

先端翼付き鋼管杭の引抜き抵抗特性に関する実験的研究

九州大学大学院工学府 学生会員○土淵 貴臣 九州大学大学院工学研究院 フェロー 大塚 久哲
JFE エンジニアリング (株) 正会員 棚邊 隆 九州大学大学院工学研究院 正会員 山崎智彦

1. はじめに

風力発電タワー・送電鉄塔などの搭状構造物においては、風荷重・地震荷重などに起因してその基部に大きな転倒モーメントを生じる。この転倒モーメントに対して、既往の直杭に比べ先端形状の異なる翼杭では大きな引抜き抵抗が期待され、一翼杭や多翼杭の引抜き試験が複数報告されている¹⁾。しかし、これらは一方向引抜き試験が多く、交番載荷試験の例は少ない。また、現地引抜き試験によりその耐力を確認した結果を用いている場合も多く、翼杭の先端部における引抜き抵抗機構はまだ未解明である。

このような状況を踏まえ、本研究では、翼杭の引抜き抵抗機構を解明し、より合理的な翼杭の耐震設計法の開発に資するため、交番載荷試験を実施し、検討を行った。

2. 実験概要

試験杭は、直杭の先端に半円を互い違いにつけた先端羽根付き鋼管杭（以下、翼杭と呼称）を使用した。ここで先端径の違いによる支持力特性の比較を行うため、翼径の異なる2種類の杭を用いた。その形状を図-1に示す。

模型砂地盤は、ノズルから投下される砂をネットに接触させ砂を分散させて撒きだす「ノズル・ネット法（NN法）」²⁾により二層地盤を作成した。事前に数回地盤を作成し、再現性を確認した。使用した砂の物理的特性を表-1に示す。また、今回の実験では、上層の相対密度は80%程度、下層の相対密度は100%程度とした。求めた相対密度と上載圧よりN値の算出を行うことができるが、上載圧50kPaをかけた時は支持層のN値が30程度に、100kPaかけた時はN=45程度になる。一方、上層は支持層よりもN値が小さく、上載圧に応じてそれぞれN=15程度およびN=25程度となる。杭の設置状態と土圧計の配置を図-2に示す。

載荷方法は、地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」³⁾に準拠し、交番載荷試験を行った。試験ケースを表-2に示す。載荷する荷重の振動数は0.5Hz、1Hz、2Hzの3種類で行った。この時、載荷速度をHzで設定したため、各変位振幅で載荷速度が異なり、変位が大きくなるにつれ載荷速度は速くなる。サイクル数は復元力特性に主眼をおき、1サイクルで行った。また、載荷は引き側から開始した。

3. 実験結果および考察

ケース1における先端抵抗力と変位量の関係を図-3に示す。ここで先端抵抗力はひずみゲージの値より算出した。図は荷重、変位ともに引抜き側を正としている。引抜き側では載荷初期において変位とともに荷重は単調に増加し、6mm付近で荷重は最大値を示し、その後荷重ピークは緩やかな減少傾向となった。一方、押込み側では載荷初期こそ引抜き側と荷重-変位曲線の傾き（初期勾配）は概ね等しくなっているが、変位が増加するにつれ荷重も増加し、今回の実験ではまだ極限状態には至っていないものと考えられる。表-3にケース1～8の杭頭荷重と先端引抜き抵抗力の値を示す。杭頭荷重はアクチュエータに取り付けたロードセルによって測定した。

先端引抜き抵抗力に上載圧、翼径、載荷速度の各パラメータが及ぼす影響について検討する。

図-4は上載圧の影響について示したものである。翼径100mmで

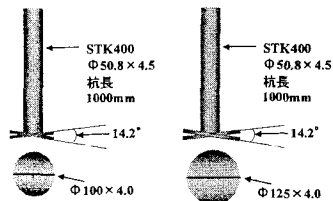


図-1 翼杭の形状(単位: mm)

表-1 砂試料の物性

試料名	熊本砂砂 6号
土粒子密度 G_s	2.607 g/cm ³
最大密度 ρ_{dmax}	1.494 g/cm ³
最小密度 ρ_{dmin}	1.203 g/cm ³
平均粒径 D_{50}	0.38 mm
均等係数 U_c	1.69

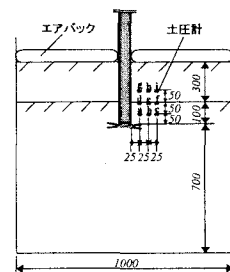


図-2 実験土槽概要(単位: mm)

表-2 試験ケース

ケース	翼径 (mm)	上載圧 (kPa)	載荷荷重の振動数 (Hz)	変位振幅 (mm)
1	100	50	0.5	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15
2	100	100	0.5	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15
3	100	50	1.0	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15
4	100	50	2.0	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15
5	125	50	0.5	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15
6	125	100	0.5	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15
7	125	50	1.0	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15
8	125	50	2.0	±0.5, 1.2, 4.6, 8, 10, 15

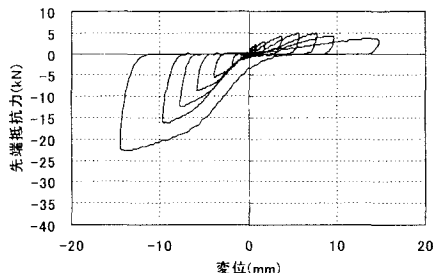


図-3 先端抵抗力-変位(ケース1)

