

先端翼付き鋼管杭の引抜き耐力に関する模型実験

九州大学大学院 正会員 山崎智彦 JFEエンジニアリング株式会社
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲 九州大学

正会員 棚辺 隆
非会員 武本真弓

1. 目的

風力発電タワー・送電鉄塔などの塔状構造物は、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力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断面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 くばさぐい)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、引抜き試験結果が複数報告されている。しかし、この中で交番载荷や動的载荷試験の例は少ない。

本研究では、砂地盤を作製し杭の鉛直引抜き模型実験を行い、載荷条件での翼杭の引抜き抵抗力の検討を行った。

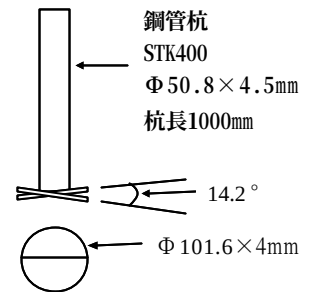


図1 翼杭の形状

2. 内容

2-1 実験概要

模型杭は、直杭」\$TK400、 $\phi 50.8 \times 4.5$ 、杭長 1000mm)と翼杭」直杭の先端部に半円を角度をつけて交差状に取り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、ノズルから投下する砂をネットに接触させ砂を分散させて撒きだす方法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。事前に地盤を数回作製し、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」に準拠し、一方向単調引抜き・静的交番・動的交番載荷の三種類を行った。連続載荷方式の変位制御で行い、今回は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。

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

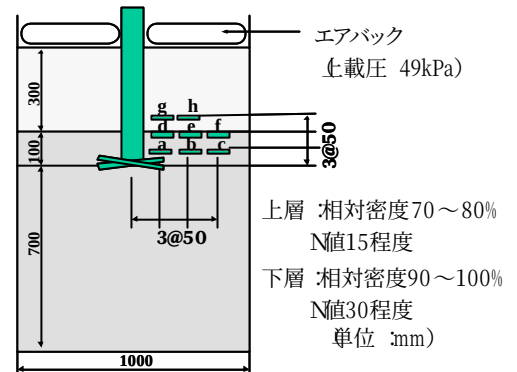


図2 実験土槽概要

2-2 実験結果および考察

実験値より求めた引抜き側の第1限界抵抗力（単調引抜きの杭頭荷重—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限界抵抗力（杭先端径の10%変位内での最大杭頭荷重）を表3に示す。翼杭と直杭の第2限界抵抗力の比較を行うと、本実験では単調引抜きと交番載荷ともに翼杭は直杭の約8倍になった。押込み側の1サイクル目の杭先端径10%の変位での直杭と翼杭の抵抗力を比較すると、それぞれ3.5kN、10kNでその比は約3倍となっており、翼杭が引抜き抵抗に強い杭であることが分かる。また、載荷速度の違いを見る為ケース4、5、6を比較すると、載荷速度が大きいほど第2限界抵抗力は大きな値になっている。

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単調引抜きの荷重-変位曲線からの乖離現象が現れるとされているが、今回の実験でも第1限界抵抗力が現れた0.2mmステップ後の0.5mmステップの2サイクル目で単調引抜きの値からの乖離現象が起きている。

キーワード：翼杭，直杭，単調引抜き，静的交番，動的交番

連絡先 : 〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL&FAX 092-642-3268

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	静的交番	載荷速度 0.01mm/s 5ステップ (±0.5,2,4,10mm) 各ステップ3サイクル
4	翼杭	静的交番	載荷速度 0.01mm/s 5ステップ (±0.5,2,4,10mm) 各ステップ3サイクル
5	翼杭	動的交番	周波数 0.5Hz(1,2,4,8,20mm/s) 5ステップ (±0.5,2,4,10mm) 各ステップ3サイクル
6	翼杭	動的交番	周波数 1Hz(2,4,8,16,40mm/s) 5ステップ (±0.5,2,4,10mm) 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	0.228	0.20
	第2限界抵抗力	0.328	2.00
2	第1限界抵抗力	1.840	3.90
	第2限界抵抗力	2.404	9.96
3	第2限界抵抗力	0.204	0.50
4	第2限界抵抗力	1.772	10.00
5	第2限界抵抗力	2.288	9.08
6	第2限界抵抗力	2.292	10.00

*ケース3,4,5,6では1サイクル目の値

一方、翼杭も直杭と同様、第1限界抵抗力が現れた4mmのステップまでは顕著な荷重低下は見られず、次の10mmステップから大きな乖離現象が起きている。また、ケース1, 2の第2限界抵抗力をケース3, 4の同変位の3サイクル目の荷重と比較したところ、直杭も翼杭も1/3～1/4の大きさになった。

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の土圧-変位関係を図5、ケース4の土圧-変位関係を図6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の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。

荷重速度による比較を行うため、ケース2, 4, 5, 6の荷重-変位関係を併記したものを図7に示す。ケース4, 5, 6の順に荷重が大きくなり、ケース2の荷重-変位曲線に近づいているため、荷重速度が大きくなると抵抗が大きくなっていることが分かる。また、繰り返しによる乖離現象は、荷重速度に関わらず10mmの2ステップ目から起きている。ケース1, 2の第2限界抵抗力とケース5, 6の同変位の3サイクル目の荷重と比較したところ、1/2～1/3の大きさになった。

