

新潟市江南区における表層地盤のせん断波速度と液状化特性の関連

長岡技術科学大学 大学院 ○HE DUO
長岡技術科学大学 正会員 志賀 正崇・池田 隆明・高田 晋

1. はじめに

令和 6 年能登半島地震においては、新潟市江南区でも大規模な液状化被害が発生し、道路や住宅地を中心にインフラ機能へ深刻な影響を及ぼした。本研究では江南区天野地区に位置する曾野木小学校を対象として、表層地盤のせん断波速度 (V_s) 構造と液状化特性の関連性に着目し、表面波探査から得られる分散曲線を解析することで V_s 構造を推定し、現地で確認された液状化被害との対応関係を明らかにすることを目的とする。

図-1 は研究対象の曾野木小学校周辺の液状化分布を示している (増田, 2025)。被害では、公民館駐車場、校庭、校地北側の水田で噴砂、周辺道路で路肩沈下、舗装亀裂、グレーチング周りの段差が確認された。さらに聞き取りでは電柱傾斜や門扉の不陸、暗渠排水溝付近の沈下、水道管損傷に伴う漏水など継続的な変状も報告されている。(吉田・若松・陶野, 2024)

2. 表面波探査の実施概要

表面波探査は、地震波を人工的に起こして、地表付近を伝播するレイリー波の分散性を利用して地盤のせん断波速度 (V_s) 構造を推定する物理探手法である。(林・鈴木, 2003 ; 日本地盤工学会, 2013) レイリー波とは、表面波の一種で、異なる波長をもつ波の集合であり、高振動数成分は浅部の V_s に敏感で、低振動数成分は深部の速度構造に強く影響される。(松永ジオサーベイ, 2025) このとき、各波長の位相速度の変化を表したものを分散曲線と呼び、一般に成層構造地盤では浅部ほど V_s が低く、深部ほど高くなるため、高振動数成分は位相速度が遅く、低振動数成分は位相速度が速いという分散曲線が表れる。観測された分散曲線を水平成層構造と仮定した場合の理論分散曲線に適合させることで、当該地盤の 2 次元速度構造を逆解析することができる。

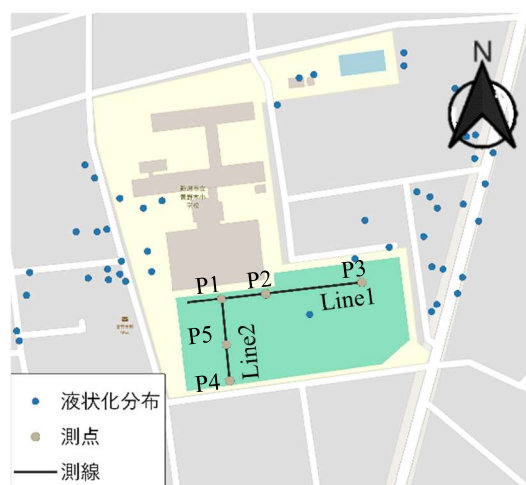


図-1 測線位置と液状化分布

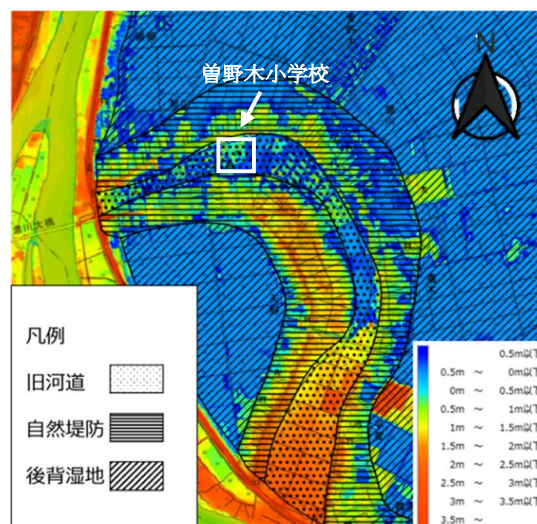


図-2 調査対象地域の微地形図

曾野木小学校の校庭において 2 本の表面波探査測線を設置し測定を行った。図-1 の測線位置に示すように、Line 1 は東西方向で体育館の付近に位置し、東から西へ向かって測定を行った。P3～P1 を結んだ区間と P1 付近でさらに西側へわずかに延伸して (長さ 100.5 m)、0 m 地点は東端に位置していた。Line 2 は南北方向で P1, P5, および P4 を結んだ区間 (長さ 50 m)、0 m 地点は P1 である。図-2 との比較により、曾野木小学校は旧河道内に位置し、Line 1 は旧河道の河道軸方向にほぼ平行で、Line 2 は旧河道の軸方向にほぼ垂直である。

