

令和 6 年能登半島地震の新潟市を対象とした原位置サウンディング試験を用いた表層地盤の液状化特性の把握

長岡技術科学大学 ○小幡 蓮
長岡技術科学大学 正会員 志賀 正崇 池田 隆明 高田 晋
基礎地盤コンサルタンツ株式会社 武政 学 小林 陵平

1. はじめに

標準貫入試験を代表とする複数の原位置サウンディング試験は、主に換算式を用いて標準貫入 N 値に変換される場合がある。本研究ではこの換算式の違いによる N 値計算結果の差異に着目し、令和 6 年能登半島地震で液状化被害が発生した新潟市江南区曾野木小学校での複数の原位置サウンディング試験結果の比較と、液状化判定結果について検討を行った。

2. 調査地域での被害と周辺地理

調査対象地の曾野木小学校が位置する江南区天野地区では、地域住民や小学校の教員への聞き取りによって、住宅地の液状化被害として、不等沈下や傾斜が生じた。また、校庭の不陸や、路面変状、用水路の機能低下も確認されている。

また、天野地区の地形分類¹⁾と標高²⁾に基づく微地形を図-1 に示す。新潟市によれば、天野地区は江戸時代中期まで信濃川が流下していた旧河道に位置し、自然堤防および後背湿地から構成される¹⁾。

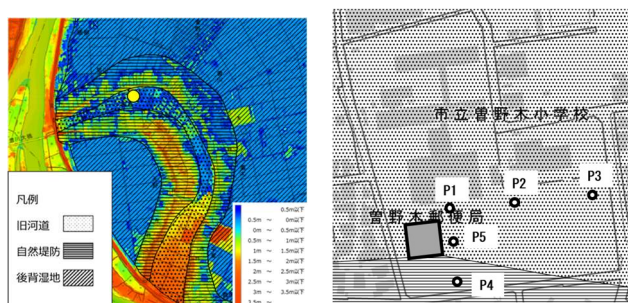


図-1 (左) 天野地区周辺の微地形と旧地形
(右) 曾野木小学校での調査地点

3. 曾野木小学校での原位置サウンディング試験

本研究では、曾野木小学校における液状化判定を行うため、図-1 に示す P5 地点と 20m 四方のエリア内で調査項目として、スクリーウェイト貫入試験 (SWS 試験)、簡易動的コーン貫入試験 (PDCPT)、および標準貫入試験 (SPT) を実施した。

SWS 試験は、地盤の静的な強度特性を迅速かつ簡便に把握する目的で実施した。試験は JIS A 1221:2013¹⁾に準拠し、調査地内の P5 地点で行った。本試験は、ロッドの先端に装着したスクリーポイントに段階的に錘 (ウェイト) を載荷し、ロッドを地盤に回転貫入させるものである。各深度において、貫入量が 25cm に達するまでの半回転数 (N_a) と、その際の載荷荷重 (W_{sw}) を測定し、これらから換算 N 値 (N_{sw}) を算出した。

PDCPT 試験は JGS 1433-2002²⁾に準拠し、P1～5 の計 5 地点で行った。本試験では、質量 5 kg のハンマーを 50 cm の高さから自由落下させ、その打撃エネルギーによってロッド先端のコーンを地中に貫入させる。コーンが 10 cm 貫入するのに要した打撃回数を測定し、これを動的コーン貫入抵抗値 (N_d 値) とした。

SPT 試験は JISA 1219:2013³⁾に準拠し、敷地内のボーリング孔にて実施した。ボーリング孔を所定の深度まで掘削した後、孔底のスライムを除去し、標準貫入試験用サンプラーを孔底に静置する。次に、質量 63.5 ± 0.5 kg のドライブハンマーを 76 ± 1 cm の高さから自由落下させ、サンプラーを地盤に打ち込む。予備打ちとして 15cm 貫入させた後、本打ちとして 30cm 貫入させるのに要する打撃回数 (N 値) を測定した。

