

温室用基礎としての斜杭の有用性に関する研究 - 杭長および地盤状態の違いが引き抜き特性に及ぼす影響について -

著者	木全 卓, 工藤 庸介, 桑原 孝雄, 山形 俊彦, 北島 弘伸, 望月 政和
引用	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科学術報告. 2006, 58, p.1-5
URL	http://doi.org/10.24729/00000699

温室用基礎としての斜杭の有用性に関する研究

－ 杭長および地盤状態の違いが引き抜き特性に及ぼす影響について －

木全 卓・工藤庸介・桑原孝雄・山形俊彦*・北島弘伸*・望月政和*

（大阪府立大学大学院生命環境科学研究科緑地環境科学専攻，*グリーンテック株式会社）

要 旨

一般に、園芸用などに用いられる温室は比較的軽量の構造物であり、基礎部分には自重による押し込み荷重よりも風などによる引き抜きや水平方向への荷重が卓越する。このような場合、斜杭を用いた基礎方式に大きな効果が期待できる。そのため、著者らは室内模型実験を行って斜杭を用いた基礎の力学的特性を検討してきたが、これまでの研究で、斜杭は直杭よりも遥かに大きな引き抜き抵抗を有することや、提案している斜杭基礎が通常用いられるフーチングタイプの基礎を上回る引き抜き・水平抵抗力を有することなど、温室用基礎として非常に有用であることが確認できている。よって今回は、これまでの研究で残された課題として、杭長および地盤状態の違いが斜杭基礎の引き抜き特性に及ぼす影響について模型実験を行って検討した。その結果、斜杭においては杭長を大きくする割合以上に引き抜き抵抗が増大（概ね杭長の2乗に比例）することがわかった。また、引き抜き抵抗については斜杭基礎のタイプによらずほぼ地盤の支持力強度に比例することもわかった。

キーワード：斜杭基礎，模型実験，引き抜き特性

Abstract

Takashi KIMATA, Yosuke KUDO, Takao KUWABARA, Toshihiko YAMAGATA*, Hironobu KITAJIMA* and Masakazu MOCHIZUKI* (*Division of Environmental Sciences and Technology, Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University; *Green-tec Co. Ltd*): A Study on the Usefulness of Batter Piles as a Greenhouse Foundation - Effects of the Difference of Pile Length and Ground Condition on Pulling Properties. *Sci. Rep. Grad. Sch. Life & Envi. Sci., Osaka Pref. Univ.* **58**: 1-5 (2006)

Generally, a greenhouse is a relatively lightweight structure, and its foundations are subjected to a much larger wind-force load uprooting them, compared to the load of its own structural weight. In such a case, a foundation method using batter pile is expected to provide more effective resistance. Authors have been investigating the mechanical properties of batter pile foundations by executing laboratory model tests, and have found that the batter piles resist much more against the pulling load than ordinary vertical piles, and that the proposed batter piles foundation also resist more against the pulling and horizontal load than footing foundation, and the usefulness of the batter piles are confirmed as a greenhouse foundation.

In this study, in order to clarify the remaining items to be solved, a series of laboratory model tests were executed to investigate the mechanical properties of pulling resistance affected by the difference of pile length and ground condition. As a result, it was found that pulling resistance of the batter piles foundation increases much more than the increasing of pile length, and the increasing ratio of pulling resistance multiplies by the pile length itself. And as for the ground condition, it was found that the pulling resistance of batter pile foundation is in proportion to the bearing capacity of the ground instead of the type of batter pile foundation.

Key Words: batter pile foundation, model test, pulling properties.

