

LSTM による斜面表層ひずみ速度の異常検知に関する一考察

(独) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所 正会員 ○平岡 伸隆, 正会員 吉川 直孝
 東京都市大学 学生会員 中根 良太, 正会員 伊藤 和也

1. はじめに

斜面動態観測による危険時の退避判定において、異常が発生しているかを検知できるかが命題となる。著者らは深層学習を用いた異常検知手法を用いて斜面動態の異常検知が可能であるか検討している²⁾。本稿では、地下水を上昇させて斜面を崩壊させた遠心模型実験の表層ひずみの計測結果の速度を用いた深層学習による異常検知を試みる。

2. 遠心模型実験の概要

遠心模型斜面の試料はまさ土を用い、高さ 5 m (プロトタイプスケール) の模型斜面を乾燥密度 1.5 g/cm^3 、初期含水比 17.3% で作製した。斜面勾配は労働安全衛生規則 356 条で規定されている高さ 5m 以上の勾配基準 60 度とした。

図 1 に実験概略図を示す。土槽底面に間隙水圧計を 1 m 間隔で設置し、さらに斜面表層には表層ひずみ計を 8 箇所設置した。設定遠心加速度は 20G とし、20G 到達後に土槽背面の水位を上昇させ、斜面内の地下水位上昇を再現した。

崩壊の過程の様子を図 2 に示す。法先に地下水が到達すると湧水が確認され、その後、1165 秒で左方法先付近が崩壊し、徐々に上部に崩壊が遷移していく進行性崩壊を呈した。1370 秒で高さ 1.5m, 1474 秒で 2.5m, 1497 秒で法肩から崩壊した。表層ひずみ計は 10 Hz で計測しており、水位上昇 5 分前を経過時間 0 秒としている。この表層ひずみ計による斜面動態計測結果を用いて異常検知を行う。

3. 異常検知手法

既報¹⁾にて、表層ひずみの計測結果に、系列データの学習に有効な Long short-term memory (LSTM) を用いた異常検知の適用を試みた²⁾。計測前半の正常値のみで学習した LSTM モデルを使って、その後のデータの予測値を算出し、計測値と予測値が乖離している場合には異常と判断する手法である。Ch22 に適用した結果を図 3 に示す。LSTM による異常検知手法の有効性について確認されたものの、予測値は計測値を一定時間後に追従している「見せかけの回帰」が発生していた(図 4 参照)。これは、表層ひずみデータが非定常性を持つデータであることに起因している。そこで、表層ひずみの計測データを微分し、速度とすることで定常データに変換し、同様の手法によって斜面動態の異常検知が可能か検証する。学習は実験初期時に地下水位の

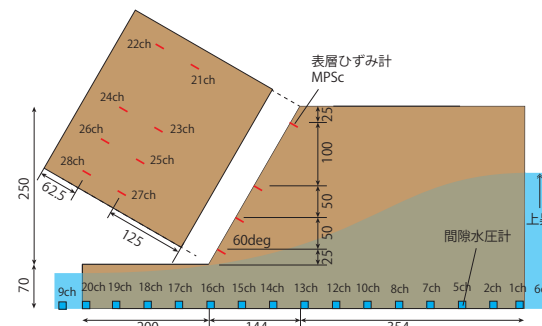


図 1 遠心模型の概略図



1370 秒

1497 秒

図 2 遠心模型実験の崩壊の様子

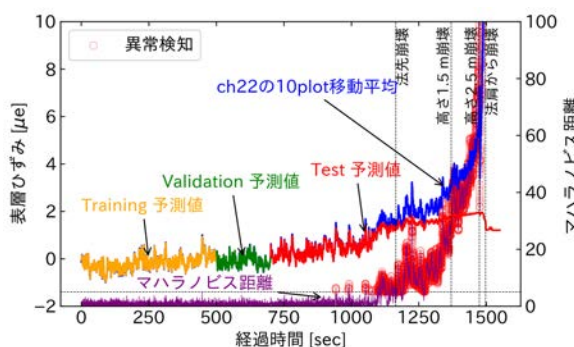


図 3 ch22 表層ひずみの推論結果

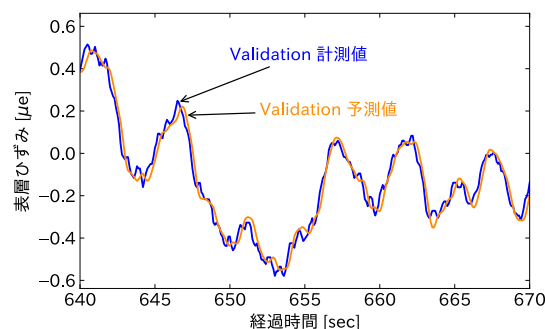


図 4 Validation 期間の見せかけの回帰

キーワード 斜面崩壊, 異常検知, 深層学習, 動態観測, 遠心模型実験

連絡先

〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 労働安全衛生総合研究所 TEL:042-491-4512

