

定圧一面せん断試験と小型 3 軸力覚センサを組み合わせた密詰め砂の局所的応力比の計測

京都大学 正会員 ○宮崎 祐輔
学生会員 廣瀬 駿
学生会員 福岡 知弥

1. 研究背景と目的

土-構造物の相互作用において、構造物の変形や変位を支配する土からの直応力とせん断応力を把握することは重要な課題である。これらを計測するためには、任意の位置において直応力とせん断応力を同時に評価可能なセンサが必要である。そこで、本研究では、古くは生体医工学における足指マウス開発¹⁾から、最近では機械工学における筋協調解析²⁾に至るまで、高い計測精度と多方向の荷重計測が求められる分野で活用される歪ゲージ式の小型 3 軸力覚センサ³⁾に注目した。以下に報告する実験では、定圧一面せん断試験と小型 3 軸力覚センサを組み合わせることで、せん断箱内部の局所的な応力比とせん断装置から計測される応力比の相関を明らかにすることで、小型 3 軸力覚センサの適用性を調べた。

2. 実験概要

表-1 に、小型 3 軸力覚センサ (USL06-H5-50N, (株) テック技販製) の計測仕様を示す。表より、本センサは、広範囲の温度環境の適応性や、計測精度の高さを満足する電気抵抗式 (ひずみゲージ式) のセンサでありながら、小型の寸法を実現していることがわかる。本研究では、この小型 3 軸力覚センサによる応力比と、定圧一面せん断試験装置における応力比をそれぞれ比較することで、小型 3 軸力覚センサの土圧計測における適用性を評価することとした。

図-1 に、小型 3 軸力覚センサの設置方法の概略図を示す。図より、小型 3 軸力覚センサを、直径 59.9 mm、高さ 10 mm のアルミ製円柱ブロック内に埋め込んだ。本実験では、定圧一面せん断試験装置の下箱に砂の供試体を作成し、上箱部分に小型 3 軸力覚センサが埋め込まれた円柱ブロックを設置した。使用した定圧一面せん断試験装置の詳細については、既往の発表を参照されたい⁵⁾。供試体は、乾燥豊浦砂の

表-1 小型 3 軸力覚センサの仕様⁴⁾を基に作成

Rated capacity		
Fx		± 25 N
Fy		± 25 N
Fz		+ 50 N
Rated output		
Fx・Fy		0.23 mV/V
Fz		0.40 mV/V
Safe overload		
200%		
Temperature compensation range		
10 ~ 60 °C		
Weight of sensor		
3 g		
Dimension		
W x D x H		20 x 20 x 5 mm

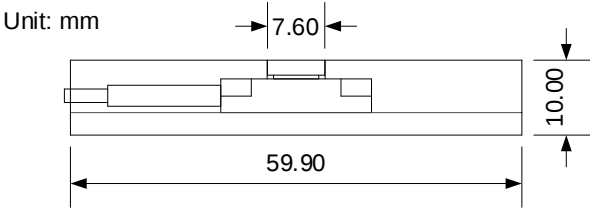


図-1 小型 3 軸力覚センサを埋め込んだアルミ製円柱ブロックの断面図：受圧部の直径は 7.60 mm.

相対密度を 85%に調整して、締固めにより密詰めに作成した。この条件下で、3 種の拘束圧条件下 (19.6 kPa, 39.2 kPa, 78.4 kPa, 156.8 kPa) において、5 mm までせん断させる単調せん断試験を実施した。

3. 実験結果

図-2 に、垂直応力 39.2 kPa における、垂直応力の載荷過程と、せん断過程における計測結果をそれぞれ示す。図中には、定圧一面せん断試験装置において計測される垂直応力、3 軸力覚センサにおいて計測される 3 方向 (X,Y,Z) の荷重値から受圧部の面積を除いた、すなわち、応力に換算した値を示す。X 方向の荷重成分がせん断試験装置におけるせん断方向と一致し、Y 方向はその直交関係、Z 方向が垂直応力の方向と一致する。圧縮方向の応力が正である。

