

## 土の繰返しせん断挙動予測のためのリカレントニューラルネットワークの適用

○福岡大学 正会員 村上 哲

福岡大学大学院 学生会員 村上晴菜

東亜建設工業 (株) 正会員 大森慎哉・浅田英幸

1. はじめに 地震時などの繰返し外力が作用する地盤の挙動を解析する場合、繰返し強度特性や繰返し変形特性などを取得するために多様な繰返しせん断試験を実施する必要がある。すべてのデータを取得するためには、時間を要するのが一般的である。これらの情報を迅速に取得することができれば、地震地盤災害からの早期復旧に貢献できると考える。限られた実験データから、取得できていない関係を予測するために土の構成関係が有効であるが、既知な情報に乏しい特殊土や地域土では、その利用も困難であると思われる。

本研究では、例えば、変位振幅一定の繰返しせん断試験から応力制御の繰返しせん断特性試験結果を取得するために、限られた実験データを教師データとした機械学習を実施し、異なる条件の実験データを人工知能により予測することができるかどうかを検討した。その結果について報告する。

2. 変位振幅一定繰返しせん断試験と機械学習 教師データは変位振幅一定定体積繰返し一面せん断試験の結果である。供試体は北海道厚真町より採取した乱した火山灰質粘性土 (恵庭ローム) を締固めにより作製したものである。この土試料に対し、鉛直応力 50kPa で圧密した後、定体積条件で変位振幅一定の繰返し一面せん断試験結果<sup>1)</sup>を利用した。教師データに利用した実験結果は、片振幅の大きさが 1mm、2mm、5mm の 3 つである。

図-1 は、片振幅せん断変位 2 mm の実験結果を示している。繰返し载荷に伴い、せん断応力と垂直応力が周期的に変動しながら、せん断応力はその変動幅が小さくなりながら推移し、垂直応力は変動幅が小さくなりながら減少していることが分かる。片振幅せん断変位 1mm、5mm の実験結果も同様な傾向を示した。図-2 は片振幅せん断変位 1mm と 5mm の実験結果から得られた応力経路図とせん断応力～せん断変位関係を示している。

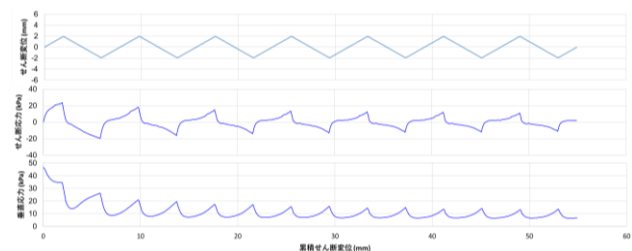


図-1 実験結果の一例

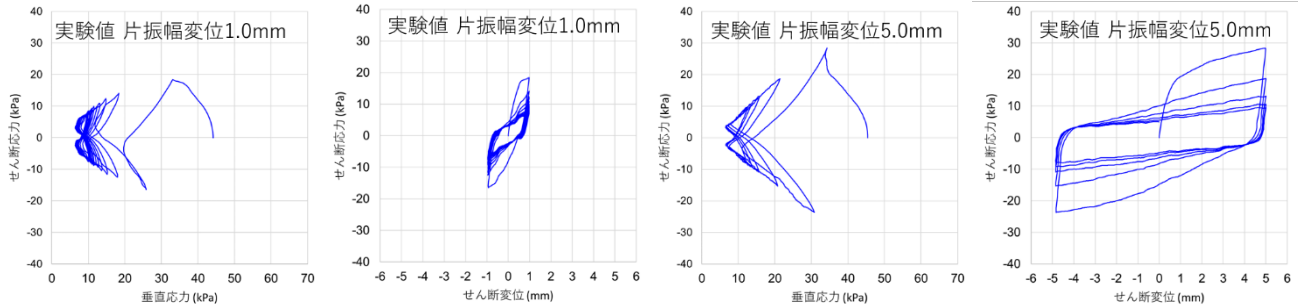
粘性土で見られるような挙動を示していることが分かる。3つの実験結果を用いて機械学習を実施し、異なる条件での予測を試みる。図-1 のように繰返しせん断試験は周期的に変動する応力あるいは変位に対する各種応答値を取得する試験であることに着目し、用いる人工知能モデルは、リカレントニューラルネットワーク (RNN) である。さらに、長期的な履歴を考慮できるように長短期記憶を有する RNN を利用した。

