

PIV 画像解析による砂の支持力試験における変形の計測と可視化

八戸工業大学 正会員 金子 賢治
 八戸工業大学 学生員 豊島 一也
 八戸工業大学 正会員 熊谷 浩二

1. はじめに

地盤の工学的諸問題に対する変形メカニズムの解明や、数値解析の検証を行なうために、地盤の変形の高精度の計測・可視化が必要であり、様々な計測手法が開発されている。本研究では、流れの可視化手法として広く用いられている PIV 画像解析手法¹⁾を用いて支持力試験における砂の変形の計測・可視化を試みる。

2. PIV 画像解析手法の概要

本研究では、PIV 計測の一種で、可視化画像の局所的輝度値パターンの移動量を求めることにより速度ベクトルを測定する相互相関法を用いる。図-1 に示すように相互相関法は、2時刻の画像間での局所的輝度値パターンの類似性を相互相関により定め、そのピーク位置から平均的な変位ベクトルを算出する。また、2時刻の画像から求めているため速度ベクトルが算出される。本手法は、流体や気体の流れ計測に対して発展してきたものであり、固体の変形への応用はそれほどなされていない。本研究ではこの手法を砂の支持力問題に適用するが、地盤材料の中でも砂質土は比較的粒子の輝度にばらつきがみられ、本手法なじみ易いと考えられる。

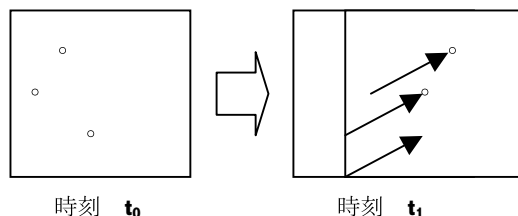


図-1 PIV 計測の概念

3. PIV 画像計測の砂の支持力試験への応用

(1) 試験に用いた試料

支持力試験には、青森県八戸市の馬淵川河口付近で採取した砂を使用した。この試料の土粒子密度は $2.63(\text{g}/\text{cm}^3)$ であり、粒度分布は図-2 に示すとおりである。最小密度 ρ_{dmin} は $1.203(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、最大密度 ρ_{dmax} が $1.462(\text{g}/\text{cm}^3)$ である。また、圧密排水三軸圧縮試験を行なって得られた砂の摩擦角は約 33° 、粘着力は 49.79 である。

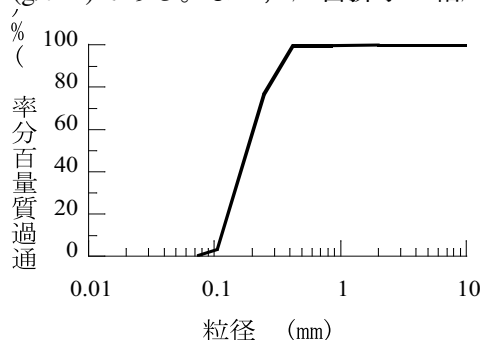


図-2 試験に用いた砂の粒度分布

(2) 実験装置の概略と実験方法

本研究で用いた平面ひずみ条件を想定した支持力試験用の土槽の大きさは高さ 60cm、幅 100cm、奥行き 20cm である(写真-1)。砂を土槽の下から 40cm まで入れ、土槽中心部に設置した載荷板に強制的に変位を与えることで載荷を行なった。載荷板上部にロードセルを設置し反力を測定した。載荷板のサイズは厚さ 1cm、幅 15cm、奥行き 20cm と厚さ 1cm、幅 10cm、奥行き 20cm の二種類を用いた。さらに、砂の相対密度を 0.7 と 0.9 に設定して全部で 4 ケースの実験を行った。本研究では、強制変位を 1 分間に 1mm 与えて、1 分毎に解像度 600 万画素のデジタルカメラで砂の状態を撮影した。撮影したデジタル写真を PC に取り込み画像解析および計測を行った。

表-1 実験データによる極限支持力

	相対密度	載荷板幅 (cm)	極限支持力 $q_u(\text{t}/\text{m}^2)$
ケース 1	0.7	15	421.67
ケース 2	0.7	10	587.00
ケース 3	0.9	15	449.00
ケース 4	0.9	10	627.50



写真-1 実験装置

キーワード：PIV, 支持力, 砂

連絡先：〒031-8501 八戸市妙字大開 88-1 TEL: 0178-25-8066 FAX: 0178-22-0722

4. 実験結果

図-3 に支持力試験で得られた荷重と沈下量の関係を示す。この図より、支持力試験における典型的な結果が得られていることが分かる。表-1 に実際に支持力試験から得られた極限支持力を示す。

