

# 令和6年能登半島地震における新潟市の液状化発生地点を対象とした 簡易液状化判定法（FL法）の適合性検証と指針間差の要因分析

長岡技術科学大学大学院 安達 和希  
池田 隆明  
志賀 正崇

## 1. 序論

2024年能登半島地震では、震源から150 km以上離れた新潟市においても広域に液状化が発生し、県内被害の大部分を占めた。液状化は西区・中央区・江南区など市域の広範囲に及び、とくに新潟砂丘の斜面末端部および信濃川旧河道沿いで顕著であった。この背景には、新潟市が位置する越後平野において、信濃川や阿賀野川が運搬した土砂により形成された緩い沖積砂層が浅部に広く分布し、砂丘や旧河道に規定された地形・地質条件が広域的な液状化の素因となっていることが挙げられる。加えて、新潟市は1964年新潟地震でも液状化被害が報告されており、繰り返し被害が生じる高リスク地域である。このような地域では、事前のリスク評価に基づき危険度の高い地区へ優先的に対策を講じることが、被害軽減の観点から重要となる。

事前評価として実務で広く用いられる簡易液状化判定法（以下、FL法）は、設計指針により算定式や補正法が異なるため、同一地点でもFL値や判定結果が変わり得る。したがって、判定精度の向上には、現行手法の不確かさや指針間差を生じる要因を整理し、実被害との対応を検証することが不可欠である。そこで本研究では、2024年能登半島地震における新潟市の液状化被害を対象に、FL法の適用性を検討する。特に、道路橋示方書（2017、以下、道示法）と建築基礎構造設計指針（2019、以下、建築法）に着目し、判定適合性と相違要因を比較するとともに、細粒分含有率 $FC$ の設定・取得（粒度試験）の重要性に関する実務的示唆を整理する。

## 2. 被害情報の統合による液状化発生範囲の特定

2024年能登半島地震における新潟市の液状化発生範囲を空間的に精度よく把握するため、複数の既往調査資料を収集し、GIS（地理情報システム）上で統合して液状化発生範囲分布図を作成した。参照資料は、筆者らの現地調査結果に加え、国際航業株式会社によるSAR衛星データに基づく被害状況推定図、新潟大学 災害・復興科学研究所の現地調査結果、ならびに株式会社興和（坂東ら、2023）による現地調査結果の計4種類である。各資料を重ね合わせた統合結果を図2-1に示す。図から、液状化被害は市域の広範囲に分布する一方、手法や実施主体が異なる資料間でも被害分布が重複する地点が多数認められた。特に、4資料すべてで地盤変状および液状化が一致して報告された地区は、西区の新潟砂丘斜面末端部、信濃川旧河道沿い、および中央区川岸町であり、各資料を統合しても被害集中域が確認された。

図2-2に示す液状化発生範囲分布の作成にあたっては、まず目視により噴砂痕跡や地盤変状など直接的証拠が確認された3つの現地調査結果を重ね合わせ、相互補完的に発生範囲を抽出し、これを実被害に基づく発生範囲として扱った。一方、SARデータは液状化以外の地表変化を含む可能性があるため、現地調査結果と重複する範囲のみを採用し、SARのみが示す範囲は除外した。以上により特定した発生範囲を、以降で行う簡易液状化判定結果との比較・検討に用いる。

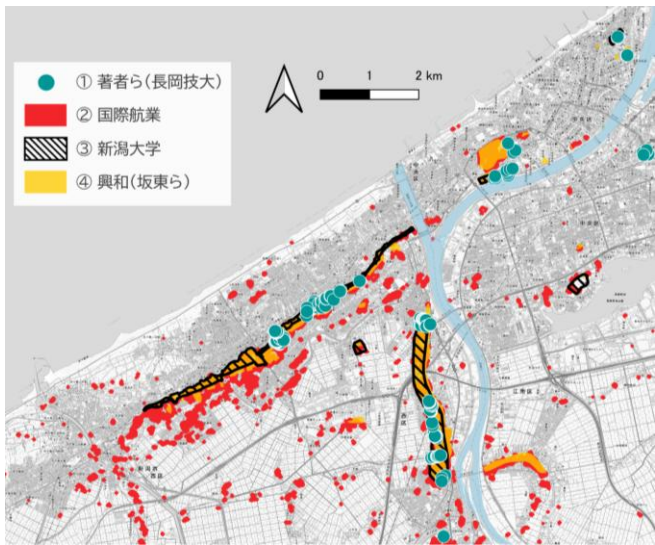


図 2-1 2024 年能登半島地震による新潟市の液状化被害の複数調査資料を重ね合わせた統合結果

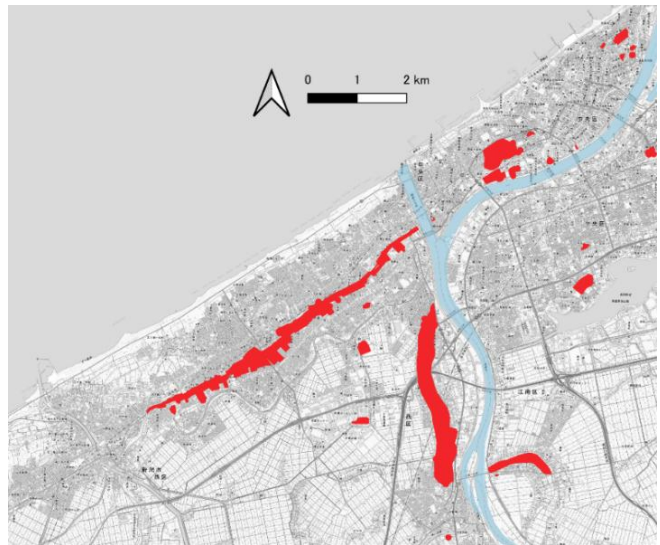


図 2-2 統合データを基に作成した新潟市の液状化発生範囲分布 (2024)

