

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 23 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 長岡技術科学大学

氏 名 : 志賀 正崇

研究課題名 : 令和 6 年能登半島地震における液状化統合データベースの構築

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 7 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 8 年 3 月 31 日

令和 6 年能登半島地震における液状化統合データベースの構築

Development of integrated liquefaction database for the 2024 Noto Peninsula earthquake

長岡技術科学大学 助教 志賀 正崇

（研究計画ないし研究手法の概略）

1. 研究の背景と目的

令和 6 年能登半島地震（2024 年 1 月 1 日発生，Mw 7.5）では，震源から 150 km 以上離れた新潟市においても 15,000 棟を超える構造物被害が生じた。被害の主な原因となった液状化は，旧河道や砂丘辺縁部で顕著であり，単純な N-CSR 関係（標準貫入試験値と地震時せん断応力比の関係）に基づく既存液状化判定法のみでは，発生領域・非発生領域を十分に説明することが困難であった。本研究では，観測地震動・地盤構造・液状化発生領域・既存液状化判定法の精度検証という 4 つの観点を統合したデータベースを構築し，既存液状化判定法の精度検証と次世代化に資する基盤を整備することを目的とする。

2. 研究手法

本助成期間中に実施した主な検討手法は以下の通りである。

2.1 稠密地震観測記録の収集と空間補間

新潟市内を中心とする 178 地点（民間事業者 154 地点，気象庁 8 地点，防災科研 K-NET/KiK-net 16 地点）の強震記録を収集し，水平二方向合成の PGA, PGV, Arias 強度，加速度フーリエスペクトルのピーク振動数を計算した。空間的トレンドを考慮した Universal Kriging によって各指標の空間分布を推定し，被害分布および既往地盤情報との比較に用いた。

2.2 微動アレイ観測による表層 S 波速度構造調査と 1 次元線形地盤応答解析

代表 6 地点において，JU410（携帯型微動計）を 6 台配置し，4 台による極小アレイと 2 台を含む不規則アレイを組み合わせることで G.L.-100 m 程度までの S 波速度構造を推定した。併せて本震観測記録のコーダ波部分（40～80 秒）から H/V スペクトル比を算出し，地盤応答特性を評価した。また得た各地点の速度構造を入力として 1 次元線形重複反射理論により伝達関数を算出し，H/V との比較から工学的基盤面の妥当性を検討した。

2.3 視覚言語モデル（VLM）によるボーリング柱状図の構造化データ自動生成

Google Gemini API を用いた 2 段階 VLM 処理により，PDF・画像形式で蓄積されたボーリング柱状図から地質・土質調査成果電子納品要領準拠の構造化データ（YAML）を自動抽出するシステムを構築した。Phase 1 で軽量モデル（Gemini 2.5 Flash）により画像種別を判定してスキーマ要素を選択し，Phase 2 で高性能モデル（Gemini 3 Pro）により選択スキーマに基づく構造化データを抽出する。北陸地盤情報システムの 10 本（12 ページ）を評価対象とした。

2.4 既存液状化判定法の比較と感度解析

道路橋示方書（2017）および建築基礎構造設計指針（2019）に基づく FL 法について、有効上載圧・細粒分含有率・原位置 N 値に対する感度解析を実施するとともに、令和 6 年能登半島地震で地表変状が確認された新潟市内 2 地点（寺尾：新潟砂丘辺縁部／ときめき：信濃川旧河道）のボーリングデータを用いた実地ケーススタディにより両手法の FL 値を比較した。

（実験調査によって得られた新しい知見）

1. 地震動の空間分布特性

稠密観測データから得られた新潟市内の強震動特性は以下のとおりである。水平二方向合成 PGA の最大値は新潟市西区で 413.2 cm/s^2 であり、同区域で Arias 強度 383.9 cm/s 、PGV 63.6 cm/s を記録した。これらの値は、液状化被害が集中した西区および南西部と空間的に整合しており、地震動強度と液状化発生の対応関係が視覚的に確認できる。Universal Kriging による空間補間の結果、PGA・PGV・Arias 強度はいずれも西区中央部を極大とし、南西から北東へ向かうトレンドを有することが明らかになった（図-1）。加速度フーリエスペクトルのピーク振動数は中央区周辺で相対的に高く、地点間で地盤応答特性に差異があることが示唆された。

