

細粒分の分布状態が砂の液状化強度に及ぼす影響についての基礎的検討

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治, 原 忠
学生会員 ○若宮 洋史

1. はじめに

最近の地震被害調査によると 1995 年の兵庫県南部地震をはじめ, 1987 年千葉県東方沖地震, 1993 年の北海道南西沖地震等で, 従来液状化しにくいとされていた細粒分を多く含む地盤が液状化し, 大きな被害が発生した. 一般に原地盤では細粒分は均等には存在せず, 層状に分布する場合が多いと考えられる.

本試験では, 中空ねじりせん断試験機を用いて非塑性細粒分の分布状態が液状化強度に及ぼす影響について調べた. すなわち細粒分含有率を 20%と一定として, 細粒分を水平成層に分布させた場合や柱状に分布させた場合の試験を行い, それぞれを砂のみの場合と比較検討を行った.

2. 試験方法

中空ねじりせん断試験機は供試体外径 100mm, 内径 60mm, 高さ 200mm であり, 空圧载荷タイプである. 両振幅せん断ひずみ 30%までのせん断試験ができる.

砂の試料としては豊浦砂を, 細粒分としては非塑性の石粉を用い, 細粒分含有率は $F_c=20\%$ 一定にした. 各試料の土粒子密度, 最小最大密度は表 1 のようになっている. 細粒分の分布状態としては図 1 に示す 3 種類であり, 全て目標相対密度 $Dr=50\%$ になるようにウェットタンピング法で調整して作成した. 砂層と細粒分層のそれぞれを $Dr=50\%$ に近づけるよう努力はしたが, 実際はバラツキがややあった. 全体の相対密度は各層厚による重みつき平均した値をとっている.

試験にあたっては, B 値が 0.95 以上であることを確認し, 有効拘束圧 $\sigma'_c = 98\text{kPa}$ で等方圧密したあと, 载荷周波数 0.1Hz, せん断応力比 $\tau_d / \sigma'_c = 0.20$ として, 非排水状態で一定応力振幅 τ_d の繰り返し载荷を鉛直変位非拘束で行った.

3. 試験結果・考察

図 2 は間隙水圧が 100%に達した時点までの载荷回数(N_w), 試験機でせん断可能な両振幅 30%のせん断ひずみの範囲でせん断応力の回復が見られなくなった载荷回数(N_L)と相対密度の関係¹⁾である. 40~60%の相対密度で比較した場合, 細粒分を層状に分布させた豊浦砂は, 細粒分を含まないケースに比べ, 間隙水圧 100%上昇に至るまでの繰り返し回数 N_w が 1~3 回と非常に小さい. また, 昨年行った豊浦砂に細粒分を $F_c=20\%$ で均等に混ぜた場合¹⁾も同程度の値を示している. このことより, 細粒分を含む供試体では, その分布状態に関わらず液状化強度が著しく低下することが確認できた. また, せん断応力が回復しなくなるまでの回数を見てみると, 細粒分を層状に分布させた場合は 3~5 回と小さくなっているのに対し, 柱状に分布させた場合では 8 回以上となっており, 差が顕著にでていることがわかる.

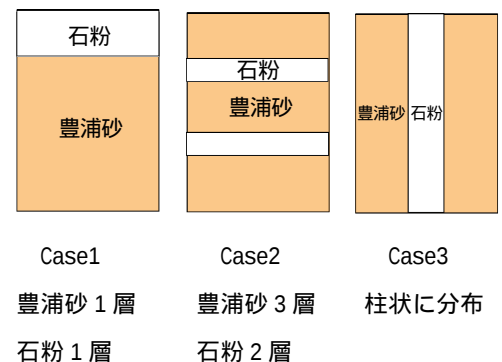


図 1 供試体作成パターン

表 1 試験試料の物理特性

	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	$\rho_{dmin} (\text{g/cm}^3)$	$\rho_{dmax} (\text{g/cm}^3)$
豊浦砂	2.64	1.35	1.63
石粉	2.75	0.90	1.58

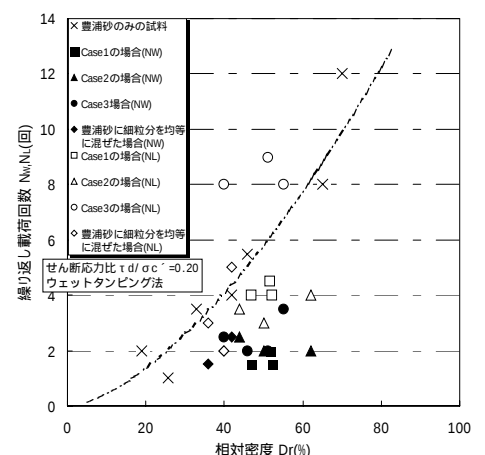
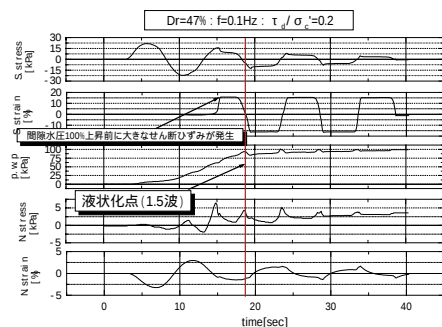