上述した片振幅せん断変位 1mm、2mm、5mm の実験データを用い、せん断変位増分を入力値、せん断応力と垂直応力を出力値とした教師データを作成した。教師データを用いて、せん断応力、垂直応力のそれぞれに対し、隠れ層 200 個、最大エポック数 1,000 回とした機械学習を実施し RNN モデルを構築した。

3. RNN モデルによる予測結果 構築した RNN モデルの予測精度を確認するために、教師データに利用した 3 つの実験の予測を行った。図-3 は図-2 に示した実験結果と同一条件での予測結果である。図より、応力経路にやや乱れがあるものの、両図とも比較的良好な予測結果を得たと判断した。次に、同じ RNN モデルを用いて、応力振幅一定 (繰返しせん断応力振幅  $\tau_{cyc}$  が 10, 10.6, 11, 12, 15kPa の 5 つの条件) の繰返し一面せん断試験の予測を行った。図-4 に  $\tau_{cyc} = 10, 12kPa$  での応力経路とせん断応力～せん断変位関係を示す。応力経路にやや乱れはあるものの、10kPa では繰返し破壊には至らず、12kPa ではおよそ 6 回で繰返し破壊に至った。その他の条件でも一般的に知られている応力経路とせん断応力～せん断変位関係が得られた。予測結果に基づいて、両振幅せん断変位と繰返し回数について整理した結果が図-5 である。更に、所定の両振幅せん断変位に至る繰返し回数とせん断応力振幅の関係を示したものが図-6 である。図-5 のクリープ的な挙動である遷移、定常、

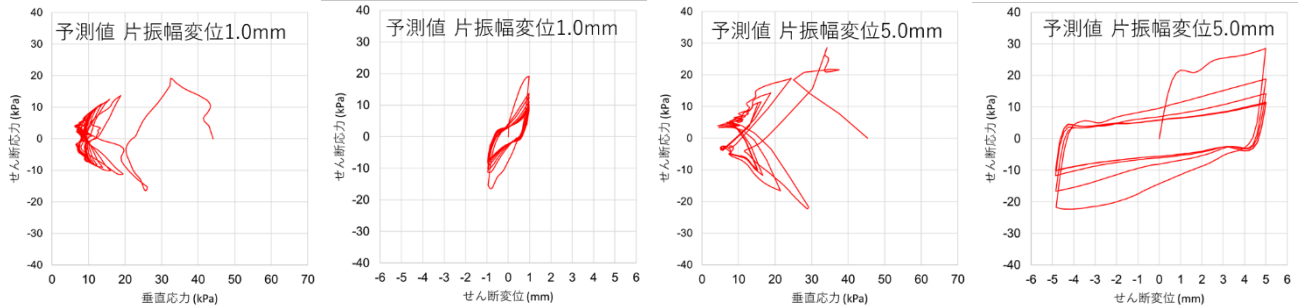
加速状態を表現できている点は興味深く、図-6 に破線で示した繰返し強度曲線も一般的な曲線形状を示したことは、本手法の有効性が示されたと考える。

4. まとめ 本研究では、変位振幅一定の繰返しせん断試験結果を教師データとした機械学習から RNN モデルを構築し、応力振幅一定の繰返しせん断特性試験結果を予測した。一般的に知られている傾向が示せたことから、本手法の有効性を確認した。今後は、実験結果との対比により予測精度の検討を行っていきたい。



