

粘着力を有する砂質土の定体積応力制御繰返し一面せん断試験

日本大学大学院工学研究科・学生会員 ○阿部 吉孝

日本大学工学部・学生会員 佐藤 貴彦 柴田 剛

日本大学工学部・正会員 仙頭 紀明

1. 研究の背景と目的 1995 年の兵庫県南部地震以降、設計入力地震波が大きくなったため、洪積砂や地盤改良砂の液化判定を行う機会が増加している。これらの粘着力を有する砂質土の液化抵抗を簡便かつ合理的に評価するための室内試験法として本研究では、定体積応力制御繰返し一面せん断試験を提案する。一面せん断試験は、供試体の高さの中央付近を直接せん断するため、他の試験と比べて、供試体寸法が小さい、試験にかかる時間が短い、操作も簡単等の利点を有する。既往の繰返し一面せん断試験では、緩い砂

の液化強度指標の評価を試みた研究¹⁾が行われている。本研究では、粘着力を有する砂と海成粘土の非排水繰返しせん断試験を行い、本装置と中空ねじりせん断試験から得られる非排水繰返しせん断に関する強度指標を比較することで、液化判定への適応性について検討を行った。

2. 試験方法 試料は、2mm ふり通過分試料の火山灰砂質土、地盤改良砂および海成粘土である。物性値を表-1 に示す。火山灰砂質土の供試体は、突固めによる締固め方法(A 法)により作成した。地盤改良砂は、シリカ濃度 4%の薬液に硅砂 5 号を水中落下させて作製した²⁾ (以降浸透固化試料と称する)。海成粘土は、液性限界の 2 倍程度の含水比にしたスラリー状の試料を 70kN/m² で 20 日間予圧密したものを使用した。定体積応力制御繰返し一面せん断試験機の概略を図-1 に示す。垂直荷重の荷重は空気圧シリンダーで行った。せん断荷重はパルスモーターを内蔵した水平荷重用アクチュエーターをサーボコントローラーで制御して荷重した。これにより、応力制御の繰返しせん断が可能である。定体積制御は、装置上部のメカニカルジャッキにより手動で垂直変位を±0.01mm 以内に制御することが可能である。各試料はカッターリング法により直径 6cm、高さ 2cm に成形した。上部せん断箱と下部せん断箱を 4 本のせん断箱締結ボルトで固定して、供試体をせん断箱内に設置する。その後、供試体を圧密応力 100kN/m² で圧密した。圧密の終了は 3t 法により確認した。せん断試験直前には、上下せん断箱の隙間を 0.2mm

表-1 各試料の物性値

試験	試料	火山灰質砂 (福島産)	海成粘土 (広島産)	浸透固化試料 (硅砂5号)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.615	2.653	2.645
液性限界 W_L (%)		49.1	110.7	-
塑性限界 W_p (%)		35.4	37.8	-
塑性指数 I_p		13.7	72.9	-
最大間隙比 e_{max}		-	-	1.141
最小間隙比 e_{min}		-	-	0.691
一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)		-	23.7	49.5
三角座標による 分類		SF	-	-
塑性図による 分類		ML	-	-

