

非塑性シルトの液状化強度に対する相対密度による評価

飛島建設(株) 正 会 員 嶋本 栄治
飛島建設(株) 正 会 員 沼田 淳紀
飛島建設(株) 染谷 昇
中央大学 学生会員 諏訪 正博

1. はじめに

1993年北海道南西沖地震では、今まで液状化しにくいとされてきた細粒分含有率の多い非塑性のシルトの海岸埋立地盤が液状化した¹⁾。兵藤・内田は、砂は相対密度が増加するにつれて液状化強度が増加し、粘性土は塑性指数の増加にともない液状化強度が増加することを示している²⁾。相対密度を求めるための最小密度・最大密度試験は、細粒分含有率が5%以上になると適用範囲外となる³⁾が、液状化強度を比較するときには相対密度は便利な指標となるので、実際には試験方法の適用範囲外であるがシルトに対しても求めることが多い⁴⁾⁵⁾。このように、液状化強度を検討する上で相対密度は便利なパラメーターの一つであるので、ここでは課題を明らかにしつつ1993年北海道南西沖地震で液状化した地点より採取された非塑性シルト¹⁾を用いて、繰返し非排水三軸試験を実施し、非塑性シルトの液状化強度を相対密度で評価することを検討した。

2. JIS に準拠した相対密度と液状化強度の関係

試料は函館シルト⁶⁾である。細粒分含有率(Pf)は約80%と大きい、粘土分含有率(Pc)は6%と低く、均等係数(Uc)は3.7で均等粒径であり、液性限界(w_L)は40%であるが塑性限界は求まらず非塑性である。また、原位置で不攪乱サンプリングされた試料の平均密度は、 $\rho_d = 1.3 \text{ g/cm}^3$ ($\rho_s = 2.682 \text{ g/cm}^3$, $e = 1.063$)であった。液状化強度は、原位置不攪乱試料、空中落下法で作成した供試体、小型および中型土槽での模型地盤について求めた。詳細は文献7)8)を参照して頂きたい。

砂の相対密度は、砂の最小密度・最大密度試験(JIS A 1224:2000)によって求められる。非塑性シルトについても、適用範囲外ではあるが一つの指標のために求められる場合が多い(以下JIS法と呼ぶ)。図-1にこのようにJIS法で求めた三軸供試体の平均的な相対密度と繰返し非排水三軸試験より求められる繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_c$ (以下、液状化強度と呼ぶ)の関係を示す。図中のプロットは、函館シルト(以下、シルトと呼ぶ)と豊浦標準砂(以下、砂と呼ぶ)における繰返し回数が10回で両振幅軸ひずみが5%と10%に至るときの液状化強度である。また、佐々木ら⁹⁾が示した砂における試験結果を併記した。図より、シルトの相対密度と液状化強度の関係は、砂の関係と相似形であるが、シルトの相対密度は100%を越えるものも多く、同じ相対密度とした場合には砂よりシルトの方が液状化強度が小さいことがわかる。また、液性限界時の土の飽和度を100%と仮定したときの間隙比は $e_{wL} = 1.069$ となる。この値と、原地盤の間隙比、および、JIS法の最小密度・最大密度試験から求められる最小間隙比はほぼ一致している。液性限界は、土が塑性状態であるときの最小のせん断強さを持つ含水比と定義されるので、このときの間隙比が、最小間隙比と一致してしまうという点から、全体的に相対密度を大きく算出していると考えられる。また、JIS法で原地盤の相対密度を表すと100%以上の結果を示す。原地盤は浚渫による埋立地盤であることを考えると、その相対密度が100%以上となるのは指標として不自然であると考えられる。このように、相対密度が大きくなるのは明らかに最大密度が起因している。したがって、既にJIS法で規定されているように、このような細粒分の多い土をJIS法で求めることに課題があると考えられる。

3. 突固め試験の最大乾燥密度より求めた相対密度と液状化強度の関係

前述のような課題はあるものの、シルトも密度が増加すると液状化強度が増加する傾向¹⁰⁾があるので、砂などと比較できる密度に関するパラメーターがあると便利である。密度を表わすパラメーターとして乾燥密度や間隙比もあるが、これらは明らかに粒度組成が変化すれば同

