

簡易せん断試験機による古宇利砂のせん断強度回復に関する実験的研究

琉球大学大学院 学生会員 山城 哲朗

琉球大学工学部 正会員 原 久夫

1. はじめに

さんご礁海域の海底地盤には石灰質生物を起源とする石灰質の砂礫が堆積している。これらの砂や礫は生物を起源として軟質で多孔質であり、角張った粒子形状であることから破碎しやすい不安定な地盤材料である。破碎性の砂礫で構成される地盤は杭の打ち込み時に周面摩擦力が低下すると考えられる。杭打設時の杭支持力と養生した後の杭支持力の比をセットアップという。杭体直近の砂領域は杭打設時に大きなせん断変形と間隙水圧上昇により局部的に液状化し、せん断強度が極端に低下していると推測されることからセットアップは杭周辺地盤の強度回復による影響が大きいと考えられる。また、石灰質砂自体の固結作用による強度回復もあると考えられる。軟弱な飽和砂質土地盤の杭の支持力を評価する際、杭周辺部地盤の支持力回復を推算することができれば今後の杭の支持力を考えるうえで一つの目安となるだろう。本研究では琉球層群砂礫層地盤における杭のセットアップ量推定を目的とし、古宇利砂（カルカリアス砂）を用いた実験を行った。実験は簡易せん断試験機を使用し、ひずみ振幅漸増方式の液状化試験で液状化状態とした後、再圧密非排水せん断試験を行って強度の回復量を測定した。

表-1 試料の物理的性質

	表層砂	深さ25m試料	深さ35m試料
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.733	2.690	2.687
最大間隙比 e_{max}	1.240	2.222	1.892
最小間隙比 e_{min}	0.832	0.982	0.906
粗砂分 %	31.7	4.3	16.4
中砂分 %	47.6	13.3	16.0
細砂分 %	11.1	18.5	33.0
シルト分 %	2.0	35.9	25.6
粘土分 %	7.6	18.0	9.0
均等係数 U_e	8.83	41.54	50.91
曲率係数 U_c	2.34	0.37	2.54

2. 試料および実験方法
試料は沖縄県古宇利島周辺海域の深さ 25m, 35m 付近からボーリングにより採取された試料砂と古宇利島周辺海岸の表層砂である。ボーリングにより採取した試料は人為的に砕き、2mm ふるいを通過したものを使用した。試料の物理的性質は表-1 に示すとおりである。供試体寸法は直径が 7.5cm, 高さが 5cm である。

試験装置は簡易せん断試験機^{1) 2)}を用いた。この装置は真空による負圧により供試体に等方圧を作用させるとともに、軸方向応力を独立に作用させ異方圧密させることができ、さらに三軸セルが不要であるなど従来の装置と比べ試験手法を簡素化している。また、飽和度を高める方法として二重負圧法を適用しており飽和度の検討は B 値により行う。圧密方法は静止土圧係数 K_0 を 0.50 に設定した異方圧密とした。異方圧密条件は有効側方応力が 30.9kpa, 有効軸方向応力が 61.8kpa である。試験はひずみ振幅漸増試験と単調載荷試験の二種類の非排水単純せん断試験を行った。ひずみ振幅漸増試験は第一波目のせん断ひずみ片振幅を $\pm 5 \times 10^{-4}$ とし、第二波目以降、順次せん断ひずみ片振幅を 1.5 倍間隔で漸増させるひずみ制御の正弦波を用いている。また単純せん断はせん断中に非排水かつ供試体高さを一定に保つ方法で行った。

3. 試験の結果と考察

さんご石灰質砂は CaCO_3 を多く含むことが知られている³⁾。この CaCO_3 は水と反応することで粒子同士が固結する性質を持っている。また豊浦砂を用いた実験において、液状化した供試体は液状化前と比べ密度が増加することが知られている。これらのことからせん断強度の回復要因を砂粒子の固結作用による強度回復と間隙水圧の消散による強度回復の二つの点から調べた。

3-1. 固結作用による強度増加

表-2 に試験条件および単調載荷の非排水試験せん断試験における、 $\gamma = 4\%$ 時のせん断応力を示す。“単調載荷試験”において $\gamma = 4\%$ 程度で τ が一定となることからこの値をせん断強度の目安とし“液状化後単調載

荷”試験結果と比較した。一般に砂のせん断強度は圧密時間に依存しないことが知られている。今回用いた試料は粒子破碎特性を持つ石灰質砂であり、圧密時間の長期化に伴う砂自体の固結作用による強度回復もあると考えた。図-1 は深さ 25m 付近の試料による各圧密時間におけるせん断応力～せん断ひずみ関係である。

