

拡底杭引抜き時における低拘束圧地盤の変形挙動

—PIVによる杭周辺地盤の画像解析—

拡底杭 引抜き試験 杭の引抜き抵抗

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) 技術研究所 国際会員 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¹⁾。本稿では、拡底杭の引抜き時の地盤変形挙動に注目する。地盤変形挙動と引抜き抵抗の関連性については不明点が多い。ここでは、拡底角 15° である拡底杭を、地盤を模擬したアルミ棒積層体に設置し引抜き試験を行った。杭の引抜き量と引抜き抵抗の関係を得ると共に、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。

2. 実験装置および実験手順

杭引抜き試験装置は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)の寸法である（図1）。杭は杭長 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、拡底径 60(mm)の拡底部を有し、拡底角は 15° である（図2）。場所打ち杭を想定して、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した。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 の割合で混合した。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した。

実験手順について述べる。まず 10(mm)高さの底部地盤を作成し、杭を装置上部より吊下げた。杭底面と底部地盤を近づけた後、190(mm)高さの地盤を作成し、計 200(mm)高さの地盤とした。複数回の実験から再現性のとれる地盤構成を検討した結果、地盤の単位体積重量が $20.5(\text{kN}/\text{m}^3)$ となるようにアルミ棒を積むことを目指した。杭の吊り下げと地盤の作成終了後に装置に取付けた荷重計を 0.0(N)と設定した。初期状態（引抜き量 0.00(mm)）から、手動ハンドルにより杭を 12.00(mm)まで引抜き鉛直変位させた。杭を一定量引抜くごとに、装置側方から実験装置の正面図を撮影することで画像解析に用いる画像データとした。また、荷重計の値を読み取ることで杭頭荷重から引抜き抵抗を測定した。引抜き量 0.00~2.00(mm)については、0.05(mm)ごとに荷重計の値を読み取り、0.10(mm)ごとにカメラのシャッターを押し撮影を行った。一方、引抜き量 2.00~12.00(mm)については、0.25(mm)ごとに荷重計の値を読み取り、0.50(mm)ごとに撮影を行った。

PIVによる画像解析では、画像上にメッシュを設置し1つ前の画像データと比較して一致度が最も高い領域へ変位したと判断する²⁾。そのため画像の変化を正確に追跡し、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した（図3）。

3. 実験結果および解析結果

本実験を3回実施し得られた、杭の引抜き量 $d(\text{mm})$ と引抜き抵抗 $Q(\text{N})$ の関係を図4-1、図4-2に示す。図4-2は、図4-1のうち $d=2.00(\text{mm})$ までについて抜粋したものである。図4-1、2より、3回の実験で引抜き抵抗は概ね近い値が得られたものの、若干のばらつきが見られた。

図4-1、2での case3 について、杭の引抜き量が 1.00(mm)、2.00(mm)、7.00(mm)の際における地盤内要素の鉛直変位と最大せん断ひずみの PIV 画像解析結果を図5に示す。鉛直変位コンターは上向きが+（青色）であり、最大せん断ひずみコンターでは赤色に近づくほど大きい。画像は初期状態からの累積の鉛直変位および最大せん断ひずみを示している。

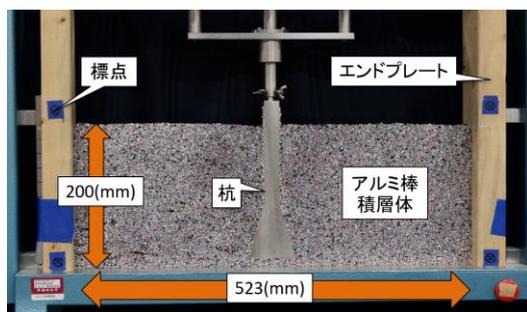


図1 杭引抜き試験装置正面図

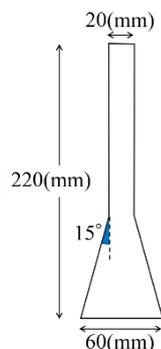


図2 拡底杭模式図

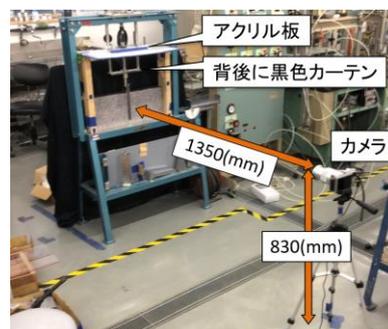


図3 杭引抜き試験俯瞰図

また、図5の(a)~(f)は図4-1, 2で矢印と点線の示す(a)~(f)と対応している。図5における鉛直変位の画像解析結果((a), (c), (e))より、杭底面から斜め上方向にすべり線が発生したことが見て取れる。地表面に近づくにつれて地盤内要素の鉛直変位の影響範囲が大きくなった。また、図5における最大せん断ひずみの画像解析結果((b), (d), (f))より、地盤内要素の最大せん断ひずみは杭底部付近では大きかったが、地表面に近づくにつれて小さくなった。

4. まとめ

本稿ではアルミ棒積層体を用いた杭底引抜き試験を行い、引抜き量と引抜き抵抗の関数とPIVによる画像解析結果について報告した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 引抜き量と引抜き抵抗の関係より、3回の実験について概ね近い引抜き抵抗値が得られた。
- 2) 鉛直変位の画像解析結果より、斜め上方向にすべり線が発生し、地表面に近づくほど影響範囲が大きくなった。
- 3) 最大せん断ひずみの画像解析結果より、地盤内要素の最大せん断ひずみは杭底部付近で大きくなった。

<謝辞>

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杭底引抜き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) 大竹浩太, 赤木寛一, 桐山貴俊, 江崎晃一, 佐藤慶太: PIVを用いたアルミ棒積層体地盤の杭底引抜き模型実験に関するPIVを用いた大変形解析, 第16回地盤工学会関東支部発表会, 2019.