図-3 に Line 1 の現地での計測状況を示す。校庭内に 24 チャンネルの受振器を 1m 間隔で直線状に配列し、木槌により振動を発生させた。写真手前の作業者が打撃板上をハンマーで加振しており、その衝撃により発生した表面波は地表に沿って受振器列へ伝播する。受振信号はケーブルを介してテント内のデータロガーに集約され、多チャンネル記録として取得した。



図-3 表面波探査の実施風景

3. 表面波探査の解析結果

3.1. 分散曲線

図-4 と図-5 はそれぞれ、Line 1 の起振点位置 46 m と起振点位置 42 m における分散イメージと分散曲線である。Line 2 はピークが振動数において一意に定まり、しかし、Line 1 では高振動数領域において、青色の部分が高位相速度側にシフトし、高次モードが基本モードより卓越している点が見て取れる（大矢, 2024）。この状態で解析ソフトの自動選択機能を用いると、高周波側が基本モードで拾われてしまう、結果として逆解析では浅部の V_s が速く推定される可能性がある。そこで本研究では、精度向上のため解析者によるモード判別を行い、基本モードとみなせる分散曲線へ手動修正を行った。図中の赤点は修正した基本モードの分散曲線である。

3.2. せん断波速度構造

図-6 は本解析で得られた V_s 断面である。Line 1 では深度 0~5m がやや低いせん断波速度 ($V_s = 100\sim120$ m/s) であり、以深で緩やかに増速する傾向が確認できる。また水平方向については測線中央部がせん断波速度が低い層が若干厚く堆積している傾向が見受けられるが、後述 Line 2 と比較して水平方向のばらつきは小さい。

Line 2 については、距離程 0m 付近では $V_s=125$ m/s 以下の低せん断波速度層が深度 10m まで堆積している一方、距離程 50m に近づくにつれて、