はじめに

一般に、温室用の基礎としてはコンクリート製のフーチング基礎がよく用いられているが、ガラスやビニールハウスなどの温室は構造物自体の重量が小さく、基礎部分にかかる力は自重による押し込み荷重よりも風などによる引き抜き荷重の方が卓越する。従って、基礎の引き抜き抵抗力を増大させるためにはフーチング自身の寸法や重量を大きくしたり土被り厚を増やしたりする必要が生じ、基礎の施工におけるコストや手間も増えることになる。そこで著者らは、安価な足場パイプを使用した斜杭による温室用の基礎方式（図1）を提案し、その力学特性を検討してきた。その結果、1）斜杭は直杭よりも遥かに大きな引き抜き抵抗力を發揮し、その効果は鉛直傾斜角 30° の斜杭で傾斜角 0° の直杭に比べて約2.5倍であること、2）水平抵抗力については斜杭の傾斜角や荷重の載荷方向による影響は少ないものの、鉛直傾斜角 30° 程度が最も望ましいこと、3）通常サイズのフーチング基礎に比べると斜杭基礎は明らかに大きな引き抜き・水平載荷抵抗力を有すること、などが明らかになっている（桑原ら、2003、2004、木全ら、2005）。

本研究では、残された課題として、さらに以下の2つの項目に関する模型実験を行い、斜杭基礎の力学特性についてさらなる検討を加えた。

1）杭長が異なる場合の引き抜き特性の比較：杭長の違いが斜杭基礎の力学特性に及ぼす影響を検討するため、斜杭の杭長が短くなった場合（従来の0.5倍）および長くなった場合（同1.5倍）について模型実験を行い、その引き抜き特性を比較した。

2）地盤状態が異なる場合の引き抜き特性の比較：比較的軟弱な地盤における斜杭基礎の力学特性を検討するため、従来（最適含水比）よりも含水比を高めた模型地盤について模型実験を行い、その引き抜き特性を比較した。

試料の物理的特性

地盤材料として用いた試料はこれまでの研究（桑原ら、2003）と同じ栃木県より得られた土であり、その基本的な物理特性を表1に示す。行った試験は、「JIS A 1202 土粒子の密度試験」、「JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験」、「JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験」の3種類であり、それぞれJISに規定されている方法に従って試験を行った。土の土粒子密度の結果についてはほぼ珪酸塩鉱物の密度の範囲内であり、今回使

用した土は有機質をほとんど含まない土であると考えられる。また、自然含水比が比較的高いことから、この土には火山灰性の鉱物がいくらか含まれている可能性もある。実際、液性限界が比較的高く塑性限界もそれほど低くないのは関東ロームなどによく見られる特徴の一つであり、この土を採取した場所を考慮すると、この試料は火山灰性の粘性土である関東ロームを多く含んでいる可能性が考えられる。なお、締固めについては、対象としている地盤が農地であることから標準締固めエネルギーの1/10 ($E_c = 55(\text{kJ/m}^3)$)とし、含水比の調整は乾燥法で行った。表1より、最適含水比や湿潤密度は試料を採取した時の自然状態とほぼ一致していることが確認できる。なお、詳細は後述するが、今回の2番目の検討課題で使用する比較的軟弱な地盤としては、試料の含水比を約5%および10%高く調整したものを同じエネルギーで締め固めたものとした。

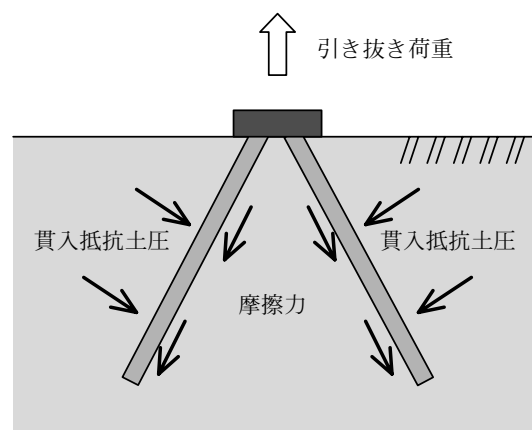


図1 斜杭基礎の模式図

表1 地盤材料の物理特性

土粒子密度 (Mg/m^3)	2.645
自然含水比 (%)	72.9
塑性限界 (%)	50.5
液性限界 (%)	60.8
最適含水比 (%)	69.8
乾燥密度 (Mg/m^3)	0.85
湿潤密度 (Mg/m^3)	1.56

