

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

早稲田大学 学生会員 ○佐藤慶太

早稲田大学 フェロー会員 赤木寛一

清水建設（株）正会員 桐山貴俊

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。本稿は、拡底杭の支圧抵抗と地盤挙動との関連に注目する。異なる拡底角度（以下、拡底角とする）を有する3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4種（直杭、拡底角 15°、拡底角 30°、拡底角 90°）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3種は軸径 60(mm)の拡底部を有する。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。杭周辺にさらに 190(mm)高さの地盤を作成し、荷重計を 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）。

実験の再現性を確保するために、各杭について3回ずつ、計12回実験を実施し、得られた荷重変位関係について考察する。

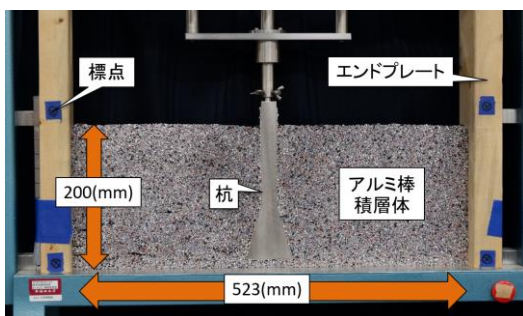


図-1 実験装置諸元

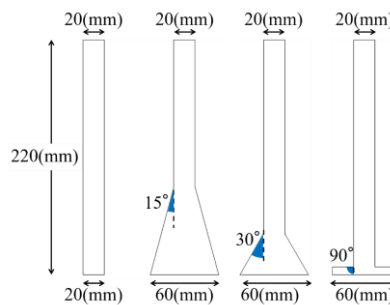


図-2 杭模型諸元

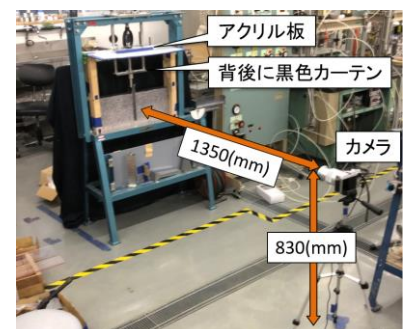


図-3 実験条件概要図

PIV, 拡底杭, アルミ棒積層体

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 205 号室赤木研究室 Tel 03-5286-3405

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，拡底角と荷重の最大値には概ね相関が見られることが分かる．直杭と拡底杭を比較すると，杭と地盤の境界のせん断力に加え，地盤内でのすべりに作用するせん断力が大きく発生したため，極限時の最大荷重に差異が発生したと考えられる．

図-4 の各 Case3 の実験における，極限付近である変位 2.0(mm)まで各杭を引抜いた時点での，地盤鉛直方向変位の 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鉛直上向きが青色，変位していない箇所が赤色で示され，最大変位量は 2.0(mm)である．画像解析結果より，変位領域は杭底部，もしくは杭底部外端から斜め上方向に広がっていることが分かる．拡底角の増大に伴い，青色のコンターが占める領域が増えていることが分かる．すなわち拡底角が大きい杭ほど持上げる地盤の量が多い．また，拡底角 90° のケースについて，変位箇所の左右の偏りが発生している．拡底角が大きいほど地盤を持ち上げる傾向が卓越し，左右で移動しやすい側の地盤が大きく変形していったことが原因であると考えられる．したがって，図-4 にて拡底角 30° と 90° のケースにてピーク値の差が少ないのは，このような変形モードの差異による影響が原因であると考えられる．

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引抜き抵抗が増大することが確認された．杭底部による地盤の持上げが発生し，地盤内すべりによるせん断抵抗が発生することが原因と考えられる．
- 2) PIV による画像解析結果より，地盤の持上げが可視化された．拡底角の増大に伴い変位の影響範囲が広がり，極限引抜き抵抗との相関が確認された．また，拡底角 90° の場合について変位の左右非対称性が確認された．

<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．

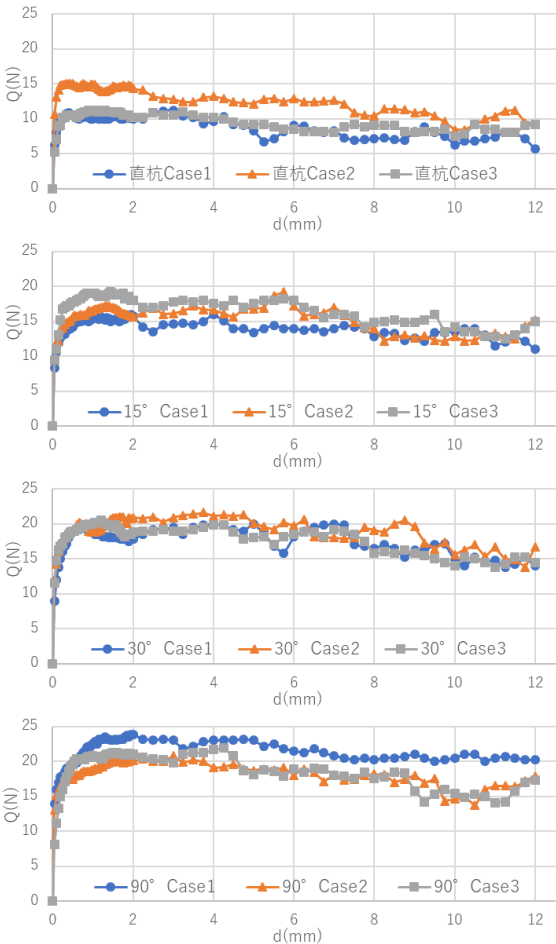


図-4 引抜き荷重と引抜き変位の関係

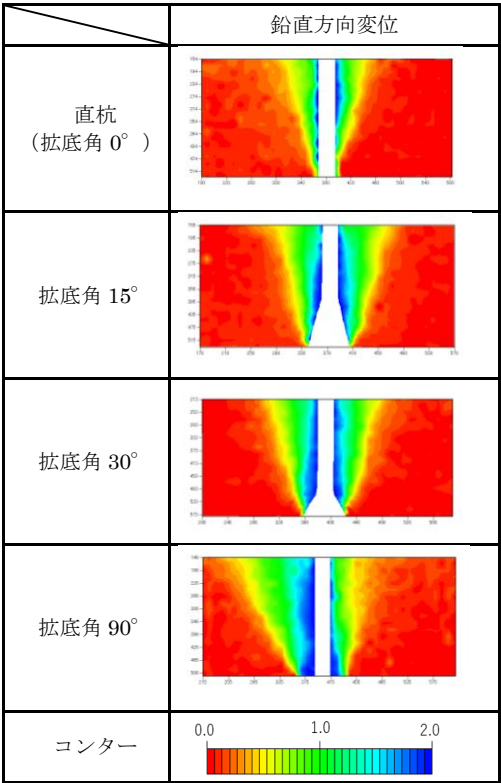


図-5 PIV による画像解析結果
(変位 0.0～2.0(mm)累積)