

第Ⅲ部門

3D プリンターで製造したジオストレス感知器の試作開発

京都大学工学部地球工学科	学生員	○ 間宮 基貴
京都大学大学院工学研究科	学生員	白石 啓太
京都大学大学院工学研究科	国際会員	ピパットポンサー ティラポン
京都大学大学院工学研究科	正会員	北岡 貴文
京都大学大学院工学研究科	正会員	大津 宏康

1. はじめに

地盤工学において、応力成分・応力方向の情報は、地盤の崩壊過程の予測や仮定などを確認する上で決定的な情報であるが、地盤物理模型や実際の現場の両方において、応力測定は困難で高価なものである。特に、土に関する計測のうち、土圧計測は極めて重要であり、最も難しい計測項目の一つとされている。現在、土圧計として最も多く使用されているのは、受圧面が変位するタイプのダイヤフラム型土圧計である。しかし、土圧計と周囲の土の相対的な剛性差やダイヤフラムと呼ばれる受圧板の変形によって、土圧計周辺の応力伝達を乱すアーチ作用や変形部分への応力集中が起こることで誤差が生じてしまい、正確な土圧測定を必要とする場面で大きな問題となることが従来から指摘されている。特に、多次元方向の土圧測定が必要な際には、多くの圧力計を干渉させずに同じ地点に入れる必要があるため、困難な作業となっている。そのほかの多次元応力測定法も大規模であるといったデメリットを抱えており、簡便な多次元応力測定技術は未だ開発で遅れをとっている。よってダイヤフラム型土圧計のように座屈やたわみの問題がなく、多次元方向の土圧測定が可能な新しい原理の開発が望まれる。

2. 既往の研究

新たな圧縮応力測定の方法として、感圧導電性粒子と呼ばれる、圧力に応じて弾性的に形状が変化し、導電性が大きい低抵抗の粒子を用いた方法が考えられている¹⁾。感圧導電性粒子群に荷重が加わると、感圧導電性粒子同士の接触面積は大きくなる。金属の抵抗値は、長さに比例し、断面積に反比例するので、感圧導電性粒子群全体の接触面積が大きくなると、群全体としての抵抗は減少する。荷重と抵抗値の関係を両対数軸でとると、図-1の

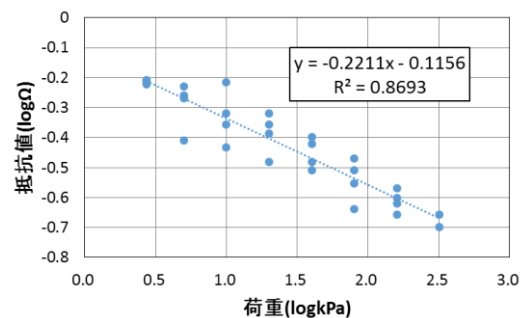


図-1 感圧導電性粒子群への載荷荷重と電気抵抗値の関係

ように線形に近い関係が得られるため、感圧導電性粒子群の電気抵抗値を読み取ることで荷重の測定に繋がれると考えられる。また、この原理を用いた2次元応力測定も考案されたが²⁾、完全な成功には至っていない。

3. 半球型粒子群の作製

本研究では、先行研究において提案された新たな圧縮応力測定の方法を、3次元応力測定に適用することを目的とする。感圧導電性粒子を半球形状にパッキングし、測定方向に電極を接続することで、複数方向の圧力測定や主応力方向の推定が可能になると考えた。感圧導電性粒子として3mmのステンレス製鋼球を用い、3Dプリンターを用いて半球型のパッキング部分を作製した。先行研究において、粒子群を加圧しながらエポキシ樹脂で位置関係を固定し、仕切によって複数方向に流れる電流が相互作用を起こさないようにすることが荷重-抵抗関係の精度を上げるとされていたため、それらの要素を取り入れ、図-2のような感圧導電性粒子群による3次元土圧計サンプルを作製した。底面の中心を陽極として、球の頂点に向かう1方向、底面に沿った横3方向、底面から45度傾いた斜め3方向の計7方向に電流が流れるように電極を接続した。7方向すべてを仕切によって絶縁するため、縦と横の方向は粒子群の直線配列を採用した。

4. 半球型粒子群への載荷試験

完成した土圧計サンプルに一軸圧縮試験機を用いて繰り返し載荷を行い、直流安定化電源によって定電流 1.0A を流しながら、各荷重段階に対応する電気抵抗値を測定した。載荷は半球の頂点の方向から行い、範囲は 0.4~1.8kN とした。粒子群の抵抗値は小さいため、Kelvin の低抵抗の 4 端子測定法を用いて電流と電圧を測定し、抵抗値を算出した。試験結果を図-3 に示す。直線配列を採用した横方向では荷重に対する抵抗値の変化が安定していないが、鋼球群が 3 次元的な配列を成している斜め方向では、荷重の増加に伴い抵抗値が減少する傾向がみられた。