### 3. 液状化抵抗 $R_L$ の算定式における感度分析

FL法はこれらの2つの指針を含む各種設計基準において標準的な液状化判定法として採用されているが、両判定法は  $F_L$  値の算定方法が異なり、液状化抵抗比の計算式ならびに地震時に作用する外力を求める際のパラメータの取り扱いに相違がある。そのため、同一地盤を対象としていても算出される  $F_L$  値が異なり、判定結果に相違が生じる場合がある。本章では、計算過程における式の補正方法およびパラメータの取り扱いの相違を整理し、指針間で判定結果の差異が顕著となる地盤条件について考察する。

FL 法による判定は液状化安全率 ( $F_L = R/L$ ) により行い、ここで  $R$  は液状化抵抗比（道示法では動的せん断強度比、建築法では液状化抵抗比と称される）、 $L$  は地震時せん断応力比である。本研究ではレベル 1 地震動およびレベル 2 地震動タイプ I の評価を対象とし、道示法で用いる繰返し三軸強度比に基づく抵抗側の表記も含め、抵抗側は液状化抵抗比  $R_L$  として統一して扱う。判定は土層ごとに  $F_L \leq 1.0$  を液状化の可能性あり、 $F_L > 1.0$  を可能性なしとして整理する。

両指針は SPT の  $N$  値から液状化抵抗比を簡便に算定できる点で共通するが、拘束圧補正と細粒分補正、ならびに液状化抵抗比の算定式が異なる。本研究では指針間差の要因を明確化するため、SPT  $N$  値  $N$ 、有効上載圧  $\sigma'_v$ 、細粒分含有率  $FC$  を主要評価項目とし、これらが液状化抵抗比に及ぼす影響を評価する。なお、本研究は液状化抵抗側の評価差に焦点を当てるため、外力  $L$  の取り扱いについては、詳細な検討は行わない。

液状化抵抗比  $R_L$  の算定において、両指針はともに計測で測定された SPT  $N$  値に対して、拘束圧の影響および細粒分含有率の影響を考慮した補正を行う。このような補正方法の相違を表 3-1 に示す。表には、両指針における SPT  $N$  値から液状化抵抗比  $R_L$  を求めるまでの計算過程を示しており、①は拘束圧による補正を、②は細粒分含有率による補正を表す。これらの補正は  $N$  値の補正に由来する。なお、本項では拘束圧という語を、地盤中の有効上載圧  $\sigma'_v$  を指す用語として用いる。

表 3-1 両指針の液状化抵抗比に関するパラメータの比較

道路橋示方書 <sup>6)</sup>		建築基礎構造設計指針 <sup>7)</sup>
①		
$N$	$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70}$	$N_1 = \sqrt{\frac{100}{\sigma'_v}} N$
$N_1$		
	$N_a = C_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47 \quad (D_{50} < 2 \text{ mm})$	$N_a = N_1 + \Delta N_f$
②		
$N_1$	$C_{FC} =$	$\Delta N_f =$
$N_a$		
	$\begin{cases} 1.0 & (FC \leq 10\%) \\ (FC + 20)/30 & (10\% < FC \leq 40\%) \\ (FC - 16)/12 & (40\% < FC) \end{cases}$	$\begin{cases} 0 & (FC \leq 5\%) \\ 1.2(FC - 5) & (5\% < FC \leq 10\%) \\ 0.2(FC - 10) + 6 & (10\% < FC \leq 20\%) \\ 0.1(FC - 20) + 8 & (20\% < FC \leq 50\%) \end{cases}$
③		
$N_a$	$R_L =$	$R_L =$
$R_L$		
	$\begin{cases} 0.0882\sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6}(N_a - 14)^{4.5} & (N_a \geq 14) \end{cases}$	$0.45 \times 0.57 \left\{ \frac{16\sqrt{N_a}}{100} + \left( \frac{16\sqrt{N_a}}{85} \right)^{14} \right\}$

これを踏まえて感度分析を行った。感度分析の結果を、図 3-1、図 3-2 に示す。液状化抵抗比の指針間差を把握するため、計測 N 値  $N$  と細粒分含有率  $FC$  をそれぞれ横軸、縦軸に取り、液状化抵抗比  $R_L$  の比 ( $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)}$ ) を色分布で示した。(簡略化のため、建築法: AIJ, 道示法: JRA と表した。) ここで  $\sigma'_v$  は拘束圧条件を代表するパラメータであり、 $\sigma'_v = 20 \text{ kPa}$  (浅部地盤相当) および  $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$  (やや深部地盤相当) の 2 条件を設定した。図中では、色分布が白に近いほど比は 1 に近づき、両指針の液状化抵抗比  $R_L$  は近い値を取ることを示す。赤または青の色分布が濃くなるほど比は 1 から離れ、両指針の差異が大きいことを示す。また、各指針で  $R_L = 0.4$  となるラインを黒い点線で示している。黒点線の左側のエリアが実務で考慮される場合の多い  $R_L < 0.4$ 、右側のエリアが  $R_L < 0.4$  の範囲を表し、実務上重視される抵抗比水準に対して指針間差がどの領域で顕在化するかを視覚化した。