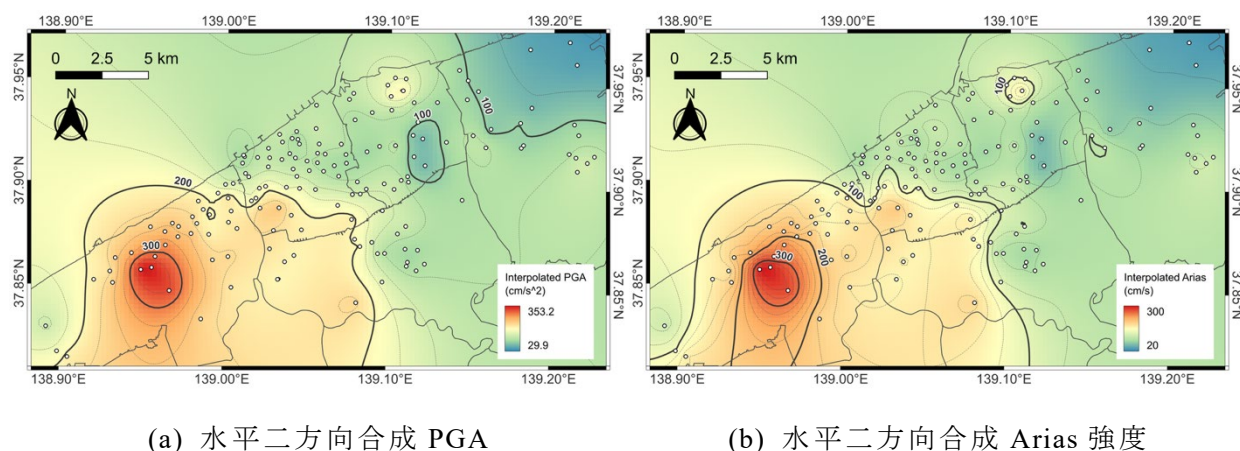
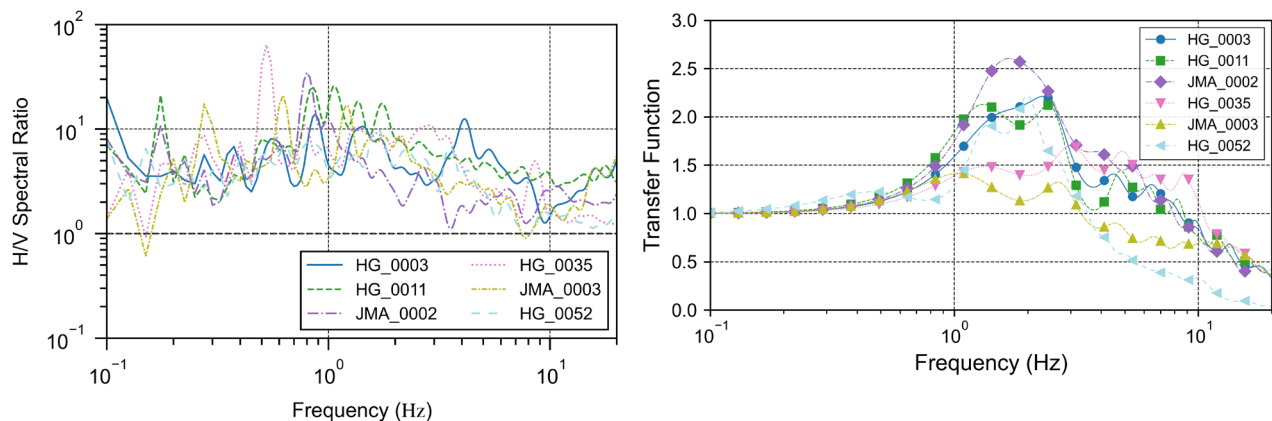


