

# アルミ棒積層体地盤の拡底杭引抜き模型実験に関する PIVを用いた大変形解析

拡底杭 アルミ棒 PIV

早稲田大学 学生会員 ○大竹浩太 早稲田大学 国際会員 赤木寛一  
清水建設(株) 国際会員 桐山貴俊 早稲田大学 学生会員 江崎晃一  
早稲田大学 学生会員 佐藤慶太

## 1. はじめに

地震動、風荷重による高層建造物のロッキング、地下水位の変動による浮力などにより、基礎構造物に対する鉛直上向きの外力が発生する。これらの上向き外力に抵抗するために、杭の引抜き抵抗が用いられる。拡底部を有する杭においては、周面摩擦に加え、拡底部の外周面直交方向に作用する支圧力を発揮することから、直杭に比べ、より大きな引抜き抵抗が期待できる。拡底杭の引抜き抵抗に関しては、杭頭荷重を計測した報告、数値解析を用いた報告がなされている。本稿では、拡底杭の引抜き時の地盤挙動に注目する。拡底杭の引抜き抵抗が、支圧効果が理由であることは理解できる。しかしながら、支圧抵抗が地盤挙動と関連し、いかに発揮するか明らかでは無い。本稿では、異なる拡底角度（以下、拡底角とする）を有する2種類の拡底杭および直杭を、地盤を模擬したアルミ棒積層体に設置し引抜き模型実験を行った。杭頭における荷重変位関係を計測すると共に、側方より撮影した画像を用いて Particle Image Velocimetry (PIV) による画像解析を実施した。実験及び画像解析の結果から、拡底角による荷重負担率および地盤挙動について考察した。

## 2. 実験装置および実験手順

杭引抜き模型実験装置は2次元条件を模擬し、地盤（アルミ棒積層体）および杭から構成される。地盤であるアルミ棒積層体は、深さ200(mm)、幅523(mm)の寸法で、杭設置後に密に敷き詰めることで作成する（図-1）。杭模型は図-2に示す3種（直杭、拡底角15°、拡底角30°）であり、それぞれ杭長220(mm)、軸径20(mm)、奥行き50(mm)のステンレス製の剛体杭であり、うち拡底杭2種は軸径60(mm)の拡底部を有する。場所打ち杭を想定するため、杭周と地盤の密着性を考慮するために、杭周にアルミ棒を接着する。杭はハンドルにより鉛直変位が制御可能である。アルミ棒の寸法は、長さ50(mm)の円形断面であり、直径1.6(mm)、3.0(mm)の2種類をそれぞれ質量比2:1の割合で混合している。地盤構成後3色（赤、青、黒）のペンを用いて20(mm)幅の層状になるようにアルミ棒断面を着色し、その後着色がランダムになるようにアルミ棒を攪拌する。地盤作成時、画像解析に用いる標点を外枠に設置する。

地盤作成手順は次のとおりである。はじめに10(mm)高さの底部地盤を作成し、杭を装置上部より吊下げる。杭底部と底部地盤を近づけ、この時点での荷重を0(N)と設定する。杭周辺にさらに190(mm)高さの地盤を作成し、積上げた時点での荷重、すなわち、杭周辺地盤の自重（190(mm)高さの地盤による荷重増分）を記録したのち、再び荷重を0(N)と設定する。

実験手順は次のとおりである。杭を最大変位12(mm)まで引抜き鉛直変位させる。この時、一定鉛直変位ごとにそのときの状況を装置側方から撮影し、PIV画像解析する際の画像データとして用いる。また、荷重を併せて測定し荷重変位関係を得た。鉛直変位0.0~2.0(mm)については、荷重読み取り間隔が0.05(mm)、撮影間隔が0.10(mm)である。一方、鉛直変位2.0~12.0(mm)については、荷重読み取り間隔が0.25(mm)、撮影間隔が0.50(mm)である。相関法による画像解析で画像の変化を正確に追跡するため、外的要因による撮影条件の変化を最小限に抑えなければならない。周囲からの光の影響を防ぐため、地盤背後に黒色カーテン、上面にアクリル板を設置する（図-3）。