図 3-1 ( $\sigma'_v = 20 \text{ kPa}$ ) より、低  $N$  値域全体および高  $N$  値かつ高  $FC$  領域において  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)} < 1$  (青色系) の傾向がみられ、道示法の  $R_L$  が相対的に大きくなることが確認された。一方、高  $N$  値かつ低  $FC$  の領域では  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)} > 1$  (赤色系) の傾向を示しており、建築法の  $R_L$  が相対的に大きいことが確認できる。また、 $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)}$  の値が最大となる条件は  $FC = 10\%$  付近である。さらに、黒点線で囲まれた実務上重要な  $R_L < 0.4$  の領域に着目すると、この領域ではほとんどの場合で道示法の方が高い  $R_L$  値を与える傾向にあることがわかる。次に、図 3-2 ( $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$ ) では、図 3-1 と比較して  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)} < 1$  (青色系) の領域が全体として拡大し、特に  $R_L < 0.4$  の領域では、道示法の方が相対的に高い  $R_L$  値を与える傾向が支配的である。これは、拘束圧 (有効上載圧) が大きい条件ほど両指針の拘束圧および細粒分補正、算定過程の際の効果  $R_L$  の評価に反映され結果として道示法が相対的に大きな  $R_L$  を与えやすくなることを示す。また、 $\sigma'_v = 20 \text{ kPa}$  の場合と比較して  $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$  の場合の  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)} > 1$  を示す赤色の分布が薄くなっている。このことから、両指針の差異の開きは  $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$  の方が比較的小さくなることが明らかになった。

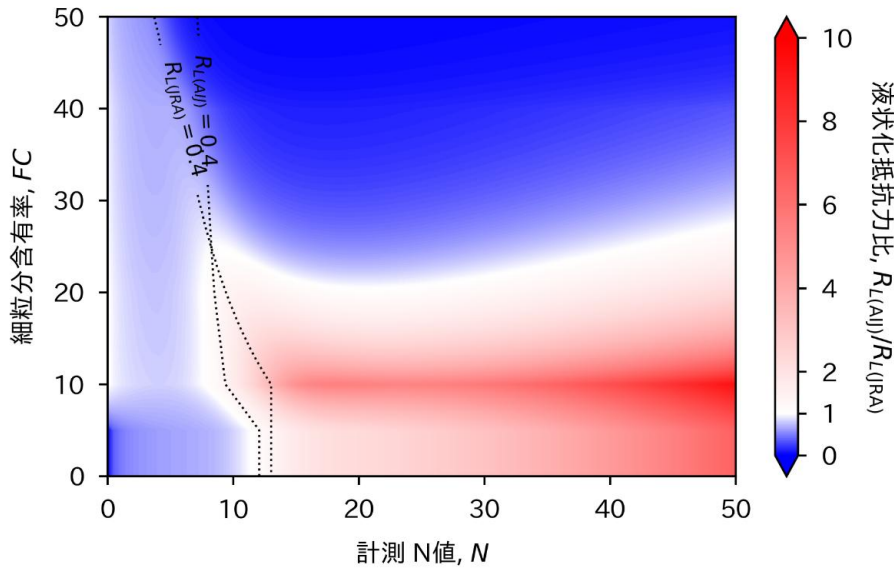


図3-1  $\sigma'_v = 20 \text{ kPa}$  , 細粒分含有率  $FC$  と計測  $N$  値に対する液状化抵抗比  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)}$  の関係

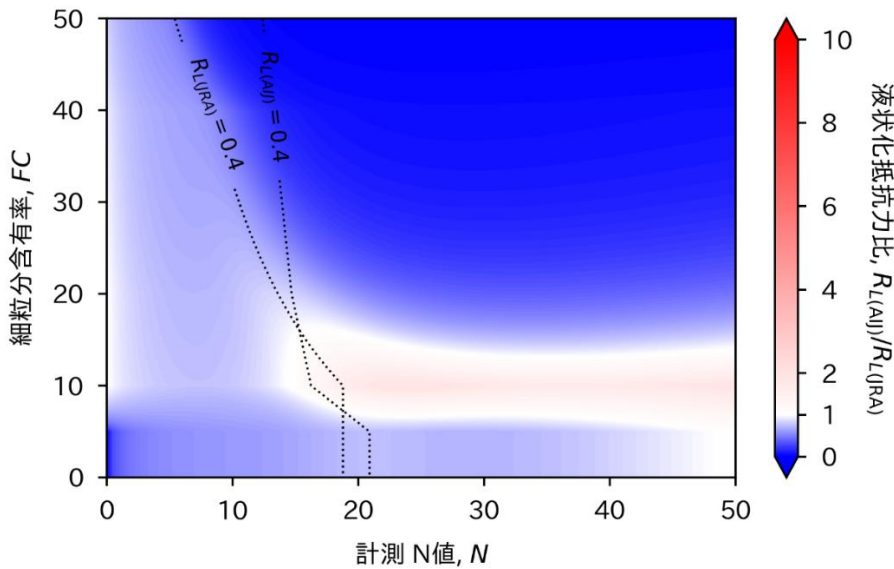


図 3-2  $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$  , 細粒分含有率  $FC$  と計測  $N$  値に対する液状化抵抗比  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)}$  の関係

