

(Ⅲ - 3)

液状化砂の力学的特性の解明～遠州灘砂について～

武蔵工業大学大学院 学生会員 須藤 雅典
武蔵工業大学土木工学科 正会員 片田 敏行
武蔵工業大学土木工学科 正会員 末政 直晃

1. はじめに

傾斜した緩い砂地盤が液状化するとせん断歪が100%に至るほどの大変形を呈する。本研究ではこのような側方流動のメカニズムを明らかにすることを目的として、中空ねじりせん断試験を実施した。ただし、通常の中空試験機ではせん断歪が±20%程度となるまでしか載荷できないため、ここではこれを改良し大歪領域まで載荷できる中空ねじり試験機を用いている。特に今回は遠州灘砂の液状化後の挙動について報告する。さらにこれらの結果を既報で示した豊浦標準砂の試験結果¹⁾と比較し、砂の種類の違いが液状化後の砂の挙動にどんな影響を与えるかについても検討している。

2. 中空ねじり試験による非排水繰返し試験

(1) 試験概要

空中落下法により相対密度が20～90%の範囲の供試体を作成する。なお供試体は、高さ10cm、外径10cm、内径6cmの中空円筒状のものである。これを飽和させ所定の圧力で等方圧密した後、せん断試験を行った。試験条件を表-1に示す。

表-1 試験条件

拘束圧	3.0 kgf/cm ²	波形	正弦波
背圧	2.0 kgf/cm ²	振動数	0.1 Hz
有効拘束圧	1.0 kgf/cm ²	B値	95%以上
応力振幅比	0.2	相対密度	20～90%

(2) 遠州灘砂

試料砂には静岡県清水市折戸の海岸より採取した遠州灘砂を用いた。この砂は灰色で、割れた貝殻混じりの角張った形状をしている。粒度分布は、粗砂分2.1%、細砂分97.0%、シルト・粘土分0.9%となり豊浦標準砂とほぼ同様であるが、幾分平均粒径が大きいという結果になった(図-1)。また、最大密度・最小密度試験から、 $e_{max}-e_{min}$ の値は遠州灘砂の方が大きいことが分かる(表-2)。

表-2 土質試験結果

	豊浦標準砂	遠州灘砂
比重	2.63	2.67
D ₆₀ (mm)	0.195	0.172
D ₃₀ (mm)	0.140	0.128
D ₁₀ (mm)	0.120	0.095
U _c	1.625	1.805
U _{c'}	0.838	0.999
e_{max}	0.993	1.127
e_{min}	0.619	0.643

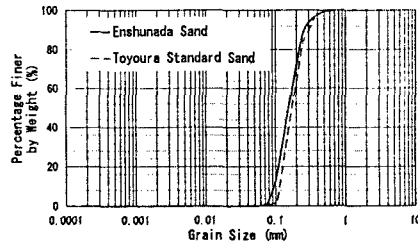


図-1 粒径加積曲線

3. 試験結果

試験結果の一例としてせん断応力～せん断歪関係と有効応力経路をそれぞれ図-2、図-3に示す。なお図-2、図-3の(a)には遠州灘砂による結果を、(b)には豊浦標準砂による結果を示した。

図-2より砂の応力～歪曲線は、繰返し初期では弾性的な挙動を示すが、その後塑性変形が卓越した、上に凸の形状になる。それに対し、有効応力が消失する液状化時には下に凸の形状となり、液状化後では液状化時とほぼ同様の形状のまま、せん断歪レベルだけが繰返し回数の増加に伴って増加している。しかしながら、さらに繰返し回数を増加させ、歪がある歪レベルにまで達すると、歪の増加割合が急激に減少していくことが分かる。このような傾向は(b)の豊浦標準砂においても見られた。

図-3の(a)はせん断応力 τ ～有効直応力 σ' 関係においては、繰返し回数が数波の時にはまだ液状化しておらず、原点に向かって弾性的な挙動を示す。液状化すると載荷時には原点を中心とした右開きの破壊崩落線上を、原点からプラス方向へ、また除荷時にはプラス方向から原点に向かって破壊崩落線の内側に弧を描いており、(b)の豊浦標準砂のグラフとほぼ同じ形状をしている。

図-2のせん断応力～せん断歪関係における一波ごとのせん断歪の絶対値の平均を、最大せん断歪 γ' と定義する。この γ' と繰返し回数の関係を示したものが図-4である。これより載荷後、数波では最大せん断歪がほぼ0%であるが、ある回数で最大せん断歪が急激に増加する(この点を液状化点とする)。さらに繰返し荷重を続けると最大せん断歪 γ' は急激に増加した後ほぼ一定値となる。このような傾向は(b)の豊浦標準砂の結果においても示されている。

4. 考察

二種類の飽和砂供試体に、両振りの定せん断応力で繰返し載荷試験を実施した結果、次のようなこと

が明らかになった。即ち、供試体は数度の繰返し回数で液状化を起こすが、液状化後にはせん断抵抗がゼロであるような液状体とはならず、ある歪量でせん断抵抗が回復するような固体的な性質も合わせ持っている様に思われる。このことは液状化した砂地盤がたとえ側方流動を起こしても、完全に流出してしまうことはなく、大きいけれどもある流動量で制止するという実現象²⁾を説明し得るものと考えている。そこで図-4の(a)の様に液状化点より始まる急激に増加する直線と、液状化後の歪量が収束する部分を通る直線との交点を降伏歪(γ^*)と定義し、これについて考察する。図-4の(a),(b)よりせん断応力 $\tau_a = 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ に対する降伏歪は、遠州灘砂、豊浦標準砂という砂の種類の違いや繰返し回数 N の違いがあるにもかかわらず降伏歪 γ^* は40%程度となった。

