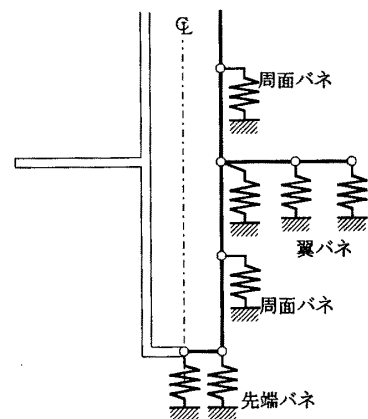


図8 本論文の荷重伝達法

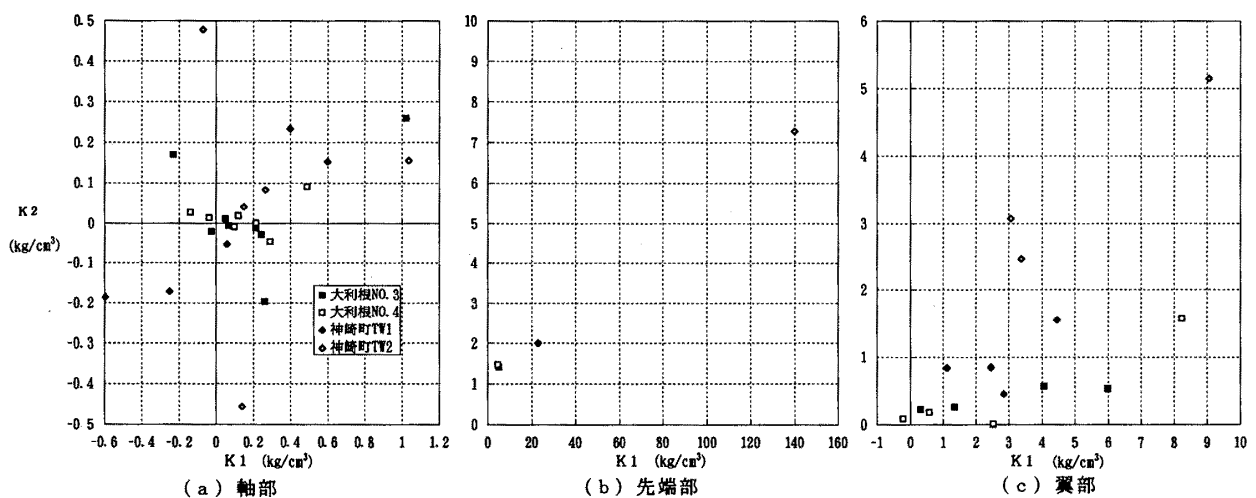


図9 K1～K2関係

3. 4 杭頭荷重～沈下曲線

図10は、前述のバイリニアモデルを組み込んだ荷重伝達法解析(LTM)における杭頭の荷重～沈下曲線を実測値と比較したものである。これを見ると、最大荷重の1/3～1/2程度までは、解析値の沈下剛性は実測値よりも小さく、これを過ぎると大きく評価されている。これはバイリニアモデルの折点の設定位置を反映したものである。大利根NO.3及びNO.4杭の実測では、載荷重が70tを過ぎてから急激な沈下が発生するため、解析値と離れる傾向があるものの、▶印で示した平均翼径の10%沈下時まではよく近似している。神崎TW1及びTW2杭においては、最大荷重になるまで解析値と実測値は極めて近似している。

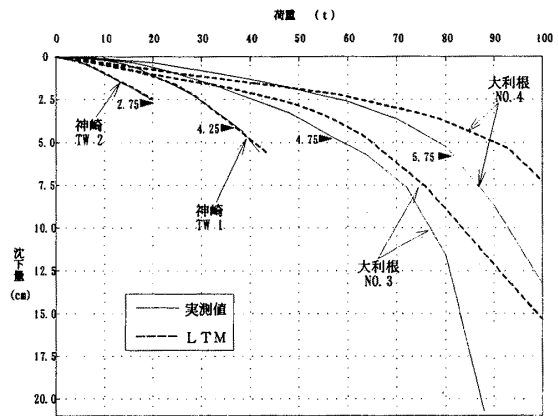


図10 荷重～沈下曲線

3. 5 杭体軸力分布

図11は、各試験杭の①長期荷重、②短期荷重、③極限(基準)荷重時の杭体軸力分布である。ここでは、平均翼径の概ね10%程度の杭頭沈下量を示した時点が③であって、その約1/3を①、約2/3を②としている。それによると、翼部で軸力分布に段差を生ずること、それが載荷の進行に伴って大きくなって、大部分の荷重を翼部で負担するようになるという、これまでみられた実測における多翼鋼管杭の特徴を解析値がよく表している。