以上の結果をまとめると、実務上重視される  $R_L < 0.4$  の領域では、ほとんどの条件で  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)} < 1$  (青色系) となり、道示法が建築法より高い液状化抵抗比  $R_L$  を与える傾向が認められた (図 3-1, 図 3-2). 加えて、この傾向は拘束圧  $\sigma'_v$  が大きい条件ほど強まり、 $\sigma'_v = 60 \text{ kPa}$  では  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)} < 1$  の領域が拡大することから、高拘束圧条件下で道示法が相対的に大きな  $R_L$  を与えやすいことが示された. 一方、拘束圧の大小に関わらず、高  $N$  値 (概ね  $N > 20$ ) かつ  $FC = 10\%$  付近を中心とする一部領域では  $R_{L(AIJ)}/R_{L(JRA)} > 1$  が現れ、建築法が相対的に大きな  $R_L$  を与える条件が存在するため、地盤条件によって指針間の大小関係が逆転し得る点には留意が必要である. 以上より、道示法と建築法の差異は一様ではなく、 $N$ ,  $\sigma'_v$ ,  $FC$  の組合せに依存して顕在化することが確認された. 次節では、新潟市内の実地盤データを用いて、本節の感度解析で得られた傾向が実際の液状化判定結果 (FL 値分布および判定) にどのように表れるかを検証する.

#### 4. 実地盤における検証

本節では、新潟市内の実地盤データを用いて、簡易液状化判定法（FL法）による判定結果と実際の液状化発生状況（地表面変状の有無）を照合し、判定の妥当性を検証する。対象地点は、前述で実施した現地調査結果に基づき、地形条件および被害状況が対照的となる代表地点として、寺尾地区（新潟砂丘斜面末端部）およびときめき地区（信濃川旧河道）から選定した。本稿では、ときめきにおいて地表面変状が確認された地点の結果を示す。

液状化判定に用いる地下水位および地表面加速度等の入力条件を表4-1に示す。地下水位については現地調査時の観測値も整理したが、本研究では指針間の判定結果を比較することを目的として、地下水位をG.L.-0.00 mに統一して設定した。地表面加速度は別途推定した各地点の値を用いた。また、土質条件に関わる物性値（湿潤単位体積重量、平均粒径など）は、道示法に示される標準値（表4-2）を用いた。

表 4-1 地下水位と地表面加速度における条件

地点	地下水位（測定時） (m)	地下水位（液状化判定時） (m)	地表面加速度 (m/s <sup>2</sup> )
ときめき（変状あり）	0.56	0.00	2.27

表 4-2 土質分類と単位重量、平均粒径、細粒分含有率の概略値

土質分類	地下水位面下の単位重量 (kN/m <sup>2</sup> )	地下水位面上の単位重量 (kN/m <sup>2</sup> )	平均粒径 $D_{50}$ (mm)	細粒分含有率 $FC$ (%)
表土	17.0	15.0	0.02	80
シルト	17.5	15.5	0.025	75
砂質シルト	18.0	16.0	0.04	65
シルト質細砂	18.0	16.0	0.07	50
微細砂	18.5	16.5	0.10	40
細砂	19.5	17.5	0.15	30
中砂	20.0	18.0	0.35	10
粗砂	20.0	18.0	0.6	0
砂れき	21.0	19.0	2.0	0

判定結果の整理にあたっては、各地点について柱状図、深度-N値分布、深度-FL値分布、および深度-FL比（建築/道示）分布を示し、地表面変状の有無との整合を確認した。なお、本研究では、液状化判定結果に対して「空振り」「見逃し」という言葉を用いて説明を行う。実際の地表面変状（液状化の発生有無）と、FL法による判定結果を照合し、不一致が生じた場合を「空振り」および「見逃し」として定義する。空振りとは、実際には液状化（地表面変状）が確認されなかったにもかかわらず、判定上は液状化する（ $F_L < 1$ ）と評価されるケースであり、液状化危険度の過大評価に相当する。一方、見逃しとは、実際には液状化（地表面変状）が確認されたにもかかわらず、判定上は液状化しない（ $F_L \geq 1$ ）と評価されるケースであ

り、液状化危険度の過小評価に相当する。見逃しに関しては、実務において発生してはいけない事例となる。

ときめき地点において地表面変状が確認された地点の柱状図、深度-N値分布、深度-FL値分布を図4-1に示す。深度-FL値分布では、道示法および建築法のいずれにおいても一部の深度で  $FL \leq 1$  となり、「液状化が発生（変状あり）」と判定されることから、現地調査結果と整合することが確認された。