図-1 普遍クリギングによる地震動パラメータの空間分布

2. 既存地盤情報との相関と深部構造の重要性

空間補間した PGA と既往地盤指標との相関分析を行ったところ、表層指標である AVS30・微地形区分・N 値との相関は相対的に弱く、線形回帰の決定係数は 0.027 にとどまった。一方、J-SHIS 深部地盤モデルにおける D14 層 ($V_s = 1000 \text{ m/s}$ 層) および D30 層 ($V_s = 3100 \text{ m/s}$ 層) の深度との相関は相対的に強く、D14 層が深い領域で PGA が増加する傾向が確認された。加えて、代表 6 地点における H/V スペクトル比は $0.1 \sim 3 \text{ Hz}$ の広い帯域で 1 を上回り、 1.0 Hz 付近に極大を示す共通パターンを有する一方、1 次元線形地盤応答解析による伝達関数は $1.5 \sim 2.0 \text{ Hz}$ 付近にピークを示す観測点が複数存在した（図-2）。現行の工学的基盤面設定 ($V_s = 300 \text{ m/s}$ 層) に基づく 1 次元解析では本震 H/V を十分に再現できないことから、より深部の地盤構造の影響を無視できないことが示された。



(a) 各地震観測点のコーダ波部分の H/V (コーダ波は各観測点の相対時刻 40 秒から 80 秒を抽出。バンド幅 40 の紺野・大町による平滑化を適用) (b) $V_s \leq 400$ m/s を対象とした 1 次元線形地盤応答解析による伝達関数

図-2 本震コーダ波の H/V と微動アレイ観測による 1 次元線形地盤応答解析の結果

3. ボーリング柱状図のデジタル化成果

VLM (Gemini 2.5 Flash + Gemini 3 Pro の 2 段階処理) によるボーリング柱状図の自動構造化に関しては、地層情報抽出精度 $F1 = 0.950$ 、標準貫入試験値の深度マッチ精度 $F1 = 0.793$ 、N 値一致率 80.8 % (Gemini 3 Pro・解像度 2 倍条件) が得られた。従来の OCR 技術では困難であった複雑なレイアウト・手書き注記・孔内水位記号と表ヘッダーの重なり等に対しても、構造理解を伴った抽出が実用精度で可能であることが示された。全国に多くある構造化あるいは OCR 化が行われていない既存ボーリングデータの省力的なデジタル化が現実的になり、液状化統合データベースの空間密度を大幅に拡張できる見通しが得られた。

4. 既存液状化判定法の比較と新潟市ケーススタディ

国内で広く用いられる道路橋示方書 (2017) と建築基礎構造設計指針 (2019) の液状化強度算定式を対象として、原位置 N 値・有効上載圧 σ'_v ・細粒分含有率 F_c が液状化強度比 (繰返し三軸強度比/動的せん断強度比) に与える影響を比較した。感度解析の結果、道路橋示方書の方が建築基礎構造設計指針よりも細粒分含有率に対して敏感に応答し、実務上想定される液状化強度比 0.4 以下の領域では概ね道路橋示方書の方が小さい液状化強度を与える傾向が示された。

さらに、令和 6 年能登半島地震で地表変状が確認された新潟市内 2 地点 (寺尾: 新潟砂丘辺縁部, 地下水位 0.30 m, 地表面加速度 2.47 m/s^2 / ときめき: 信濃川旧河道, 地下水位 2.04 m, 地表面加速度 2.17 m/s^2) のボーリングデータを用いたケーススタディを実施した。両地点とも FL 値が 1 を下回る土層が存在し、シルトや砂混じり粘土といった細粒分含有率の高い土層では道路橋示方書による FL 値が高くなる傾向が確認された。FL 値の計算においては細粒分含有率の設定が両手法間の差異に最も大きく影響することが明らかとなった。