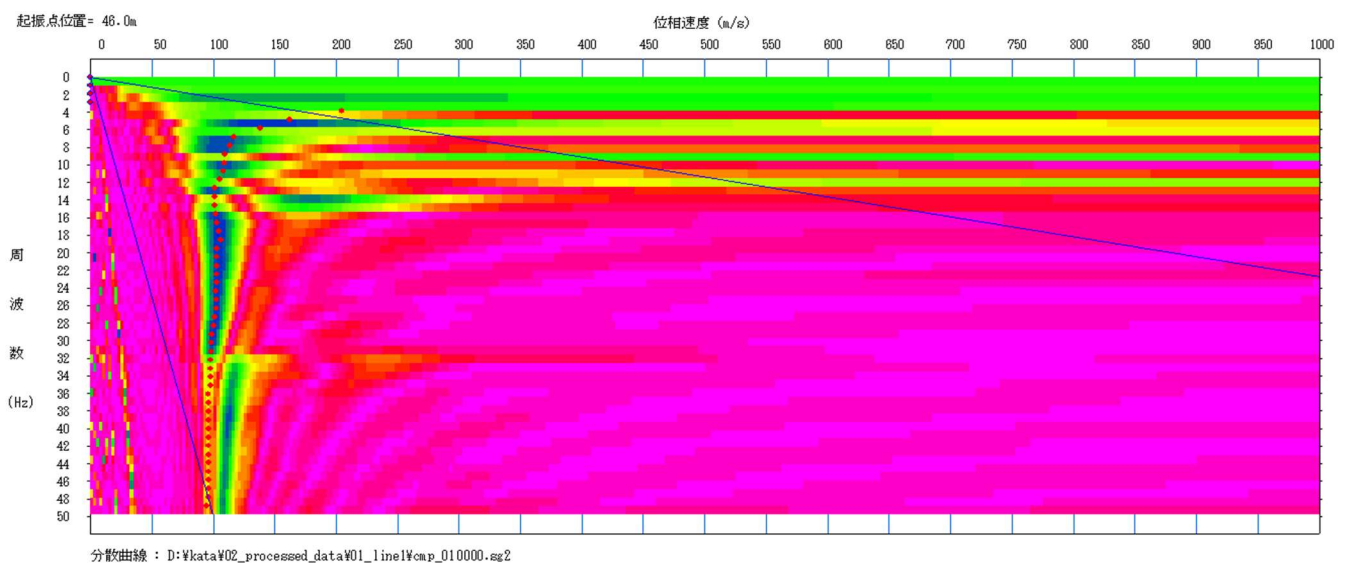


図-4 Line 1 起振点位置 46m の分散画像と分散曲線

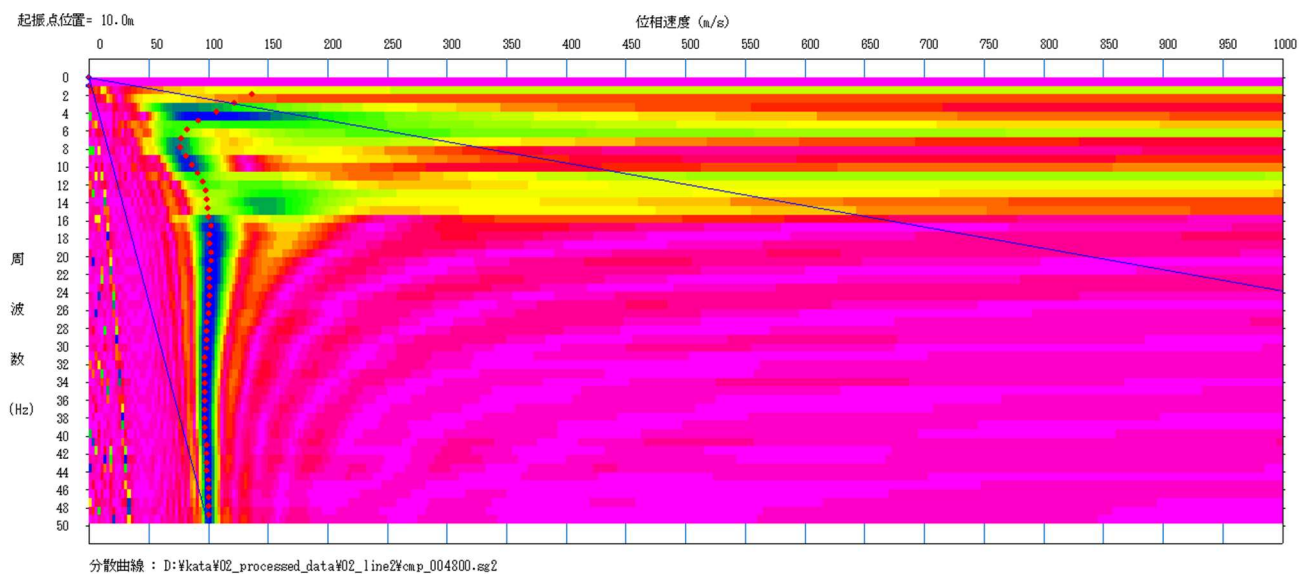


図-5 Line 2 起振点位置 10m の分散画像と分散曲線

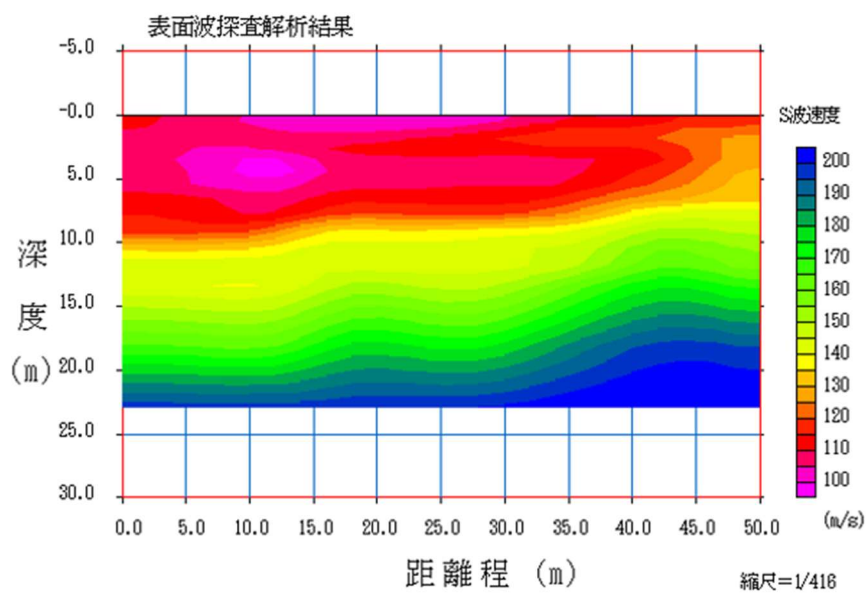
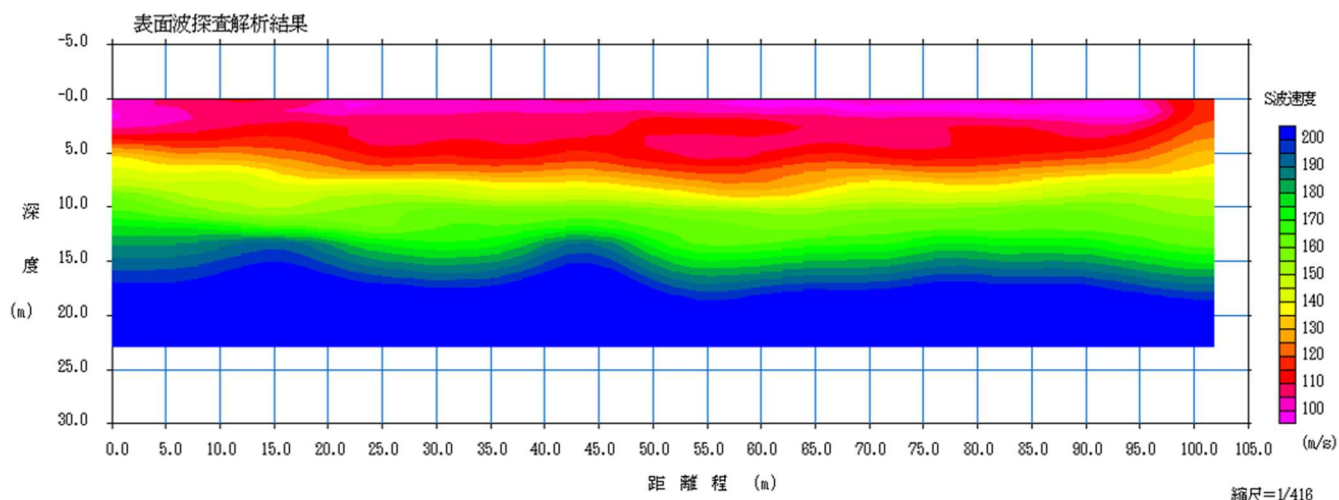


