

深層学習による高速道路斜面の豪雨時崩壊確率の推定

—東北地方における令和元年台風 19 号および 21 号の事例—

東北大学 加村晃良, 大塚智貴, 風間基樹

東日本高速道路株式会社 長尾和之

株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北 澤野幸輝

1. はじめに

近年, 異常降雨や大規模地震に起因して高速道路の切土および盛土が被災し, 物流や日常生活に影響を与える事象が顕在化している。高速道路の延長の約 4 割が供用後 30 年以上を経過し, 経年劣化に伴うリスクの高まりが懸念されており, 効果的なアセットマネジメント手法の確立が急務となっている。芳賀ら¹⁾は, 切土のり面における地形や地質等の条件を「素因」, 降雨情報を「誘因」として, 機械学習の手法の 1 つである深層学習を適用し, のり面リスク評価において深層学習が有効なツールになり得る可能性を示した。本研究では, 令和元年台風 19 号と後続の 21 号^{2), 3)}を検証事例として, 深層学習により高速道路のり面の崩壊確率を推定し, その妥当性評価および学習モデルの改善に関する検討を実施した。

2. 深層学習の概要

深層学習の構造は, のり面崩壊に関する「素因」と「誘因」および崩壊の有無を示す「正解ラベル」からなり, 構築した深層学習モデルはこの正解ラベルに対応する崩壊確率をアウトプットする。素因については, 東北地方の高速道路のり面において, 1993 年から 2017 年までの 25 年間で発生した 213 個所ののり面災害の事例から, 東北地方ののり面災害に大きく影響を与える地形, 地質等をスコアリングしたもの⁴⁾を正規化して学習に用いた (表 1)。素因の降雨情報については, 気象庁が提供する解析雨量から算定される 1 時間, 24 時間, 48 時間, 72 時間, 168 時間の各累積雨量を用いた。これらを表 2 に示すようなデータセットとして入力層に配し, 崩壊・非崩壊情報を正解ラベルとして, 図 1 に示すような深層学習のモデルを構築した。

表 1 深層学習に用いたのり面の素因の点数⁴⁾

項目	素因	配点	機械学習に用いた評点
地形	崖錐地形	35	0.7
	集水型傾斜	50	1
	尾根地形(頭部開発行為あり)	35	0.7
	尾根地形(頭部開発行為なし)	5	0.1
切土のり面地山の土質・地質	土砂	35	0.875
	ローム	25	0.625
	スレーキング性の岩	40	1
	花崗岩(まさ土含む)	40	1
	非スレーキング性の岩	10	0.25
崩壊性の構造	断層または褶曲軸あり	10	1
	断層または褶曲軸なし	0	0

* Prediction of Failure Probability of Cut Slope on Expressway due to Heavy Rainfall via Deep Learning by Akiyoshi Kamura

表 2 本深層学習モデルにおけるデータセットの例

斜面番号	地形	土質・地質	構造	素因評価合計	段数	供用開始からの年数	最大時間雨量 [mm/h]	累積雨量[mm]			
								24時間	48時間	72時間	168時間
1	0.7	1	0	0.75	3	12.1	20.5	190.5	193.5	191.9	193.5
3	1	0.875	0	0.85	3	4	28	179	179.4	179.4	179.8
4	0.7	1	0	0.75	3	20.8	35	97.4	99	97.4	160.8
5	1	1	0	0.9	4	4	29	123.6	138.6	138.6	139
6	0.7	1	0	0.75	4	19.8	17	47.2	67.2	47.2	100.6
7	0.7	1	1	0.85	5	7.1	27	138.8	138.8	138.8	138.8
8	0.7	1	1	0.85	5	3.3	36	218.4	231.6	228.4	238.8