柱状図より、当該地点は粘土・シルト層および砂層が混在し、地下水位は図中に示すとおり G.L.-0.56mと浅い位置にある。また、本図に示す砂質シルトは、ボーリングデータによれば細砂を主体とすることから、本研究では砂質土として扱う。深度-N値分布によれば、表層から G.L.-12.0m程度までは、多くの層でN値が5以下となっており、軟弱な層が連続して存在することが確認される。一方、G.L.-14.0m付近以深に分布する細砂層ではN値が30以上の層が連続しており、相対的に締まった地盤が出現する。

以上より、当該地点において液状化が発生した主要因は、地下水位が浅い条件下で、浅部に低N値の緩い砂質土（砂質シルト）が十分な層厚で分布していたためと推察される。また、本図のFL値は概略FC値に基づく算定結果であるが、高細粒分とみなされる条件では、道示法において液状化抵抗が相対的に大きく評価されやすい一方、N値が極めて小さい（概ね5以下）場合には、その影響が相対的に顕著に現れにくい可能性がある。この点は、感度分析で示した傾向とも整合する。

次に、深度-FL比分布に着目すると、当該地点においては、概略FC値を用いた場合と試験FC値を考慮した場合のいずれにおいても、手法間の乖離が生じる深度帯やその大小関係は概ね共通していた。細粒分の高い層では若干道示法の方が手法間のFL乖離が大きく出ている範囲が確認されるが、FC設定の違いによって手法間差の基本的傾向は顕著には変化しないことが確認された。さらに、変状なしの地点と同様、道示法は概略FC値から試験FC値に置換することでFL値に変化がみられたが、建築法は土質条件や拘束圧などの地盤条件に関わらず、概略FC値および試験FC値のいずれを用いた場合でも、全体として算出FL値に相違があまり見られなかった。

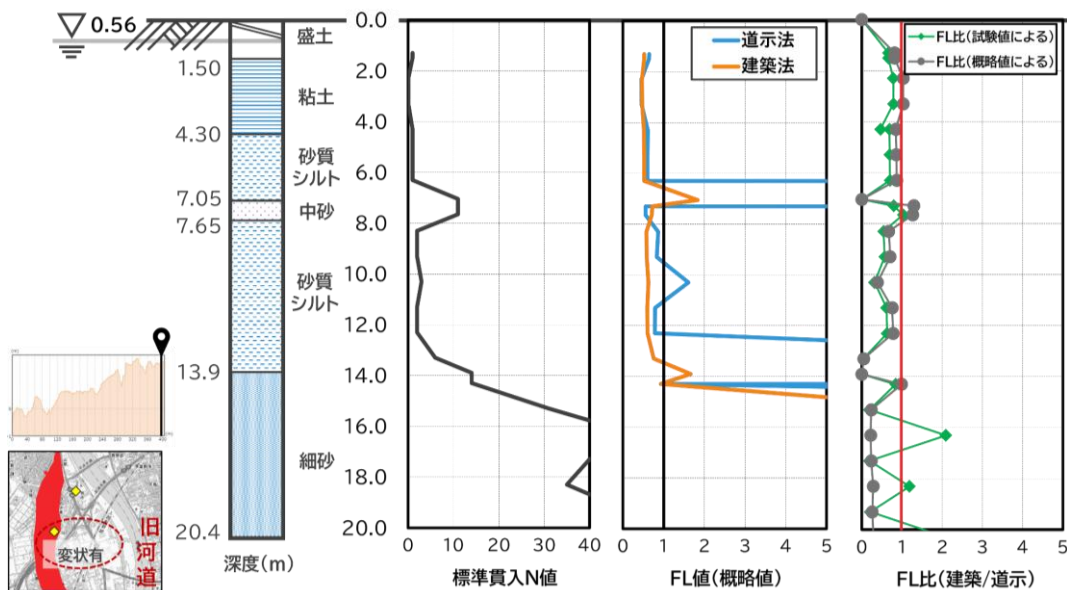


図4-1 ときめき（変状あり）における柱状図，深度-N値，深度-FL値分布，深度-FL比（建築 / 道示）分布

## 5. 試験 FC 値の導入効果

FL 法の判定結果を可視化する手法として、 $N_1 - L$ 関係図を用いる。これは、拘束圧補正後の  $N$  値 ( $N_1$  値) を横軸、地震時せん断応力比  $L$  を縦軸としてプロットし、液状化抵抗比曲線  $R_L$  との位置関係から液状化可能性を評価する手法である。前述の感度解析より、道示法では細粒分含有率  $FC$  の設定が液状化抵抗比  $R_L$  の評価に与える影響が相対的に大きいことが明らかとなった。このため、 $FC$  設定 (概略値/試験値) の妥当性を検証する指標として、 $N_1 - L$ 関係図が有効であると考えた。そこで本節で、道示法を対象として  $N_1 - L$  関係図を作成し、 $FC$  設定の違いが判定結果の整合性に与える影響を検討する。検討は  $FC = 0$  (全データ)、 $F_c \geq 20$ 、 $F_c \geq 30$ 、 $F_c \geq 40$  の  $FC$  区分で行った。

