

令和6年度能登半島地震における地盤変状と既存液状化判定との比較

長岡技術科学大学 大学院 ○安達 和希
 長岡技術科学大学 正会員 志賀 正崇
 長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明

1. はじめに

令和6年能登半島地震は、震源から150km以上離れた新潟県内にも被害をもたらした。新潟県¹⁾によると、2024年3月14日時点で住宅被害は新潟市だけでも15,083棟に及んでいる。一方、こうした液状化被害を防ぐ目的で、1970年代より簡易液状化判定法が開発・改良されてきた²⁾。本論文では、今回の地震での既存の簡易液状化判定法の予測結果と被害実態の比較を行うことを目的とし、GISを用いた被害分布の面的な把握と、地震発生時に既存の判定法の指標である N_1-L 関係と被害実態との比較検討を実施した。

2. 現地調査による被害形態と地形との関連

著者らは地震発生後に複数回に渡って新潟市内の現地調査を実施した。図-1(a)に被害地域周辺の治水地形分類図と液状化が確認された範囲³⁾、並びに既存標準貫入試験の地点⁴⁾を示す。

被害が確認された地点は、新潟砂丘の南東側斜面末端部と信濃川左岸側に位置している。新潟市西区寺尾周辺では県道16号線から南東側の低地に向かって滑りが生じ、構造物が移動した様子が確認された(図-2(a))。また、下方の複数箇所において舗装が隆起している様子も確認された(図-2(b))。また、新潟市西区山田では、信濃川左岸の平坦な住宅街において噴砂(図-3(a))や建物の不同沈下(図-3(b))が見られた。

図-1で示した治水地形分類図と被害の対応を見ると、寺尾周辺では標高最低5m~最大30m、長さ約20kmの砂丘が海岸から県道16号線までの範囲に分布しており、県道16号線沿いの砂丘末端部で液状化が発生したことが分かる。また、ときめき地区は信濃川の旧河道上に位置しており、ちょうど旧河道の範囲で液状化が発生していることが判別できる。この

ことから、旧地形の特徴は液状化被害にある程度反映されていると考えられる。



図-1 被害地域周辺の治水地形分類図と液状化が確認された範囲、並びに既存標準貫入試験



図-2 西区寺尾周辺で確認された(a)県道16号線付近の滑り (b) 県道16号線よりも南側の低地領域で確認された舗装の隆起



図-3 (a) 西区ときめきで確認された直径2m、深さ70cmの噴砂孔 (b) 建物の不同沈下

3. 簡易液状化判定と被害有無の比較

図4~7に、寺尾とときめきにおけるそれぞれのN値分布と、無被害地点とその近傍の被害地点での液状化判定結果を示す。判定法と土質分類に対応する物理指標については平成29年度版道路橋示方書²⁾に準じた。また、地下水面の位置については孔内水位をそのまま用いた。また土質分類に基づく液状化対象層の判定は実施していない。また入力加速度は気象庁新潟中央区美咲町で観測された最大2成分合成水平加速度である179galを用いた。

寺尾の無被害地点(ボーリング1-1)では砂丘を構成する細砂が表層からG.L. -20m程度まで分布しているものの、N値は表層でも10程度と高く、地下水位も低かった点が見て取れる(図4)。一方、被害地点(ボーリング1-2)では、表層地盤が粘土~シルト~細砂の互層となっており、N値もG.L. -10m程度まで10を下回っている軟弱層が分布している(図5)。液状化判定の結果では、この中でもG.L. -5.3mと-13.3mにおいてFL値が1を下回る深度が存在した。今後どの深度の層が液状化を発生させるのかについては、水平方向の地盤構造を確認しながら検討を行っていく。

ときめきの無被害地点(ボーリング2-1)では、地下水面は地表面に存在し、N値が10を下回る層が表層からG.L.-4.5m程度までと、G.L.-7.0mからG.L.-12.5mまで存在するものの大部分が粘性土で構成される地盤構造となっている。しかし、G.L.-4.22mからG.L.-7.47mに砂質土が存在し、FL値が1を下回っている深度も存在する。この地点では大規模な噴砂や住宅の不同沈下などの挙動は確認されていないことから、このFL値と実現象が合わないいわゆる「空振り」地点であると言える。