3. 結論

単調引抜きと静的交番荷重ともに、翼杭の引抜き側の第2限界抵抗力は直杭の約8倍であるのに対し、押込み側の1サイクル目の杭先端径10%変位での抵抗力は約3倍であり、翼杭が引抜き抵抗に強い杭であると言える。

杭の種類によらず、交番荷重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。また、単調引抜きの第2限界抵抗力の変位で荷重を比較したところ、静的交番荷重では単調引抜きの1/3～1/4、動的交番では単調引抜きの1/2～1/3となった。従来、許容引抜き力は単調荷重から第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、本実験では静的交番と動的交番の3サイクルの結果がそのようなになっている。

直杭と翼杭の交番荷重で、単調引抜きの値からの乖離現象が始まるのは、荷重速度に関係なく、単調引抜きで第1限界抵抗力の現れる変位を超えた後からである。

[参考文献] 1) 地盤工学会：地盤工学会基準 杭の鉛直荷重試験方法・同解説—第一回改訂版—, 2002.5 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 2002.3 3) 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 4) 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荷重模型実験」第37回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1425～1428, 2002.7 5) A.Ghaly, A.Hanna, M.Hanna「乾燥砂中におけるスクリーアンカーの引抜き挙動」Journal of Geotechnical Engineering Vol.117, No.5, 1991, pp.773-793, ASCE 6) 地盤工学会：地盤調査法, 1995.9

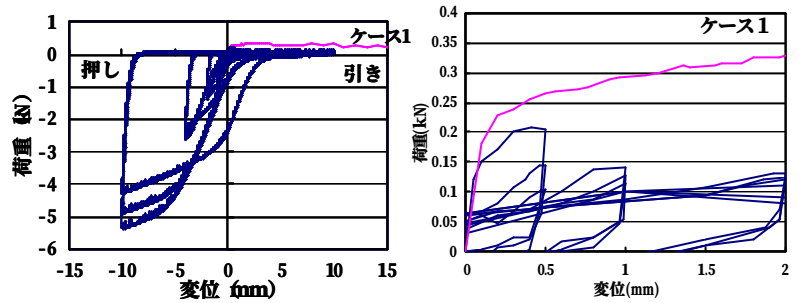


図3 直杭(ケース3)の杭頭荷重-変位関係(比較値:ケース1)

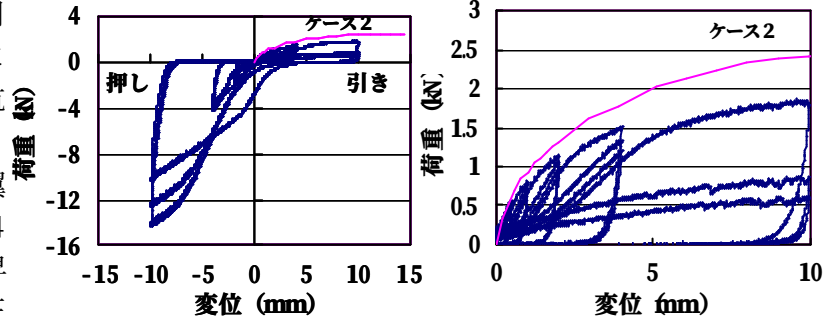


図4 翼杭(ケース4)の杭頭荷重-変位関係(比較値:ケース2)

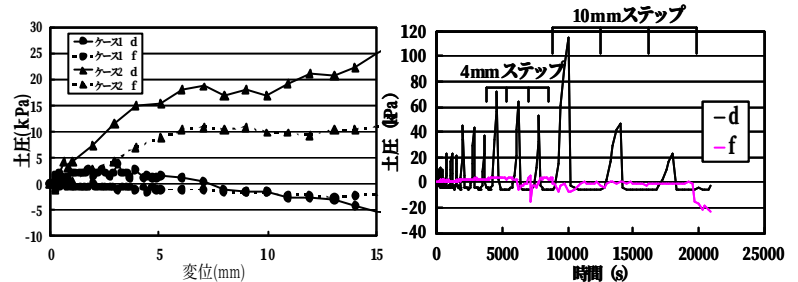


図5 ケース1,2の土圧-変位関係

図6 ケース4の土圧-変位関係

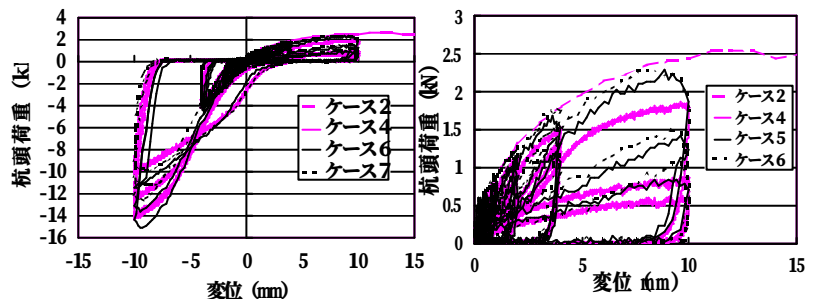


図7 ケース2,4,5,6の荷重-変位関係