模型実験の種類と方法

模型実験はいずれも従来と同様とし、模型の縮尺 (= 1/5) や模型地盤材料、さらには引き抜き時の変位速度などの条件もすべて同一とした（桑原ら、2003、2004；木全ら、2005）。実験装置の概略を図2に示す。模型実験の主な手順は以下のとおりである。

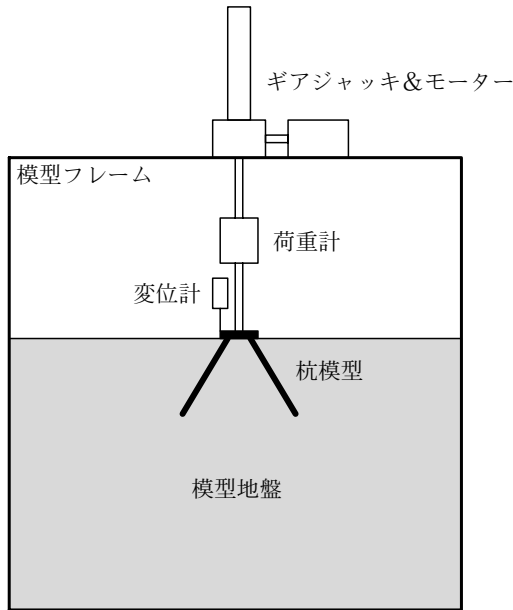


図2 斜杭引き抜き実験装置の概略

1) 模型地盤の作製

深さ600mm×幅1000mm×奥行き1000mmの土槽を用い、含水比を調整した試料を締め固めエネルギー $E_c=55$ (kJ/m³)になるよう突き固めて模型地盤を作製した。その際、地盤を深さ方向に5等分し、1層ずつ撒き出しながら均等に締め固めた。なお、含水比は従来どおり70%を基準としたが、軟弱地盤として含水比が75%と80%のものについても実験を行った。

2) 斜杭基礎模型の設置

杭頭固定金具のガイド穴に沿って模型杭を木槌で静かに打ち込んで模型基礎を設置した。模型杭は直径10mm×長さ200mmのステンレスパイプであるが、杭長の違いによる影響を検討するため、今回は長さ100mmと300mmのものについても実験を行った。

3) 引き抜き試験の実施

杭頭固定金具に取り付けたフックとギアジャッキを接続し、鉛直上方向（引き抜き）にゆっくりと引っ張りながら引き抜き量と引き抜き抵抗力を測定した。なお、载荷は毎分0.1mmの変位制御とし、引き抜き量が20mmになるまで計測を続けた。

4) 実験終了後の処理

载荷が終了した後は地盤の破壊状況を記録するとともに、深さ方向への貫入抵抗(山中式土壤硬度計)や湿潤密度を測定して地盤の特性を確認した。

杭長の違いによる引き抜き特性の比較

これまでの研究では、直径10mm×杭長200mmのステンレスパイプを模型斜杭として用いてきた

が、杭基礎においては杭長を長くすることによってさらに大きな引き抜き抵抗力が期待できる。従って、杭長の違いが斜杭基礎の力学特性に及ぼす影響を検討するため、斜杭の長さを変えた模型実験を行い、その引き抜き特性を比較した。具体的な実験条件は以下のとおりである。