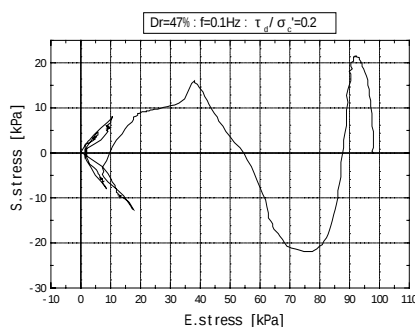
図 2 繰り返し载荷回数と相対密度の関係

キーワード: 液状化, ねじりせん断, 細粒分, 相対密度, せん断ひずみ, 間隙水圧

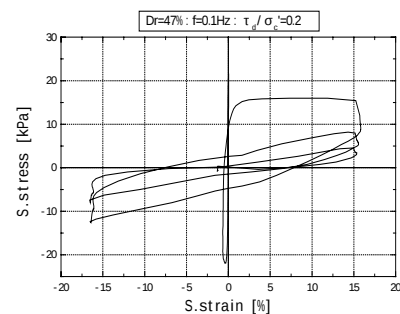
連絡先: 〒112-8551 文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL03-3817-1799 FAX03-3817-1803



(a) 時刻歴(Case1)

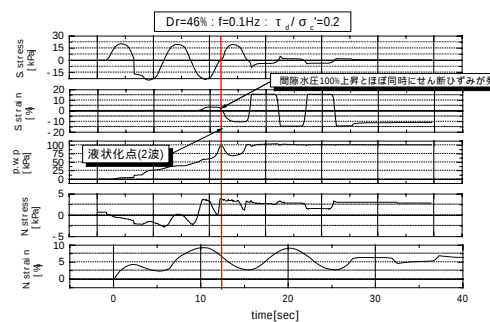


(b) 有効応力経路(Case1)

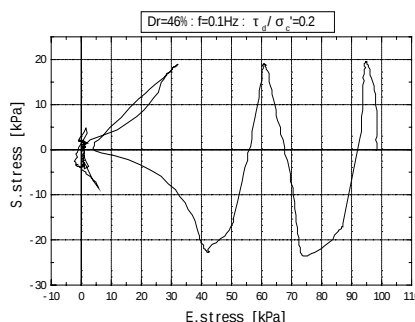


(c) 応力ひずみ曲線(Case1)

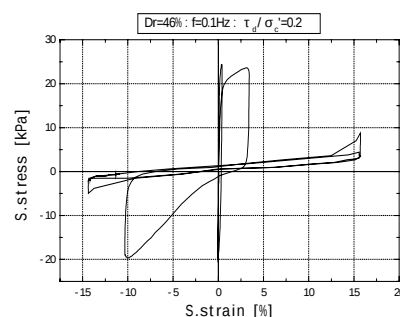
図3 細粒分を層状に入れた場合



(a) 時刻歴(Case3)



(b) 有効応力経路(Case3)



(c) 応力ひずみ曲線(Case3)

図4 細粒分を柱状に入れた場合

図3は砂層が水平1層、細粒分層が水平1層の層状態にしたCase1の場合の鉛直変位非拘束試験の時刻歴(a)、有効応力経路(b)、応力ひずみ曲線(c)である。载荷にともない過剰間隙水圧が上昇し始め、载荷回数約2回で100%まで上昇し、せん断応力の急激な減少が生じた後、応力がほとんど回復しない状態へ収束している。間隙水圧は液状化後すぐに载荷にともなった変動はみせなくなり、有効応力の回復は見られない。ここで、せん断ひずみに着目した場合、間隙水圧が100%に至る前に载荷装置の振幅の限界値まで達していることが確認できる。つまり、下層である豊浦砂の液状化に至る前に、上層である石粉の層が液状化したと判断される。また、試験中に最初に大きな変形が生じた部分は石粉の層であることを目視で確認している。また、(b)の有効応力経路からも砂粒子のダイレイタンシー効果による有効応力の回復が起こっていない。

これに対し、図4は細粒分を柱状に分布させたCase3の場合の時刻歴(a)、有効応力経路(b)、応力ひずみ曲線(c)である。液状化までの载荷回数は約2回と層状に分布させた場合との大きな違いは見られない。それにも関わらず、せん断ひずみは液状化とほぼ同時に発生していることがわかる。また間隙水圧について見てみると、液状化後はダイレイタンシー現象による変動が多少見てとれる。

4. まとめ

- ・ 豊浦砂に細粒分を20%の割合で加えた供試体の液状化試験を行うと、細粒分の分布状態によらず砂のみの場合と比較して、液状化強度が著しく低下する。
- ・ せん断応力が回復しなくなるまでの繰り返し载荷回数は、柱状に分布させた場合は層状に分布させた場合に比べて大きくなることがわかった。
- ・ 細粒分を層状に分布させた場合と柱状に分布させた場合の液状化試験を比較すると、液状化するまでの载荷回数に差はほとんど見られず、液状化前後の挙動の違いが見られた。

【参考文献】 1)並木竜也(2003)「細粒分の分布状態が砂の液状化強度に及ぼす影響についての基礎的検討」土木学会関東支部 第30回技術研究発表会