



<原著>温室用基礎としての斜杭の引き抜き特性に関する基礎研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2009-08-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 桑原, 孝雄, 木全, 卓, 工藤, 庸介, 山形, 俊彦, 北島, 弘伸 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00009668

温室用基礎としての斜杭の引き抜き特性に関する基礎研究

桑原孝雄・木全 卓・工藤庸介・山形俊彦*・北島弘伸*

(大阪府立大学大学院農学生命科学研究科環境開発工学研究室；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荷重が卓越する。従って、本研究では、温室用の基礎として斜杭を用いることの有効性を調べるため、室内模型実験を行ってその引き抜き特性を検討した。その際、斜杭の引き抜き抵抗は杭が地盤中に打ち込まれる角度によって大きく変化することが予想されるため、杭間の挟角と引き抜き抵抗との関係に着目し、検討を進めた。具体的には、締固めによって作製した模型地盤に2本のパイプを0°、30°、60°、90°の角度をつけて打ち込み、パイプ間の挟角が変化しないようその頭部をステンレス金具で剛結して杭模型とした。その後、鉛直方向にゆっくりと引き抜きながら、引き抜き量と引き抜き抵抗力を測定した。その結果、通常の直杭と比較すると斜杭ははるかに大きな引き抜き抵抗を有し、温室用の基礎として非常に有効であることが確認された。また、杭が打ち込まれる際の角度については、杭間の挟角が大きくなるほどより少ない引き抜き量で大きな引き抜き抵抗力を発揮することが明らかになった。さらに、杭間の挟角があまり大きくなり過ぎると地盤の土かぶりによって押さえつけられる効果が減少し、斜杭としての引き抜き抵抗力は小さくなることもわかった。

キーワード： 温室、基礎構造物、斜杭、引き抜き抵抗、模型実験

Abstract

Takao KUWABARA, Takashi KIMATA, Yosuke KUDO, Toshihiko YAMAGATA* and Hironobu KITAJIMA* (*Laboratory of Environmental Development Engineering, Graduate School of Agriculture and Biological Sciences, Osaka Prefecture University; *Green-tec Co. Ltd.*): A Basic Study on Pulling Resistance of Batter Piles as a Greenhouse Foundation. *Sci. Rep. Grad. Sch. Agric. & Biol. Sci., Osaka Pref. Univ.* **55**: 23-28. (2003)

Generally, a greenhouse is a relatively lightweight structure, and the foundations are subjected to a much larger wind-force load uprooting it, than the load of it's own structural weight pushing it in. In this study, laboratory model tests are performed to examine the mechanical properties of piles in the case of being uprooted, and investigate the usefulness of batter piles as a greenhouse foundation. As a consideration, more attention is paid to the relationship between the angle of the piles and the pulling resistance, because it is forecasted that the pulling resistance is greatly affected by the driving angle of the piles in an actual situation. In the model test, two pipes obliquely driven into the model ground, which is made by compaction, are regarded as the model piles, and the heads of the piles are rigidly fixed using stainless steel fittings. The angle between the piles is 0, 30, 60 and 90 degrees respectively. Then the pulling resistance and the displacement are measured while the piles are slowly pulled out by using a motor jack. As a result, it is found that the batter piles resist much more against the pulling load than the ordinary vertical piles, and the usefulness of the batter piles are confirmed. As for the angle between the driven piles, it is clarified that the piles driven in at a larger angle show more pulling resistance instead of less pulling displacement. And furthermore, it is found that the pulling resistance of the batter piles becomes smaller when the angle between the piles becomes too large, because the pressure of the overburdened soil forcing down the piles decreases.

Key Words: batter piles, foundation structure, greenhouse, model test, pulling resistance.