図中の記号について、赤色の丸シンボルは現地調査において地表面変状が確認された地点、青色の四角シンボルは地表面変状が確認されなかった地点を示す。また、図中の実線および点線は、道示法に基づく液状化抵抗比曲線  $R_L$  (表 3-1 の③) を表す。 $R_L$  曲線は液状化の発生可能性の有無を区別する境界であり、曲線の右側は液状化発生可能性が低い領域、左側は液状化発生可能性が高い領域に対応する。したがって、青色の四角シンボル (変状なし) が曲線右側に分布する場合は「液状化しない」という判定結果と現地調査結果が整合し、赤色の丸シンボル (変状あり) が曲線左側に分布する場合は「液状化する」という判定結果と現地調査結果が整合する。なお、実線や点線によって描画されている液状化抵抗比曲線  $R_L$  は  $FC$  に依存して変化するため、 $FC$  の範囲ごとに異なる曲線が描かれる。細粒分含有率の高い砂質土の  $N_1 - L$  関係図は、きれいな砂 ( $FC = 0$ ) のグラフに比べてより急激に立ち上がるようになっていることが特徴的である。

図5-1および図5-2に、土質分類に基づき、概略  $FC$  値および試験  $FC$  値を用いた場合の  $N_1 - L$  関係図を示す。まず、図5-1 (概略  $FC$  値) では、 $FC \geq 20$ 、 $FC \geq 30$  の範囲における見逃し (液状化危険度の過小評価) が確認される。赤色の丸シンボル (地表面変状あり) の一部が  $R_L$  曲線の液状化発生可能性が低い領域となる右側に分布しており、判定上は「液状化しない」側に位置づけられるにも関わらず、現地では変状が確認された地点が存在することを示している。なお、見逃しは実務においてあってはならないとされる事例である。加えて、 $FC$  区分を高  $FC$  側に絞るほど、見逃しが顕在化する傾向がみられる。 $FC = 0$  (全データ) に対し、 $FC \geq 20$ 、 $FC \geq 30$  の区分においては高  $FC$  条件になるにつれて、赤色の丸シンボルが  $R_L$  曲線の右側に位置する割合が増加する傾向が認められる。しかし、 $FC \geq 40$  区分では、この見逃しは削除されている。このことから、細粒分を多く含む層において、概略値による  $FC$  区分は全ての場合で適切ではないことがあり、その際に見逃しが現れやすくなることを示している。さらに、青色の四角シンボル (変状なし) の多くが  $R_L$  曲線の左側 (液状化発生可能性が高い領域) に分布している。これは、概略  $FC$  値の設定にかかわらず、判定が保守的となり空振り (危険度の過大評価) が一定数生じることを示す。以上より、概略  $FC$  値を用いた場合、とくに  $FC$  が大きい区分において見逃しが生じ、現地調査結果との整合性が低下する傾向が確認された。

次に、図5-2 (試験  $FC$  値) では、図5-1 (概略  $FC$  値) で確認された見逃しの点が解消され、現地調査結果との整合性が向上する。この改善は高  $FC$  側の区分においても明瞭であり、試験  $FC$  の導入により各データがより適切な  $FC$  区分に再分類され、 $FC$  に応じた液状化抵抗比曲線との比較が適正化されたためと解釈できる。一方で、空振りは依然として多く残り、この事例の低減が限定的であることから、 $FC$  の高精度化は見逃しの削減に有効である一方、空振りの低減には  $FC$  以外の要因 (液状化層の同定や  $L$  の与え方等) も関与する可能性が高いことが明らかとなった。

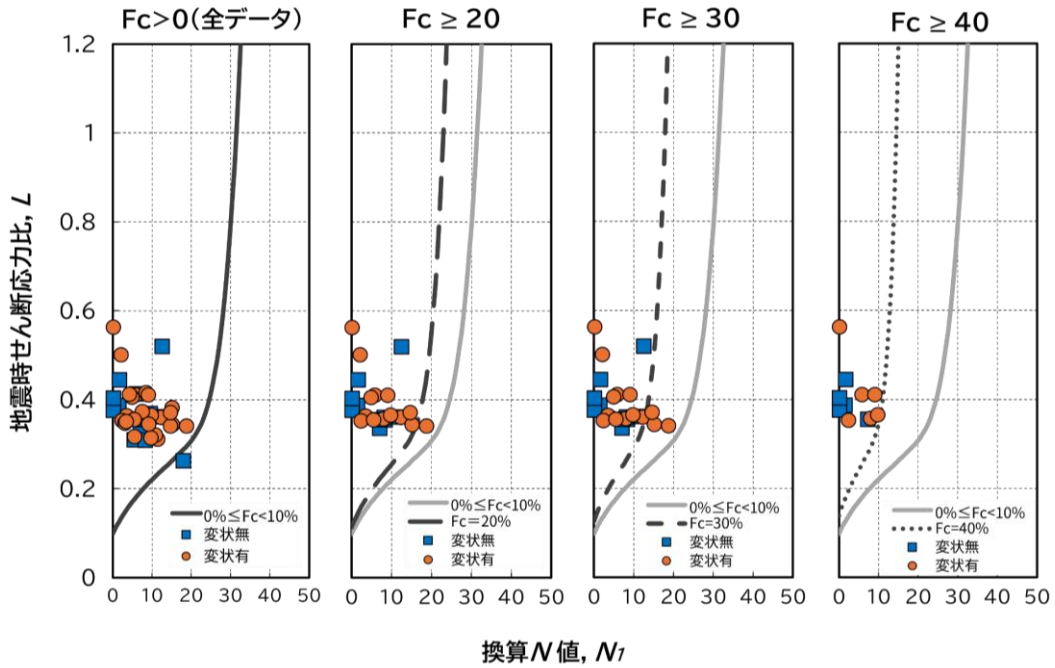


図 5-1 概略FC値を用いた $N_1 - L$ 関係図 (左から  $FC = 0$ ,  $FC \geq 20$ ,  $FC \geq 30$ ,  $FC \geq 40$ )

