

2003年十勝沖地震で崩壊した農地火山灰土の液状化特性

火山灰質土、液状化、粒子破碎

中央大学工学部 国際会員 國生 剛治 原 忠
学生会員 森戸 義裕 西依 尚士

1. はじめに

2003年9月26日に発生した十勝沖地震では、震央距離約230kmに位置する北見地域において、液状化に起因する地盤災害が発生した。中でも、端野町協和地区の農地が液状化し、長さ約190m、幅35~62mの範囲にわたって最大3.4m陥没した(傾斜角約3°)。液状化した火山灰は陥没域端部の複数の噴出口から約1000m³流出し、農地、道路、明渠を通過して約1km下流まで流れた。

本研究では、埋立て火山灰造成盛土の原位置での液状化特性を調べるために、図-1に示す端野町内の地盤流動崩壊部においてブロックサンプリングした不攪乱試料について非排水繰返し三軸液状化試験及び液状化後の再圧密試験を行った。

2. 試験試料・物理試験結果

試験試料は、道東に広く分布する屈斜路カルデラを噴出源とする軽石流堆積物¹⁾であり、図-1の地盤流動崩壊部より直径25cmのボイド管でブロックサンプリングした不攪乱試料である。図-2に試験試料の粒度分布を示し、表-1に2mm以下の細粒分に対して行った最大・最小密度試験、原位置密度試験の結果を示す。これらより、採取試料の細粒分含有率は $F_c=22\sim 27\%$ 、礫分含有率 $G_c=8\sim 14\%$ であり、均等係数は $U_c=25\sim 125$ であることがわかった。また内径5cmのコアカッターを用いたコアサンプリング(JGS 1613-1995)と砂置換(JIS A 1214-1995)²⁾の D_r を比較すると、コアサンプリングが11~33%、砂置換が50~60%とかなり差が得られた。現場観察からは液状化により流動崩壊した地点は足がもぐるほどの軟弱な地盤状態であったと考えられる。

3. 試験方法

不攪乱試料はそのままでは供試体を成型することが困難であったため、予め-25℃のフリーザーにて凍結させた後、内径50mm、高さ100mmの供試体寸法になるように成型し、三軸セル内にて背圧に真空圧をかけ、2時間程度放置して解凍させた。炭酸ガスを供給した後、脱気水を十分に通水し、背圧300kPaを加え、間隙水圧係数(B値)が96%以上であることを確認した後、有効拘束圧49kPaで1時間程度等方圧密した。液状化試験は、周波数0.1Hzの正弦波荷重を非排水条件で繰返し載荷した。

再圧密試験は、供試体を液状化後させた後、背圧をすべて落とし、初期状態にし、そこから拘束圧を9.8kPaずつ段階的に上げていき最終的に元の拘束圧49kPaまで戻す方法で行った。

4. 試験結果

図-3に不攪乱試料の液状化強度曲線を示す。供試体表面の凹凸が大きい箇所は礫分を取り除き細粒分の試料を充填して表面を均し、試験結果にはメンブレンペネトレーション補正³⁾を施した。 D_r は同図中に示すとおり多少のばらつきが見られるが、同程度の D_r を有する豊浦砂および利根川砂に比べ液状化強度が低い。同図中に図-1の採取地点と近接した

