

Ⅲ - A131

1993年北海道南西沖地震で液状化したシルト埋立地盤の液状化強度

飛島建設 正会員 沼田 淳紀

飛島建設 正会員 森 伸一郎

1. はじめに

1993年北海道南西沖地震では、震央距離約170kmの函館市の海岸埋立地のいたるところで液状化が生じた¹⁾
²⁾ ³⁾ ⁴⁾。函館港北埠頭周辺の液状化噴砂は、液状化しにくいと言われているシルトまたはシルト質砂であった¹⁾
⁴⁾。この地震によるセメントサイロの被害¹⁾ ²⁾に関する調査の一環として、サイロ地点で不攪乱試料を採取し、繰返し非排水三軸試験を実施した。ここでは、シルトの海岸埋立地盤の液状化強度を示すと同時に今後の課題について報告する。

2. 地盤の概要

函館市北埠頭は、1955～1968年（昭和30～43年）の間に浚渫土によって埋め立てられ、1968年十勝沖では函館市内で最も液状化被害が大きかった⁵⁾。図-1に、地震から約3ヶ月後に実施したセメントサイロ近傍のボーリング柱状図を示す。この図には、細粒分含有率・粘土分含有率が併記した。GL-7m以浅までが浚渫によって埋め立てられたN値が3～4のシルト層であり、その下にN値の低いシルト層を挟み、GL-8～14mにN値が4～7の浚渫土の母材と考えられる旧海底地盤がある。GL-14m以浅では、細粒分含有率は50～100%でいずれもシルトに分類されるが、多くは粘土分含有率が10%以下であり、また、低塑性である。

3. 不攪乱試料の採取・運搬保存方法

不攪乱試料は、2通りの方法で採取した。第1の方法は、地震直後に内径60.5mmのトリプルチューブサンプリングによって、セメントサイロ近傍のGL-4.0～9.6mより採取した。また第2の方法は、地震後約3ヶ月のセメントサイロ解体撤去後、GL-3.3mの掘削底面地盤に内径75mm長さ210mmのシンウォールチューブを静かに押し込み、その周囲を深く掘り下げチューブごと土塊を掘り起こし採取した。

試料の運搬方法は次の3通りである。トリプルチューブサンプリングによる試料は、両端に円盤を当て、円盤を加圧し拘束圧をかけた状態で運搬した。なお、この一部は、試料を整形後移動保存のために一時凍結した。シンウォールチューブによる試料は、運搬にあたり凍結と非凍結の2つの方法を採用した。シンウォールチューブの両端部が2cm程度余盛りとなるように整形し、両端部をポリエチレンシートでしっかりとチューブごとラップした。非凍結の場合には、これをクッション材で満たされた箱にそのまま入れて運搬した。一方、凍結の場合には、ラップした後にドライアイスでシンウォールチューブごと完全に凍結させた状態で運搬した。