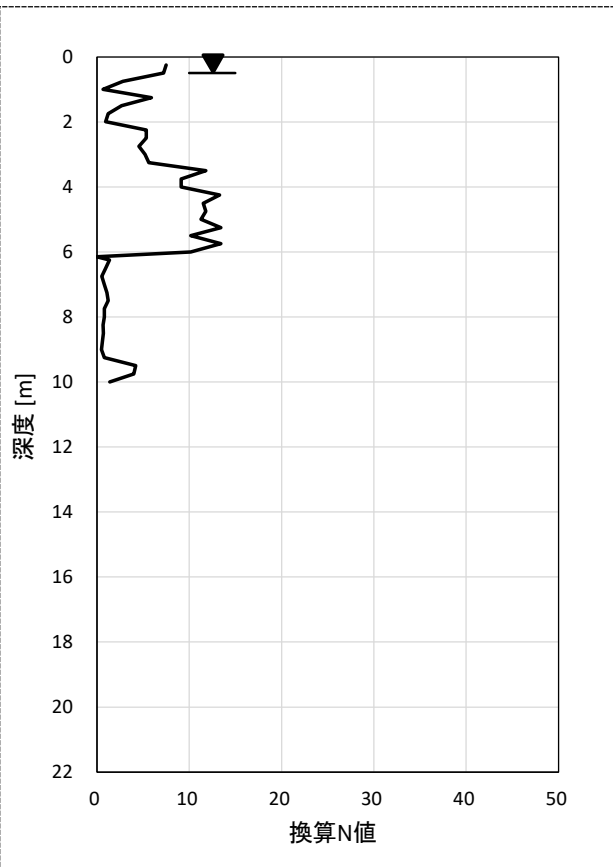


図-2 SWS 試験結果

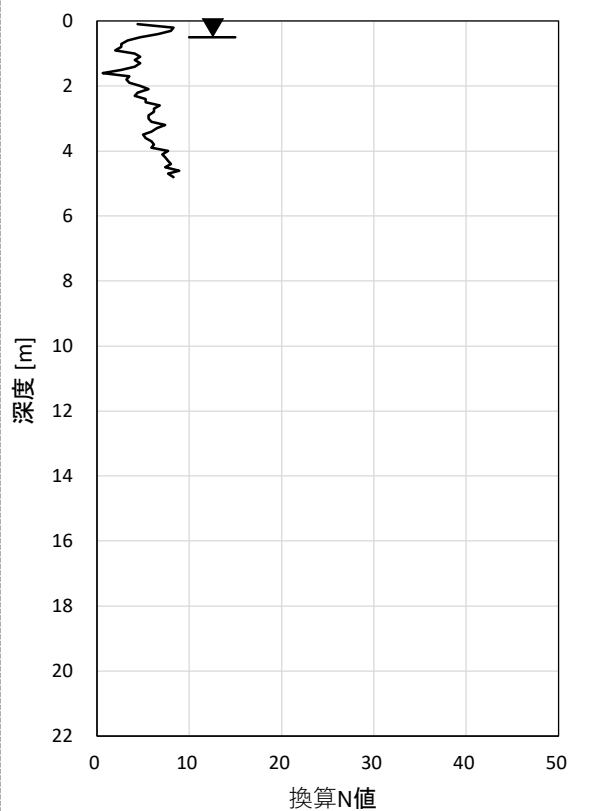


図-3 PDCPT 試験結果 (P5)