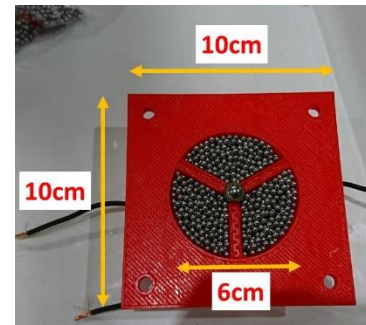
しかし、荷重方向に対して対称位置にある斜め 2 方向の荷重-抵抗関係の対数近似直線を比較すると図-4 のようになり、条件が同じであるにもかかわらず荷重に対応する抵抗値や近似直線の傾きが大きく異なっている。また、得られた近似直線は荷重-抵抗値関係を説明するには十分な精度を持っていない。内部に設けた仕切が応力状態を複雑にしていると考えられる。

5. まとめ

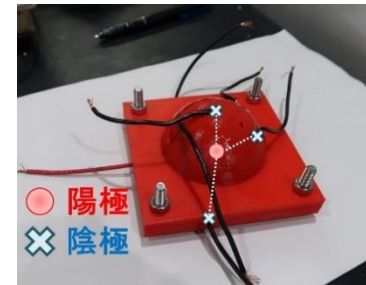
3 次元的な配列の粒子群において、先行研究と同じように荷重に対する抵抗値の減少傾向がみられ、感圧導電性粒子を用いた圧縮応力測定の実理が 3 次元においても適用できることが示された。しかし、対称位置において結果が異なっており、十分な精度を持つ線形関係も得られていないといった、精密性に関する課題が残っている。また、1 次元的な粒子群の配列では有意な荷重-抵抗関係が得られないことがわかった。測定方向すべての抵抗が 3 次元的な配列の粒子群となるような土圧計サンプルの構造も今後検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 白石啓太, ピパットボンサー・ティラポン, 北岡貴文, 大津宏康: ステンレス鋼球の電気抵抗と圧縮応力の特性に関する基礎的研究, 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.77-78, 2018.
- 2) 白石啓太, ピパットボンサー・ティラポン, 肥後陽介, 北岡貴文, 大津宏康: 感圧導電性粒子を用いた 2 次元主応力方向の測定原理の考察, 第 46 回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.298-303, 2019.

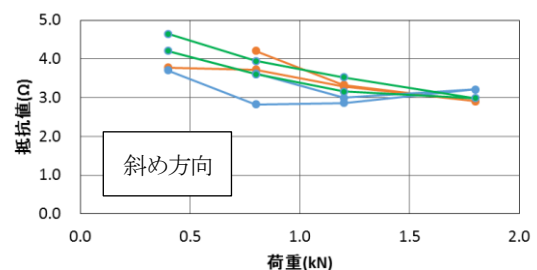
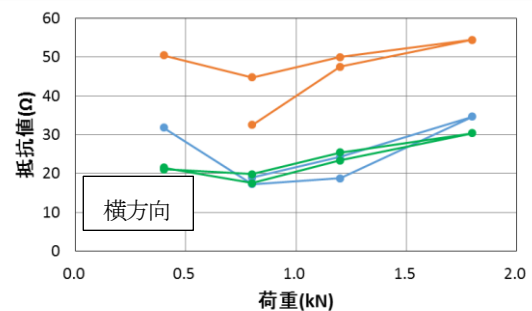


(a) 内部にステンレス鋼球を詰めた様子



(b) 外観

図-2 3次元土圧計サンプル



— サイクル1 — サイクル2 — サイクル3

図-3 3次元土圧計サンプルの荷重-抵抗関係

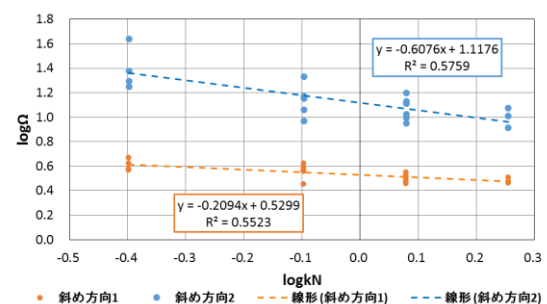


図-4 対数近似直線の比較