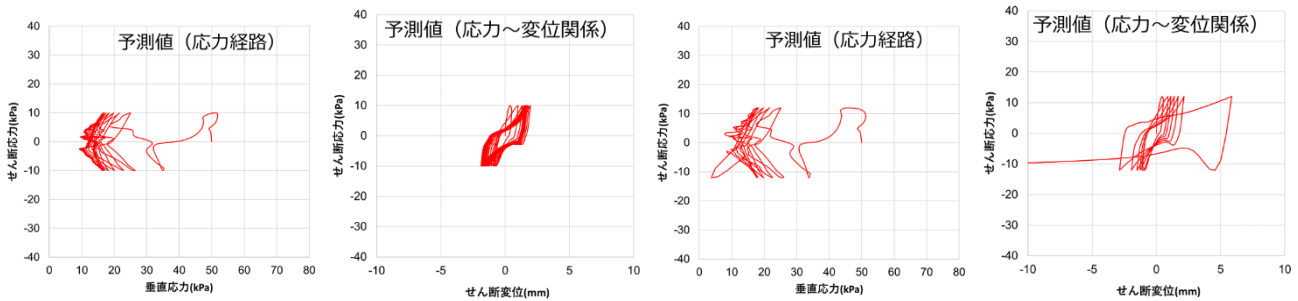
(a) 片振幅せん断変位 1.0mm のケース (b) 片振幅せん断変位 5.0mm のケース

図-2 変位振幅一定繰返し一面せん断試験実験結果



(a) 片振幅せん断変位 1.0mm のケース (b) 片振幅せん断変位 5.0mm のケース

図-3 変位振幅一定繰返し一面せん断試験予測結果



(a) せん断応力振幅 10.0kPa のケース (b) せん断応力振幅 12.0kPa のケース

図-4 応力振幅一定繰返し一面せん断試験予測結果

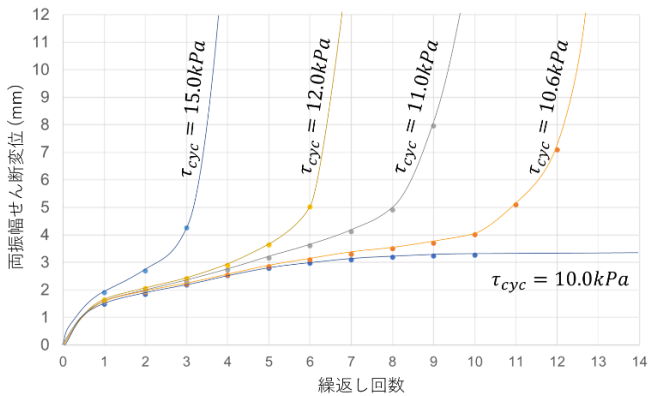


図-5 繰返し回数と両振幅せん断変位関係

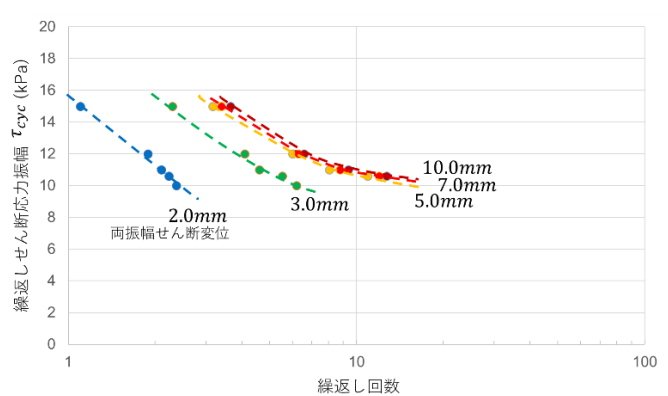


図-6 繰返し強度曲線

【参考文献】1) 村上晴菜ら：繰返し一面せん断試験の結果を利用した恵庭ロームの間隙水圧の推定式の提案、土木学会西部支部研究発表会，2023。（投稿中）