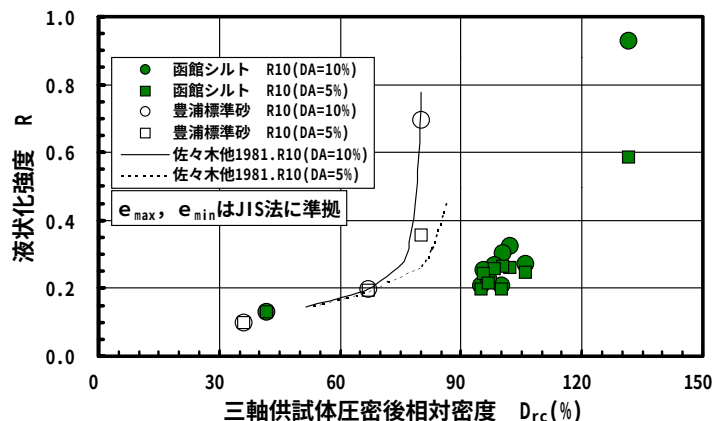


図-1 JIS 法に準拠し求めた相対密度と液状化強度の関係

非塑性シルト、相対密度、液状化強度、繰返し非排水三軸試験

〒270-0222 千葉県葛飾区関宿町木間ヶ瀬 5472, TEL 0471-98-7553, FAX 0471-98-7586

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科, TEL 03-3817-1798, FAX 03-3817-1803

様に变化してしまう。したがって、あまり粒度組成などに左右されずに、例えば液状化強度を評価可能な、相対密度のようなパラメーターが必要となってくる。

そこで、砂で得られている相対密度と液状化強度の関係にシルトの関係が近づくような最大密度を決定することを考えた。最小密度はJIS法に準拠して求めた。最大密度は、突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210:1999)を実施し、最大乾燥密度から求めた。試験は突固めエネルギーを、1Ec(550kJ/m³), 2Ec, 4Ec, 8Ec, 16Ec, 32Ecと変化させた。図-2に締固め試験結果を示す。この図より最大乾燥密度 ρ_{dmax} を求めた。図-3に突固めエネルギーと最大乾燥密度の関係を示す。図より最大乾燥密度は16Ecで収束していることがわかる。また、1Ecの最大乾燥密度は $\rho_{dmax1}=1.450\text{ g/cm}^3$ である。

図-4は、1Ecの突固め試験で得られた最大乾燥密度 ρ_{dmax1} を最小間隙比 e_{min} とした三軸供試体の平均的な相対密度と液状化強度の関係である。このように示すと、相対密度が80%未満で、砂とシルトはほぼ同じ液状化強度を示し、両者はほぼ一致している。ただし、相対密度の大きな範囲では砂よりシルトの方が液状化強度は小さく、一般的に知られている、細粒分含有率が大きくなると液状化強度が大きくなるという関係¹¹⁾とは異なっている。

図-5に締固め試験で得られた最大密度 ρ_{dmax16} を最小間隙比 e_{min} とした相対密度と液状化強度の関係を示す。このように、シルトの液状化強度は砂より全体的に若干大きくなり、細粒分含有率が多くなると液状化強度が増加するという傾向にはなるが、砂との整合性は悪くなっていることがわかる。

4. まとめ

- (1) JIS法に準拠して非塑性シルトの相対密度を求めた場合は、非塑性シルトの相対密度が大きくなり、相対密度と液状化強度の関係は不自然になる。
- (2) 1Ecの突固めによる土の締固め試験を行い、これより求まる最大乾燥密度を最大密度として相対密度を求めると、非塑性シルトの相対密度と液状化強度の関係は砂の関係と比較的良く一致した。

参考文献

- 1) 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. 2) 兵藤 正幸, 内田 一徳: 粘性土の動的性質 2. 粘性土の動的問題の分類, 土と基礎, 46-6(485), pp.53-58, 1998.6. 3) 地盤工学会: 第8章 砂の最小密度・最大密度試験, 土質試験の方法と解説 第一回改訂版, pp.136-145, 2000.3. 4) 黄 大振, 柳沢 栄司, 菅野 高弘: シルトを含む砂のせん断特性について, 土木学会論文集, No.463/III-22, pp.25-33, 1993.3. 5) 佐藤 正行, 小田 匡寛, 風間 秀彦, 小瀬木 克己: 細粒分が埋立地盤の液状化特性に及ぼす影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.561/III-38, pp.271-282, 1997.3. 6) 染谷 昇, 沼田 淳紀, 大野 孝二: 函館シルトの土質特性, 第35回地盤工学研究発表会, 2000.6. (掲載予定) 7) 沼田 淳紀, 嶋本 栄治, 染谷 昇: 非塑性シルトの液状化強度におよぼすサンプリング方法の影響, 第25回地震工学研究発表会, pp.237-240, 1999.7. 8) 嶋本 栄治, 沼田 淳紀, 染谷 昇, 諏訪 正博, 國生 剛治: 非塑性シルトの液状化試験, 第35回地盤工学研究発表会, 2000.6. (掲載予定) 9) 佐々木 勉, 龍岡 文夫, 村松 正重, 関 真一: 振動三軸試験における試験条件が砂の液状化強度に及ぼす影響, 第16回土質工学研究発表会, pp.597-600, 1981. 10) 諏訪 正博, 沼田 淳紀, 嶋本 栄治, 染谷 昇, 國生 剛治: 非塑性シルトの液状化強度特性, 第35回地盤工学研究発表会, 2000.6. (掲載予定) 11) 日本道路協会: 7.5 砂質地盤の液状化の判定, 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.91-95, 1996.12.

