

# 機械学習により推定した S 波速度構造に基づく微地形区分ごとの特徴の抽出

長岡技術科学大学 大学院 学生会員 ○坂井 響  
長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明  
東京都立大学 正会員 志賀 正崇

## 1. はじめに

強い地震動を受けると地盤の剛性は低下し、減衰が増加する<sup>1)</sup>ため、地表の揺れの増幅は入力地震動の大きさに依存する。筆者らはこの特性を全国的に評価するため、微地形区分<sup>2)</sup>ごとに典型的な地盤構造を定め、それらに地震応答解析を適用し増幅特性を整理する枠組みの構築を進めている。この枠組みでは各区分について多数の S 波速度構造を入手することが望ましいが、S 波速度の測定には時間的・経済的な制約があり、実測地点は限られる。一方、N 値を含むボーリングデータは国土地盤情報検索サイト KuniJiban<sup>3)</sup>から多く入手できる。そこで本報では、地形情報や N 値、土質区分を特徴量として S 波速度構造を推定する機械学習モデルを構築し、これを KuniJiban のボーリングデータに適用した。さらに、推定および実測の S 波速度構造から微地形区分ごとの代表的な地盤構造を抽出した結果を報告する。

## 2. 機械学習モデル作成手法

機械学習モデルの作成には防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET<sup>4)</sup>の観測点と、KuniJiban から入手できるボーリングデータのうち、S 波速度が記録されている地点のデータを使用した。またこれらのデータは訓練用と外部検証用におよそ 8:2 で分割した。使用地点は K-NET797 地点(11,559 データ)、KuniJiban1,021 地点(32,434 データ)であり、各データは 1 m 間隔の深度ごとの値である。S 波速度構造の推定には勾配ブースティング決定木を実装したライブラリである XGBoost<sup>5)</sup>を使用した。ハイパーパラメータは Optuna<sup>6)</sup>により決定した。

特徴量は、深度、N 値、土質区分、国土地理院の数値標高モデル<sup>7)</sup>から取得した標高、およびそこから算出した地形量<sup>8)</sup>(局所凸度、表面テクスチャ)である。土質区分は、柱状図の土質・岩種名を岩、礫質土、

砂質土、粘性土、未分類の 5 つに分類したもので、未分類の層は訓練に用いていない。

## 3. 機械学習モデルの精度

検証時の精度は、それぞれ二乗平均平方根誤差 (RMSE) および平均絶対誤差 (MAE) によって示し、算定式を(1)式、(2)式に示す。

$$RMSE_{\ln V_s} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln V_{s,mea,i} - \ln V_{s,est,i})^2} \quad (1)$$

$$MAE_{\ln V_s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\ln V_{s,mea,i} - \ln V_{s,est,i}| \quad (2)$$

ここで、 $n$ : 対象データセットに含まれる全データ数 (全地点・全深度の総和)、 $i$ : 全データ数における通し番号、 $\ln V_{s,mea,i}$ :  $i$  番目のデータにおける S 波速度の実測値 (対数)、 $\ln V_{s,est,i}$ :  $i$  番目のデータにおける S 波速度の推定値 (対数) である。

外部検証データに対する  $RMSE_{\ln V_s}$  が 0.3604、 $MAE_{\ln V_s}$  が 0.2500 であった。

## 4. 微地形区分ごとの代表的な地盤構造抽出

作成した機械学習モデルを、KuniJiban の 179,799 地点のうち、N 値と土質区分が得られる 151,928 地点に適用して S 波速度構造の推定を行った。これに訓練と外部検証で使用した 2,411 地点も追加し、計 154,339 地点を対象とした。

工学的基盤を S 波速度 400 m/s とし、ある深度以深のすべての層がこれ以上となる最浅の深度を基盤深度とした。このうち S 波速度が深度方向に欠測なく得られ、かつ工学的基盤に到達した 98,587 地点を母集団とした。

各地点の S 波速度構造を、深度 1~50 m の 1 m 間隔の  $\ln V_s$  からなる 50 次元のベクトルで表し、微地形区分ごとに k-means 法で 10 個のクラスに分類した。各クラスに属する地点のうち、重心に最も近い