は上載圧 50kPa(N=30)時 4.96kN,100kPa(N=45)時 7.25kN となっており,上載圧が2倍(N 値が1.5倍)になると先端引抜き 抵抗力は1.46倍となった。一方, 翼径125mmでも同様に上載 圧が大きくなると先端引抜き抵 抗力は増加し,100kPa(N=45)時 は50kPa(N=30)時の1.68倍と なった。これより先端引抜き抵抗 力は上載圧に依存して増加する ことが確認された。

図-5は翼径の影響について 示したものである。翼径100mm と125mmを比較すると,上載圧 50kPa時1.19倍,100kPa時1.25倍となり,ほぼ翼径に比例して 先端抵抗力も増加することが確認された。

図-6は載荷荷重の振動数が先端引抜き抵抗力に及ぼす影響 について示したものである。翼径100mmではそれぞれ4.5~4.9 kNの値をとり載荷速度の影響はあまり確認されなかった。同様に翼 径125mmにおいても2Hzの時に他に比べ若干大きな値となっ ているもののその差は顕著なものではなかった。したがって,今回の ような砂地盤においては載荷振動数つまり,載荷速度が先端引抜き 抵抗力に及ぼす影響は,地震時を想定した0.5~2Hz程度の載 荷振動数ではほとんどないと考えられる。

図-7~9は図-2に示す土圧計の最大土圧変動分布を示して いる。土圧計aが最大値を示した時間における値を示している。い ずれのケースにおいても杭周面に近いほど大きな値となっている。 土圧変動量は上載圧が大きいほど,また,翼径が大きいほど増加 する傾向を示しており,抵抗力と変位の関係と同様の結果となった。 また,分布形状においても上載圧と翼径が大きいほど分布は広くな っている。したがって,地盤の抵抗領域は上載圧および翼径が 大きいほど広がると考えられる。

4. まとめ

本研究では翼杭の引抜き抵抗機構を解明し,より合理的な翼杭の 設計法の開発に資することを目的に杭の交番載荷試験を実施し,上 載圧,翼径,載荷振動数をパラメータとしてそれらが杭先端の挙動に 及ぼす影響について検討した。

試験結果より,先端引抜き抵抗力は上載圧に依存し,上載圧が大 きくなると,すなわち支持層のN値が大きくなると抵抗荷重は増大す ることが確認された。また,先端引抜き抵抗力と翼径は比例関係にあるものと思われる。載荷速度が先端引抜き抵抗 力に及ぼす影響は今回の砂地盤では確認されなかった。これは土圧変動分布からも同様の結果となった。今後は既 存の抵抗力提案式による値との比較,さらには翼杭先端部における鉛直地盤抵抗特性について検討を行っていく予 定である。

参考文献 1)大和真一・中川宏人・前嶋匡・梅田雅芳:先端羽根付き鋼管杭の引抜き耐力特性について,第36回地盤工学研究発表 会,pp.1567~1568,2001.6 2)島田雅夫・土屋勉・菊池ゆかり:ノズル・ネットを用いた模型地盤の作成方法,日本建築学会北 海道支部研究報告集,Vol.75,pp.21~24,2002 3)地盤工学会:地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説-第一回改 訂版-,2002.5

表-3 杭頭荷重と先端引抜き抵抗力

ケース	杭頭荷重(kN)	先端引抜き抵抗力(kN)
1	5.84	4.96
2	8.91	7.25
3	5.63	4.53
4	6.00	4.90
5	6.39	5.40
6	11.42	9.09
7	6.70	5.39
8	7.63	5.91

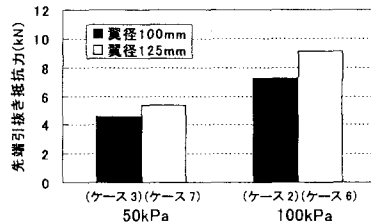


図-5 翼径の影響

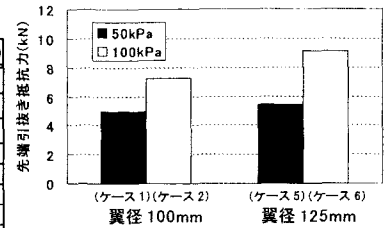


図-4 上載圧の影響

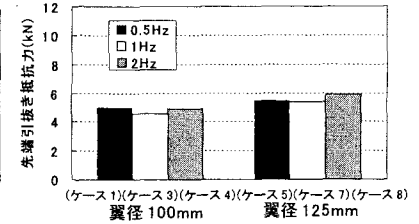


図-6 載荷振動数の影響

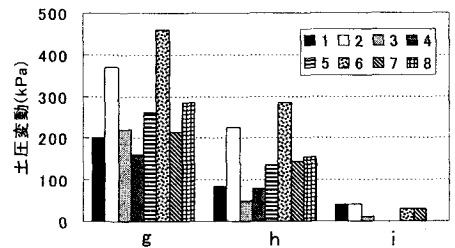


図-7 土圧変動分布(g,h,i)

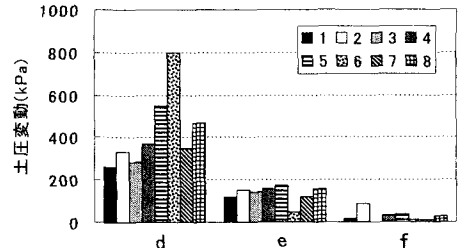


図-8 土圧変動分布(d,e,f)

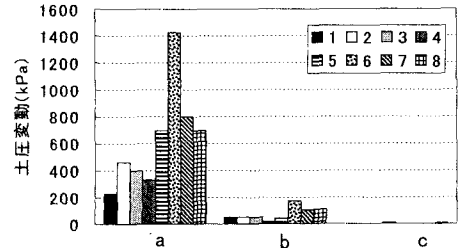


図-9 土圧変動分布(a,b,c)