

先端翼付き鋼管杭の引抜き耐力に関する模型実験

九州大学工学部 学生会員○武本 真弓 九州大学大学院工学研究院 フェロー 大塚 久哲
日本鋼管(株) 正会員 棚瀬 隆 九州大学大学院工学府 学生会員 榎 豊和

1.はじめに

風力発電タワー・送電鉄塔などの塔乗構造物は、風荷重・地震荷重・架線張力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は、主として基礎自重を抵抗要素として設計することが一般的であり、基礎フーチングは強度上の必要面積を大きく上回る寸法に設計されている場合が多い。

一方、先端翼付き鋼管杭(以下、翼杭(つばさぐい)と呼称)はその先端形状により、既往の杭に比べて大きな引抜き抵抗が期待され、一翼杭或多翼杭の引抜き試験が複数報告されている¹⁾。しかし、この中で交番載荷の例は少ない。

本研究では、今後、さまざまな条件での翼杭の引抜き抵抗力を検討するため、今回は、砂地盤を作製し直杭と比較をしながら載荷方法を変化させた模型実験を行い、引抜き抵抗の違いについて検討した。

2. 實驗概要

模型杭は、「直杭」(STK400, $\Phi 50.8 \times 4.5$, 杭長 1000mm)と「翼杭」(直杭の先端に半円を互い違いにつけた先端翼付き鋼管杭)の二種類を使用した。翼杭の形状を図-1に示す。

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「NN法」²⁾により二層地盤を作製し、既定のN値を出すためにエアバックにより49kPaの上載圧をかけた³⁾。事前に数回地盤を作製し、再現性を確認した。使用した砂の物理的特性を表-1、地盤条件と杭の設置位置等を図-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」⁴⁾に準拠し、一方向単調引抜きと交番載荷の二種類を行った。連続載荷方式の変位制御で行い、今回は設計荷重の妥当性を確認することが目的ではないので、初期荷重は加えていない。実験ケースを表-2に示す。

計測は、杭頭荷重、杭頭変位、杭周辺の土圧(図-2のa~h)について行った。

3. 実験結果および考察

ケース3, 4の杭頭荷重-変位曲線を, 単調引抜きと重ねて図-3, 4に示す。直杭は0.5mmステップの2サイクル目で, 単調引抜きの荷重-変位曲線から乖離している。翼杭は10mmステップの2サイクル目から乖離しており, 翼杭の10mmステップ3サイクル目の荷重0.73kNは1サイクル目の荷重2.22kNの約3分の1になっている。

実験値より求めた、引抜き側の第1限界抵抗力⁴⁾(単調引抜き側の杭頭荷重-変位曲線を両対数にとった時に現れる折れ点における荷重)・第2限界荷抵抗力⁴⁾(杭先端径の10%変位内での最大杭頭荷重)を表-3に示す。翼杭の第2限界抵抗力は直杭よりも大きな値を示し、本実験では単調引抜きと交番載荷はともに直杭の約8倍になった。押込み側の1サイクル目の杭先端径10%変位での直杭と翼杭の抵抗力を比較すると、4.5kN, 17.5kNで約4倍となっており、翼杭が引抜き抵抗に強い杭であると言える。また、ケース1, 2の第2限界抵抗力と、ケース3, 4の同変位の3サイクル目の荷重を比較したところ、直杭も翼杭も1/3~1/4の大きさになった。

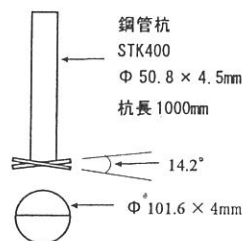


図-1 翼杭の形状

表-1 砂試料の物性

試料名	熊本硅砂 6 号
土粒子密度 G_s	2.607 g/cm^3
最大密度 $\rho_{d \max}$	1.494 g/cm^3
最小密度 $\rho_{d \min}$	1.203 g/cm^3
平均粒径 D_{50}	0.38 mm
均等係数 U_c	1.69

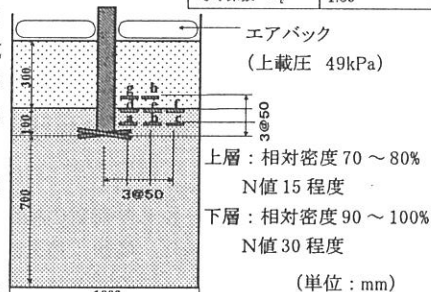


図-2 実験土槽概要

表-2 実験ケース

ケース	試験杭	種類	制御方法
1	直杭	単調引抜き	載荷速度 0.01mm/s
2	翼杭	単調引抜き	載荷速度 0.01mm/s
3	直杭	交番載荷	載荷速度 0.01mm/s 5ステップ(±0.5、1、2、4、10mm) 各ステップ3サイクル
4	翼杭	交番載荷	載荷速度 0.01mm/s 5ステップ(±0.5、1、2、4、10mm) 各ステップ3サイクル

表-3 限界抵抗力とその変位

ケース		荷重 (kN)	変位 (mm)
1	第1限界抵抗力	0.29	0.20
	第2限界抵抗力	0.41	2.00
2	第1限界抵抗力	2.30	3.80
	第2限界抵抗力	3.01	9.96
3	第2限界抵抗力	0.26	0.50
4	第2限界抵抗力	2.22	10.00

(*ケース3, 4では1サイクル目の値である.)

