

PIV を用いた基礎載荷地盤における粒子の大変位挙動解析

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
清水建設株式会社 正会員 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 船橋 知希

1. はじめに

地盤の大変形の予測手法の一つとして、数値解析手法による検討が行われている。数値解析の妥当性を評価するために、実験中の地盤の変形挙動を詳細に把握することが必要である。本研究では、アルミ棒積層体を用いた支持力実験を対象として変形解析を行い、変形挙動を観察するため、相関法による画像解析手法である Particle Image Velocimetry(以下、PIV とする)を用いて変形解析を行う。PIV は時間的に連続した 2 画像間の輝度分布を比較して解析を行う手法であり、標点を用いた変形追跡と比較してより解像度の高い変形追跡が可能である¹⁾²⁾。本稿では、最大せん断ひずみの詳細な分布状態や荷重変位曲線に対応する変形挙動について比較・検討を行う。

2. 実験装置および実験方法

基礎載荷実験装置は、高さ 60(mm)、幅 80(mm)、奥行き 50(mm)の真鍮製の剛体基礎および、高さ 200(mm)、幅 523(mm)の寸法で敷き詰められているアルミ棒積層体から構成されている。基礎部は載荷装置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。図 1 に実験実施前の装置の状況を示す。

基礎を 1(mm/min)の速度で最大変位 25(mm)まで鉛直変位させる。基礎の鉛直変位 0.5(mm)ごとに装置側方から撮影し、PIV 画像解析の画像データとして用いる。同時に基礎載荷時支持力を測定し荷重変位曲線の作成を行う。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抑える必要がある²⁾。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を、側面および上面に遮光版を設置する。また、カメラの撮影設定を固定し(表 1)、撮影時にはカメラのリモート機能を用いることでシャッター押下時のカメラのずれを抑える。

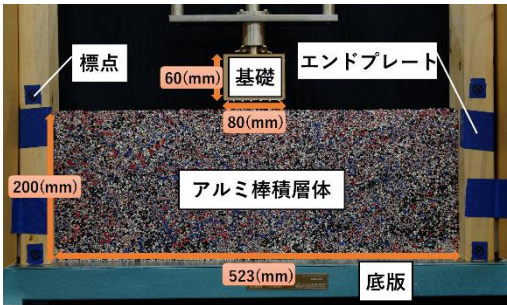


図 1. 変形前のアルミ棒積層体と基礎

3. 実験結果および解析結果

本実験における荷重変位曲線と PIV による画像解析結果(最大せん断ひずみの最大値を 0.1 で固定)の比較図を図 3 および図 4 に示す。図 3 より、基礎の鉛直変位 $d=0\sim3.5(\text{mm})$ の範囲では、荷重の増加傾向がみられ $d=3.5(\text{mm})$ において支持力が低下しているため極限支持力と判断される。荷重が増加傾向にある $d=1.0\sim1.5(\text{mm})$ 間ですべり線の候補が観察され、極限支持力をむかえた $d=3.5\sim4.0$ 間で明瞭なすべり線が観察されている。また、図 4 より $d=3.5\sim5.0(\text{mm})$ の範囲では荷重の変化は見られず、 $d=5.0(\text{mm})$ 以降の範囲では荷重の増加、減少を繰り返しながら、徐々に荷重が増加していくことが確認できる。画像解析結果を、荷重が減少傾向にある範囲について増加傾向にある範囲と比較すると、地盤全体として最大せん断ひずみの値が増大している。このことから、荷重の減少範囲において地盤全体の変形量が増加していることがわかる。

また、支持力理論³⁾に対するすべり線と、 $d=18.5\sim19.0(\text{mm})$ における最大せん断ひずみの分布図(最大値を 0.1 で固定)を重ね合わせたものを図 5 に示す。すべり線形状はプラントル等の理論曲線と酷似したものとなっている。本実験は基礎幅 80(mm)で行っている一方で、図 5 に示した理論曲線は基礎幅 60(mm)におけるものであり、基礎幅を 80(mm)に、内部摩擦角を $\varphi = 20^\circ$ と設定すると理論曲線の範囲はより大きくなる。このことから、本実験で観測

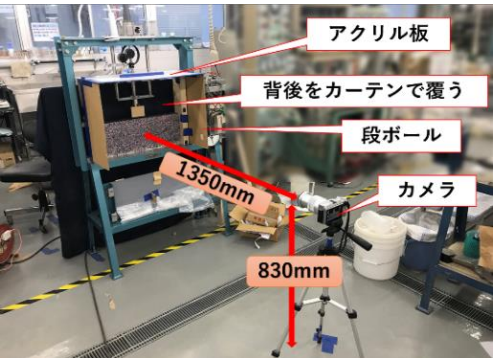


図 2. 実験装置概要

表 1. 撮影条件

設定項目	単位	値
画像サイズ	pixel	6000×4000
ISO感度	-	200
シャッタースピード	sec	1/8
絞り値	-	F8.0
カメラ高さ	mm	830
実験装置からの水平距離	mm	1350