はじめに

園芸などに用いられる温室は、比較的軽量の構造物である。よって、その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による引き抜き荷重が卓越するため、特に強風時の対策は重要である。従来から、温室用の基礎としてコンクリートによるフーチング基礎がよく用いられているが、この場合、引き抜き荷重に対抗するのはフーチングコンクリートの重量であり、大きな引き抜き抵抗を確保するためには大きなコンクリートが必要となる上に、建設にかかるコストも増大することになる。従って、より安価で簡易に設置でき、コスト的にも有利な基礎方式があれば非常に有用である。本研究は、コンクリートフーチングに代わるものとして斜杭を用いた基礎方式を考え、その有用性を検討するものである。

杭基礎は主に鉛直方向の荷重を支持するために用いられるものであり、根入りの深い基礎方式の一種に分類される。従って、ほとんどの場合、杭は地盤に対して鉛直に打ち込まれ、杭頭に載荷された荷重は杭の先端部分（杭先端が支持力層に到達している場合）での反力あるいは周面部分での摩擦力によって支持される。一方、本研究で扱う斜杭基礎は、このような鉛直荷重を支持する鉛直杭基礎とはその方式やメカニズムが大きく異なっている。すなわち、図1に示すように、杭を地盤に対して斜めに打ち込んでその頭部を剛結する基

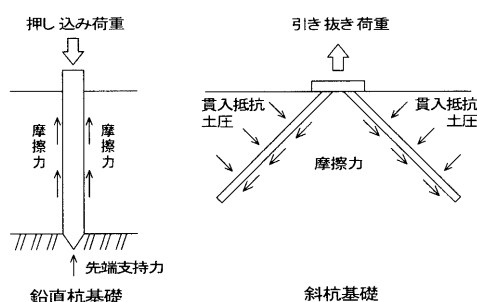


図1 鉛直杭基礎と斜杭基礎の違い

礎方式であるため、杭頭部に載荷された荷重は杭周面に作用する摩擦力や土圧に加え、杭自体が地盤に貫入する際の抵抗によっても強く支持されることになる。従って、通常の鉛直杭よりも作用する抵抗要因が多くなり、大きな支持力あるいは抵抗力が期待できる。

以上の観点から、本研究では、模型実験を行うことにより斜杭の引き抜きに関する基本的な力学特性を検討した。特に、斜杭は杭を打ち込む角度によってその引き抜き抵抗が大きく変化すると考えられるため、杭間の挟角と引き抜き抵抗との関

係に着目して実験を行った。上述のように、斜杭には様々な抵抗要因が複雑に作用すると考えられるが、本研究では、地盤の力学特性と引き抜き抵抗との関連を実験的に明らかにすることを目的とする。

試料の物理特性

模型実験を行うにあたって、最初に、本研究で模型地盤の材料として用いる試料の基本的な物理特性を調べた。行った試験は、「土粒子の密度試験」、「粒度試験」、「液性限界・塑性限界試験」、「突固めによる土の締固め試験」の4種類であり、JISに規定されている方法に準拠して試験を行った。以下、それぞれの物理特性の意味と試験結果および考察について簡潔に述べる。

1. 土粒子の密度試験

土粒子の密度（ ρ_s ）とは、土の固体部分を構成する土粒子群および有機物などの単位体積あたりの平均質量を言い、土の状態を調べるための基本的な数値である。試験は「JIS A 1202 土粒子の密度試験」（地盤工学会，2000a）に準拠して行なった。その結果、今回使用した土の土粒子密度は $\rho_s = 2.65 (\text{g/cm}^3)$ であった。

一般に、土粒子を構成する成分である珪酸塩鉱物の密度はおよそ $2.5 \sim 2.8 (\text{g/cm}^3)$ であり、これらを主成分とする土粒子の密度もこの範囲に限られる。しかし、有機質を多く含む土では全体の密度が低くなり、例えば泥炭などでは $1.4 \sim 2.4 (\text{g/cm}^3)$ とかなり低い値となる。従って、今回使用した土は、土粒子密度の大きさから判断すれば、有機質をほとんど含まない土であると考えられる。

2. 粒度試験

粒度分布は土の工学的分類に利用され、これをもとに土の工学的性質についての基礎的な判断が行われる。試験は「JIS A 1203 粒度試験」（地盤工学会，2000b）に準拠して行った。ただし、土は2mmフルイ通過分のみを試験に用いた。これは、土に含まれている根やゴミなどを取り除くた