図より、垂直応力の載荷過程においては、3 軸力覚

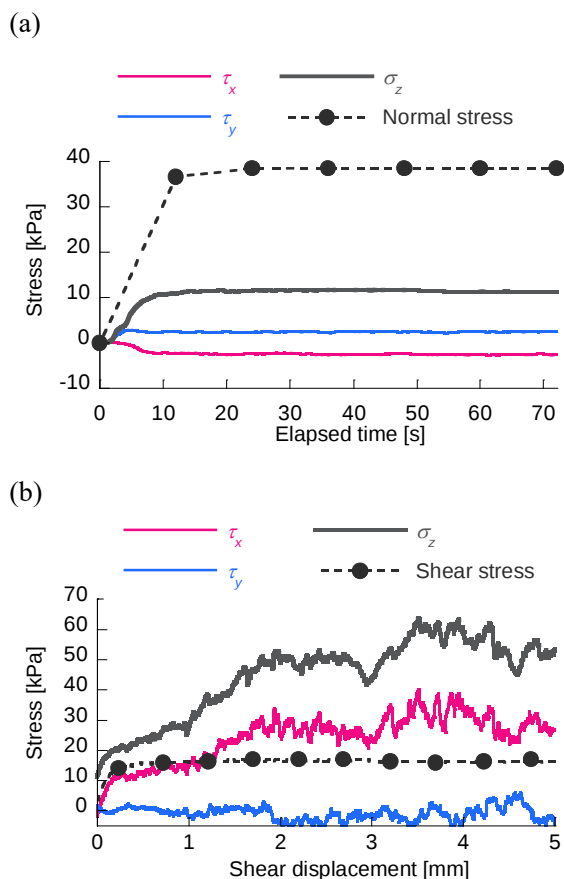


図-2 定圧一面せん断試験 (39.2 kPa) の計測結果 : (a) 垂直応力の載荷過程, (b) せん断応力の載荷過程

センサと一面せん断試験装置の計測結果に乖離があることがわかる。せん断過程においては、せん断変位の増大に伴い、3 軸力覚センサの垂直応力が上昇し、せん断試験装置の垂直応力を超えた。せん断試験装置、小型 3 軸力覚センサから得られる応力・変位関係はせん断変位 1 mm まではよく一致し、その後、乖離が拡大した。

図-3 に、種々の垂直応力条件における、せん断応力と垂直応力の比の推移を示す。図より、小型三軸力覚センサはより大きな応力比を示す。せん断試験装置は、砂供試体全体でのせん断応力および垂直応力の変化を計測するが、小型 3 軸力覚センサは、より局所的な応力変化を捉える。せん断過程において、せん断箱内の応力が中心部に集中することが知られており⁹⁾、計測値のオーダーを踏まえると、単調なせん断挙動については、小型 3 軸力覚センサは比較的良好な応答を示したと考えられる。

4. 結論と今後の課題

定圧一面せん断試験において、せん断箱内の密詰

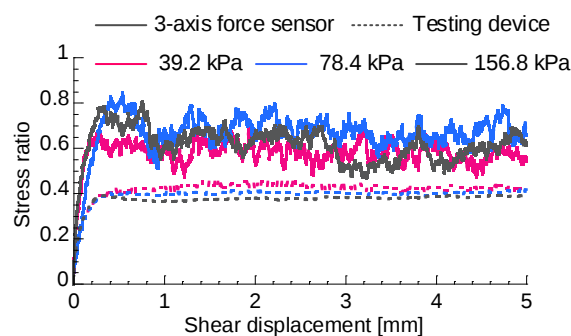


図-3 3 種の垂直応力条件におけるせん断過程の応力比の推移：実線が小型 3 軸力覚センサ、点線が定圧一面せん断試験装置の計測結果

め砂の局所応力を小型三軸力覚センサにより計測した結果、せん断装置で計測される応力比と同じオーダーでかつ、1.5 ~ 2 倍程度の応力比が計測された。今後は、繰り返しせん断試験に対する追従性を確認することを目的に、この小型三軸力覚センサを用いて、定圧繰り返し一面せん断試験を実施した後、模型実験への適用を進めることを計画している。

謝辞 本研究はみずほ学術振興財団 みずほ学術振興財団第 64 回工学研究助成を受けて実施した。また、小型 3 軸力覚センサにおける計測治具の作成においては、Jointevo 合同会社、神代浩司氏の協力を得た。ここに記して謝意を示す。

参考文献 1) 田中ら：足指マウス開発にむけての基礎的検討—母指の運動特性—, 生体医工学, Vol. 45, No. 4, pp. 790-794, 2005. 2) 前田ら：手先力制御における筋協調解析(筋骨格モデリング), ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A2-F05, 2012. 3) 黒木ら：触圧センサ、把持ロボット, 特許公開 2004-245717, 2004. 4) 株式会社テック技販：力覚センサ, 小型 3 軸力覚センサ USL06-H5 シリーズ. https://tecgihan.co.jp/products/sensor-amplifier-measuring-device/force-sensor/usl06-h5_series/ <2022/03/28, アクセス> 5) 廣瀬ら：相対密度の異なる乾燥豊浦砂とモルタルに対する定圧繰り返し一面せん断試験, 第 56 回地盤工学研究発表会, No. 12-6-5-02, 2021-7. 6) 例えば, M. Nitka, A. Grabowski: Shear band evolution phenomena in direct shear test modelled with DEM, Powder Technology, Volume 391, pp.369-384, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.025>