また図-5は、遠州灘砂の降伏歪 γ^* とそれに対応する相対密度 D_r で示したものである。これより、若干のばらつきが認められるものの、降伏歪 γ^* は相対密度の低下に従ってほぼ直線的に増加することが分かる。図-6は、図-5の遠州灘砂の降伏歪 γ^* ～相対密度 D_r 関係のグラフに豊浦標準砂の試験結果を加えたものである。図より豊浦標準砂においても、降伏歪 γ^* は相対密度と反比例することが示されており、これらの傾向は遠州灘砂のとはほぼ等しいことが分かる。以上より、①砂に繰返し荷重を加えた際に得られる履歴グラフは砂の種類によらず、その形状は同様である。②同一条件において液状化強度は砂の違い、特にその形状や平均粒径により異なる。③図-4より降伏歪と相対密度の関係は、ほぼ同一直線上にあることが明らかである。これは、降伏歪は砂の種類や繰返し載荷回数によるものではなく相対密度に大きく依存することが示された。

5. あとがき

液状化による砂地盤の側方流動現象については、そのメカニズムを明らかにし、流動量を予測することが急務であると考えられている。本研究では流動時の砂の様子を要素として再現すべく大変形中空ねじり試験を実施してきた。本試験は必ずしもその現象を正しく再現しているとはいえない難いが、ここで提案した降伏歪なるものが流動時のメカニズムを把握する上で一助になるものと考えている。

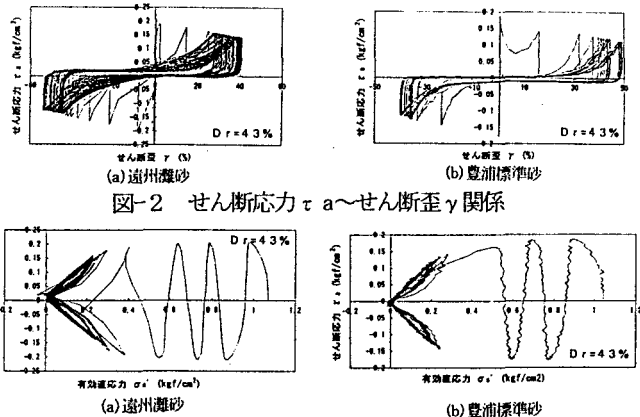


図-2 せん断応力 τ_a ～せん断歪 γ 関係

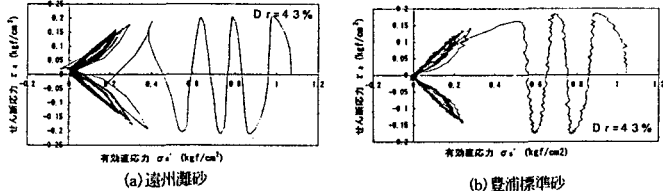


図-3 せん断応力 τ_a ～有効直応力 σ'_a 関係

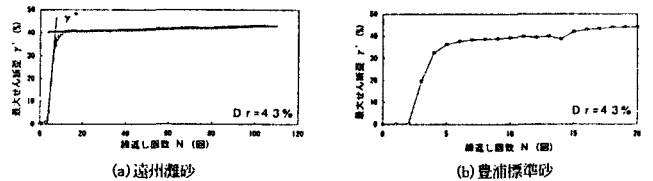


図-4 最大せん断歪 γ^* ～繰返し回数 N 関係

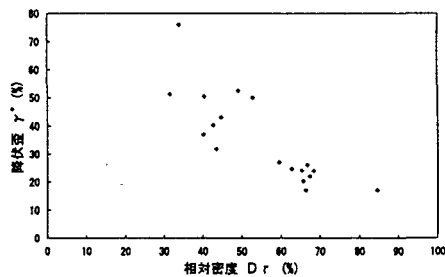


図-5 降伏歪 γ^* ～相対密度 D_r 関係(遠州灘砂)

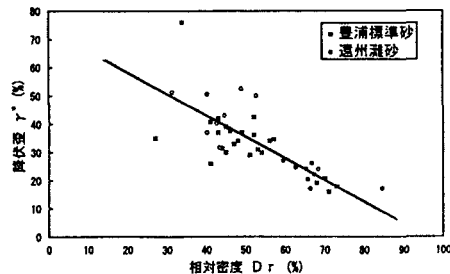


図-6 降伏歪 γ^* ～相対密度 D_r 関係

参考文献

- 1) 片田ら: 液状化後の砂の力学的挙動に関する基礎的研究, 第 29 回土質工学研究発表会概要集, III-2, pp. 831-832 ; 2) 浜田ら: 新潟地震における地盤の永久変位量の測定, 第 18 回地震工学研究発表会講演概要集, 1979. 12. 22.