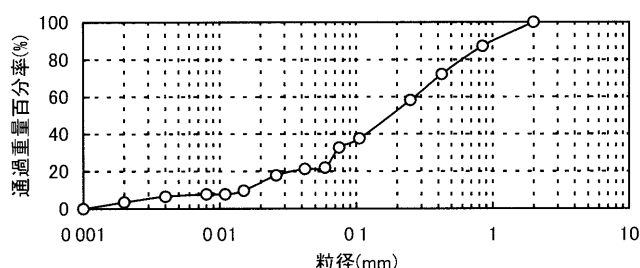


図2 粒径加積曲線

めであり、また、後に行う模型実験（内径 9 mm のパイプを地盤に打ち込むため、あまり大きな粒径のものが混入しているのは望ましくない）への利用を考慮したためである。

図 2 には、今回使用した土の粒度試験の結果である粒径加積曲線を示した。この図より、この土はシルトや細砂に相当する粒子が比較的多く含まれており、粒度分布は比較的良好なものであることがわかる。

一般に、粒度試験によって求められる均等係数 (U_c) と曲率係数 (U_c') が「 $10 \leq U_c$, $1 \leq U_c' \leq 3$ 」なる条件をとともに満たしている時、その土は「粒度分布が良い」と言われる。今回の試験結果から両係数を求めると $U_c = 17.4$, $U_c' = 1.07$ となり、これらの係数からもこの土の粒度分布が良いことが確認できる。

3. 塑性限界・液性限界試験

粘土やシルトなどを含む細粒土は、含水量の多少によって液状、塑性状、半固体状、固体状の状態に変化する。これらの状態の境界にあたる含水比を、それぞれ、液性限界 (W_L)、塑性限界 (W_P)、収縮限界 (W_S) と言い、この 3 つの限界を総称してコンシステンシー限界と呼ぶ。ここでは、液性限界と塑性限界を求める試験を「JIS A 1205 土の液性限界・塑性限界試験」（地盤工学会, 2000c）に準拠して行なった。その結果、塑性限界 $W_P = 50.8(\%)$ 、液性限界 $W_L = 56.5(\%)$ 、塑性指数 $I_P = 5.7$ であった。

一般に、土粒子の粒径が小さくなるにつれて同一体積における土の内部の表面積は大きくなり、液性限界や塑性限界は大きくなるとともに、土の工学的な特性も変化する。特に、液性限界については、その値が $50(\%)$ を越えると圧縮性が大きくなり、粘性土としての性質が強くなる。従って、今回使用した土は、圧縮性のやや大きいシルトに相当すると考えられる。ただし、一般的な土と比べると液性限界の割に塑性指数の値がかなり小さく、工学的にはやや特殊な性質を持っている可能性もある。

4. 突固めによる土の締固め試験

土をある一定のエネルギーで締め固める時、それぞれの土が最もよく締め固まる含水比が存在し、この含水比を最適含水比と言う。この試験は、土の含水比と土粒子の締め固まり具合を表す乾燥密度との関係（すなわち、締固め曲線）を調べ、最適含水比と最大乾燥密度を求めるものである。試験は、「JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験」（地盤工学会, 2000d）に準拠し、呼び名 A-

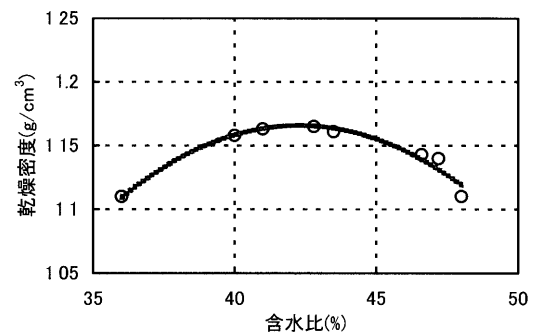


図 3 締固め曲線

a 法と呼ばれる方法で行った。この方法は、締固めエネルギー（単位体積あたりに加えられる仕事量： E_c ）を $E_c = 550(\text{kJ/m}^3)$ とし、一旦乾燥させた試料に少しずつ水を加えて含水比を調整しながら突き固めを行い（乾燥法）、試料は解きほぐして繰り返し用いる（繰返し法：一般に破碎性粒子を含まない試料に適用される）方法である。

