

粒度分布の異なる砂礫の液状化特性及び液状化後の変形性

高知大学 正会員 原 忠

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 正会員○畑山 諒人

株式会社 建設技術研究所 正会員 李 圭太

正会員 岡嶋 義行

1. はじめに

礫質地盤の液状化は、1995年の兵庫県南部地震での埋立地盤¹⁾や2003年北海道南西沖地震での森町赤井川地区²⁾などいくつか事例が報告されているが、液状化特性や構造物に有害な影響を与える液状化後の変形性に着目した研究例は少ない。発生確率の高い南海トラフ巨大地震では、西日本一帯で地盤の液状化の発生が予測されており、高知県をはじめとする河川の河口部では、礫を多く含む沖積層が分布することから、様々な地盤種別に対応できる耐震性評価法が必要とされている。

本報では、高知県沿岸部の戸原地区、長浜地区より攪乱採取した試料の繰返し非排水三軸試験、液状化後の再圧密試験結果から、砂礫の液状化特性と液状化後の変形特性を考察する。

2. 試料採取地点と物理特性

用いた試料は、高知県の沿岸部の戸原地区 (G.L.-10.8 ~ 16m, G.L.-16 ~ 20.95m), 長浜地区 (G.L.-9 ~ 13m, G.L.-13m ~ 19.75m) の沖積礫質土層からそれぞれ攪乱採取したもの (以下、それぞれ Tb-1, Tb-2, Nh-1, Nh-2 と称する) である。図-1, 表-1 に試料の粒度分布, 物理特性をそれぞれ示す。いずれの試料も礫分から細粒分まで幅広く含む粒度組成を有し、工学的分類は砂礫に分類される。ここで、Nh-2 の試料は、最大粒径が 26.5mm 以上の礫を僅かに含んでいたが、供試体の直径の 1/5 程度となるよう、26.5mm 以上の礫粒子をカットした。

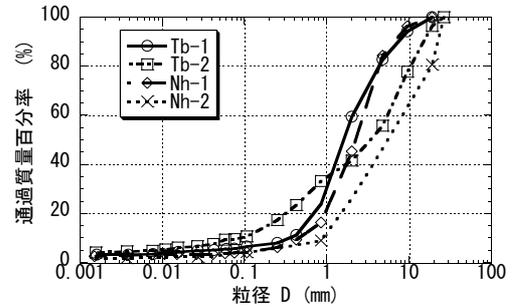


図-1 試料の粒度分布

表-1 試料の物理特性

試料名	土被り圧 σ'_c (kPa)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	U_c	D_{50} (mm)	F_c (%)	G_c (%)	工学的分類
Tb-1	200	2.613	1.810	5.0	1.30	5.7	40.6	砂礫
Tb-2	230	2.692	1.980	50.0	3.10	9.6	58.6	
Nh-1	180	2.714	1.830	6.5	2.05	4.0	54.7	
Nh-2	210	2.699	2.000	8.9	5.02	4.0	73.8	

3. 試験方法

繰返し非排水三軸試験は直径 100mm, 高さ 200mm の中型供試体で行った。供試体はウェットタンピング法により圧密後の密度が所定の密度になるように作成した。圧密後の供試体密度は、密度検層、ボーリングコアからの簡易湿潤測定、ボーリングコアから総合的に判断した。三軸試験は、CO₂ 圧入により飽和を促進させ、間隙圧係数 B が 0.95 に達したことを確認した後、所定の有効拘束圧で等方圧密させた。有効拘束圧は現地の土被り圧 ($\sigma'_c=180\sim 230\text{kPa}$) に設定した。せん断試験は 0.1Hz の正弦波载荷を非排水条件で繰返し与え、両振幅軸ひずみ DA=10%まで载荷した。いずれの試料も礫を多く含んではいるが供試体側面の凹凸は少ないため、メンブレンペネトレーション補正は行わなかった。液状化後の変形を把握するため、一部供試体で繰返し非排水せん断試験後に再圧密試験を行った。

4. 試験結果

図-2 は、繰返し非排水三軸試験結果を DA=5%に達したときの繰返し载荷回数と繰返し応力比で整理したものである。同図中には供試体作成方法の等しい仁淀川砂礫 (円礫, $G_c=66.7\%$, $F_c=2\%$) の同様な関係³⁾を併せて示す。繰返し载荷回数 $N_c=20$ に対する繰返し応力比で定義された液状化強度 R_{L20} は、い

キーワード：砂礫, 三軸試験, 液状化

連絡先：〒783-8502 高知県南国市物部乙 200 高知大学総合研究センター防災部門

れの試料も 0.15 前後であり，仁淀川砂礫の相対密度 $D_r=40\%$ 供試体にほぼ等しく，供試体の乾燥密度や粒度組成が異なる試料であっても液状化強度は類似している。

図-3は再圧密試験結果を有効拘束圧 98kPa に達するまでの液状化後の体積圧縮ひずみ ϵ_v を有効拘束圧 σ'_c との関係で整理したものである。液状化後の体積圧縮ひずみは，いずれの試料も概ね 2.5%前後であり， $D_r=40\%$ の仁淀川砂礫に類似するが， $D_r=50\%$ の河床砂($U_c=1.44$)⁴⁾ と比べ小さい。すなわち，礫を多く含む砂礫は U_c の小さい貧配合な砂に比べ，大局的には液状化後の沈下量は小さいことが分かる。