されたすべり線は理論曲線と比べて小さくなることが判明した。

本実験における、荷重の増加・減少傾向はアルミ棒積層体の変形挙動と相関関係にあると考えられる。荷重が増加傾向にあるときは、応力が地盤内に蓄積されるため、地盤全体の変形が小さく、最大せん断ひずみは小さい値を示す。その後、基礎の鉛直変位が増加し、やがてすべり線が形成される。荷重が減少傾向にあるときは、蓄積された応力が解放されるため、大きな変形が発生し、最大せん断ひずみは大きい値を示す。以上より、応力の解放とともにアルミ棒積層体の再構成が行われ、再び以上の行程が繰り返されることによって荷重の値が変動するものと考えられる。

また、すべり線の範囲が小さく観測された原因として、基礎の両端部ではアルミ棒の移動が起こりやすく応力が十分に伝達されないことが考えられる。基礎の中心部では拘束圧が大きく、応力が十分に伝達されるため、基礎の両端部を除いた基礎幅 60(mm)における支持力理論に基づいたすべり線と、観測されたすべり線が範囲・形状ともに酷似したと考えられる。

4. まとめ

本研究ではアルミ棒積層体を用いた基礎載荷実験を行い、荷重変位曲線と 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) 荷重変位曲線より、基礎載荷の鉛直距離に応じて初期変形および荷重増加・減少傾向が観察された。極限支持力をとった以降は荷重の増加・減少を繰り返しながら、徐々に荷重が増加する。
- 2) 荷重の増加・減少が発生する理由として、アルミ棒積層体の崩壊及び再構成が発生しているためと考えられる。この現象は画像解析結果の最大せん断ひずみの変化より確認された。
- 3) 画像解析結果より、すべり線の形成は支持力理論に対するすべり線と酷似した形状となっていることが観察されるが、影響範囲については理論曲線より小さな範囲が確認された。
- 4) 影響範囲が理論曲線より小さく観測された理由として、基礎の両端部での応力の伝達が不十分であることが考えられる。

今後の課題として、数値解析によるシミュレーションを行い、解析結果の妥当性の評価を行うことが挙げられる。

<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。

5. 参考文献

- 1) 佐藤慶太, 赤木寛一, 桐山貴俊: PIV を用いたアルミ棒積層体地盤の大変形解析, 第 53 回地盤工学研究会発表会, pp1529-1530, 2018
- 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, pp65-74, 2004.
- 3) Plandtl, L.: "On the penetrating strength (hardness) of a plastic construction materials and the strength of cutting edges", Zeit angew. Math.Mech., 1.No.1, 1921.

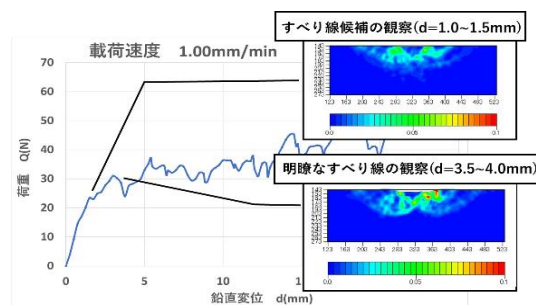


図 3. すべり線の観察

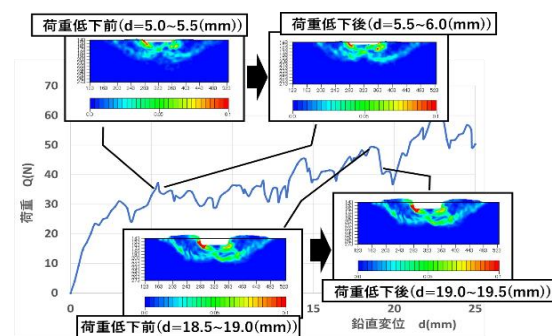


図 4. 荷重の増加・減少

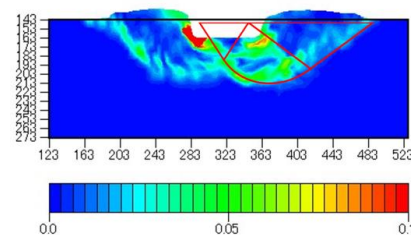


図 5. 最大せん断ひずみの分布図と支持力理論曲線

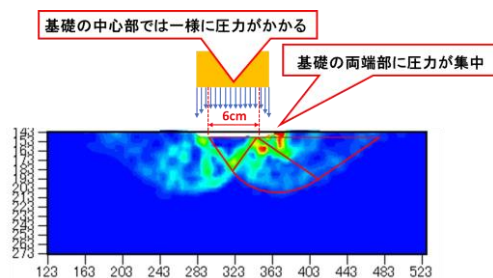


図 6. すべり線形成範囲の考察