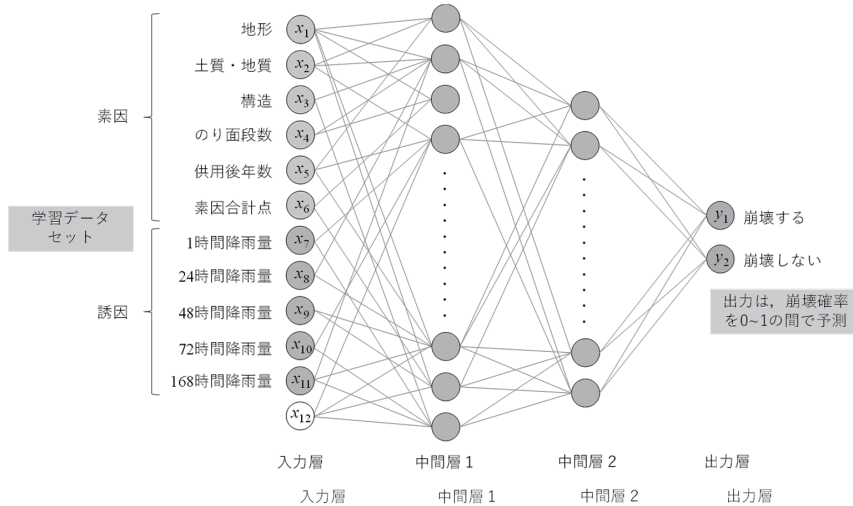


図 1 本研究における深層学習の概要図

検証には、2019年の台風19号および21号で崩壊した46箇所の事例を含む107データ（崩壊事例46、非崩壊事例61）を用いた。ここで、本研究で使用した深層学習モデルは、中間層2つからなる構造とし、活性化関数は中間層にシグモイド関数、出力層にソフトマックス関数を用いた。ハイパーパラメータは、学習率0.01で固定（学習ステップ数100,000）とし、隠れ層のユニット数は20および10、バッチサイズは16とした。検証のため、学習データからランダム抽出したサンプルデータに対して正解率を算定したところ、本深層学習モデルの正解率は0.92~0.96となった。

3. 深層学習による推定結果

構築した深層学習モデルを用いて、台風19号および21号で実際に崩壊した斜面を含む107データ（図2）に対し、崩壊確率の算定を実施した。まず、台風19号の崩壊事例を学習させず、既往の学習データのみから台風19号被害を予測判定させた結果を表3に示す。ここでは、暫定的に、崩壊・非崩壊のしきい値を確率50%として分類している。結果について、F値に基づ

く敏感率を算定すると、この予測判定結果は的中率 65%と得られる。ここで、実際に崩壊しているのにも関わらず深層学習で非崩壊と判定した事例は、FN=16箇所であるが、これは崩壊事例の約 35%を見逃してしまうということを意味する。高速道路のアセットマネジメント援用を志向する中で、この見逃し率はできる限り低く抑えることが望ましい。

そこで次に、台風 19 号および 21 号に関する 107 データを約 6:4 に分け、65 データを学習にまわし、42 データ (図 3) をテストデータとして評価することとした。その結果を表 4 に示すが、的中率は 74%に向上しており、崩壊事例の見逃し率も 26%に低下していることから、台風 19 号関連のデータを学習させた効果が認められる。

既往の学習データと台風 19 号関連のデータを比較すると、過去の崩壊事例は一定期間内にまとまった雨が降ることで崩壊した事例が多いのに対して、台風 19 号関連では、短期集中的な豪雨によって崩壊に至ったケースが多く、その違いが崩壊予測判定の結果に影響を及ぼしたものと考えられる。

表 3 台風 19 号等を学習データに含まないモデルにおける予測判定結果

		深層学習による予測	
		崩壊	非崩壊
実際	崩壊	TP=30	FN=16
	非崩壊	FP=39	TN=22

(非崩壊 61, 崩壊 46, 計 107 データ)

表 4 台風 19 号等を学習データに含むモデルにおける予測判定結果

		深層学習による予測	
		崩壊	非崩壊
実際	崩壊	TP=14	FN=5
	非崩壊	FP=16	TN=7

(非崩壊 23, 崩壊 19, 計 42 データ)