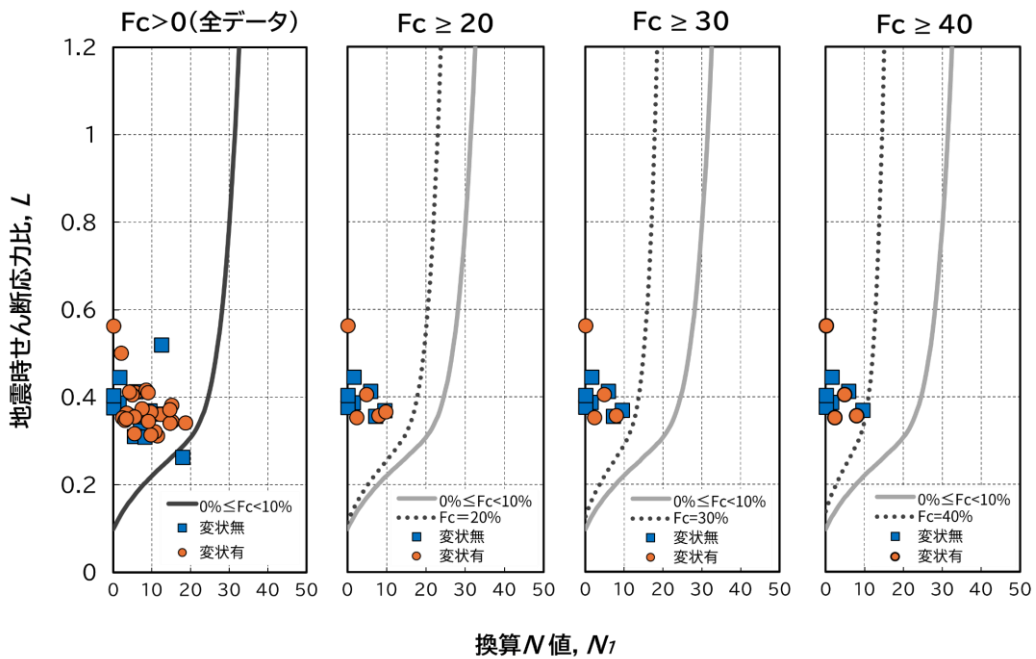


図 5-2 試験FC値を用いた $N_1 - L$ 関係図 (左から  $FC = 0$ ,  $FC \geq 20$ ,  $FC \geq 30$ ,  $FC \geq 40$ )

なお、 $FC$ の概略値および試験値による設定の違いによって各点の $N_1$ および $L$  (プロット位置) 自体は変化しない。これは、 $N_1$ および $L$ が主として $N$ 値の拘束圧補正や地震動条件のみにより定まり、 $FC$ 設定はこれらの算定過程に直接影響しないためである。一方で、 $FC$ 設定の違いにより変化するのは、液状化抵抗比曲

線 $R_L$ の位置, および各プロットがどの $FC$ 区分の図に表示されるか, また, どの $R_L$ 曲線と比較されるか, の2点である. すなわち,  $FC$ が大きいほど $R_L$ 曲線は右上へ移動し, 同一の $N_1-L$ プロットであっても, 採用する $FC$ 区分が異なれば参照される $R_L$ 曲線が変化するため,  $R_L$ 曲線に対する相対的位置関係(曲線の右側および左側の配置)が変わり得る. この性質は,  $FC$ 設定の妥当性を検証する上で重要である. 概略 $FC$ 値を用いた場合には, 実地盤の $FC$ 補正量を十分に反映できないことにより, 一部のプロットが不適切な $FC$ 区分に分類され, その結果,  $R_L$ 曲線との比較が適正でなくなる可能性がある. とくに判定境界近傍に位置するプロットでは,  $R_L$ 曲線の移動に伴って判定区別の境界をまたぐような配置変化が生じやすく, これが見逃し(地表面変状ありの地点が曲線右側に位置する)や空振り(地表面変状なしの地点が曲線左側に位置する)の発生に影響する. 以上より, 試験 $FC$ 値の導入効果は,  $N_1-L$ 関係図上のプロット位置そのものを変化させ2026/03/10るのではなく,  $FC$ に応じた $R_L$ 曲線の位置および適切な $FC$ 区分への再分類を通じて,  $R_L$ 曲線に対する相対位置関係(右側および左側の配置)を改善する点にあることが確認された. このことは,  $FC$ を詳細に設定することで, 各地点が適切な $FC$ 範囲の液状化抵抗比曲線と比較されるようになり, 結果として判定精度が向上することを示している.

## 6. 結論

### 6.1 まとめ

本研究で得られた結論と示唆を以下に整理する.