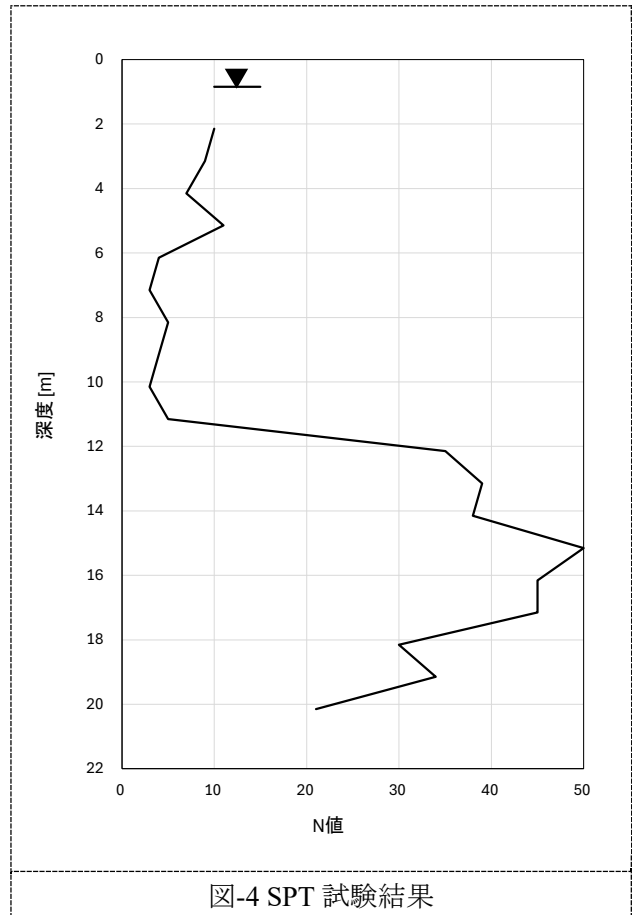


図-4 SPT 試験結果

4. サウンディング試験結果の比較

本調査で得られた SWS 試験結果を図-2 に、P5 における PDCPT の結果を図-3 に、SPT の結果を図-4 に示す。

本調査で得られた N 値の傾向について説明を行う。SWS 試験の結果は、深度 3m まで換算 N 値が 10 以下で推移し、深度 3～6m では、N 値が 10～13 程度に増大し、6m を超えると急激に N 値が 1 以下まで低下し、深度 10m まで続いた。

PDCPT の結果については、P1,2,3,5 地点の結果においては貫入深度 4.8m まで換算 N 値の平均は 5 程度となり、換算 N 値の推移も概ね一致した。しかし、P4 の結果においては、一部の深度において礫当たりの影響であると思われる換算 N 値の増大が見られ、深度 3m 以降では換算 N 値が 10 以上になる箇所も存在した。

SPT の N 値については、ほくりく地盤情報システム⁷⁾のボーリング調査結果と比べると、深度 5m

付近で N 値が 11 の箇所が存在するが、概ね一致していることがわかる。

全体の傾向としては、深度 11m 付近までは N 値、換算 N 値はともに 11 以下の値が得られた。11m 以降の深度では、N 値が 30 付近まで増大し、20.45m まで N 値が 30～50 程度の範囲で推移した。

これら傾向から外れる結果として、SWS 試験の結果による換算 N 値、PDCPT の P4 地点における換算 N 値の 2 の結果が考えられる。以下に、それぞれの結果がなぜ傾向から外れるのかについて考察を行う。

本調査での SWS 試験の結果を見ると、深度 3～6m で他の結果よりも過大な換算 N 値が見られ、6～10m までは過小な N 値であることがうかがえる。図-のボーリング図から曾野木小学校グラウンド内は深度 0～6m までが含水が多く、緩い細砂～中砂層で、6～7m までが腐植土層、7～11m までが粘土もしくは砂質シルト層といった土質区分となっている。初期の砂質土層は下位であるほど粗粒になる傾向で、SWS 試験を行う際に、含水の多い粗粒な砂が崩れスクリーポイントによる試験孔を塞ぎ、ロッドの周面摩擦が増加したことによって、他の試験よりも過大な評価となったのではないかと考える。6m 以降の腐植土及び砂質シルト・粘土層では、回転貫入時に繰り返しによる土粒子配列の乱れによって、貫入抵抗が低下したために、過小な結果になり傾向から外れたと考える。これらのことから、SWS 試験の結果については深度 3m までの結果を用いるのが適当であると思われる。

PDCPT の P4 の結果が傾向から外れた原因について考察を行う。図-1 に示す天野地区の地形条件を見ると、P4 は旧河道上ではなく自然堤防上で試験が行われたことがわかる。新潟市によれば、天野地区の旧河道上は 1～3 m の埋土層が堆積している。また、ほくりく地盤情報システムによるボーリング調査の情報及び本調査でのボーリング柱状図を見ると曾野木小学校の敷地内は約 1 m の埋土層が存在し、自然堤防上は 1～5 m まで粒径が均一

な中砂が堆積している。この中砂層は含水が多く孔壁が不安定であることから、コーンを動的貫入した際に不安定な孔壁が崩壊したことにより、ロッドの周面摩擦が増大してしまい、結果が過大評価となり傾向から外れたと考える。

5. FL 値分布の比較

先述の換算式から求められる換算 N 値を、道路橋示方書⁸⁾及び建築基礎構造設計指針⁹⁾（以下、道示、建基）に示される手法で、P5 地点の結果を用いて液状化判定を行った。判定の結果は図-5 に示す。