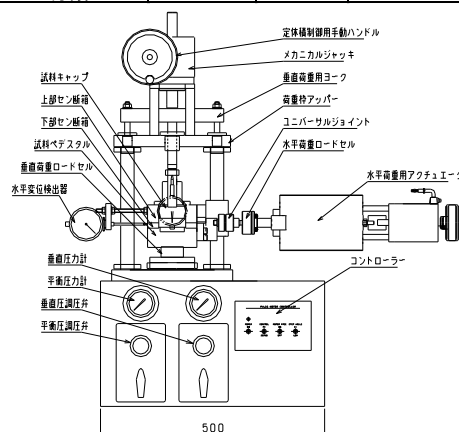


図-1 卓上型的一面せん断試験機

表-2 試験ケース

ケース	試料	ρ_{dc} g/cm ³	試験法	応力比 τ / σ_{m0}
1-1	火山灰砂質土	1.353	定体積応力制御繰返し一面せん断試験	0.36
1-2		1.318		0.42
1-3		1.297		0.57
2-1		1.339	中空ねじりせん断試験	0.31
2-2		1.387		0.41
2-3		1.349		0.45
3-1	浸透固化試料	1.504	定体積応力制御繰返し一面せん断試験	0.28
3-2		1.480		0.36
3-3		1.535		0.42
3-4		1.496	中空ねじりせん断試験	0.57
4-1		1.523		0.20
4-2		1.554		0.31
4-3	海成粘土	1.523	定体積応力制御繰返し一面せん断試験	0.41
5-1		0.902		0.28
5-2		0.978		0.34
5-3		0.924	中空ねじりせん断試験	0.45
5-4		0.933		0.57
6-1		0.916		0.25
6-2		0.820	中空ねじりせん断試験	0.36
6-3		0.907		0.45

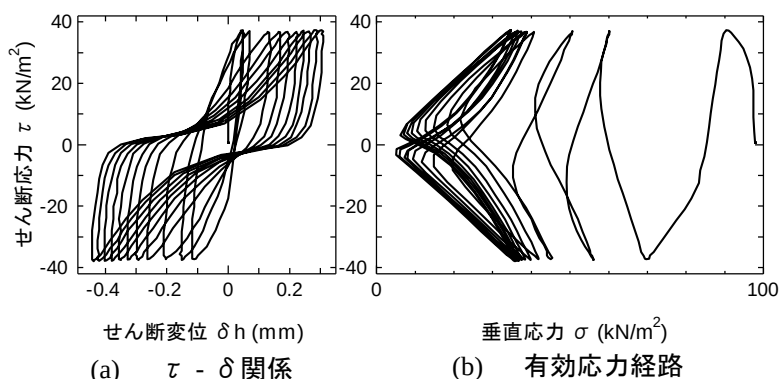


図-2 実施試験の一例 120 秒まで(ケース 3-4 $\tau / \sigma_{m0}' = 0.57$)

キーワード：定体積応力制御繰返し一面せん断試験、繰返し強度曲線、液化判定への適応性

連絡先：福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 TEL 024-956-8710 FAX 024-956-8858

に調節した。繰返しせん断は、せん断箱上部は固定、下部は可動とした。
表-2 に試験ケースを示す。ケース 1,3,5 は繰返し一面せん断試験、ケース 2,4,6 は中空ねじりせん断試験である。中空ねじりせん断試験は圧密非排水条件とした。せん断応力波形は各ケースで周波数 0.1Hz の正弦波とした。圧密応力より計算される初期平均有効応力(σ_{m0}')は、次式で定義した。

$$\sigma_{m0}' = \frac{1}{3}(\sigma_{v0}' + \sigma_{h0}') \quad (1)$$

ここで、 σ_{v0}' は初期鉛直有効応力、 σ_{h0}' は初期水平有効応力である。ケース 2,4,6 では等方状態となるので $K_0=1.0$ となり、(1)より、 $\sigma_{m0}'=100\text{kN/m}^2$ となる。一方、ケース 1,3,5 の供試体は $K_0=0.5$ と仮定³⁾したため、 $\sigma_{m0}'=67\text{kN/m}^2$ とした。なお、表には圧密後の乾燥密度(ρ_{dc})も示した。

3. 試験結果 図-2 に浸透固化試料の応力-変位関係および有効応力経路を示す。(b)より、有効応力経路は载荷とともに有効応力が減少し、その後、せん断変位増加の際に有効応力が回復するサイクリックモビリティ現象⁴⁾があらわれている。図-3 に液状化強度曲線を示す。定体積応力制御繰返し一面せん断試験では両振幅せん断変位 $\delta_{DA}=0.2\sim 1.0\text{mm}$ の結果を示した。一方、中空ねじりせん断試験では両振幅せん断ひずみ $DA=1\sim 10\%$ の結果を示した。各試料で中空ねじりせん断試験と比較すると、繰返し一面せん断試験の繰返し強度が高くなる傾向を示した。繰返し回数 20 回における繰返し強度についてみると、中空ねじりせん断試験と結果が近い $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ に着目して両試験の比較を行う。図-4 は中空ねじりせん断の τ/σ_{m0}' を繰返し一面せん断の $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ のときの τ/σ_{m0}' で正規化した値と DA の関係を示す。ただし、繰返し回数 20 回の結果である。図より、繰返し一面せん断試験の $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ は中空ねじりせん断試験の $DA=5\%$ と概ね整合することがわかった。既往の研究で大島らは粘着力のない砂では $\delta_{DA}=3, 6\text{mm}$ は概ね $DA=5, 10\%$ に相当すると結論付けている。今回の試験で液状化判定のための最適な両振幅せん断変位 δ_{DA} は、材料により変化することがわかった。