図 3 にはこの試験によって得られた締固め曲線を示した。この図より、今回使用した土の最適含水比 (W_{opt}) および最大乾燥密度 (γ_{dmax}) はそれぞれ $W_{opt} = 42(\%)$, $\gamma_{dmax} = 1.167(\text{g/cm}^3)$ であることがわかる。

一般に、道路などの盛土材料として使われるな粒度の良い砂質土では最大乾燥密度が $2.0(\text{g/cm}^3)$ 近くまで達し、最適含水比は $10 \sim 20(\%)$ 程度で、締固め曲線には明瞭なピークが現れることが知られている。しかしながら、それに比べるとこの土は最大乾燥密度が低く、最適含水比は高く締固め曲線のピークも緩やかであり、細粒分を多く含む土の特徴がはっきりと確認できる。

斜杭の引き抜き実験の装置と方法

ここでは、斜杭の引き抜き特性を調べるために製作した実験装置（模型実験）と、これを用いた具体的な実験方法について説明する。

1. 実験装置

模型実験においては縮尺の選択が重要な問題となるが、本研究では縮尺を約 $1/5$ に設定した。その主な理由は次の 2 点である。

1) 影響範囲の問題：杭の実験では杭寸法の 3 倍程度の大きさの地盤が必要である（土質工学会, 1989）と言われており（実物は長さ 1 m 程度）、あまり大きな杭の模型にすると地盤だけでかなりの大きさが必要になる。

2) 地盤材料の粒径の問題：本研究では斜杭としてパイプを用いる（実物は直径約 50 mm の足場用パイプ）が、あまり小さな杭模型にすると土粒子

がパイプの先端部に詰まり、実際の状況とは異なるおそれがある。

従って、直径10mm×長さ200mmのステンレスパイプを2本使用し、これらの頭部をステンレス製のジョイント金具で固定し、挟角が0、30、60、90°の4種類の杭模型を作製した。また、地盤模型には深さ600mm×幅1000mm×奥行き500mmの土槽を作製し、この中に含水比を調整した土を一定エネルギーで締め固めながら詰め込んで使用した。

製作した装置の概略を図4に示したが、杭の引き抜きはギアジャッキを用いてゆっくりと一定速度で行うこととし、引き抜き時の変位量と荷重の大きさを測定した。また、変位量や荷重の測定については、測定精度の向上などを図るため、ひずみゲージ式の変換器を用いてパソコンで自動計測した。

2. 実験方法

1) 模型地盤の作製

模型地盤としては、温室が設置される圃場などの地盤状態を考慮し、あまり強固には締め固めないこととした。具体的には、上述の締め固め試験(道路や盛土など強度を必要とする土構造物に適用される場合が多い)の1/10の締め固めエネルギーとし、 $E_c = 55 \text{ (kJ/m}^3\text{)}$ に設定した。また、試料土が搬入された時の含水比(自然状態での含水比に近いと思われる)が最適含水比よりも低かったため、締め固め時の含水比も最適含水比よりやや低め($w = 36 \text{ (}\%)$ 程度)に設定した。そしてこれらの設定条件に従い、深さ600mmの土槽を5層に分けてそれぞれの層が均等・水平になるよう1層ずつ丁寧に締め固めて模型地盤を作製した。

2) 模型杭の設置

模型地盤の完成後、地盤をできるだけ乱さないよう注意しながら模型杭を設置した。具体的には、模型杭の頭部になるジョイント金具を所定の位置に手で固定し、この金具に設けられたガイド穴に沿ってパイプを木槌で静かに打ち込んだ。

3) 引き抜き実験の実施

まず、ジョイント金具に引き抜き用のフックを取り付け、ギアジャッキのロッド先端に固定された荷重計(ひずみゲージ式変換器)にこれを接続した。この時、ジョイント金具とギアジャッキのロッドの中心が一致するよう気を付けた。その後、ジョイント金具の変位を測定するためのダイヤルゲージ(ひずみゲージ式変換器機能付き)をセットし、引き抜き試験を開始した。引き抜き時の速度は毎分0.1mmとし、0.01mm毎に引き抜き抵抗荷重を測定した。