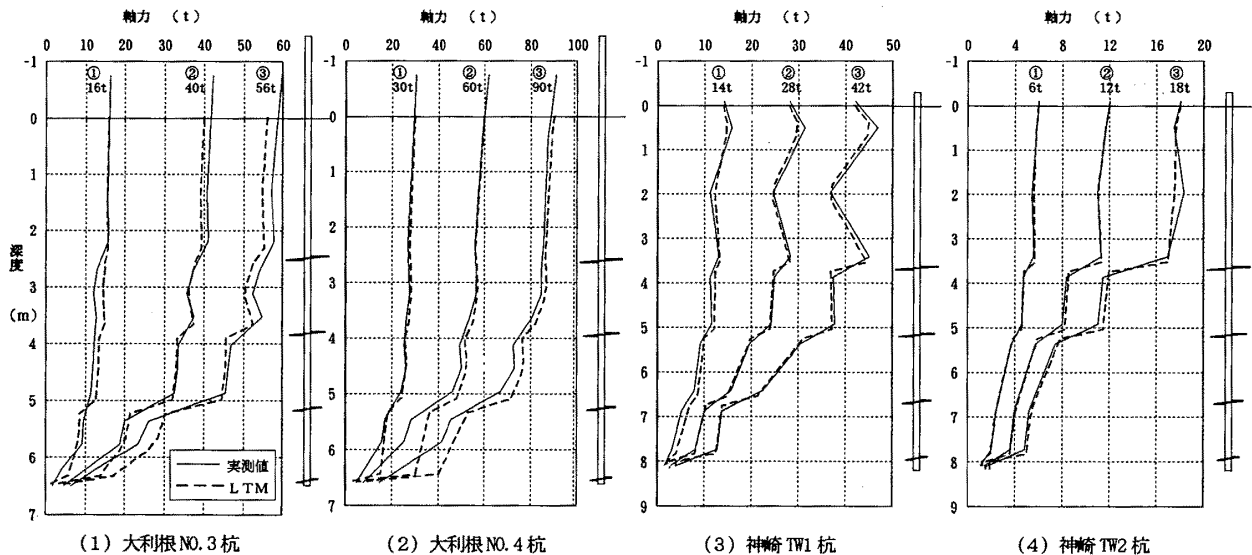


図11 杭体軸力分布

4. まとめ

本論文では多翼鋼管杭の支持力機構について検討してきたが、以下のようにまとめられる。今後は、杭打設中の載荷試験データの収集や模型実験を行うなどにより、残留応力を明確にすると共に、荷重伝達法に組み込む入力常数について更に検討していく予定である。

- ①多翼小径鋼管杭の設置に伴う残留応力が発生する。
- ②このため杭頭載荷による各部負担力は、残留応力がない場合に比べ、軸部及び先端部では小さくなるが、翼部では大きくなるという特徴がある。
- ③軸部、先端部及び翼部の支持力～沈下関係をバイリニアモデルで表し、これを組み込んだ荷重伝達法によって、多翼鋼管杭の荷重～沈下挙動及び軸力分布の推移をシミュレートすることができた。

参考文献

- 1) 板谷國夫・吉田勝之・桐山伸一：多翼小径鋼管杭の鉛直載荷試験，大会学術講演梗概集，1987.10. 他一連の報告
- 2) A.H.Hunter & M.T.Davison: Measurements of Pile Load Transfer, Performance of Deep Foundations, ASTM STP444, 1969

*1室蘭工大・大学院生 *2同・助教授・工博 *3千代田工営(株)