

定体積繰返し一面せん断試験機による砂質土の 液状化抵抗評価に関する研究

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

谷田貝 航

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状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状化抵抗を簡便かつ経済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、繰返し三軸や中空ねじりせん断試験と比べて、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、緩い砂の液状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、砂質土および海成粘土の定体積繰返しせん断試験を行い、本装置、繰返し単純せん断試験の定体積繰返しせん断試験および中空ねじりせん断試験の非排水繰返しせん断試験から得られる強度指標を比較し、液状化判定に対する適用性について検討した。

2. 試験方法 試料は砂質土として珪砂 5 号、粘着力を有する試料として海成粘土、2mm ふるいを通過した火山灰質砂質土および地盤改良砂を用いた。物性値を表-1、図-1 に粒径加積曲線を示す。珪砂 5 号は、空中落下法によって相対密度が 70%になるように供試体を作製した。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。福島県浜通りの寺沢産の火山灰質砂質土は、突き固めによる土の締固め方法(A 法)により作製した(以降寺沢産試料と称する)。地盤改良砂は、シリカ濃度 4%の薬液に珪砂 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)。繰返し一面せん断試験機における垂直荷重の載荷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サイン波(0.1Hz)を載荷した。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 以内に制御した。装置の概要は別報³⁾を参照されたい。珪砂 5 号以外の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。供試体は圧密圧力 100kN/m² で圧密し、圧密の終了は 3t 法により確認した。上下せん断箱の隙間を 0.2mm に調節した。せん断箱上部は固定、下部が可動条件にて繰返しせん断を実施した。表-2 に試験ケースを示す。ケース 1, 4, 7, 9 は繰返し一面、ケース 2, 5, 8, 10 は中空ねじりおよびケース 3, 6 は繰返し単純である。なお、ケース 5, 10 の試験結果は佐藤ら⁴⁾、ケース 8 の試験結果は仙頭ら⁵⁾の中空ねじりのデー

表-1 各試料の物性値

試験	試料	珪砂5号	海成粘土 (広島産)	火山灰質砂 (福島県寺沢産)	浸透固化試料 (珪砂5号)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.645	2.653	2.615	2.645
液性限界 w_L (%)		-	110.7	49.1	-
塑性限界 w_p (%)		-	37.8	35.4	-
塑性指数 I_p		-	72.9	13.7	-
最大間隙比 e_{max}		1.141	-	-	1.141
最小間隙比 e_{min}		0.691	-	-	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		S	-	SF	-
塑性図による分類		-	CH	ML	-

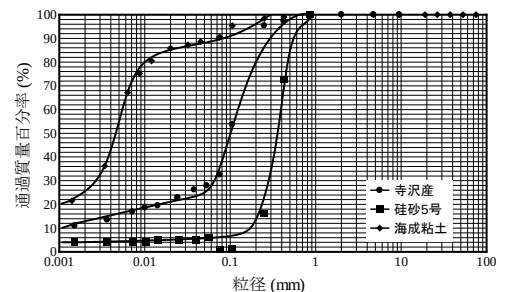


図-1 粒径加積曲線

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_{mo}	飽和度 %	相対密度 D_{re} %
1-1	珪砂5号	1.482	繰返し一面	0.16	100.4	69.5
1-2		1.480		0.18		70.9
1-3		1.484		0.28		70.0
1-4		1.468		0.34		69.0
2-1		1.454	中空ねじり	0.20		67.7
2-2		1.452		0.25		67.3
2-3		1.452		0.30		71.7
2-4		1.460		0.35		69.5
3-1		1.472	単純せん断	0.15		71.7
3-2		1.473		0.17		73.3
3-3		1.472		0.25		69.8
3-4		1.472		0.28		73.3
4-1	海成粘土	0.902	繰返し一面	0.24	100.0	100.4
4-2		0.877		0.30		100.0
4-3		0.902		0.39		99.1
5-1		0.916	中空ねじり	0.25		97.6
5-2		0.820		0.36		95.1
5-3		0.907		0.45		94.8
6-1		0.860	単純せん断	0.25		95.3
6-2		0.890		0.30		98.6
6-3		0.888		0.40		99.2
7-1		1.353	繰返し一面	0.36		84.9
7-2	火山灰質 砂質土 (寺沢産)	1.318		0.42	100.0	83.4
7-3		1.297	中空ねじり	0.57		89.1
8-1		1.343		0.31		91.8
8-2		1.381		0.41		96.3
8-3		1.343		0.45		92.9
9-1	浸透固化 試料	1.504	繰返し一面	0.28	92.1	86.2
9-2		1.480		0.36		89.8
9-3		1.535		0.42		90.3
9-4		1.549	中空ねじり	0.57		90.3
10-1		1.523		0.20		88.3
10-2		1.554		0.31		91.7
10-3		1.523		0.41		92.1