4) 引き抜き実験終了後の処理

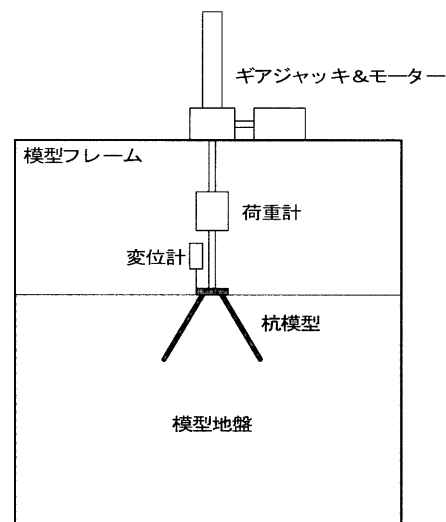


図4 斜杭引き抜き実験装置の概略

引き抜き実験終了時には模型杭周辺の地盤状態を確認(写真撮影)するとともに、模型地盤の深さ方向に対する地盤の密度とせん断強度の変化を調べた。密度については、地盤表面から5cm毎に深さ20cmまでサンプラーで一定容積の土を採取して求めた。また、せん断強度については、地盤表面から5cmと20cmの深さから土塊を採取し、一面せん断試験によって求めた。なお、一面せん断試験は地盤工学会基準JGS 0561-2000(地盤工学会, 2000e)に準拠して行ったが、試験装置の都合で供試体の寸法は直径10cm×高さ4cmとし、締め固め試料であるため圧密過程は省略して定圧せん断のみを行った。

斜杭の引き抜き実験の結果

図5に、本研究で実施した実験の代表的な引き抜き量-引き抜き荷重の関係を示した。ただし、実際にはばらつきや誤差などのため荷重値が小刻みに上下しており、見づらいグラフになったので近似曲線も表示している。また、図中に示した数値は、杭間の挟角の大きさを表している。

この図より、まず最初に、直杭(挟角0°)と斜杭(挟角30°、60°、90°)では明らかに異なる挙動を示すことがわかる。これは、引き抜きに対する杭の抵抗メカニズムの違いによるものと考えられる。すなわち、直杭の場合には杭の周面摩擦(粘着力を含む)が主要な抵抗要因になるため、抵抗力は引き抜き開始直後に大きな値を示し、引き抜き量が大きくなると杭と地盤との接触面積が減少して引き抜き抵抗もだんだん減少したと考えられる。一方、斜杭の場合には杭自体が地盤に貫入していく(地盤を破壊していく)際の抵抗力が非常に大きいため、直杭に比べてかなり大きな引き抜き抵抗を示すとともに、地盤が破壊する場合

