

CNN を用いた多変量時系列データ分析による斜面動態の異常検知

独立行政法人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
東京都市大学大学院	学生会員	中根	良太
国立研究開発法人産業技術総合研究所	正会員	竿本	英貴
独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所	正会員	吉川	直孝
東京都市大学	正会員	伊藤	和也

1. 目的

労働安全衛生における Digital Transformation (DX)が推進されており、斜面掘削工事においても斜面の変状を計測機器によって監視し、施工管理や危険時の退避判定に用いることが有効である。ここで課題となるのが、気温変化等に起因するノイズを含む計測データがどのように変化したときに斜面を「異常」と判断するかであり、そのための異常度の定義と閾値の設定が必要である。本稿では、実大斜面の崩壊実験において記録された変位の時系列データに温度依存性を加えた模擬データを対象とし、Convolutional neural network (CNN)による多変量時系列データの予測とその異常検知手法についてまとめる。

2. 分析データとモデルについて

分析に使用するデータは、実大斜面の崩壊実験で記録された変位データを用いる。実験条件の詳細は既報¹⁾に譲るが、高さ 3.5 m の関東ローム斜面を掘削によって崩壊させたものである。実験は屋内施設で実施しており、実験開始から約 7 時間で終了しているため、温度変化の影響の少ないデータとなる。ここに人工的に温度変化による依存性を付与し、模擬データを生成した。温度変化は実際に東京で計測された気温データにホワイトノイズを加えて元の計測データに加算した。図 1 に計測データおよび人工的に生成した温度依存性を付与したデータを示す。第 8 掘削後に計測データが第 3 次クリープ的に上昇し崩壊に至っており、これをなるべく早く検知することが目標である。温度依存性を与えたデータは温度による上昇なのか、変状が発生したのか分かりづらく、このようなデータが得られたとしても気象データを同時に入力することで、変化点検知が可能か検証する。

時系列データの分析には Bai ら²⁾が提案した CNN の時系列データに特化したアーキテクチャである Temporal Convolutional Network (TCN)を用いた。TCN は 1 次元データに対して、層を重ねるごとにカーネルに間隔をもたせる dilated CN, padding をしてからデータを削ることで常に過去のデータを参照するようにしている casual CN, スキップコネクションをもつ Residual CN を取り入れた手法であり、LSTM などの RNN と比較して精度の高いモデルであるとされている。CNN は多変量のデータに対しても入力チャネル数を増やすだけで対応でき、プログラム上もほとんど改変を必要としない。ここでは、温度依存性を含んだ模擬データと気

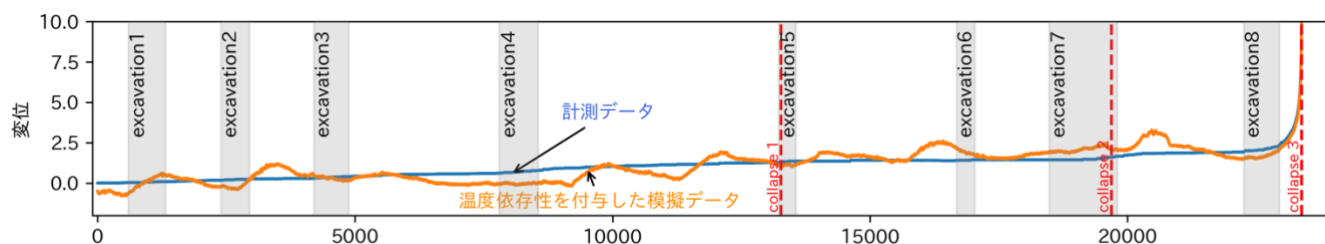


図 1 掘削による斜面崩壊実験における変位の計測データと温度依存性を付与した模擬データ

キーワード 異常検知, 斜面崩壊, CNN, Deep learning, 労働安全

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

(独法) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所 TEL042-491-4512

象データ（温度）の2チャンネルデータを入力データとし、一定期間の多変量データから模擬データの次時点データを予測するように学習した。なお、モデル構築時に以下の工夫を施した。1) データは1分間の周期階差とし、正常時に0へ収束する定常データに変換した。2) 窓サイズ10のスライド窓によってデータを分割し、入力データを生成した。2) TCN モデルから計算速度向上のため重みの正規化（weight norm）は削除した。3) 計測値が取り得る値を-10から10までとし、それを50個に分類して次時点の計測値の分類問題とした。4) 分類問題としたことで、次時点の各クラスのどこに計測値が入るのか確率の算出が可能であり、実際に得られた計測値が入るクラスの負の対数尤度を異常度と定義した。5) データは第4掘削前までを学習データ、そこから第5掘削前までを検証データ、第5掘削開始時点以降をテストデータとし、検証データの異常度の最大値を異常検知の閾値とした。