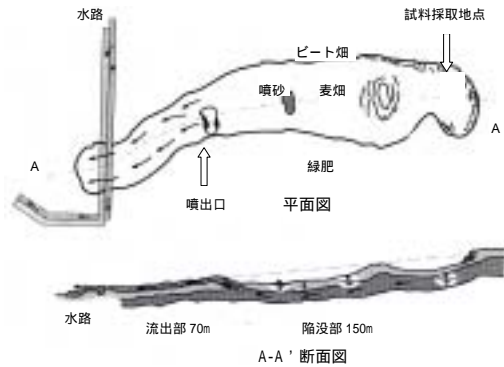


図-1 試料採取地点模式図

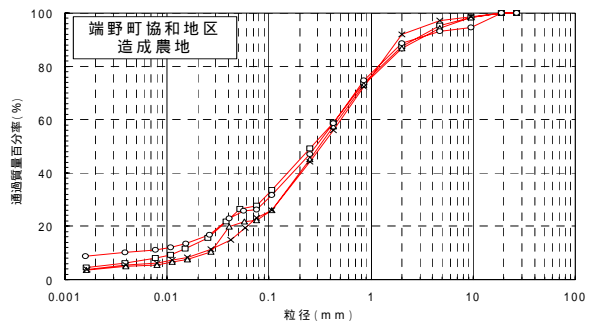


図-2 試験試料の粒径加積曲線

表-1 試験試料の物理特性

	平均値		コアサンプリング	砂置換
土粒子密度 s_s (g/cm ³)	2.446	湿潤密度 ρ (g/cm ³)	1.06	1.24
最大密度 d_{max} (g/cm ³)	1.221	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.88	1.01
最小密度 d_{min} (g/cm ³)	0.846	相対密度 D_r (%)	11~13	50~60

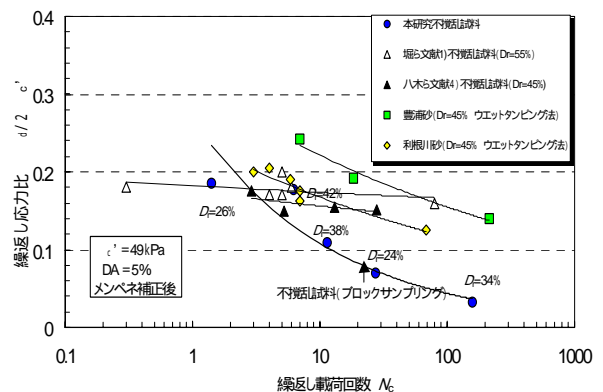


図-3 液状化強度曲線

地点より採取した他の研究者による液状化試験結果^{1),4)}も併せて示すが、それらの近似曲線は水平に近いのに対し、本研究の結果はかなり傾斜している。図-3より総合的に判断して、不攪乱試料の繰返し応力比は大よそ $R_{L20} = 0.1 \sim 0.2$ の範囲内に収まると考えられる。

図-4に液状化試験前後における北見火山灰土、利根川砂、豊浦砂の粒径加積曲線を示す。一般的に硬質な試料といわれている利根川砂や豊浦砂の曲線が試験前後でほとんど変わらないのに対して北見火山灰土のそれは試験前後で大きく異なる。図-5に粒子破碎率の比較を示す。破碎率は供試体によって若干のばらつきはあるものの、豊浦砂の平均破碎率は $B_M = 2\%$ 、利根川砂は $B_M = 4\%$ 、北見火山灰土は $B_M = 14\%$ であり、明らかに北見火山灰土は粒子破碎をしやすい材料であるといえる。

写真-1に試験前における北見火山灰土粒子の電子顕微鏡写真を示し、写真-2に堅硬な粒子を有する利根川砂の写真を示す。これより北見火山灰土の粒子形状は利根川砂のそれと比べ扁平な形状をしており、さらに同程度の粒子径を有する河床砂に比べ角ばりが大きいので粒子破碎を生じやすい構造を有しているといえる。

図-6に圧密過程における体積ひずみの関係を示す。これより、液状化前の圧密時点ですでに、北見火山灰土は豊浦砂や利根川砂にくらべ体積ひずみの割合が大きいことがわかる。液状化後、再圧密を行うと最終的に豊浦砂や利根川砂が体積ひずみ $v_v = 3\%$ であるのに対し、北見火山灰土は $v_v = 7\%$ と供試体が大きく収縮する。また圧密過程において、北見火山灰土は豊浦砂や利根川砂と比較して、間隙水圧の逸散に時間がかかる傾向がある。図-7に液状化前後の圧密による体積ひずみ量を示す。液状化前圧密の時点ですでに、北見火山灰土は豊浦砂や利根川砂の体積ひずみが約 0.4% であるの対して、1.5% と 4 倍近く圧縮している。そして液状化後圧密により、さらに約 5% も圧縮する。

5. まとめ

1. 端野町協和地区の火山灰土不攪乱試料の液状化強度は同程度の相対密度を有する豊浦砂や利根川砂より低く、非常に液状化しやすい試料であることがわかった。
2. 電子顕微鏡写真および液状化前後の粒径加積曲線より北見火山灰土は粒子破碎を生じやすい試料であることがわかった。
3. 圧密試験結果より、北見火山灰土は豊浦砂や利根川砂に比べ圧縮性が高いことがわかった。
4. 今後、液状化後の残留強度試験を行う必要があるが、以上の結果より、今回の地盤流動現象の原因として、液状化強度の低さ、破碎しやすい、液状化後の圧縮性の高さなどが考えられる。