単調引抜きと交番載荷の抵抗力の違いを詳しく見るために、1サイクル目の荷重と3サイクル目の荷重を交番載荷と単調引抜きの比で表したものを図-5に示した。直杭では、1サイクル目の荷重と3サイクル目の荷重の差は、変位0.5mmでは大きい、それ以降はほぼ同じ程度の差になっており、初期段階での抵抗力の変化が大きいと言える。直杭で交番載荷を行う場合、第1限界抵抗力の現れる変位内では繰り返しによる抵抗力の低下はほとんどなく、その変位を超えた後に乖離現象が現れるとされているが⁹⁾、今回の実験でも第1限界抵抗力が現れた0.2mmより大きい0.5mmステップで単調引抜きの値からの乖離が始まっているので、同じような乖離現象が起きていると言える。

一方、翼杭でも4mmのステップまでは顕著な荷重低下は見られず、10mmステップから大きく乖離している。翼杭の第1限界抵抗力が現れた変位は約4mmであるので、翼杭も直杭と同様、第1限界荷重の変位を超えた後、乖離現象が起きていると考えられる。

土圧からもこれらの現象と関係すると思われるデータが得られた。ケース1, 2, 4の土圧-変位曲線を図-6, 7, 8に示す。ケース1, 2を比較すると、明らかに翼杭の土圧変動が大きくなっており、直杭は砂と鋼管の摩擦抵抗が主体であるのに対し翼杭では翼が支配的に抵抗していることが分かる。ケース4でも、引抜き側では変位ステップごとに土圧は上昇するが、同一変位では繰り返し回数と共に土圧は減少しており、また、変位10mmではサイクルごとの減少量がそれまでに比べて大きくなっているため、乖離現象と同じような挙動になっていると言える。

鉛直減衰定数-変位関係を図-9に示す。直杭の減衰定数は20～25%、翼杭は15～20%となっており、翼杭の方が小さい値を示した。

4. まとめ

直杭と翼杭ともに、交番載荷での引抜き抵抗力は、繰り返し回数が増えると共に単調引抜きの抵抗力よりも低下していく傾向が見られた。また、単調引抜きの第2限界抵抗力の現れる変位で荷重を比較したところ、交番載荷は単調引抜きの1/3～1/4となった。従来、押込み・引抜きとも単調載荷から第2限界抵抗力を判定し、1/6を常時（長期）とし1/3を地震時としているが⁶⁾、本実験では3サイクルの結果がそうになっている。

また、直杭と翼杭の交番載荷で、単調引抜きの値からの乖離現象が始まるのは、単調引抜きで第1限界抵抗力の現れる変位を超えた後であることが知られた。

参考文献

- 1) 大和真一、中川宏人、前嶋匡、梅田雅芳：羽根突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発表講演集、pp.1567～1568、2001.6
- 2) 島田雅夫、土屋勉、菊地ゆかり：ノズル・ネットを用いた模型砂地盤の作製方法、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：地盤調査法、1995.9
- 4) 地盤工学会：地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・解説一第一回改訂版一、平成14年5月
- 5) 大塚雅裕、秋田直樹、福井次郎、喜多直之：載荷方法の異なる杭の鉛直載荷模型実験、第37回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.1425～1428、2002.7
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・解説 IV 下部構造編、平成14年3月

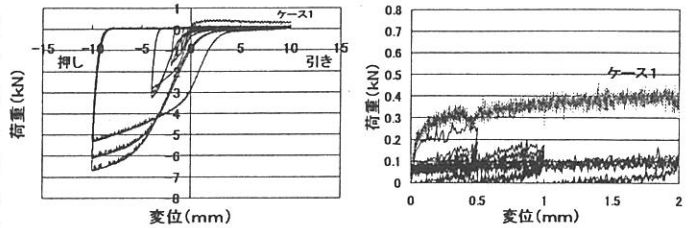


図-3 ケース3の杭頭荷重-変位関係

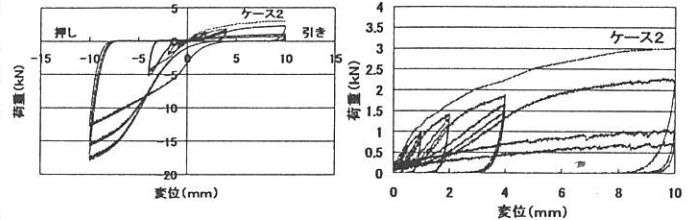


図-4 ケース4の杭頭荷重-変位関係

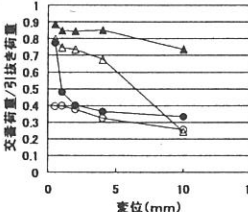


図-5 交番載荷/単調引抜き-変位関係

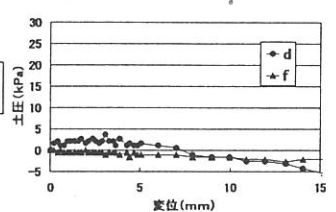


図-6 ケース1の土圧-変位関係

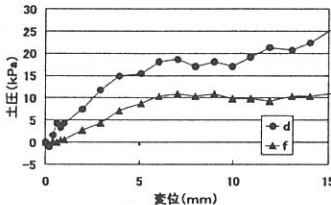


図-7 ケース2の土圧-変位関係

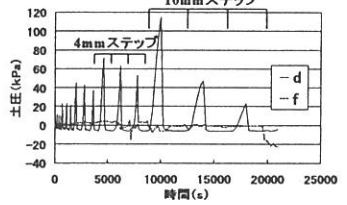


図-8 ケース4の土圧の時間変化

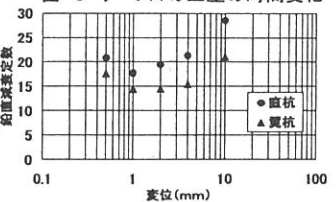


図-9 鉛直減衰定数-変位関係