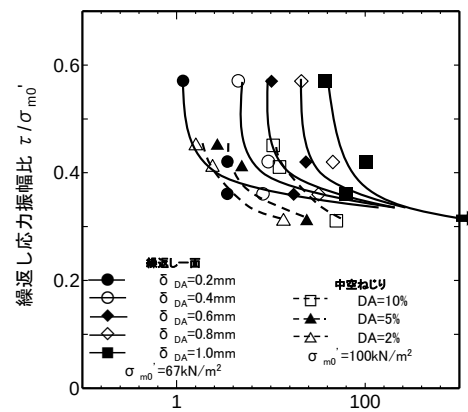
4. まとめ 本装置を用いて、粘着力を有する砂質土について定体積応力制御繰返し一面せん断試験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1)中空ねじりせん断試験より繰返し一面せん断試験の繰返し強度が高い。
- 2)中空ねじりせん断試験と比較すると $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ は $DA=5\%$ とほぼ一致した。この δ_{DA} は土によって異なり、一定の値とならない。

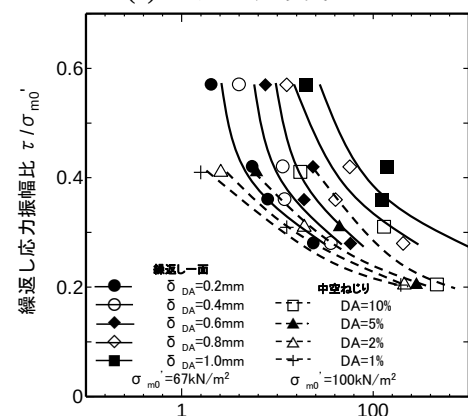
謝辞 この研究は文部科学省の科学研究費(基盤研究(c):課題番号 22560500)の援助を受けました。記して謝意を示します。

参考文献

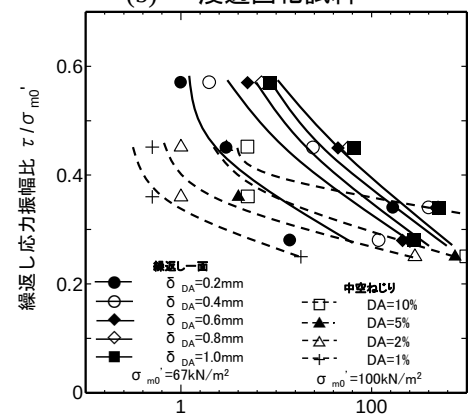
- 1)大島, 高田, 住, 本郷, 繰返し定体積一面せん断試験機の試作, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp.719-720, 1998.
- 2)沿岸技術研究センター, 浸透固化マニュアル, pp.56-63, 2010.
- 3)大島, 高田, 住, 本郷, 砂の繰返し定体積一面せん断試験と繰返し三軸試験結果との比較, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp.721-722, 1998.
- 4)地盤工学会, 地盤の動的解析-基礎理論から応用まで-, pp.11-13, 2007.



(a) 火山灰砂質土



(b) 浸透固化試料



(c) 海成粘土

図-3 繰返し強度曲線

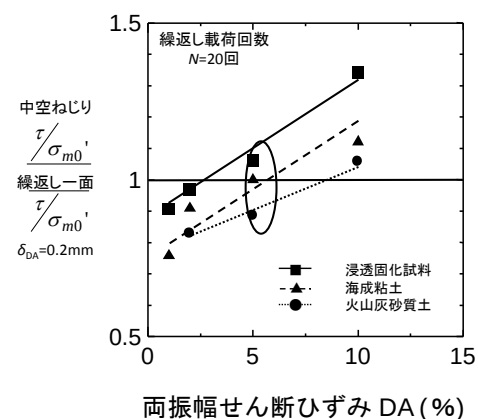


図-4 繰返し強度の比較