【参考文献】1) 堀智仁, 山下聡, 村田芳信, 林宏一, 伊藤陽司, 鈴木輝之: 2003年十勝沖地震で被災した火山灰地盤の液状化特性, 第39回地盤工学研究発表会, pp.1951 - 1952, 2004. 2) 地盤工学会: 地盤調査法, pp.391 - 394, pp.414 - 419, 1995. 3) 田中敬三, 時松孝次: 液状化試験結果に対する Membrane Penetration の簡便な評価方法, 土の非排水繰返し試験に関するシンポジウム発表論文集(土質工学会), pp.85-88, 1989. 4) 八木一善, 三浦清一, 志比川清史: 2003年十勝沖地震によって液状化した火山灰土の動的力学特性, 土木学会第59回年次学術講演会, pp.485 - 486, 2004.

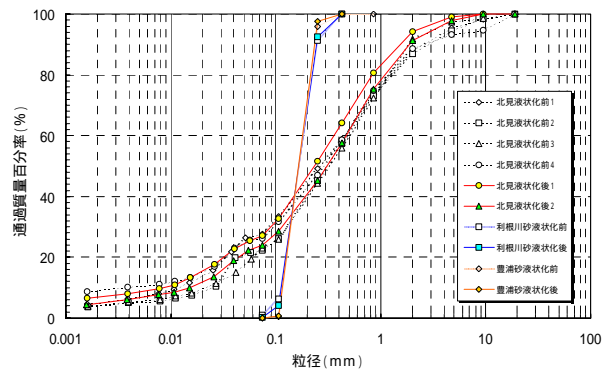


図-4 液状化前後における粒径加積曲線

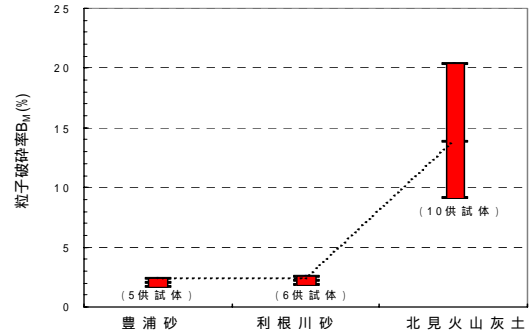


図-5 各試料の破碎率比較

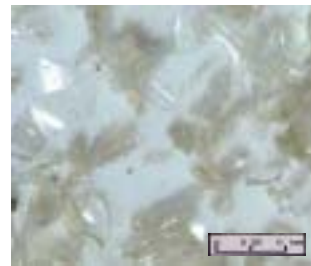


写真-1 不攪乱試料拡大写真

写真-2 利根川砂拡大写真

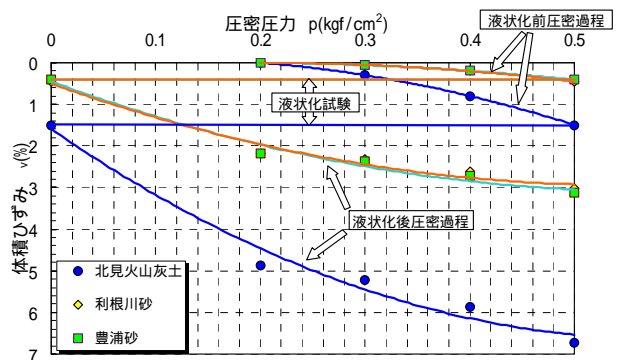


図-6 圧密過程における体積ひずみ関係図

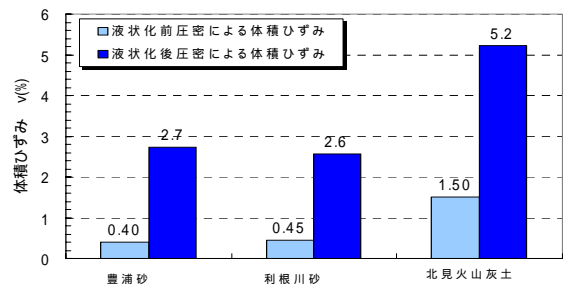


図-7 液状化前後の圧密過程の体積ひずみ量