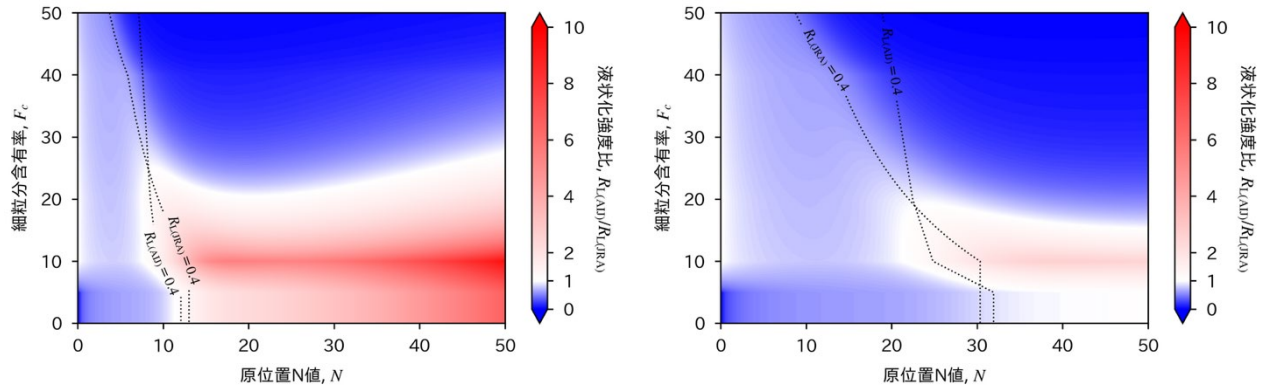


図-3 $\sigma'_v = 20 \text{ kPa}$ における細粒分含有率 F_c と 図-4 $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$ における細粒分含有率 F_c と
原位置 N 値に対する 2 種類の液状化強度比 原位置 N 値に対する 2 種類の液状化強度比
 $R_{L(AI)}/R_{L(JRA)}$ の関係 $R_{L(AI)}/R_{L(JRA)}$ の関係

5. 統合データベースの到達点と未完了項目

本助成期間における到達点と次段階に繰り越した項目を以下にまとめる。観測地震動については、新潟市内 178 地点のデータ統合と空間補間を完了した。地盤構造については、代表 6 地点の S 波速度構造と H/V スペクトル比・伝達関数の相互評価を完了するとともに、ボーリング柱状図のデジタル化基盤を整備した。液状化発生／未発生領域については、現地調査データおよび SAR 解析結果の取得を完了したものの、面的マッピングは次段階で継続中である。既存液状化判定法の精度検証については、4 に示した通り、道路橋示方書と建築基礎構造設計指針を対象とした感度解析および新潟市 2 地点でのケーススタディを実施した。全域スケールでの検証および Idriss and Boulanger (2010) 式との比較は、統合データベースの空間拡張と合わせて次段階で実施する予定である。

(発 表 論 文)

1. 志賀 正崇, 池田 隆明: 令和 6 年能登半島地震による新潟市内で観測された強震動記録の簡易分析, 土木学会地震工学研究発表会, 2025.
2. Masataka Shiga, Shahid Faiqa, Noriko Matsunashi, Takaaki Ikeda: Strong Ground Motion Characteristics of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Observed in Niigata City Based on Dense Seismic Records, STI-Gigaku 2025, 2025. (発表済み)
3. 志賀 正崇: 視覚言語モデルを用いたボーリング柱状図からの構造化データ自動生成, 土木学会 AI・データサイエンス活用シンポジウム, 2026. (採択済み)
4. 志賀 正崇, 先名 重樹: 令和 6 年能登半島地震における新潟市内の地震動特性に関する簡易的検討, 土木学会関東支部技術研究発表会, 2026.
5. 安達 和希, 志賀 正崇, 池田 隆明, 清田 隆: 令和 6 年能登半島地震による液状化発生地点における複数の簡易液状化判定法の比較, 生産研究, 2025. doi: 10.11188/seisankenkyu.77.253.

なお本研究で整備した統合データベースについては, <https://github.com/shiga-masa/maeda-2024-noto-eq-niigata> にて公開予定である。