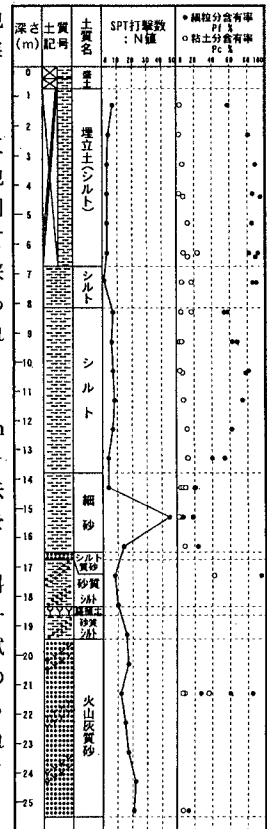


図-1 被災したセメントサイロ近傍のボーリング柱状図

表-1 試料の採取・運搬方法および試験条件と繰返し非排水試験結果

Type	採取方法	運搬方法	供試体寸法 $\phi \times h$ cm	装置	採取位置	採取深度 GL-m	有効土被り圧 σ_v' kgf/cm ²	圧密拘束圧 σ_c' kgf/cm ²	繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$	繰返し回数			液状化強度 ($DA=5\%$)		初期せん断剛性 G_0 kgf/cm ²	圧密後乾燥密度 γ_d tf/m ³
										DA=1%	DA=5%	$R_u=0.95$	R_{15}	R_{25}		
A	シンウォールチューブ ^{a)}	凍結	7.5×15	T	サイロ下	3.3	0.43	1.0	0.164	103	123	104	0.234	0.217	348	1.325
									0.214	10.7	19.9	16			320	1.303
									0.265	3.17	10.8	6.6			330	1.291
									0.371	0.56	2.29	3.7			340	1.298
									0.162	409	468	457			320	1.299
B	シンウォールチューブ ^{a)}	非凍結	7.5×15	T	サイロ下	3.3	0.43	1.0	0.214	32.7	67	37	0.249	0.238	360	1.287
									0.265	1.55	7.53	4.8			320	1.300
									0.164	393	434	391			320	1.358
C	トリプルチューブ ^{b)}	非凍結 ^{a)}	5×10	T	サイロ脇	4.0～9.6	0.49～0.94	1.0	0.214	0.84	24	9.8	0.227	0.217	364	1.318
									0.268	13.8	37.2	22			—	1.354
D	トリプルチューブ ^{b)}	非凍結	5×10	K	サイロ脇	4.0～4.8	0.49～0.55	0.5	0.288	3	16.5	8	0.320	0.300	—	1.322
									0.331	4.1	20.3	11			—	1.308
									0.367	0.9	8.2	5			—	1.318
									0.164	13.8	37.2	22			—	1.354

※非凍結状態で運搬したが、試験室内で一時凍結。

キーワード：液状化，シルト，海岸埋立地，不攪乱試料，三軸試験

連絡先：〒270-02 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472，TEL 0471-98-7553，FAX 0471-98-7585

4. 繰返し非排水三軸試験の方法

繰返し非排水三軸試験は、2機関（TとK）で実施した。いずれも地盤工学会の基準に準拠しているが、2機関では以下の点が異なる。Kでは、トリプルチューブによる試料を直径5cm×高さ10cmに整形し、有効拘束圧 0.5kgf/cm^2 （試料採取地点の有効土被り圧）で、セル外部で軸荷重計測し、油圧サーボによる载荷である。Tでは、凍結または非凍結の試料をシンワオールチューブから抜き出し端面のみを削り直径7.5cm×高さ15cmに整形し、有効拘束圧 1.0kgf/cm^2 で、セル内部で軸荷重計測し、空圧式による载荷である。また、液状化試験前に初期せん断剛性を測定した。Tでのトリプルチューブによる試料は、移動保存のために凍結した試料を使用した（ただし、供試体寸法直径5cm×高さ10cm.）。

なお、有効拘束圧を 1.0kgf/cm^2 としたのは、GL-3.3mでの有効土被り圧は 0.43kgf/cm^2 であったが、同地点で採取した試料の圧密降伏応力 0.7kgf/cm^2 を考慮し、試料を正規圧密状態にするためである。

5. 試験結果と考察

表-1に、TypeA～Dに試料の採取・運搬および試験条件を分け、試験結果を示す。また、図-2に両振幅ひずみDAが5%に到る繰返し回数と繰返しせん断応力比との関係を示す。TypeDの繰返し強度が他のものに比べ大きいのは、TypeDの荷重計がセルの外部にあり、強度を大きく見積もっているためと考えられる。それ以外のTypeA～Cは、繰返し強度の大きな順からB、C、Aとなるがほぼ同程度であり、今回の試料に対しては、試料採取方法の違いや凍結の有無による繰返し強度の違いは少なく、むしろ試験方法の違いによる差の方が大きいことがわかった。TypeA～Cについて、繰返し回数20回に対する繰返しせん断応力比 R_{20} は、A～C順番に0.217、0.238、0.217であり、シルトであるが繰返し強度として大きくない。

