

機械学習に基づく液状化による地盤沈下量予測に関する基礎検討

千葉大学大学院融合理工学府地球環境科学専攻 学生会員 ○苅米 和樹

千葉大学大学院工学研究院 正会員 劉 ウェン

千葉大学大学院工学研究院 正会員 丸山 喜久

1. 背景と目的

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、全国各地において大規模な液状化が発生し、路面の地盤沈下や噴砂現象による路面隆起によって緊急車両の通行を妨げたほか、避難速度の低下を招いた。Gabel et al.¹⁾は、避難路が液状化、または地盤が水平方向に変位する側方流動を起こすことで避難車両の走行は不能、さらには避難者の歩行は不可能になると指摘している。これを受けて、今後南海トラフ巨大地震が予想されるなかで津波の到達時間の最も早い高知県²⁾では、液状化による津波からの避難時間の遅延化を想定したモデル実験を行った。その結果、液状化した路面では歩行速度が低下することを実験的に示したほか、車椅子による避難では車輪が泥水に浸かったことで走行不可となるため、車椅子による避難は事実上不可能であることが示された。このように、液状化による被害は、構造物の被災のみならず、避難行動においても多大な影響があるものと考えられる。

そこで本研究では、液状化ハザードマップの高度化を目的として、GIS データ、地震動データの機械学習に基づき地盤沈下量の予測を行い、液状化による震度階別ごとの地盤沈下量を定量的に評価する。

2. 対象地域と使用データ

本研究では、東日本大震災により大規模な液状化被害を受けた千葉県全域を地盤沈下量の解析対象地域として設定した。また、機械学習のうち教師あり学習を採用し、既存の教師データを予測モデルに学習させることで、目的変数を説明するための特徴量を抽出し、回帰問題を処理する。

学習モデルのデータセットは、国土交通省³⁾が公開する 5 次メッシュ(250m メッシュ)単位に整理した。

教師データには、内閣府⁴⁾の南海トラフの巨大地震モデル検討会より検討された東海地震、東南海・南海地震の基本ケースの全データ(304237 メッシュ)の地盤沈下量を用いる。また、メッシュ内の地震動については、南海トラフの巨大地震モデル検討会の地表震度 Ia および震度増分 dI から基盤震度(I)を計算し、説明変数に加える。さらに、国土数値情報³⁾から最高標高(Max_Elev)、最低標高(Min_Elev)、起伏量(Relative Relief)、最大傾斜角(Max_Slop_Deg)、最小傾斜角(Min_Slop_Deg)を、地盤の飽和度に関する特徴量として 5 次メッシュ中心点から海岸線までの最短距離(Coast_Dist)、河川までの最短距離(River_Dist)を説明変数として加えた。また、若松ら⁵⁾が整備したデータからは、深さ 30m までの地盤の平均 S 波速度(AVS30)、微地形区分(JCODE)を、山崎ら⁶⁾が整備したデータからは、水路からの高さを示すパラメータとして最寄り水路からの比高(HAND)、表面流向に基づき算出可能な各グリッドに流れ込むグリッド数の総数として上流集水グリッド数(UPG)を追加した。これらのデータは GIS を用いて、5 次メッシュ単位に集約してから学習を行った。

3. 予測モデルの構築

本研究の機械学習では、ニューラルネットワークによる回帰手法を採用した。ニューラルネットワークは入力層、中間層、出力層の 3 つから構成されており、入出力間の関係性はニューロン内部の活性化関数を介することで柔軟な表現を可能にする。損失関数には外れ値による影響の少ない MAE(平均絶対値誤差)を採用した。回帰モデルの層構造を図 1 に示す。

キーワード 機械学習、液状化、ニューラルネットワーク、地盤沈下、回帰モデル

連絡先 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

千葉大学大学院融合理工学府地球環境科学専攻 TEL : 043-290-3555

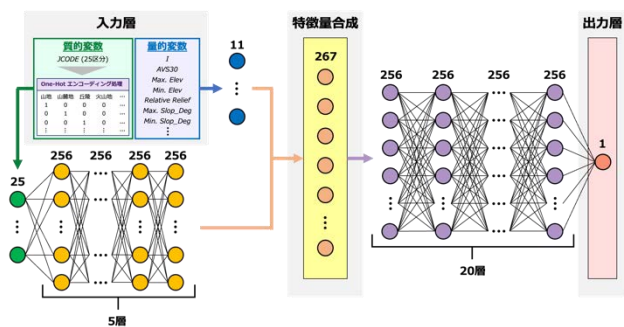


図1 予測モデルの層構造

本モデルでは局所最適解への陥りを軽減するために、Functional API⁷⁾を用いて質的変数である微地形区分(JCODE)に対して大域的な特徴量のグループ化を行った。モデルごとの層数、ユニット数は図1に示す通りである。