図-4 は、デジタル画像を用いて PIV 計測を行った結果から得られた速度ベクトルの分布図を示している。(a)は、ケース 1 で載荷開始後 46 分と 47 分(変位量 46mm~47mm)に撮影した画像間の速度ベクトルを示している。(b)はケース 3 で同じく 46 分と 47 分(変位量 46mm~47mm)間に撮影した速度ベクトルを示す。この図より、ケース 1 は載荷板の下の方砂が下方深くに変位しているのが読み取れる。また、ケース 3 では載荷版下方の砂が左右に流れていっている様子がみられる。このことから、妥当な計測結果を示しているといえる。図-5 は PIV 解析の結果得られた速度ベクトルを用いて算出したひずみ速度の例としてひずみ速度の分布を示したものである。この図からは図-4 と同じく速度ベクトルの大きい部分が載荷板の下から左右方向に拡張していく様子が観察でき、ケース 1 からは局部せん断の様子がみられ、ケース 3 では全般せん断の様子が観察できる。

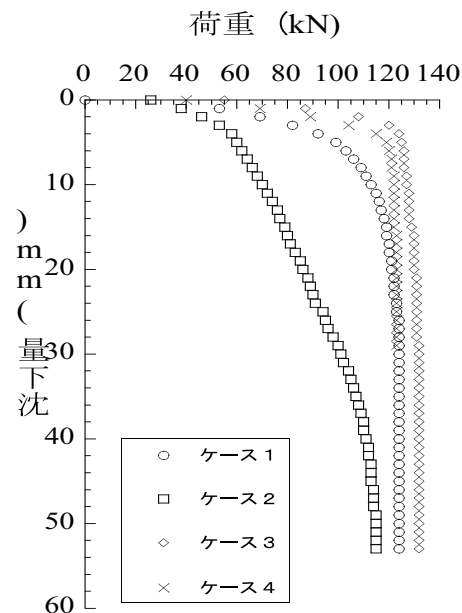
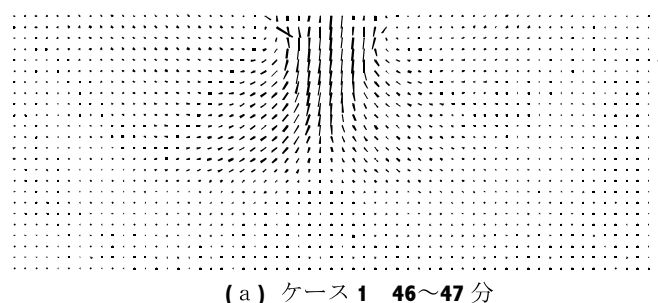


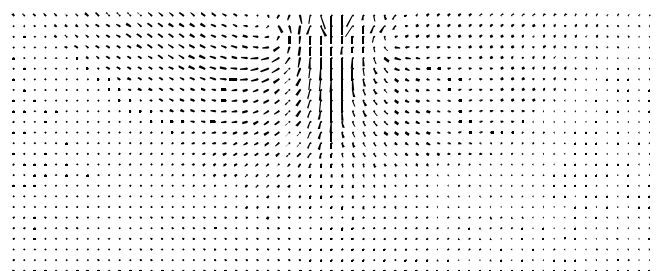
図-3 荷重と沈下量の関係

5. あとがき

このように、PIV 画像解析による結果は格子状に分布した各計測点の速度ベクトルを有限要素法の接点の速度ベクトルと見なして物体内部のひずみ速度を推定可能であり、数値解析結果の検証などに非常になじみやすいと考えられる。また、画像の精度の向上や結果の検証など課題もある。現在は、液状化を例にして砂の変形の PIV 画像解析による砂の変形の計測・可視化を試みている。



(a) ケース 1 46~47 分



(b) ケース 3 46~47 分

図-4 速度ベクトル分布



(a) ケース 1 46~47 分



(b) ケース 3 46~47 分

図-5 ひずみ速度分布

参考文献

- 1) 視覚情報学会：PIV ハンドブック，森北出版，2002.
- 2) M. ラッフル，C.E. ヴィラート，J. コンペンハンス：PIV の基礎と応用—粒子画像流速測定法—，シュプリンガー・フェアラーク東京，2000.