三軸試験より求められた液状化強度と、細粒分含有率と有効土被り圧で補正したN値から推定される液状化強度を比較する。推定方法は、道路橋示方書（道示）⁶⁾と建築基礎構造設計指針（建指）⁷⁾による。計算は、試料を採取したGL-3.3mを対象とし、N値=3、有効土被り圧 $\sigma_v' = \sigma_z' = 0.43\text{kgf/cm}^2$ 、細粒分含有率 $P_f = FC = 76\%$ とした。ただし、細粒分含有率は、不攪乱試料と同時に採取した試料によって求められた値を用いたので図-1に示した値より15%少ない。また、建指の液状化強度は現地盤における強度なので、三軸試験と等価な値に変換するために、静止土圧係数を $K_0 = 0.5$ とし、 $0.9(1 + 2K_0)/3$ で除した。この結果、繰返し強度として道示では0.273（DA=5%，N=20回）、建指では0.292（DA=3.3%，N=15回）を得た。実験結果と比べると、1割～3割程度過大評価していることがわかる。この原因として、今回のような細粒分が多いが粘土分の少ない低塑性の埋立地盤については、細粒分の増加による液状化強度の増加が既往の推定方法ほど期待できないと考えられる。

6. まとめ

- (1) シルトによって埋め立てられた海岸埋立地より、数種類の方法で不攪乱試料を採取・運搬したが、むしろ試験方法による差の方が大きく、採取・運搬方法が繰返し強度に及ぼす影響は少なかった。
- (2) 1993年北海道南西沖地震で液状化した函館市のシルトによって埋め立てられた海岸埋立地の液状化強度は、 $R_{20} = 0.22 \sim 0.24$ 程度で、細粒分を多く含んでいるにもかかわらず液状化強度は大きくなく、実験で求められた液状化強度と、細粒分含有率と有効土被り圧で補正したN値から推定する液状化強度を比較すると、N値による方法が今回の場合には液状化強度を過大評価することがわかった。

参考文献

- 1) 森伸一郎、沼田淳紀、三輪滋、柴田登：1993年北海道南西沖地震における液状化調査、土質工学会北海道支部技術報告集、第34号、pp.64-73,1994.2
- 2) 森伸一郎、沼田淳紀、三輪滋：1993年北海道南西沖地震における液状化の特徴、第29回土質工学研究発表会、pp.1005-1008,1994.6
- 3) 森伸一郎、沼田淳紀、三輪滋、柴田登：1993年北海道南西沖地震における液状化地点調査、第29回土質工学研究発表会、pp.1009-1012,1994.6
- 4) 森伸一郎、沼田淳紀：1993年北海道南西沖地震における函館市の臨海埋立地の液状化、第29回土質工学研究発表会、pp.1015-1018,1994.6
- 5) 1968年十勝沖地震調査委員会：1968年十勝沖地震調査報告、1971
- 6) 日本道路協会：7.5.2 繰返し三軸強度比、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、丸善、pp.94-95,1996.12.
- 7) 日本建築学会：4.5 節 地盤の液状化判定、建築基礎構造設計指針、丸善、pp.163-169,1988.1.

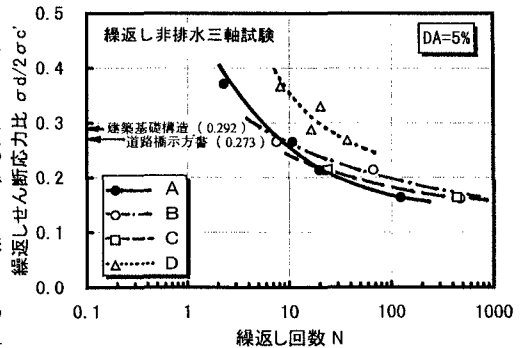


図-2 両振幅ひずみDAが5%に到る繰返し回数と繰返しせん断応力比との関係