4. 地盤沈下量の予測結果と考察

学習したモデルを用いて地盤沈下量の予測を行った。千葉県全域に基盤震度 I=6.0(震度 6 弱～震度 6 強相当)の地震動を加えたときの地盤沈下量マップを図2に示す。

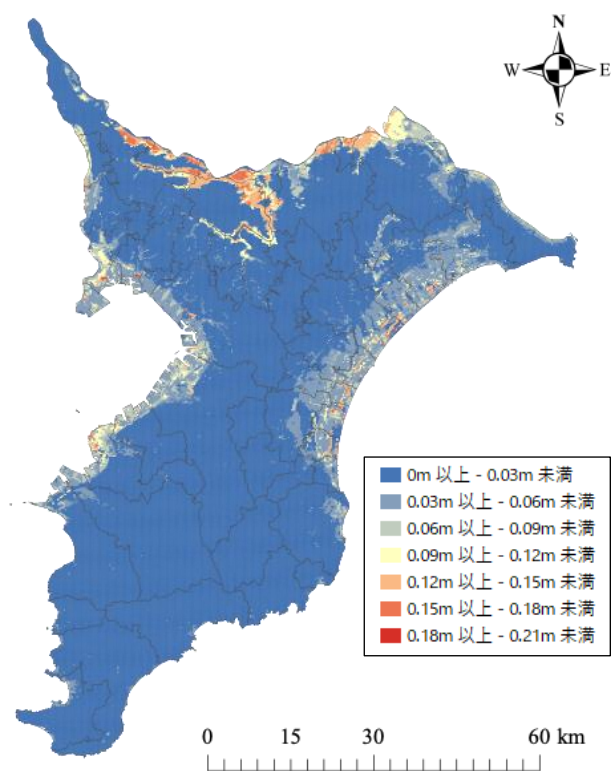


図2 千葉県全域の地盤沈下量マップ
(基盤震度 I=6.0)

図2より、埋立地や砂質層から成る地盤では概ね0.10 m 程度、さらに水域から近い場所では概ね0.15 m 程度の地盤沈下が予測された。砂分の多い埋立地、

そして沿岸部や利根川、印旛沼周辺地域では地盤沈下が大きいことから、液状化発生条件の揃う地域で大きな地盤沈下が予測された。このことは地盤工学的には妥当性があり、予測モデルは既存の学習データに対して適切に特徴量抽出が行われたと考えられる。これまでの液状化ハザードマップは、「液状化が起こる」「液状化が起こらない」の二値分類、あるいはそれに従った順序尺度により表されていたが、図2のように明示的かつ定量的に地盤沈下量を示すことで、地震発生後の避難速度の低下や避難路の寸断箇所を踏まえた、より現実的なシナリオ想定が可能となる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、液状化ハザードマップの高度化を目的に地盤沈下量の予測モデルを構築した。作成した予想地盤沈下量マップは、地盤工学的には妥当性があった。一方で、モデルの正確性に関しては検討の余地がある。今後の課題は、過去の地震記録から実際に地盤沈下が起こった地域での実地盤沈下量と比較検証を行い、予測モデルの精度向上に務める。

参考文献

- 1) Gabel, L. L. S., O'Brien, F. E., Bauer, J. M., and Allan, J. C.: Tsunami evacuation analysis of communities surrounding the Coos Bay estuary: Building community resilience on the Oregon coast, Oregon Department of Geology and Mineral Industries, Tech. Rep.O-19-07.
- 2) 高知県：避難路の液状化対策検討のための手引き, <https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2021041300261/tebiki.pdf>
- 3) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサイト, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 4) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会, <https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>
- 5) 若松加寿江, 松岡昌志：地形・地盤分類 250m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, No.40, pp.24-27, 2020.
- 6) 山崎大, 富樫冨佳, 竹島滉, 佐山敬洋：日本全域高解像度の表面流向データ整備, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 5, pp. I_163-I_168, 2018.
- 7) Keras : The Functional API, https://keras.io/guides/functional_api/