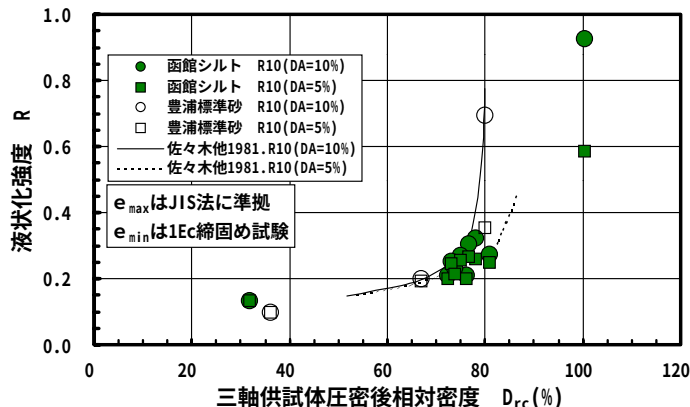


図-4 ρ_{dmax1} を使用して求めた相対密度と液状化強度の関係

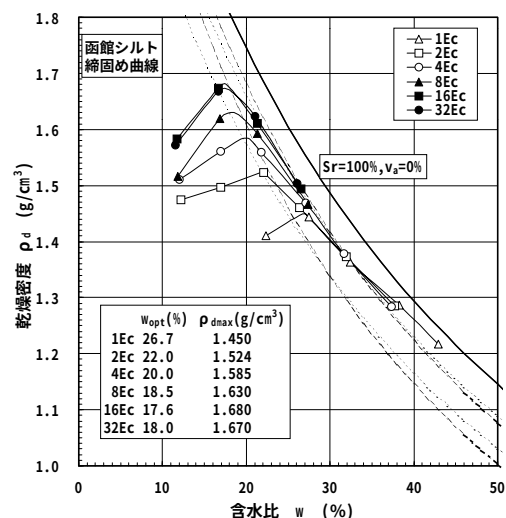


図-2 締固め試験結果

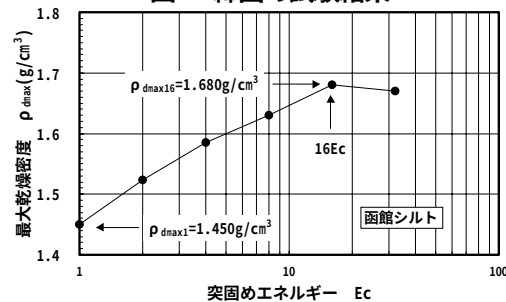


図-3 突固めエネルギーと最大乾燥密度の関係

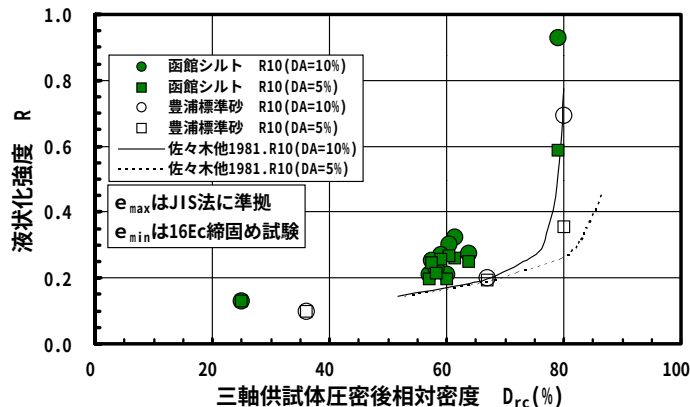


図-5 ρ_{dmax16} を使用して求めた相対密度と液状化強度の関係