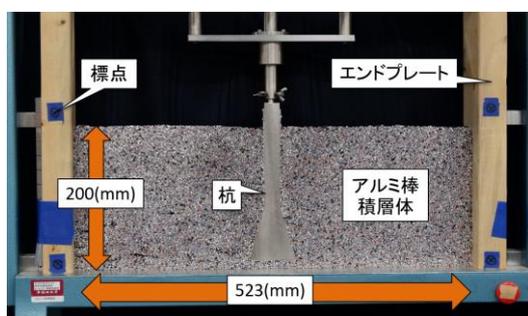


図-1 実験装置諸元

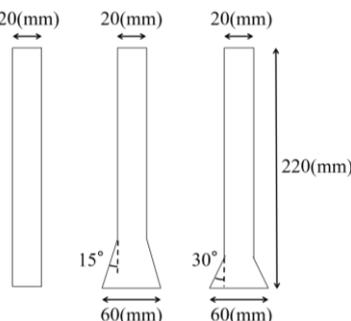


図-2 杭模型諸元

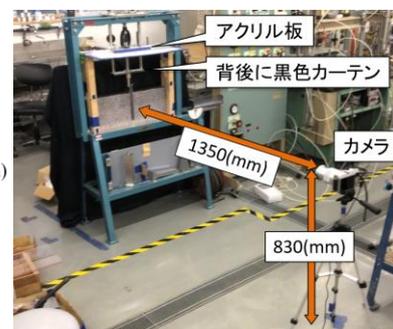


図-3 実験条件概要図

Large deformation analysis of uplifting belled pile model experiment embedded in aluminum laminates ground by using PIV.

Kota, Otake Waseda University  
Hirokazu, Akagi Waseda University  
Takatoshi, Kiriyama SHIMIZU CORPORATION  
Koichi, Esaki Waseda University  
Keita, Sato Waseda University

### 3. 実験結果および解析結果と考察

本実験により得られた荷重変位関係を図-4 に示す。図-4 より、拡底角が大きいほど荷重の値が大きくなった。これは拡底角が大きい杭（直杭は拡底角  $0^\circ$  とみなす）ほど拡底部による杭周辺地盤の持ち上げ量が多いことが原因と考えられる。この差は地盤作成時に杭にかかる杭周辺地盤の自重に起因するとも考えられる。

最大変位 12(mm)まで各杭を引抜いた時点での、地盤鉛直方向変位と最大せん断ひずみの PIV による累積画像解析結果を図-5 に示す。鉛直方向変位のコンターについて、上向きが+（青色）、下向きが-（赤色）で最大変位量は 12.0(mm)、最小変位量が-1.5(mm)である。最大せん断ひずみのコンターについて、赤色に近づくほど最大せん断ひずみは大きくなり、最大 100(%)、最小 0(%)である。鉛直方向変位の画像解析結果より、変位は拡底部から軸部を沿う領域に集中し、拡底部上部の地盤を伴い上方向に変位していることが分かる。直杭に比べ、拡底杭は上部地盤への鉛直方向変位の影響範囲が広い。しかし、拡底角  $15^\circ$  と  $30^\circ$  の場合を比較すると影響範囲に大きな差はない。最大せん断ひずみの画像解析結果を見ると、拡底角が大きいほど特に拡底部付近での変形量大きい。また拡底角  $15^\circ$  と  $30^\circ$  の場合、軸部周辺の上部地盤では下部地盤と比べて急激に変形量が小さくなる箇所が存在している。