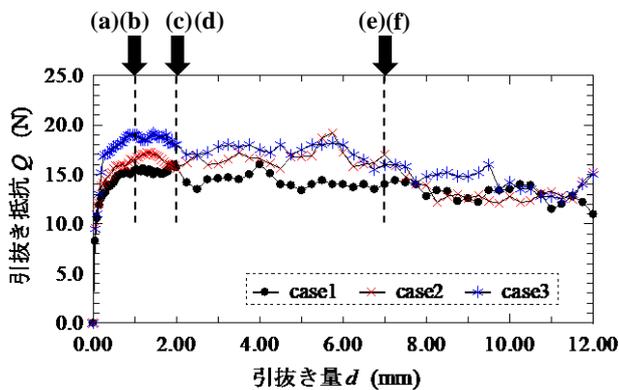


図4-1 引抜き量と引抜き抵抗の関係 ($d=12.00(\text{mm})$ まで)

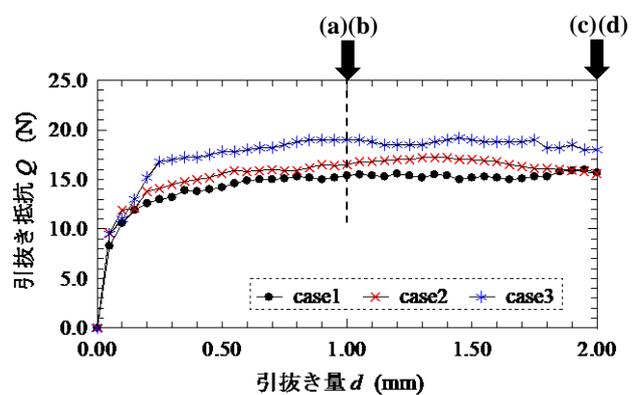


図4-2 引抜き量と引抜き抵抗の関係 ($d=2.00(\text{mm})$ まで)

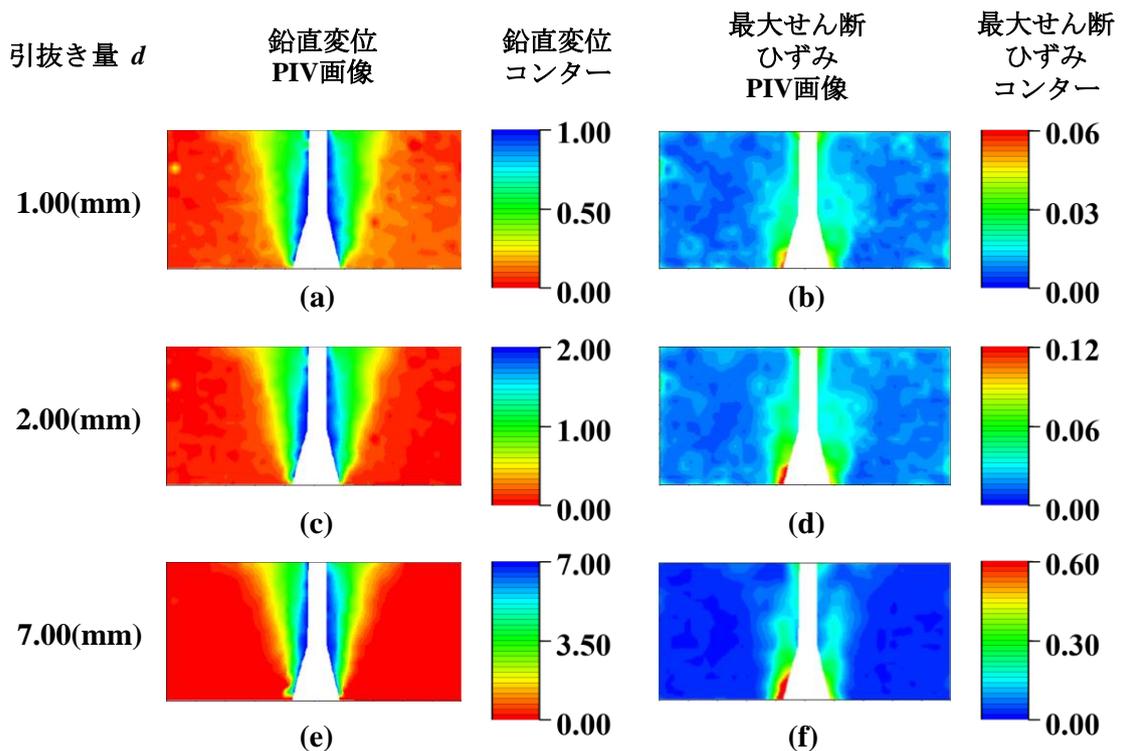


図5 PIVによる画像解析結果