一方、ときめきの被害地点(ボーリング2-2)では、全体として砂質土で構成されN値も10を下回る層がG.L.-12.0mまで存在している。またFL値が1を下回る層はG.L.-7.0~-12.5m程度に集中して見られる。全体として、4地点のボーリングと標準貫入試験結果は、被害地点ではFL値が1を下回る深度が存在し、少なくとも被害実態とFL値の結果は符合する形と

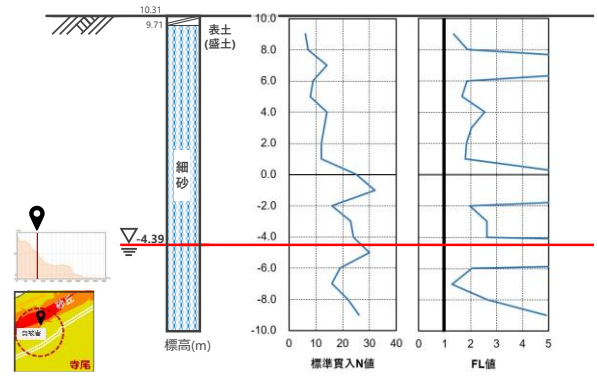


図4 ボーリング1-1の土質分類、標準貫入N値、FL値

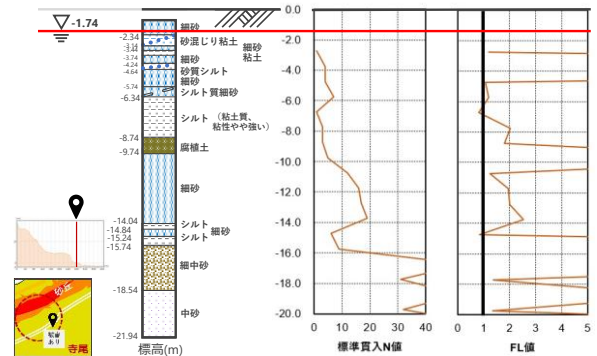


図5 ボーリング1-2の土質分類、標準貫入N値、FL値

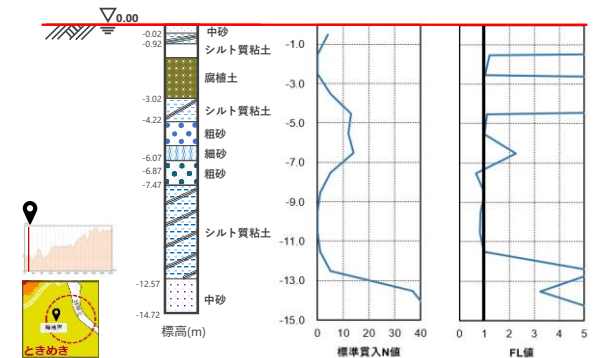


図6 ボーリング2-1の土質分類、標準貫入N値、FL値

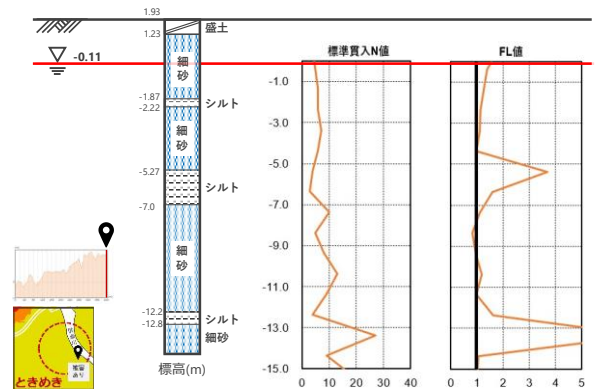


図7 ボーリング2-2の土質分類、標準貫入N値、FL値

なった。しかし周辺では低層住宅の庭先やピロティでの不同沈下も多く見られた点や、上越新幹線橋脚には変状が見られなかったことから、特に深い深度での液状化発生には疑問が残る。このため、地層の連続性や、FL 値が 1 を下回った深度が本当に液状化したのかについてはより詳細な検討が必要である。

一方、無被害地点では、砂丘斜面上に存在するボーリング 1-1 では地下水位が低く、N 値もある程度高いため、被害実態と符合する結果となったが、ボーリング 2-1 ではいわゆる空振り判定となった。この点について、次の節で別の形で検討を行う。