この図からせん断応力～せん断ひずみ関係は圧密時間に依存しないことがわかる。表-2 においても各圧密時間のせん断応力は各試料で多少のばらつきがあるものの、圧密時間によらずほぼ一定値を示し、今回設定した圧密時間内において砂粒子の固結作用による強度の増加は発現しないことがわかった。

3-2. 間隙水圧の消散（再圧密）による強度増加

表-2 において“液状化後単調載荷”試験での 25 分間再圧密を行った結果は“単調載荷”の各圧密時間の結果と比べ、豊浦砂を除き明らかに大きな値を示していることがわかる。これは液状化後の間隙水圧の消散と再圧密により供試体の相対密度が上がることで、より大きなせん断応力を発揮したと考えられる。最も顕著な密度の変化を示した表層砂は、ひずみ振幅漸増試験前は相対密度 Dr が 70% を示したが試験後圧密終了時に相対密度 Dr は 80% に増加していた。これに対して豊浦砂はひずみ振幅漸増試験前に相対密度 Dr は 62% を示し、試験後圧密終了時に相対密度 Dr は 73% を示したがせん断強度は“液状化後単調載荷”と“単調載荷”でほとんど変化を示さなかった。図-2 は深さ 25m 付近から採取した試料の 25 分間圧密後単調載荷、液状化直後単調載荷および液状化後 25 分間圧密後単調載荷試験のせん断応力～せん断ひずみ関係である。この図から明らかに 25 分間圧密後単調載荷の非排水せん断試験のせん断強さはせん断ひずみ 4% 付近から流動化しせん断応力が一定値を示すのに対し、液状化後 25 分間圧密後単調載荷の非排水試験せん断試験によるせん断強さは流動化せずせん断応力は増加傾向を示していることがわかる。

4. 終わりに 今回の実験によりさんご石灰質砂の液状化後におけるせん断強度回復を測定した。その結果、次のようなことがわかった。

- 1) 砂粒子自体の固結作用による強度増加は今回実験した圧密時間では見られない。
- 2) ひずみ振幅漸増方式による液状化試験後、再圧密することにより古宇利砂は豊浦砂に比べ、せん断強さが大きく増加する。

<参考文献>1) 日下部 伸他 (1999): 簡易単純せん断試験装置の試作と種々の液状化試験への適応, 土木学会論文集, No.617 pp.299-304, 2) 日下部 伸他(1999): シリカ薄液で改良された破碎性砂の液状化抵抗, 破碎性地盤シンボ, pp127-132.3) 比嘉 理絵(1999): 石灰質砂の鋼材との摩擦特性について, 沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp82-83.

表-2 試験条件と結果

試験条件		豊浦砂	表層砂	深さ25m 試料	深さ35m 試料
圧密非排水試験	単調載荷	せん断ひずみ $\gamma=4\%$ に対する せん断応力 τ (kpa)			
		25分	12.1	11.3	12.1
		1時間	11.9	13.1	13.2
		4時間	12.2	14.9	13.3
		12時間	11.1	15.4	15.0
	液状化後 単調載荷	0分	0.26	0.36	0.53
		25分	13.3	31.7	26.5

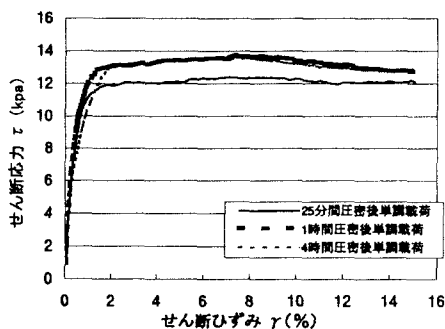


図-1 圧密時間ごとのせん断応力～せん断ひずみ関係
古宇利砂・深さ25m試料
(単調載荷の非排水せん断試験)

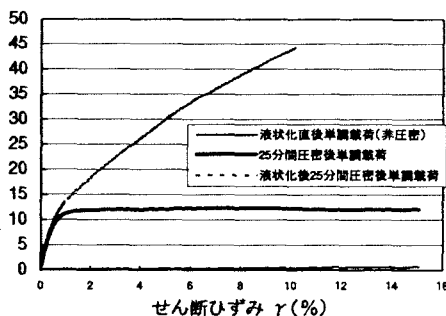


図-2 各条件のせん断応力～せん断ひずみ関係
古宇利砂・深さ25m試料
(単調載荷の非排水試験せん断試験)