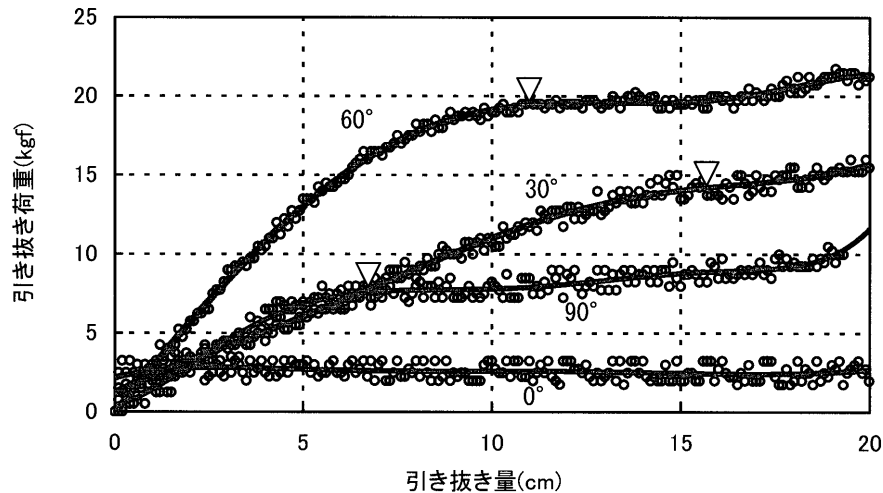


図5 引き抜き量－引き抜き抵抗の関係

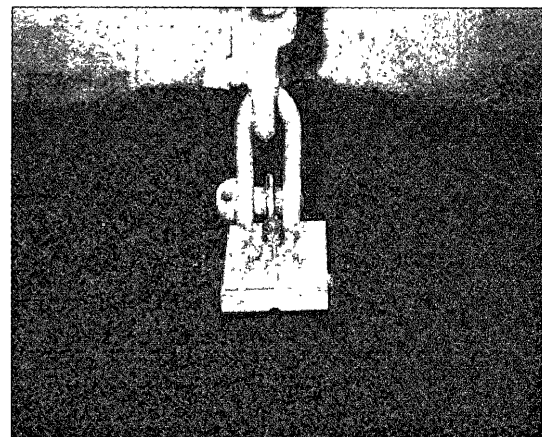
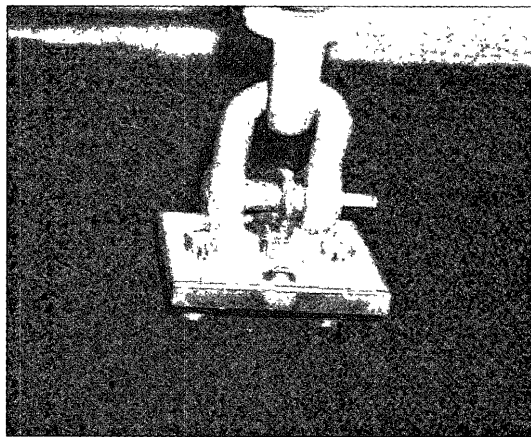


図6 引き抜き終了後の様子（左：直杭，右：斜杭（90°））

と同様にある程度引き抜きが進行した後で引き抜き抵抗力のピークが現れたと考えられる。図6には斜杭の引き抜き実験終了時の写真を示したが、斜杭の場合には杭が打ち込まれている広い範囲で地盤が盛り上がっており、引き抜き時の力学的なメカニズムが大きく異なることを示している。

結果の考察

ここでは、前節に示した模型実験の結果を定量

的に整理するとともに、模型地盤の物理・力学特性を調べた結果を参考に、斜杭の引き抜き特性に関する総合的な考察を行う。

斜杭の場合、引き抜き量が増えると抵抗力も徐々に増え続けているが、温室用基礎としての役割を考えるとあまり大きな引き抜き量は許容できない。従って、実験開始後の最初に現れるピーク部分（図5には▽で示した）をそれぞれの条件における引き抜き抵抗力とし、その大きさとその時

表1 引き抜き抵抗と引き抜き量の値

杭間挟角(°)	0 (直杭)	30	60	90
引き抜き抵抗(kgf)	2.9	14.0	19.5	7.9
引き抜き量(mm)	(0)	16	11	7.0

表2 深さ方向への地盤特性の変化表

地盤表面からの深さ(cm)	5	10	15	20
乾燥密度(g/cm³)	0.76	0.81	0.83	0.86
間隙比	2.51	2.30	2.21	2.13

の引き抜き量をまとめたものが表1である。この表より、斜杭の引き抜き抵抗はいずれも直杭よりはるかに大きく、引き抜き抵抗に対する斜杭の有効性は明白である。また、斜杭においては杭間の挟角が大きくなるにつれて引き抜き抵抗も大きくなることが予想されるが、挟角が 60° を超えると逆に小さくなっている。これには地盤の深さ方向への物理・力学特性の変化も大きく関わっていると考えられる。