3. 分析結果

図2に時系列データ、予測結果の確率コンター図、異常度の推移を示す。図2(a)は温度依存性を加える前の計測データであり、これをTCNによって学習・推論し、異常度を算出したものになる。温度依存性を完全にキャンセルできれば、このような結果が得られるという真値となる。図2(b)は温度依存性を付与した模擬データと温度データの2チャンネルのデータを入力して、計算した結果である。(b)において20000秒から21000秒の急激な温度変化の影響を受けたデータも異常検知してしまっているものの、労働安全の観点から重要となる第2崩壊前および第3崩壊前において、(a)と同様に異常検知できていることが確認できる。

4. まとめ

TCNを使った多変量時系列データの分析によって、斜面変状の異常検知が可能であることが示唆された。本稿では、計測データが温度の影響を受けた場合を検討したが、建設現場においては、その他にも降雨や重機の振動といった外的要因の影響を受けた計測データが取得される。今後、降雨データのチャンネルや重機の稼働の有無のチャンネルなど入力チャンネルに追加し、異常検知が可能か検討したい。

参考文献

- 1) 平岡伸隆, 吉川直孝, 伊藤和也, 笹原克夫, 斜面掘削中の動態モニタリングによる退避判定の検討, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 73, No. 4, pp. 355-367, 2017.
- 2) Bai, Shaojie, J. Zico Kolter, and Vladlen Koltun. "An Empirical Evaluation of Generic Convolutional and Recurrent Networks for Sequence Modeling." *arXiv [cs.LG]*. arXiv. <http://arxiv.org/abs/1803.01271>, 2018.

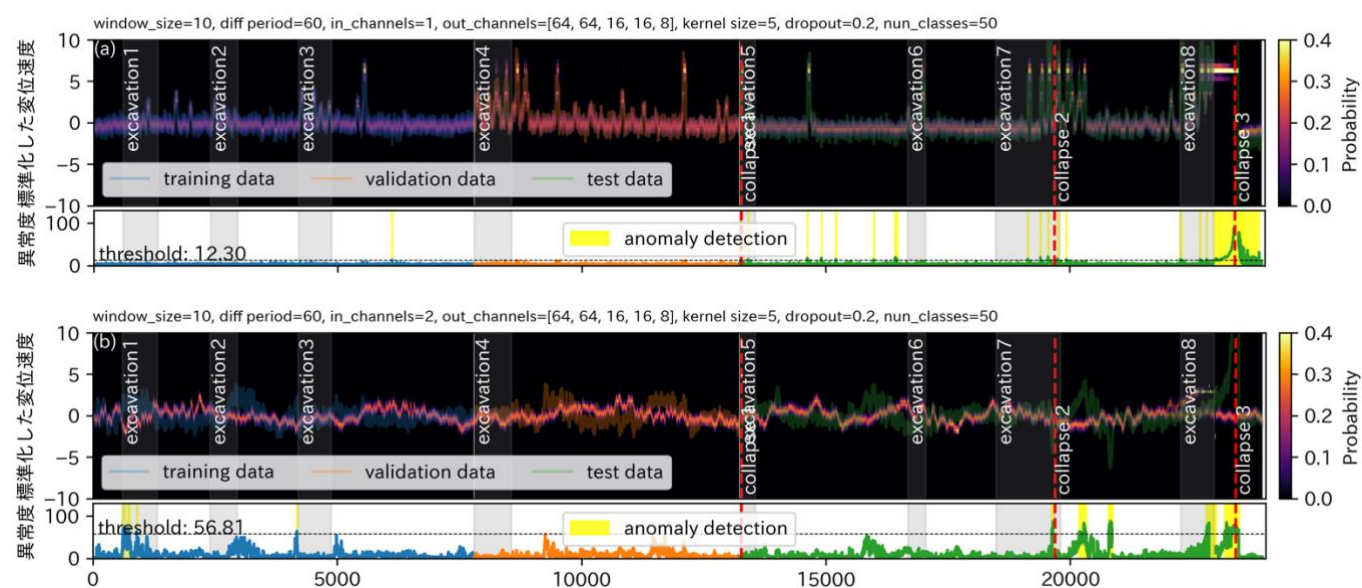


図2 TCNによる時系列データの異常検知結果 (a) 温度依存性を付与していない計測データの1channel入力, (b)温度データおよび温度依存性を付与した模擬データの2channel入力