- 杭 長：100mm, 200mm, 300mm
- 傾斜角：0°, 15°, 30°, 45°
- 杭 数：2本

得られた試験結果を図3～5に示す。これらの図より、直杭ではほぼ杭長に比例して引き抜き抵抗力が発揮されていることがわかる。これは、直

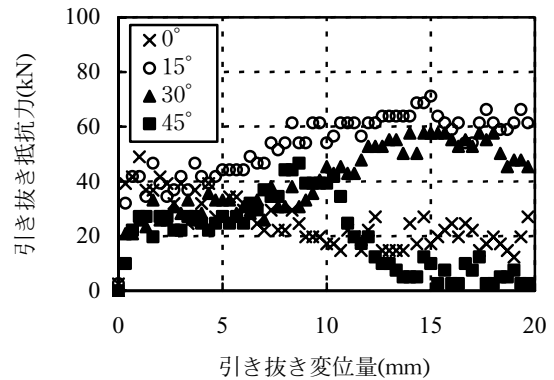


図3 杭長100mmの引き抜き試験結果

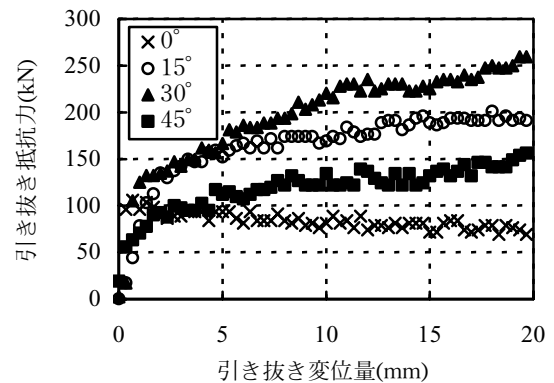


図4 杭長200mmの引き抜き試験結果

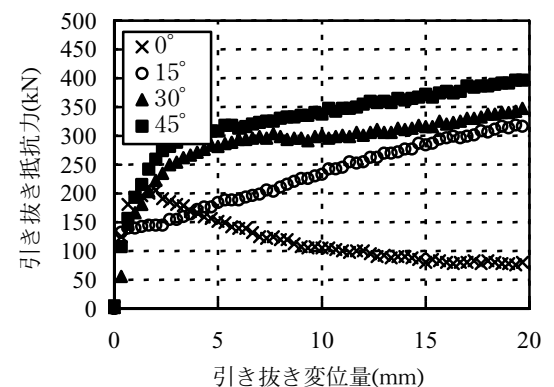


図5 杭長300mmの引き抜き試験結果

杭の引き抜き抵抗が杭周面に作用する摩擦力に起因しており、杭周面の面積が杭長に比例するためと考えられる。一方、斜杭では杭長によって引き抜き抵抗が最大となる傾斜角は異なっていた。すなわち、杭長100mmでは根入れの深い15°が、杭長200mmでは30°が、杭長300mmでは45°がそれぞれ最大の引き抜き抵抗を示した。これは、斜杭と地盤表面との距離が近いと引き抜いた際に容易に地盤が抜け上がってしまい、杭長が短く傾斜角が大きいほど引き抜きに対する抵抗が発揮されなかったためと考えられる。いずれにしても、傾斜角30°のものは杭長にかかわらず良好な引き抜き抵抗を示しており、既に行った水平載荷試験の結果も考慮すると、斜杭基礎として最も適していると考えられる。

ここで、傾斜角と引き抜き強度との関係について考察する。まず、引き抜き強度の定義であるが、実験結果を見ると斜杭ではかなりの引き抜き量になっても引き抜き抵抗は少しずつ増加している。しかしながら、実際の温室においては基礎が大きく引き抜かれた状態になることは好ましくなく、比較的少ない引き抜き量での抵抗を強度と見なすべきである。従って、最初に引き抜き抵抗が立ち上がりきったところを引き抜き強度と定義する。次に、この定義に基づき、傾斜角30°のものを対象に引き抜き強度と杭長の関係を調べてみる。図3～5には引き抜き強度と見なした部分に▽印を付けたが、杭長100mmで約30N、200mmで約130N、300mmで約260Nの引き抜き強度を発揮しており、強度の比率は約1：4.3：8.7となっている。これは、杭長が2倍、3倍になったのに対して引き抜き強度はその2乗倍程度まで増大することを示しており、非常に興味深い。この事実に対する理論的なメカニズムは定かでないが、杭長を大きくする割合以上に引き抜き強度が期待できることは明らかである。