キーワード：定体積応力制御繰返し一面せん断試験，液状化強度，液状化判定

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

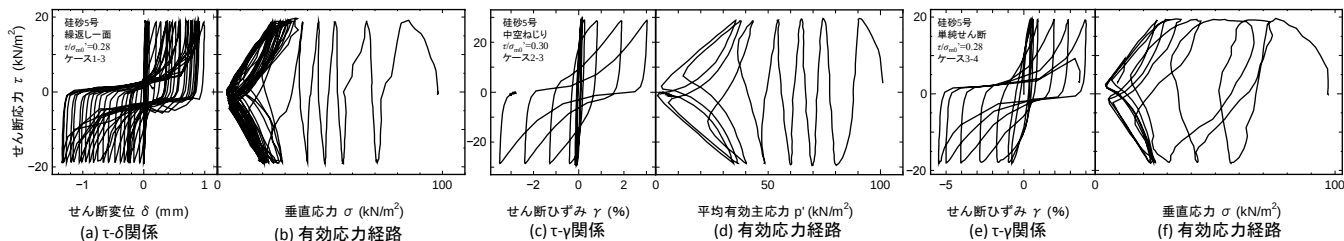


図-2 種々のせん断試験の一例（ケース 1-3、ケース 2-3 およびケース 3-4）

タを引用している。繰返し一面および繰返し単純は定体積繰返しせん断試験、中空ねじりは非排水繰返しせん断試験とした。ここで、各ケースで σ_{v0}' は 100kN/m^2 とし、初期平均有効主応力 σ_{m0}' は、ケース 2, 5, 8, 10 では $K_0=1.0$ とし、ケース 1, 3, 4, 6, 7, 9 は $K_0=0.5$ と仮定⁶⁾して求めた。なお、表には圧密後の乾燥密度(ρ_{dc})と飽和度(S_r)も示した。

3. 試験結果・考察 図-2 に種々のせん断試験より得られた硅砂 5 号の応力-変位・ひずみ関係および有効応力経路を示す。(b), (f)より、繰返し一面・単純の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現象がみられた。この挙動は中空ねじりの有効応力経路(d)でみられるサイクリックモビリティ現象と類似していた。図-3 に種々のせん断試験による硅砂 5 号、海成粘土、浸透固化試料および寺沢産試料の液状化強度曲線を示す。繰返し一面では両振幅せん断変位 $\delta_{DA}=0.2, 0.4, 1.0\text{mm}$ の結果を示した。一方、中空ねじり、繰返し単純では両振幅せん断ひずみ $DA=2, 5\%$ の結果を示した。種々のせん断試験の繰返し回数 20 回における液状化強度の比較より、硅砂 5 号、海成粘土では $\delta_{DA}=1.0\text{mm}$ 、寺沢産、浸透固化試料では $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ が中空ねじりおよび繰返し単純に近い値を示した。そこで、図-4 は中空ねじりまたは繰返し単純の $N=20$ 回の液状化抵抗比を繰返し一面の $\delta_{DA}=0.2$ または 1.0mm のときの $N=20$ 回の液状化抵抗比で正規化した値と DA の関係を示す。図より、硅砂 5 号、海成粘土で繰返し一面の $\delta_{DA}=1.0\text{mm}$ は $DA=5\%$ 、寺沢産、浸透固化試料で繰返し一面の $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ は $DA=5\%$ と概ね整合した。各せん断試験と同様な液状化抵抗比を示すことから繰返し一面で得られる液状化強度は液状化判定のための指標として利用できる可能性が示された。ただし、液状化判定のための両振幅せん断変位 δ_{DA} が、材料により変化するという課題があることもわかった。

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)大島ら, 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) 阿部ら, 定体積繰返し一面せん断試験機による粘着力を有する砂質土の液状化抵抗評価, 第 46 回地盤工学研究発表会, D-07, pp.415-416, 2011. 4) 佐藤ら, 粘着力を有する砂の液状化強度に関する実験的研究, 土木学会東北支部技術研究発表会, III-3, 2010. 5) 仙頭ら, 盛土の排水条件に注目した火山灰質砂質土の非排水繰返し強度, 土木学会第 66 回年次学術講演会, III-170, pp. 339-340, 2011. 6)大島ら, 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.

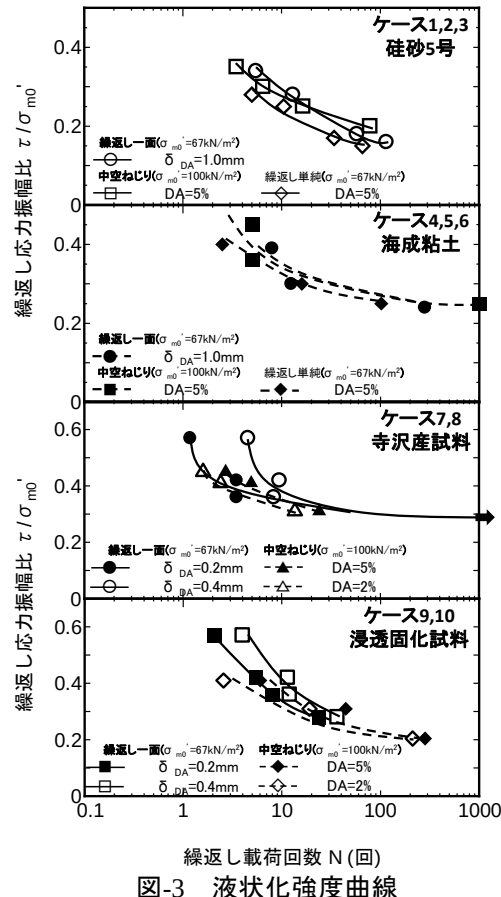


図-3 液状化強度曲線

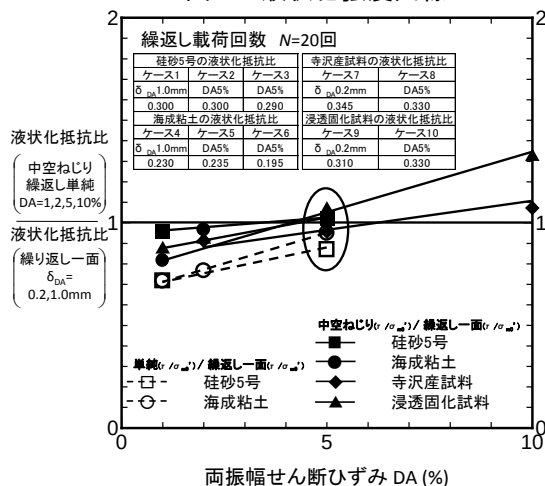


図-4 種々の液状化抵抗比の比較