4. 2011 年東北地方太平洋沖地震と能登半島地震での $N_1 - L$ 関係

図-8 と図-9 に横軸に換算 N 値 (N_1) を、縦軸に繰返しせん断応力 (L) と繰返し三軸強度比 (R_L) をプロットして記した $N_1 - L$ 関係を示す。図-6 は、図-5 の一部を拡大したものである。また、下記に示す道路橋示方書における N_1 と R_L の関係式(1)から(3)を黒い実線で示した。実線は細粒分含有率 F_c が 10% 以下、20%、30%、40% の 4 ケースに対応する線を描いた。黒い実線を境目として、左上側は推定される地盤強度よりも地震外力が大きい範囲であり、右下側は地盤強度より地震外力が小さい範囲である。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6}(N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases} \quad (1)$$

$$N_a = C_{F_c}(N_1 + 2.47) - 2.47 \quad (2)$$

$$C_{F_c} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq F_c < 10\%) \\ (F_c + 20)/30 & (10\% \leq F_c < 40\%) \\ (F_c - 16)/12 & (40\% \leq F_c) \end{cases} \quad (3)$$

また、両図の灰色のシンボルは、土木研究所, 2014⁷⁾において、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に観測された無被害地点と被害地点における N_1 と L の値をプロットしたものである。シンボルの図形ごとに、丸は液状化が発生した地点、三角は丸地点の近傍で液状

化が発生した地点、四角は液状化が発生しなかった地点を示す。色付きのシンボルは、図-4~7 の液状化判定結果のうち、FL 値が最も低い 3 深度のみを抜き出してプロットしたものであり、オレンジの丸は液状化が発生した地点、青い四角は液状化が確認されなかった地点を示す。

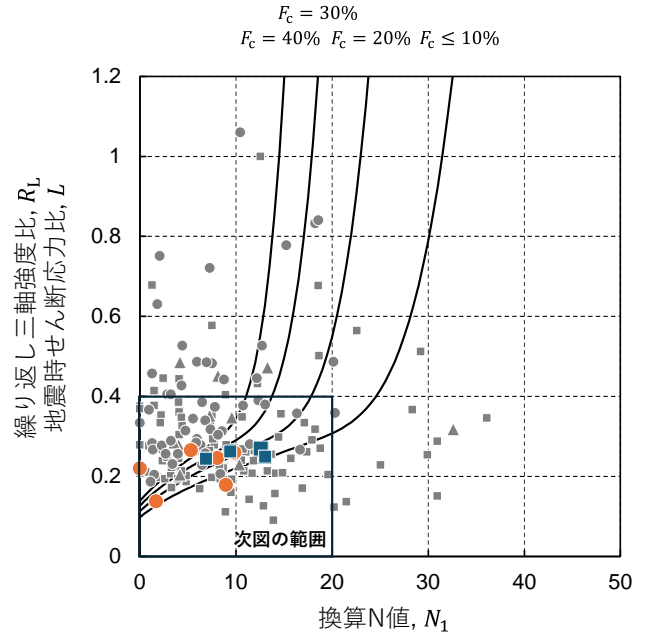


図-8 2011 年東北地方太平洋沖地震と 2024 年能登半島地震での $N_1 - L$ 関係

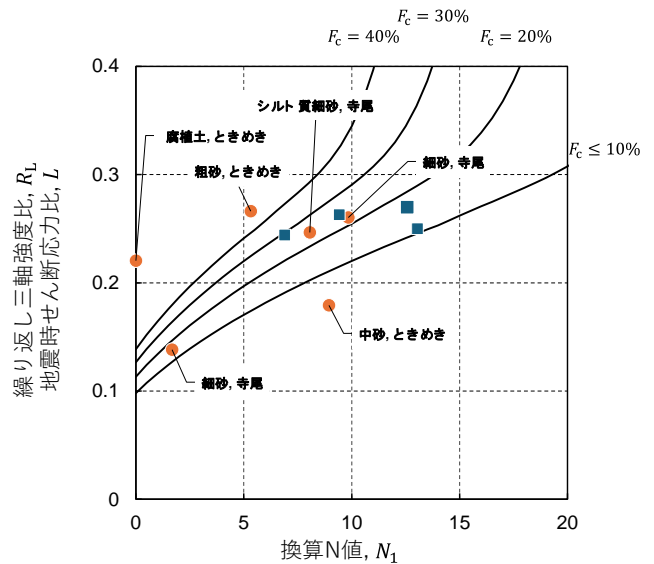


図-9 2011 年東北地方太平洋沖地震と 2024 年能登半島地震での $N_1 - L$ 関係 (拡大図)