地盤状態の違いによる引き抜き特性の比較

これまでの研究では、ある程度の支持力を有する地盤を対象として斜杭基礎の力学特性を検討してきたが、温室を建設する場所には様々な地盤の

存在が考えられるうえに、晴天時には良質な地盤であっても降雨などによって支持力が低下することも考えられる。これらを考慮し、比較的軟弱な地盤状態における斜杭基礎の力学特性を検討する

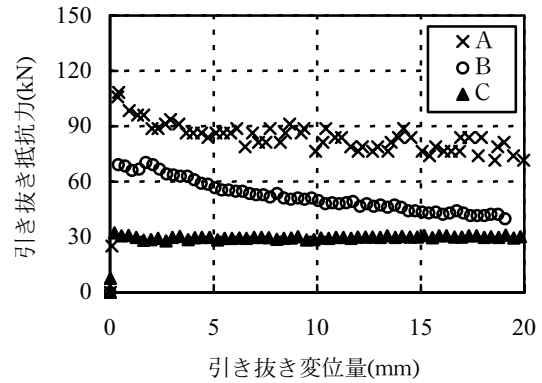


図6 直杭，杭2本の引き抜き試験結果

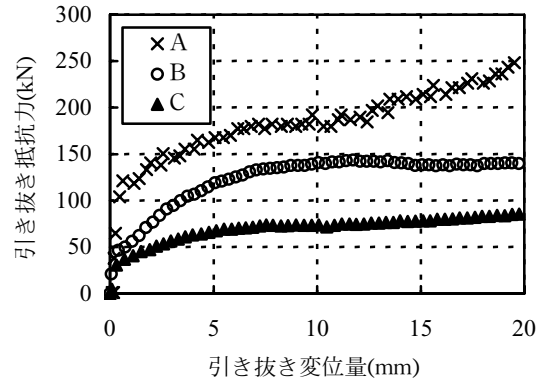


図7 傾斜角30°，杭2本の引き抜き試験結果

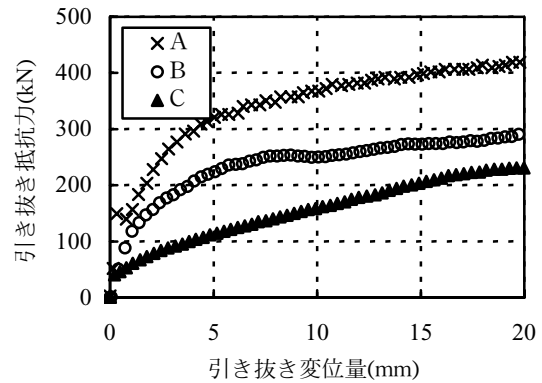


図8 傾斜角30°，杭4本の引き抜き試験結果

表2 模型地盤の物理特性および支持強度

	地盤A	地盤B	地盤C
含水比(%)	69.1	75.5	79.3
湿潤密度(g/cm³)	1.51	1.52	1.49
乾燥密度(g/cm³)	0.89	0.87	0.83
間隙比	1.97	2.06	2.18
地盤支持力(kN/m²)	486	291	153

ため、これまでより含水比を高めた模型地盤について模型実験を行い、その引き抜き特性を比較した。作製した模型地盤の物理特性および山中式土壌硬度計によって計測した支持力強度を表2に示す。この表では地盤Aが従来のもので、地盤B、Cは含水比を約5%ずつ増加させ、軟弱な状態を模擬したものである。また、用いた斜杭模型については杭長を200mmとし、直杭（2本）と傾斜角30°（2本と4本）について実験を行った。