図-6 Line 1 (上) と Line 2 (下) のせん断波速度構造

その層厚は減少する傾向が見られる。

図-1 に示した微地形図と比較すると、Line 2 は旧河道の軸方向に対して垂直である。一般的に河道外側では洗掘や侵食が優勢となり、内側では比較的流速が小さくなるため細粒土の堆積が優勢となることが知られている。Line 2 のせん断波速度構造はこうした旧河道内での土質変化を反映している可能性がある。

4. 結論

本研究では、令和 6 年能登半島地震により液状化被害を受けた新潟市江南区曾野木小学校を対象に、表面波探査を実施し分散曲線を解析することで表層地盤のせん断波速度構造を求めた。

結果として、得られた分散曲線には高振動数帯において一部高次モードが卓越する場合が見られ、その部分に関しては目視で基本モードへの修正を実施した。得られたせん断速度構造は河道軸に対して平行な方向には変化は少なかった一方、河道軸に対して垂直な方向には、表層の低せん断波速度層の厚さが南側に行くほど薄くなる結果となった。また、曾野木小学校周辺で確認された液状化被害を測線位置に重ね合わせて検討した結果、曾野木小学校周辺で確認された液状化被害を測線位置に重ね合わせて検討した結果、被害は主に Line 1 の両端付近に多く分布し、これらの区間は $V_s \leq 120 \sim 140$ m/s の低速度層が厚い範囲におおむね対応していた。一方、Line 1 の中央部では低 V_s 層が相対的に厚く、校庭内で確認された水たまりがしやすい異状態と概ね対応していた。これは旧河道内でも土質分布が異なる可能性があり、今後被害との関係を深める予定である。

参考文献

- 1) 林宏一，鈴木晴彦：“二次元表面波探査の地盤調査への適用”，第 38 回地盤工学研究発表会（秋田），2003 年 7 月. C - 02.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jiban/JGS38/0/JGS38_0_33/_pdf.
- 2) 日本地盤工学会：地盤調査の方法と解説，丸善出版，2013.
- 3) 松永ジオサーベイ株式会社：“浅層物理探査，表面波探査”，アクセス年月日: 2025 年 10 月 7 日.
<http://www.m-gs.co.jp/technology/technology5.html>
- 4) 国土地理院：“微地形分類図”，地理院地図（GSI Maps），<https://maps.gsi.go.jp/>
- 5) OpenStreetMap contributors：“OpenStreetMap”，
<https://www.openstreetmap.org/>
- 6) 大矢永遠：“地盤特性に着目した新潟県中越地震における武道窪地区の地震被害の解明”，長岡技術科学大学大学院工学研究科 環境社会基盤工学専攻 修士論文，2024 年 3 月.
<https://cee.nagaokaut.ac.jp/HTML/yoshisyu/2023/infra/pdf/ken23701.pdf>
- 7) 吉田望，若松加寿江，陶野郁雄：“令和 6 年能登半島地震被害調査報告”，2024 年 2 月
<https://www.kiso.co.jp/yoshida/yoshida/Earthquake/eq002/能登半島地震被害調査報告.pdf>
- 8) 増田進：共有資料，天野中前川原自治会，2025 年 6 月
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0AOeazPKt6Px2Uk9PVA>

謝辞

本研究の現地調査に際しては、曾野木小学校ならびに新潟市教育委員会の皆様に多大なるご協力を賜りました。ここに記して深く感謝の意を表します。