図-4は圧密後の乾燥密度 ρ_{dc} と 98kPa 時の両振幅軸ひずみが 10%まで载荷した試料の液状化後の体積圧縮ひずみ ϵ_v をプロットしたものである。同図中には，砂分や礫分，細粒分含有率の異なる様々な粗粒土^{4), 5), 6), 7), 8)} の同様の関係を示す。粒子破碎性の卓越するまさ土で，液状化後の体積圧縮ひずみが約 $\epsilon_v=12\%$ と非常に大きな値を示しているが，概ね高知海岸試料のような礫を多く含む試料であっても粒度分布の違いによらず圧密後の乾燥密度 ρ_{dc} と液状化後の体積圧縮ひずみ ϵ_v には相関性が見られる。今後ともデータの蓄積が必要であるが，粒子破碎が卓越する材料など特殊な条件を除くと，粒度分布の違いによらず現地での密度の計測のみで液状化後の体積圧縮ひずみ ϵ_v を推定できる可能性がある。

5. まとめ

- 1) 高知県沿岸部より採取した砂礫試料は粒度分布や乾燥密度が異なる場合も液状化強度 0.15 前後と小さい。
- 2) 砂礫試料の両振幅軸ひずみ 10%が生じた後の体積圧縮ひずみは， U_c の小さい砂質土に比べ小さい。
- 3) 粒子破碎が生じる特殊土を除いて液状化後の変形量は現地の密度測定のみで推定できる可能性がある。

[参考文献]

1) 例えば, Ishihara, K.: Geotechnical aspect of the 1995 Kobe earthquake, 14th International conference on soil mechanics and foundation engineering, ICSMFE, Terzaghi Oration, 1997. 2) Kokusho, T., Tanaka, Y., Kawai, T., Kudo, K., Suzuki, K., Tohda, S., and Abe, S.: Case study of rock debris avalanche gravel liquefied during 1993 Hokkaido-Nansei-Okiearthquake, Soilsand foundations, Vol.35, No.3, pp.83-95, 1995. 3) 原ら: 礫質土の液状化強度と液状化後の変形性, 第48回地盤工学会研究発表会発表講演集, pp.595-596, 2013. 4) Hara, T., Kokusho, T. and Hiraoka, R.: Undrained strength of gravelly soils with different particle gradations, 13th World Conf. on Earthquake Engineering, WCEE, Paper No.144, 2004. 5) 原ら: 粒度分布の異なる礫質土の動的特性, 第49回地盤工学会研究発表会発表講演集(投稿中) 6) 原ら: 粒度分布の異なる粒状材料の液状化後の圧密特性, 地盤工学会四国支部平成24年度技術研究発表会, pp.35-36, 2012 7) 山中ら: 東北地方太平洋沖地震における津波越流に対する土構造の安定性, 日本地震工学会論文集, 第12巻, 第5号, pp.89-101, 2012 8) Ishihara: K. and Yoshimine, M.: Evaluation of settlement in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188, 1992.

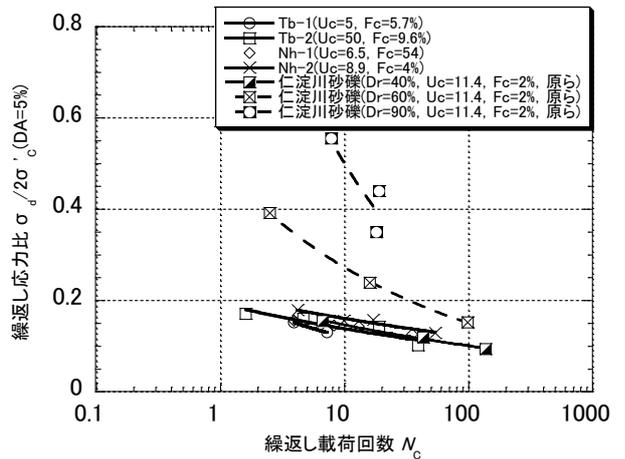


図-2 液状化強度曲線

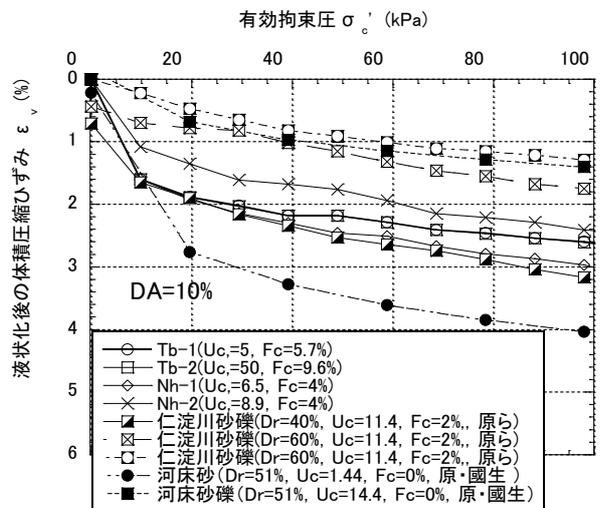


図-3 再圧密試験結果

図-4 圧密後の乾燥密度と液状化後の体積圧縮ひずみ関係