試験結果を模型基礎のタイプごとに分け、整理したものを図6～8に示す。これらの図は、どのタイプの模型基礎においても地盤の含水比が上がって軟弱になる（地盤A→B→Cになる）につれてその引き抜き抵抗力が明らかに減少することを示している。これはやはり、含水比の増加に伴う地盤の貫入抵抗力や周面摩擦力の低下が原因と考えるのが妥当であろう。これらの抵抗要因はそれぞれが独立に作用するものではあるが、トータルで考えれば地盤の支持力強度によって評価できると考えられる。従って、地盤A、B、Cにおける支持力強度の比率を求めると、地盤Cを基準に3.2:1.9:1.0であり、ほぼ3:2:1になっていると見なすことができる。ここで、図6～8に戻って地盤A、B、Cにおける引き抜き抵抗力の大きさを比べると、模型基礎のタイプにより引き抜き量と引き抜き抵抗力の関係が異なるためどの段階を引き抜き強度とするかの問題もあるが、引き抜き量5mm程度（実スケールに換算すると2～3cmに相当）で見ると概ね3:2:1の関係があり、上述した支持力強度の比率とほぼ一致していることがわかる。従って、斜杭基礎の引き抜き抵抗力は概ね地盤の支持力強度に比例するとして差し支えないものと考えられ、この結果は基礎設計において非常に重要な知見となろう。

今回作成した模型地盤は、含水比を調整して（高めて）からランマーによる締固めを行っており、表2からもわかるように、軟弱な状態を仮定した地盤では含水比だけでなく間隙比も大きくなっている。それゆえ、それほど大きな含水比の変化ではないにもかかわらず地盤の支持力強度は大きく低下し、それによって斜杭基礎の引き抜き抵抗力も大きな減少を示したものと考えられる。一方、実際の地盤で多量の降雨があった場合、地盤の含水比は相応に増大するが間隙比についてはそれほど大きくはならないはずである。これは、間隙比が大きくなるためには地盤がそれ相当に膨れ上がってくる必要があるため、実際の地盤でこ

のような状態を引き起こすのは膨潤性の粘土地盤などかなり限定されると思われる。従って、ここで得られた結果は、そのまま降雨時の軟弱地盤にはあてはまらない。

おわりに

本研究では、杭長が異なる場合と地盤状態が異なる場合について、斜杭基礎の引き抜き特性を模型実験によって比較・検討した。その結果、斜杭においては杭長を大きくする割合以上に引き抜き抵抗力が増大（概ね杭長の2乗に比例）することがわかった。また、引き抜き抵抗力については斜杭基礎のタイプによらずほぼ地盤の支持力強度に比例することもわかった。これらの結果は、斜杭の引き抜き強度を算出するための理論的な根拠となるものであり、温室基礎の設計において非常に重要である。今後、斜杭基礎の引き抜き抵抗力がほぼ杭長の2乗に比例することに関する力学的なメカニズムの物理的な意味を明らかにする必要がある。また、引き抜き抵抗力と地盤の支持力強度との関係についても検討を進め、定式化を図っていく必要がある。そのため、実物大の引き抜き試験を実施し、引き抜き強度を模型実験の結果と比較しながら杭長の及ぼす影響を定量的に検討する。また、実物大の実験においては並行して地盤の支持力強度も計測し、引き抜き強度との関連についても定量的に検討したいと考えている。

引用文献

- 木全 卓、武藤秀治、工藤庸介、桑原孝雄、山形俊彦、北島弘伸、望月政和。2005. 温室用基礎としての斜杭の有用性に関する研究—フーチング基礎との比較と実物大試験による確認—。大阪府立大学大学院農学生命科学研究科学術報告。57. 9—13.
- 桑原孝雄・木全 卓・工藤庸介・山形俊彦・北島弘伸。2003. 温室用基礎としての斜杭の引抜き特性に関する基礎研究。大阪府立大学大学院農学生命科学研究科学術報告。55. 23—28.
- 桑原孝雄・木全 卓・工藤庸介・山形俊彦・北島弘伸。2004. 温室用基礎としての斜杭の水平載荷特性に関する研究。大阪府立大学大学院農学生命科学研究科学術報告。56. 23—28.

(2006年2月10日受領；2006年3月10日受理)