図-8に着目すると、2024年能登半島地震でのプロットは、換算N値では10以下の比較的低い範囲に分布していることが見て取れ、2011年東北地方太平洋沖地震でのプロット分布の内部に位置している。無被害地点のプロットは最も低い R_L を与える $F_c \leq 10\%$ の実線よりも上、 $F_c = 30\%$ の実線よりも下に位置している。また図-9の被害地点に着目すると、寺尾は $F_c = 20\%$ 上に位置している一方、ときめきのプロットはばらついており、中砂の層はFL値が1以上となる領域に位置している。

図-8や図-9に示すように、2024年能登半島地震のケースのような換算N値が低く(10以下)、地震時せん断応力比も低い(0.1~0.3)程度の領域は、細粒分含有率の設定値によってFL値が大きく変化する。今後は検討対象のボーリングを増やし、液状化層の連続性や物性、入力地震動の影響を考慮しながら、妥当性の検討を行う。

5. 現時点での結論

本研究では、令和6年能登半島地震における新潟市内で発生した液状化に起因する地盤変状について、QGISを用いた被害分布の面的な把握と、地震発生時に地盤に外力が作用した場合の、液状化の発生しやすさの指標であるN-CSR関係の検討を実施した。

新潟市西区寺尾周辺では標高最低5m~最大30m、長さ約20kmの砂丘が海岸から県道16号線までの範囲に分布しており、現地調査では県道16号線沿いの砂丘末端部で液状化が発生したことが判明した。また、西区ときめきは信濃川の旧河道上に位置している範囲で、不同沈下や噴砂といった液状化現象が多発していることが確認された。

また、簡易液状化判定法の結果では、4地点のボーリングと標準貫入試験結果は、被害地点ではFL値が1を下回る深度が存在し、少なくとも被害実態とFL値の結果は符合する形となった。しかし、地層の連続性や、FL値が1を下回った深度が本当に液状化したのかについてはより詳細な検討が必要である。一方、無被害地点では、砂丘斜面上に存在するボーリング1-1では地下水位が低く、N値もある程度高いため、

被害実態と符合する結果となったが、ボーリング2-1ではいわゆる空振り判定となった。

最後に $N_1 - L$ 関係を用いた比較では、今回の被害プロットは2011年東北地方太平洋沖地震のプロットの分布内に位置している一方で、全体として換算N値とLの値が低く、細粒分含有率の設定によって判定結果が大きく変わる状況であることが判明した。

参考文献

- 1) 新潟県, “被害状況等(第55報・3月14日発表),” 新潟県, 2024年3月14日. オンライン. <https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/kikitaisaku/jishin-20240314.html>. [2024年10月10日閲覧].
- 2) 日本道路協会公益社団法人, 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編. 丸善出版.
- 3) 新潟大学 災害・復興研究所, “2024年能登半島地震による液状化緊急調査報告会,” 災害・復興科学研究所, オンライン. untitled (niigata-u.ac.jp). [2024年10月12日閲覧].
- 4) 北陸地盤情報活用協議会, “ほくりく地盤情報システム.” オンライン. <https://www.hokuriku-jiban.info/>. [2024年10月12日閲覧].
- 5) 吉田 望ら, “令和6年能登半島地震被害調査報告,” 2024年2月. オンライン. Microsoft Word - 調査報告.docm (kiso.co.jp). [2024年10月12日閲覧].
- 6) 国土地理院, “基盤地図情報ダウンロードサービス,” 基盤地図情報, オンライン. <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>. [2024年10月10日閲覧].
- 7) 独立行政法人土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム, “土木研究所資料 東北地方太平洋沖地震における液状化を踏まえた液状化判定方法の検討,” 土木研究所, 2014(平成26)年1月. オンライン. <955C8E862E786477> (pwri.go.jp). [2024年10月12日閲覧].