地点の構造をそのクラスタの代表構造とし、各クラスタに属する地点数が区分の母集団に占める割合を構成比とした。

表-1 に各微地形区分の代表構造の基盤深度  $H$  および地表から深度 30 m までの平均 S 波速度  $V_{s30}$  について構成比で重みづけした中央値を示す。ここで、表-1 には水域を示す区分（河道、湖沼、沿岸海域）についての結果を対象外としている。山地、丘陵、火山地、砂礫質台地では  $H$  が 4～6 m と浅く、 $V_{s30}$  は 450～540 m/s である。これに対し、自然堤防、後背湿地、三角州・海岸低地、干拓地などの低地では  $H$  が 18～29 m、 $V_{s30}$  が 230～270 m/s であり、抽出した地盤構造の特徴は微地形区分による地盤の硬軟の違いを反映している。ただし、母集団は工学的基盤に到達した地点に限られ、基盤への到達率は山地の 70 % に対し後背湿地で 33 %、干拓地で 24 % と低地ほど低い。そのため、低地の特徴は基盤の浅い構造に偏っている可能性がある。

表-1 微地形区分ごとの地盤構造の特徴

| 微地形区分    | 地点数    | $H$ [m] | $V_{s30}$ [m/s] |
|----------|--------|---------|-----------------|
| 山地       | 25,236 | 4       | 538             |
| 山麓地      | 2,463  | 5       | 526             |
| 丘陵       | 13,232 | 6       | 474             |
| 火山地      | 2,081  | 4       | 469             |
| 火山山麓地    | 3,198  | 8       | 415             |
| 火山性丘陵    | 2,708  | 6       | 476             |
| 岩石台地     | 427    | 5       | 466             |
| 砂礫質台地    | 9,992  | 6       | 450             |
| ローム台地    | 2,094  | 15      | 315             |
| 谷底低地     | 12,916 | 7       | 417             |
| 扇状地      | 5,688  | 12      | 350             |
| 自然堤防     | 1,670  | 21      | 269             |
| 後背湿地     | 5,671  | 18      | 267             |
| 旧河道      | 983    | 21      | 292             |
| 三角州・海岸低地 | 4,820  | 19      | 242             |
| 砂州・砂礫州   | 989    | 12      | 308             |
| 砂丘       | 386    | 22      | 270             |
| 砂丘・砂州間低地 | 26     | 33      | 234             |
| 干拓地      | 1,052  | 29      | 228             |
| 埋立地      | 1,352  | 18      | 264             |
| 磯・岩礁     | 19     | 4       | 430             |
| 河原       | 1,174  | 15      | 284             |

## 5. まとめ

本報では、XGBoost による S 波速度推定モデルを構築し、外部検証で  $\ln V_s$  の RMSE が 0.3604, MAE が 0.2500 の精度を確認した。このモデルで KuniJiban の 152,079 地点の S 波速度構造を推定し、実測の S 波速度構造と合わせて微地形区分ごとに k-means 法で分類し、代表構造と構成比から区分ごとの特徴を抽出した。その結果、山地、丘陵、砂礫質台地などでは基盤が浅く  $V_{s30}$  が大きいのに対し、後背湿地、三角州・海岸低地などの低地では基盤が深く  $V_{s30}$  が小さいという、微地形区分による地盤構造の違いを定量的に示した。

## 【謝辞】

本研究の実施にあたり、(国研) 防災科学技術研究所の K-NET、国土交通省・(国研) 土木研究所・(国研) 港湾空港技術研究所の KuniJiban の土質データ、ボーリングデータを使用いたしました。ここに記して謝意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 翠川三郎(1993):強震時にみられる地盤特性の非線形性, 地震 2, 第 46 巻, pp.207-216
- 2) 若松加寿江・松岡昌志(2020):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
- 3) 国土地盤情報検索サイト KuniJiban(2019):国土交通省・(国研) 土木研究所・(国研) 港湾空港技術研究所. <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/>, (最終閲覧日:2026/7/20)
- 4) 防災科学技術研究所:強震観測網(K-NET), <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> (最終閲覧日:2026/10/02)
- 5) Chen, T. and Guestrin, C. (2016): XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp.785-794.
- 6) Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T. and Koyama, M. (2019): Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework, Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp.2623-2631.
- 7) 国土地理院:地理院タイル一覧, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> (最終閲覧日:2026/10/06)
- 8) Iwahashi, J. and Pike, R. J. (2007): Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature, Geomorphology, Vol.86, No.3-4, pp.409-440.