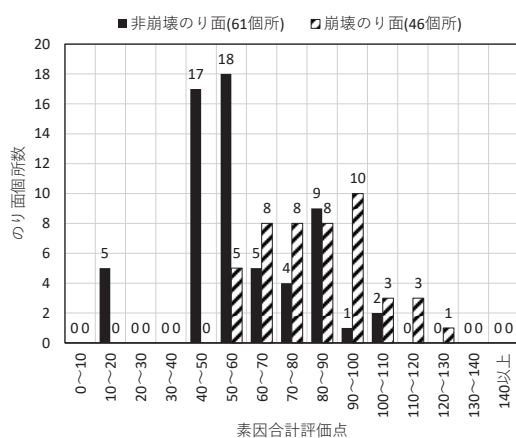


図 2 台風 19 号等を含まない 107 データの素因構成

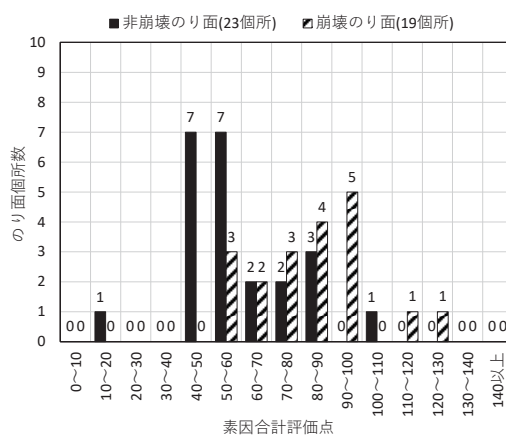


図 3 台風 19 号等を含む 42 データの素因構成

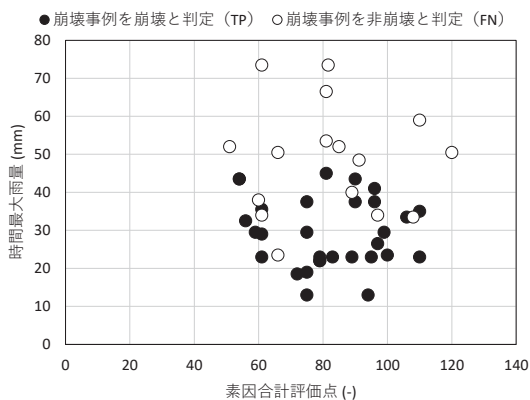


図4 台風19号等含まないモデルのTPとFNの分類
(時間最大雨量による比較)

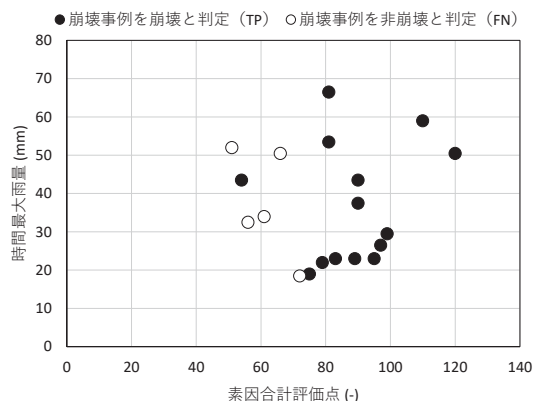


図5 台風19号等を含むモデルのTPとFNの分類
(時間最大雨量による比較)

表3および表4の予測判定結果について、時間最大雨量とTP・FNの傾向を整理したものを図4および図5に示す。図4では、時間最大雨量が多いほど、非崩壊に偏って判定する傾向にあることが分かる。これは、雨量について効果的な学習ができていないことを示している。このことが、台風19号関連のデータを予測判定させたときに的中率が低くなった要因の1つであると考えられる。

一方で、図5に示す傾向から、台風19号を含む一連のデータを学習させることで、雨量を考慮した判定性が向上することが分かる。ただし、今回の結果では、素因の評価点が低い領域を見逃す傾向が出ているようにも読み取れるため、学習および検証データの蓄積が望まれる。

4. まとめ

本研究では、高速道路斜面の崩壊に関わる「素因」と「誘因」および崩壊の有無を示す「正解ラベル」からなる深層学習モデルを用いて、令和元年台風19号および21号の崩壊事例に関する検討を実施し、一定の有効性を確認した。今後は、更なるデータの蓄積と検証が望まれる。

参考文献

- 1) 芳賀奈津美, 風間基樹, 加村晃良, 長尾和之, 澤野幸輝: 高速道路の斜面災害の分析における Machine Learning の適用, 東北地域災害科学研究, Vol.56, pp.205-207, 2020.
- 2) (公社)地盤工学会 災害連絡会議: 令和元年台風19号(東日本台風)および10月末豪雨災害に関する調査報告書, https://www.jiban.or.jp/?page_id=13697, 2020.6.
- 3) M. Kazama, Y. Yamakawa, A. Yamaguchi, S. Yamada, A. Kamura, T. Hino and S. Moriguchi: Disaster report on geotechnical damage in Miyagi Prefecture, Japan caused by Typhoon Hagibis in 2019, *Soils and Foundations*, 2021(in press).
- 4) 長尾和之, 澤野幸輝, 松崎孝汰, 加村晃良, 風間基樹: 被災のり面データに基づく東北地方の豪雨による高速道路のり面の崩壊素因の評価の試み, 土木学会論文集C(地圏工学), 第76巻, 3号, p.235-253, 2020.