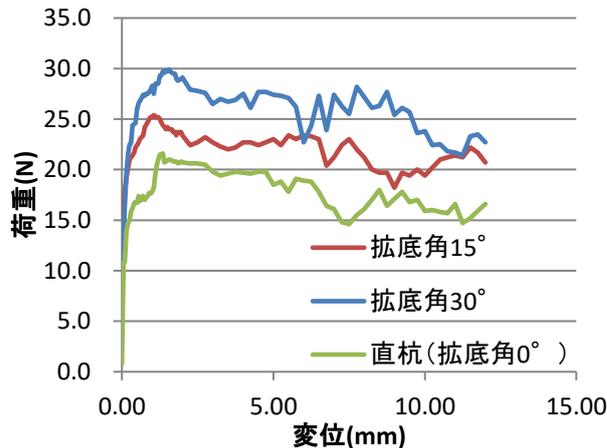


図-4 荷重変位関係

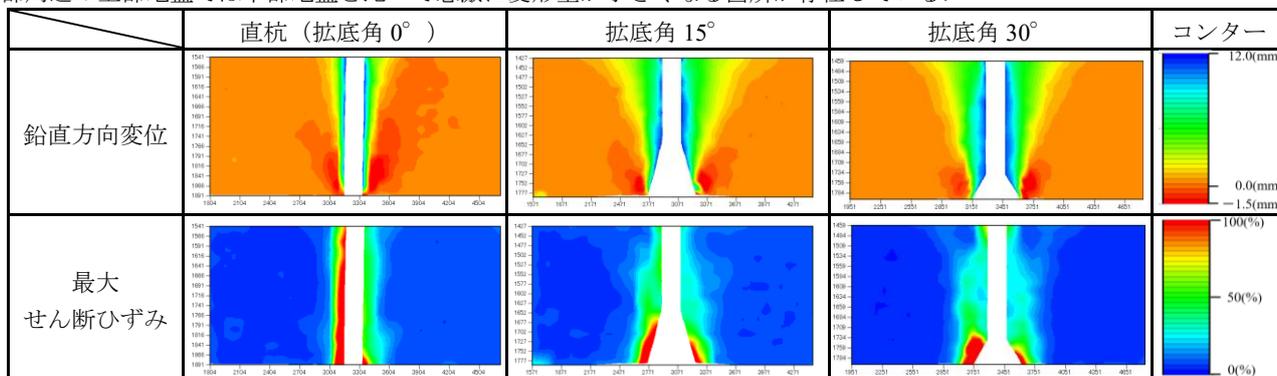


図-5 PIV による画像解析結果 (変位 0.0~12.0(mm)累積)

### 4. まとめ

本研究ではアルミ棒積層体を用いた杭引抜き模型実験を行い、荷重変位関係と PIV による画像解析結果の比較・検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 荷重変位関係より、拡底角が大きくなるほど杭周辺地盤の自重による荷重増分は大きく、より広範囲の地盤を拡底部で負担していると考えられる。
- 2) PIV による画像解析結果より、拡底杭の軸部付近では、地盤の真上方向への持ち上げが卓越している。また直杭に比べ拡底杭では、上部地盤での鉛直方向変位が大きく影響範囲も広い。
- 3) PIV による画像解析結果より、拡底角が大きいほど特に拡底部付近での変形量大きい。また拡底杭では、軸部周辺の上部地盤では下部地盤と比べて急激に変形量が小さくなる箇所が確認された。

<謝辞>

本研究にあたり、日本工営株式会社のソッキアン博士より画像解析ソフトを提供していただきました。記して謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 平井芳雄, 若井修一, 青木雅路: 砂質土地盤における拡底杭の引抜き抵抗に関する遠心力模型実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 74 巻, 第 643 号, 1613-1619, 2009.
- 2) 上野勝利, スレンソッキアン: 隣接基礎による砂地盤の変形と支持力, 土木学会応用力学論文集, Vol7, pp. 65-74, 2004.
- 3) 船橋知希, 赤木寛一, 桐山貴俊, 齋藤亮, 今田耕太郎, 江崎晃一, 佐藤慶太: PIV を用いたアルミ棒積層体地盤における基礎の支持力実験に関する解析的研究, 第 15 回地盤工学会関東支部発表会, 2018.