上昇の影響が少ない最上部に設置された ch22 のデータを対象とする。データの前処理としてノイズ除去のために 10 プロットの移動平均をとり、 $dt = 0.1\text{sec}$ で速度を求めた。最初の 500 秒 (5000 プロット) を学習データ、次の 200 秒 (2000 プロット) を検証データ、それ以降 700 秒から 1550 秒までテストデータとして分け、学習データの最小値と最大値が -1 から 1 となるように正規化を行った。学習の入力データとして、窓幅を 10、スライド幅を 1、予測幅を 1 に設定し、それぞれのデータから入力ベクトルと予測値ベクトルを生成した。つまり、10 個の計測データから次の 1 個の計測値を予測するモデルで、1 個ずつずらしてベクトル生成をしているため、学習データ数は 4990 個となる。学習モデルは LSTM を 1 層 (隠れ層 32) とし、全結合層によって 1 つの予測値を出力する。損失関数は平均二乗誤差、最適化手法は Adam (学習率 0.001) を用いて、エポック数は 300 とした。学習したモデルによって推論した ch22 の表層ひずみ速度の結果を図 5 に示す。異常度の指標として Validation 期間の誤差から平均、分散を求め、正常時の誤差が正規分布していると仮定してマハラノビス距離を求めた。マハラノビス距離の閾値は学習期間の最も高い距離 (4.5) とすると、最も早く異常を検知したのは 1446 秒で、ch22 が設置された高さ 4.5 m が崩壊するよりも前に異常検知できている。ただし、図 3 のように速度ではなく表層ひずみを予測した場合は、943 秒で異常検知していることと比較すると大きく遅れている。しかし、図 6 に示したように、予測値が計測値を追従しているだけの見せかけの回帰は解消されている。また、その他の計測器にモデルを適用した場合も最も下段に設置された ch28 以外は、設置箇所高さの崩壊を事前に検知している (図 7 参照)。

4. まとめ

LSTM による異常検知手法を用いて、表層ひずみと表層ひずみ速度を対象に学習・推論した場合の違いについて検証した。見せかけの回帰を解消した表層ひずみ速度でも崩壊前の異常検知が可能であるが、本研究の前処理方法やモデルでは、表層ひずみをそのまま学習した方が、検知時間が早くなることがわかった。

参考文献

- 1) 平岡伸隆, 吉川直孝, 帆保康幸, 伊藤和也: 地下水の影響を受ける斜面掘削工事の対策について, 土木学会第 73 回年次学術講演会, III-320, pp.639-640, 2018.
- 2) 平岡伸隆, 吉川直孝, 伊藤和也: LSTM による斜面表層ひずみ計測結果の異常検知に関する一考察, 第 56 回地盤工学研究発表会 (投稿中), 2021.

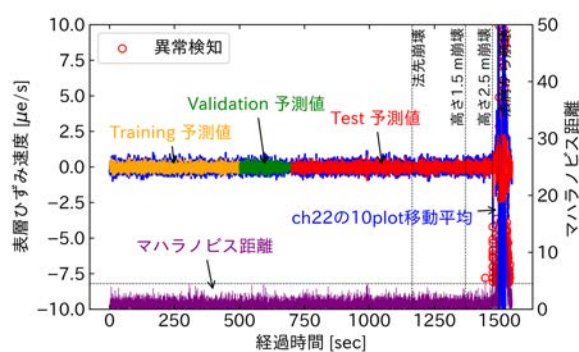


図 5 ch22 表層ひずみ速度の推論結果

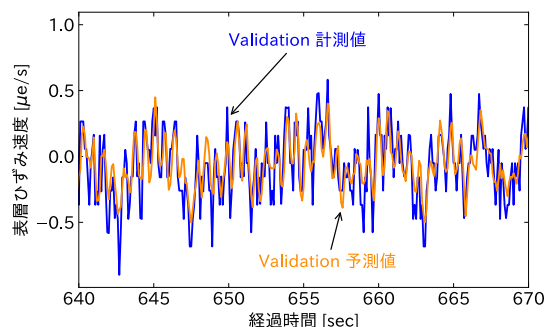


図 6 見せかけの回帰の解消

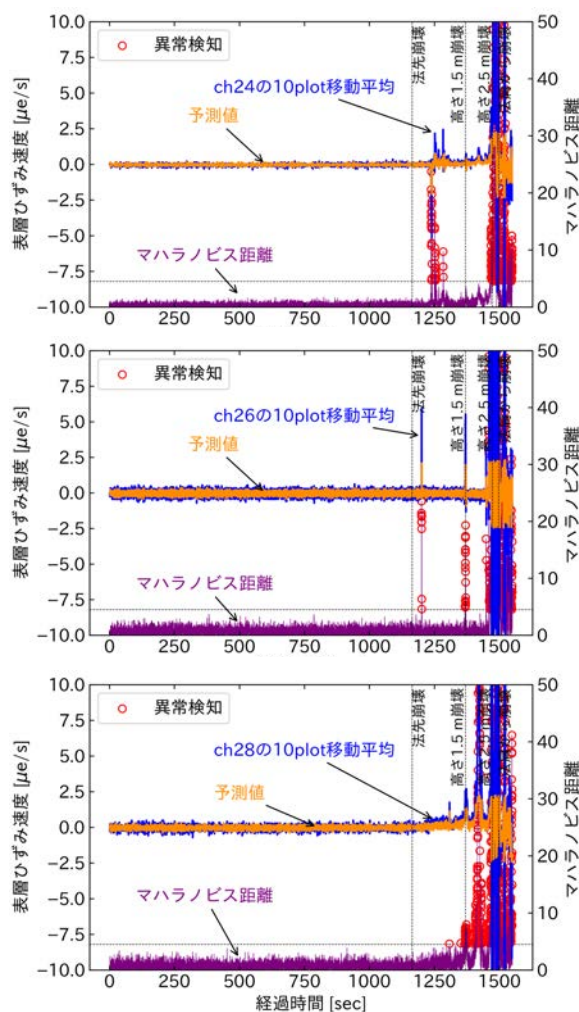


図 7 ch24~28 の表層ひずみ速度の推論結果