

1. はじめに

2003年9月26日、北海道釧路沖を震源とするマグニチュード8.0の十勝沖地震が発生し、道内各地に地盤の液状化や地すべり¹⁾による農地崩壊など多くの地盤災害をもたらした。震央距離約230kmに位置する北見市近郊の端野町協和地区では、液状化により写真-1のように1984年頃に谷を埋め立てて造成した農地が最大3.4m陥没し、液状化した火山灰が大量に道路や河川に流出した。

本研究では、埋め立て造成盛土の原位置での液状化特性を調べるため、図-1に示す端野町内の地盤流動崩壊部で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試験を行った。加えて、地盤の地震時の流動崩壊に対する安定性を検討するため、供試体軸ひずみ20%に達するまでの非排水単調載荷試験(CU試験)を行った。

2. 試料及び物理試験結果

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(Kcfl)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。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。これより直径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%とかなり差のある値が得られたが、現場観察からは液状化により流動崩壊した地点は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。

非排水単調載荷試験の拘束圧はそれぞれ49,98,196kPaとし、ひずみ速度を0.1%/minにて軸ひずみが20%に到達するまで載荷した。

4. 試験結果と考察

図-2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には礫分を取り除き細粒分の



写真-1 農地崩壊地点

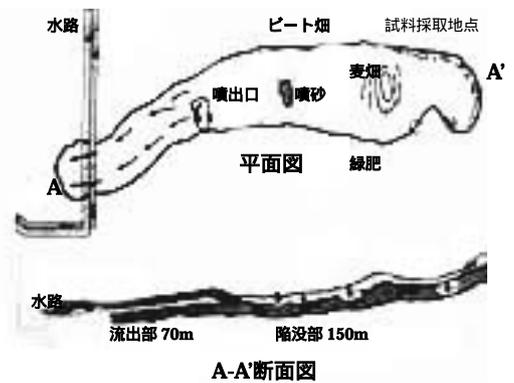


図-1 試料採取地点模式図

表-1 物理試験結果

	平均値		コアサンプリング	砂置換
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.45	湿潤密度 ρ (g/cm ³)	1.06	1.24
最大密度 ρ_{max} (g/cm ³)	1.22	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.88	1.01
最小密度 ρ_{min} (g/cm ³)	0.85	相対密度 D_r (%)	11~33	50~60

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-2より総合的に判断して、不攪乱試料の繰返し応力比はおよそ $R_{L20} = 0.1 \sim 0.2$ の範囲内に収まると考えられる。

図-3に非排水単調載荷試験による不攪乱試料の応力 - 軸ひずみ関係を示す。これより、拘束圧と D_r が大きい試料ほどピーク強度が大きい結果を得た。同図中に比較のため示した(供試体内径 100 mm, 高さ 200 mm)同程度の D_r を有する利根川砂⁵⁾の結果はピーク強度に達するまで急勾配であるのに対し、同じ拘束圧の不攪乱試料の結果は緩やかであり、ひずみの増大に伴う明瞭な強度回復を示さない。

図-4に同試験から得られた不攪乱試料の有効応力経路を示す。それぞれの拘束圧の経路は収縮から膨張への変化を示し、破壊線に達すると一瞬偏差応力が上昇した後に原点に向かう傾向を示している。参考のため、同程度の D_r を有する利根川砂⁵⁾の応力経路も示しているが、破壊線にそっての偏差応力の回復が顕著であり、それに比べて火山灰土では粒子が破碎しやすく応力回復が生じにくいと考えられる。

また、Marsal の方法⁶⁾より求めた不攪乱試料の粒子破碎率は、 $B_M = 13\%$ と大きな値が得られた。写真-2に繰返し載荷前の不攪乱試料粒子の電子顕微鏡写真を示すが、写真-3に示す利根川砂の粒子とは全く異なり、ガラス片のような角張った形状をしている。不攪乱試料に繰返し載荷を加えた結果、これらが著しく破碎し、試験結果に大きく影響したものと推察される。

5. まとめ

- ・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。
- ・単調載荷試験結果より、この地盤は流動崩壊に対する安定性は低いと考えられ、繰返し載荷による粒子の破碎が多大な影響を及ぼしていることが推察される。

〔参考文献〕1) 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. 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) 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. 5) 原忠, 國生剛治: 砂礫の液状化強度および液状化後の非排水せん断強度に及ぼす粒度分布の影響, 土木学会論文集, No.645/-50, pp.245-253, 2000. 6) Marsal, R.J.: Large Scale Triaxial Test of Rockfill Materials, Proc. ASCE, Vol. 93, SM2, pp.27-43, 1967.

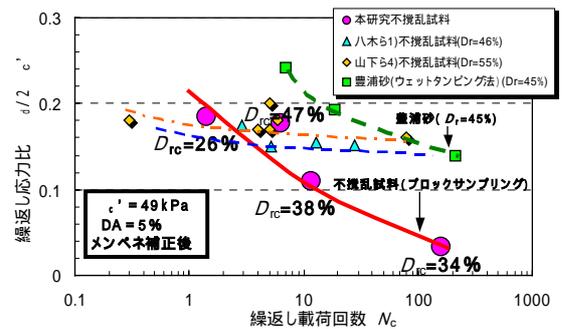


図-2 液状化強度曲線

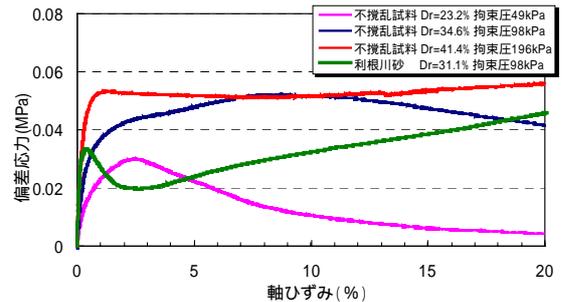


図-3 偏差応力 - 軸ひずみ関係

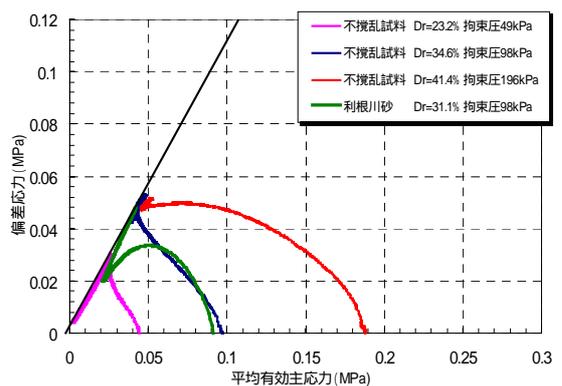


図-4 単調載荷試験による有効応力経路



写真-2 不攪乱試料拡大写真



写真-3 利根川砂拡大写真