表2には深さ方向への乾燥密度と間隙比の変化（締め固まり具合の判断材料になる）を示しが、地盤表面から深くなればなるほど乾燥密度は大きくなり、地盤はよく締め固まっていることがわかる。そのため、斜杭の引き抜き抵抗も杭の先端がある程度深いところまで到達しているものの方が大きくなると考えられる。よってこの影響を考慮するため、模型地盤の表面付近と深さ20cm付近の地盤を乱さないように採取し、一面せん断試験を行って模型地盤の強度定数を調べた。その結果、地盤の内部摩擦角は深さによらず約 24° で同じであるが、粘着力は浅い部分で $0.19(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 、深い部分で $0.27(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ と深さによって異なることがわかった。内部摩擦角がほぼ同じであるのは同じ地盤材料を用いたためで、深いところほど粘着力が大きいのは土粒子同士がより密着しているためと考えられる。斜杭が地盤中で引き抜き抵抗を発揮するメカニズムは複雑であり、粘着力などの地盤の力学特性値から引き抜き抵抗を理論的に計算するのは非常に難しいが、杭の先端が地盤のどこまで到達しているかが引き抜き抵抗に影響を及ぼすことは間違いない。今回の結果からは、杭間の挟角 60° 程度で最大の引き抜き抵抗を示すことがわかった。

一方、最初に現れるピーク抵抗までの斜杭の引き抜き量を見ると、杭間挟角が大きいものほど小さくなっているのがわかる。これは、杭間挟角が大きくなれば杭の水平面への投影面積が大きくなるためであり、今回模型実験を行った範囲では挟角 90° のものが最も少ない。さらに杭間の挟角を上げればより少ない引き抜き量で引き抜き抵抗が最初のピークに達することが予想されるが、杭自身にかかる地盤の上載圧が減少するため引き抜き時の抵抗もさらに小さくなると考えられる。従って、引き抜き量の大小だけでなく、その時の引き抜き抵抗も考慮して最適な杭間挟角を求めることが望ましい。実際の設計においては引き抜き量の許容値が設定され、その範囲内で最も大きな抵抗を持つ条件が採用されることが考えられるが、例えばこの値を5cmとした場合、今回の実験結果では挟角 60° のものを選択することになる。

なお、直杭の場合には引き抜き量がほぼゼロの状態で最大の引き抜き抵抗を示すが、引き抜き時の抵抗は斜杭ほど期待できない。よってさらに長い杭を使用するなど、材料費や施工面でのコストが増大するため、あえて直杭を採用するメリットは少ないと考えられる。

おわりに

本研究では、模型実験を行うことにより斜杭の引き抜きに関する基本的な力学特性を検討した。その結果、斜杭は直杭に比べてはるかに大きな引き抜き抵抗を発揮し、温室用の基礎方式として非常に有効であることがわかった。また、今回行った実験条件の範囲内ではあるが、杭間の挟角については 60° のものが最も大きな引き抜き抵抗を発揮し、比較的少ない引き抜き量で抵抗が最初のピークに達することが明らかになった。

温室用基礎としての役割を考えた場合、できるだけ小さな変形量で大きな抵抗を発揮するものが望ましい。今回の実験結果からは 60° 程度が最適な杭間挟角という結論になるが、この値は土質や締め固めなどの地盤条件などによって変わる可能性もある。今後は地盤条件の異なる実験を追加し、杭間挟角と引き抜き抵抗の関係についてさらに検討する予定である。また、実際の温室基礎には静的な引き抜き荷重のみならず、繰り返し荷重や横風による水平方向の荷重なども問題となることが予想されるため、これらの点についても今後の課題としたい。なお、現在、実際に現場で杭を斜めに打ち込むための杭打ち機を設計・試作中であるが、実スケールでの結果の検証や施工方法の検討も並行して進めるつもりである。

引用文献

- 地盤工学会 2000a. 第2編 第3章 土粒子の密度試験. 土質試験の方法と解説. 地盤工学会, 54-60.
- 地盤工学会 2000b. 第2編 第4章 粒度試験. 土質試験の方法と解説. 地盤工学会, 69-88.
- 地盤工学会 2000c. 第2編 第5章 液性限界・塑性限界試験. 土質試験の方法と解説. 地盤工学会, 93-107.
- 地盤工学会 2000d. 第5編 第2章 突固めによる土の締め固め試験. 土質試験の方法と解説. 地盤工学会, 252-264.
- 地盤工学会 2000e. 第7編 第4章 一面せん断試験. 土質試験の方法と解説. 地盤工学会, 563-600.
- 土質工学会 1989. 第6章 6. 4反力装置. 杭の引き抜き試験方法・同解説. 土質工学会, 46-48

(2002年12月13日受領；2003年2月3日受理)