- 1) 2024年能登半島地震における新潟市の液状化発生域は, 砂丘斜面末端部や信濃川旧河道沿いなど旧地形条件と強く対応し, 地盤条件により被害分布が規定される傾向が確認された.
- 2) 道示法と建築法の液状化抵抗比 $R_L$ の差異は, 拘束圧補正および細粒分補正, ならびに $R_L$ 算定式の構造差に起因し,  $N$ , ( $\sigma'_v$ ),  $FC$ の組合せによって差の現れ方が変化した. 特に, 実務上重視される( $R_L < 0.4$ )の領域では道示法が相対的に高い $R_L$ を与えやすく, 高拘束圧条件下でその傾向が強まることが示された一方, 低 $FC$ かつ高 $N$ の一部では評価が逆転し得る点に留意が必要である.
- 3) 実地盤検証では, 変状あり地点で浅部に $F_L < 1$ の層が現れるなど一定の整合が得られたが, 変状なし地点でも $F_L < 1$ が出現する空振りが残存し, 地表面変状の有無は $F_L$ のみでは一意に説明できないことが確認された.
- 4) 概略 $FC$ を用いた $N_1-L$ 評価では, 高 $FC$ 区分において見逃しが生じ得るのに対し, 試験 $FC$ を導入すると見逃しが概ね解消され, 現地調査結果との整合性が改善した. この導入効果は, プロット位置( $N_1-L$ )自体を変化させるのではなく,  $FC$ に応じた抵抗比曲線の位置および適切な $FC$ 区分への再分類を通じて相対的位置関係(曲線左側/右側)を改善する点にある. したがって, 旧河道・砂丘末端部など高 $FC$ が想定され, かつ判定境界近傍となる地点では, 粒度試験による $FC$ 取得の優先度を高く設定することが合理的である.
- 5) ただし空振りの低減は限定的であり, 危険層の深度・層厚・連続性, 上部の非液状化層条件など層序・地盤構造の影響を併せて評価する枠組みが重要である.

### 6.2 今後の課題

本研究の適用範囲には限界があり, 判定精度のさらなる向上と液状化発生メカニズムの統合的理解に向けて, 以下の課題が残る.

- 1) 粒度試験不足の解消（細粒分・粒度特性の高精度化）  
概略FCと試験FCの比較より、FC設定精度が判定適合性（特に見逃し）に影響し得ることを示したが、試験データは地点・深度方向に不足が残る。今後は粒度試験の追加取得・整備によりFC（必要に応じてD50等）を層単位で高精度化し、Fc区分の誤分類低減と対象層同定の高度化を図る必要がある。
- 2) FL法の限界と判定精度向上に向けた課題  
FL法は簡便性の一方で、地盤の不均質性や三次元的層構成、排水・表層条件等を十分に反映できず、 $F_L$ （や  $P_L$  等）と地表面変状の対応には不確実性が残る。今後は層序条件（層厚・深度・連続性、キャップ層条件等）の整理を進めるとともに、入力条件・地盤モデル化の高度化を通じて、FL法で取り込み可能な範囲と適用限界を明確化することが重要である。

## 参考文献

- 1) 内閣府：令和6年版 防災白書（特集2 第1章 第2節 被害の概要），防災情報のページ, 2024, [https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r06/honbun/t2\\_1s\\_02\\_00.html](https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r06/honbun/t2_1s_02_00.html), (2026/01/09 閲覧).
- 2) 坂東和郎, 藤野丈志, 鶴巻駿介, 柿崎研人：令和6年能登半島地震による新潟市における液状化被害と側方移動, 第59回地盤工学研究発表会, 23-12-2-04.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, <https://www.nhdr.niigata-u.ac.jp/wp-content/uploads/2024/05/757b6b7a5757655f92befd4116ae22b4.pdf>, (2026/01/18 閲覧).
- 3) 清田隆, 栗間淳, 池田隆明, 志賀正崇：令和6年能登半島地震 新潟県内の地震被害調査（速報），土木学会 委員会サイト, [https://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/DamageReport\\_NiigataPref\\_Tokyo\\_Nagaoka\\_Ver.1.pdf](https://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/DamageReport_NiigataPref_Tokyo_Nagaoka_Ver.1.pdf), 2024.
- 4) 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, <https://www.nhdr.niigata-u.ac.jp/wp-content/uploads/2024/05/757b6b7a5757655f92befd4116ae22b4.pdf>, (2026/01/18 閲覧).
- 5) 国際航業株式会社：令和6年能登半島地震 | 国際航業株式会社, <https://www.kkc.co.jp/disaster/2024/01/%e4%bb%a4%e5%92%8c%ef%bc%96%e5%b9%b4%e8%83%bd%e7%99%bb%e5%8d%8a%e5%b3%b6%e5%9c%b0%e9%9c%87/>, (2026/01/13 閲覧).
- 6) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V 耐震設計編・同解説, 丸善出版株式会社, 2017 (H29).
- 7) 一般社団法人 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 丸善出版株式会社, 2019.
- 8) Tokimatsu, K., and Yoshimi, Y.: Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content, *Soils and Foundations*, Vol. 23, No. 4, pp. 56–74, 1983, DOI: 10.3208/sandf1972.23.4\_56.
- 9) 北陸地盤情報活用協議会：ほくりく地盤情報システム, <https://www.hokuriku-jiban.info/>, (2026/01/19 閲覧).
- 10) 佐々木哲也, 石原雅規, 谷本俊輔, 増山博之：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法の検討, 土木研究所資料, TECHNICAL NOTE of PWRI, No.4280, 2014.