図-5 の液状化判定結果を比較すると、道示による判定結果は液状化が発生する深度が多いが、建基による判定は深度 1.6 m のみ液状化が発生するといったものになった。建基法は全体的に液状化抵抗率が高く算出されているが、これは細粒分含有率に乗じた補正や拘束圧に関する補正によって N 値をさらに換算するため、抵抗力が高くなる傾向にあるからである。一方、道示法は建基法と比較して、安全側の評価になり液状化しやすい判定になっている。

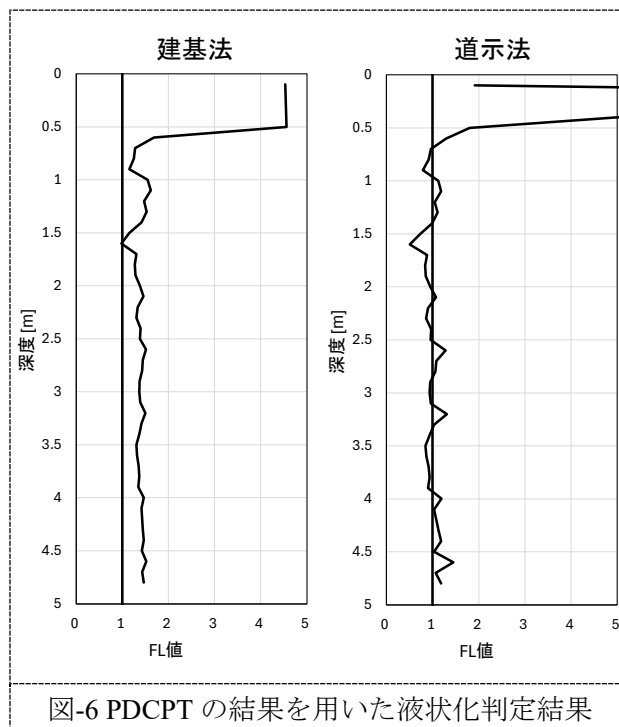


図-6 PDCPT の結果を用いた液状化判定結果

6. 結論

本研究では複数のサウンディング試験の換算 N 値に着目し、令和 6 年能登半島地震で液状化が発生した新潟市江南区天野地区で原位置サウンディング試験を実施し、その違いの検討を行った。また追加として PDCPT を用いた液状化判定結果の計算方法の比較を実施した。

結果として、SWS や PDCPT では地表面近くの粗粒砂の巻き込みによるロッドの周面摩擦の増加によって SPT との差異が発生したと考えられた。また、PDCPT の試験結果を用いて、道路橋示方書と建築基礎構造設計指針の結果を比較すると、建基法が全体的に液状化抵抗率が高く算出される結果となった。

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。

参考文献

- 1) 国土地理院，地理院地図，
https://maps.gsi.go.jp/#15/37.848765/139.021211/&base=pale&base_grayscale=1&ls=pale%7Crelief_free&blend=1&disp=11&lcd=relief_free&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m&reliefdata=20.8G0000FFG0G0095FFG0.8G00EEFFG1G91FF00G1.8GFFFF00G2GFF8C00G2.8GFF6800G3GFF5600G3.8GFF4D00GGFF4400
[2025 年 9 月 30 日閲覧]
- 2) 国土交通省，国土数値情報ダウンロードサイト，低地地形分類，
https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gmlold/datalist/gmlold_KsjTmplt-C34.html，[2025 年 9 月 30 日閲覧]

- 3) 新潟市，江南区の歴史
<https://www.city.niigata.lg.jp/konan/about/history.html>，2012，[2025 年 10 月 2 日閲覧]
- 4) 日本産業標準調査会：JIS A 1221:2013 スクリューウェイト貫入試験方法，2013 年
- 5) 公益社団法人地盤工学会：地盤工学会基準 JGS 1433-2002 ポータブル動的コーン貫入試験方法，2002 年
- 6) 日本産業標準調査会：JIS A 1219:2023 標準貫入試験方法，2023 年
- 7) ほくりく地盤情報システム，ボーリング柱状図，曾野木小学校改築工事地質調査，
<https://www.hokuriku-jiban.info/geoweb/HTML/brupxml.php?xml=jivanzu/niigata/BED3522.XML>，[2025 年 10 月 2 日閲覧]
- 8) 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
- 9) 日本建築学会，建築基礎構造設計指針，日本建築学会