

III-35 一定ひずみ振幅制御繰返し三軸試験に基づく液状化定義の再考察

○東北大学 学生会員 赤堀一彦  
 東北大学 正会員 風間基樹・柳澤栄司  
 東京ソイルリサーチ 正会員 福元俊一

1.はじめに

現在、土の液状化抵抗は一定応力振幅制御繰返し三軸試験から求めた液状化強度曲線により評価されている。しかし、この評価法は、繰返しせん断を受けた土の過剰間隙水圧の発生や土粒子構造の変化に伴う損傷程度を、適切に評価できているとは言えない。すなわち、同じ過剰間隙水圧が発生した状態や同じひずみレベルまでひずみが発達した状態でも、その後のせん断変形には違いがある<sup>1)</sup>。例えば、密な砂と緩い砂が一定応力振幅試験で同じように液状化したと判断された場合でも、その後の変形特性や強度回復には大きな違いがある。特に、レベル2地震動のように極めて大きな地震外力を想定した場合、この液状化の程度の違いを考慮することは非常に重要となる。一方、風間は繰返しせん断時の過剰間隙水圧の上昇に伴う土粒子構造の劣化を累積損失エネルギーで評価することを提案しているが、この指標は過剰間隙水圧比が1.0になった以降の変形特性をも反映する事ができ、土のねばりを含む繰返しせん断に対する強度指標である<sup>2),3)</sup>。そこで本研究では、一定応力制御と一定ひずみ制御三軸試験を行い、累積損失エネルギーの観点から、密な乱さない供試体の実験結果を元に、その液状化定義について考察した。

2.対象地盤と実験方法

本研究で対象とした試料の諸元と実験条件を表-1に示す。試料はチューブサンプリングで採取したものを凍結保存し、トリミングにより供試体の大きさまで整形した。供試体はφ5cm、高さ10cmの円柱供試体である。一定応力試験は土質工学会基準「土の繰返し非排水三軸試験方法(JSF T 541-1990)」に基づき行ったものである。一方、一定ひずみ三軸試験は、載荷前までは応力試験と同じ手順で準備を行い、非排水繰返しせん断を行ったものである。載荷方法は、ひずみ振幅一定のステップ載荷とし、周波数0.1Hzの正弦波で行った。各ステップの繰返し数、ステップ数、せん断ひずみの大きさは表-1に示した。各ステップの終了は繰返し載荷による剛性低下が見られず、過剰間隙水圧比がほぼ1になった時とした。

3.一定応力振幅制御試験の結果

一定応力振幅三軸試験の結果を両振幅軸ひずみ5%における液状化強度曲線の図-1と、両振幅せん断ひずみ-累積損失エネルギー関係の図-2に示した。図-1から応力比0.8又は0.6の実験供試体は応力比と繰返し回数の関係の矛盾から、どちらかがその他の供試体と著しく特性が違っていると考えられる。そのことを考慮して図-2の結果を見ると、せん断応力比が大きい方が同じ両振幅せん断ひずみに発達するまでに消費できるエネルギー量が小さいことが分かる。又、図中の●は過剰間隙水圧比が0.90に達した点を示したものであるが、応力比によりその時の両振幅せん断ひずみが違うことが分かり、液状化強度曲線で結ばれた両振幅軸ひずみ5%の状態では、累積損失エネルギーと過剰間隙水圧比は応力

表-1 供試体の諸元と実験条件

試験	No.	深度GL-	間隙比	応力比	
三一定軸試験 応力	1-1	6.00-6.37	0.82	0.4	土粒子の密度
	1-2		0.78	0.6	2.701g/cm <sup>3</sup>
	1-3		0.83	0.8	均等係数U <sub>c</sub> 2.42
	1-4		0.85	1.0	圧密応力 0.7kgf/cm <sup>2</sup>
一定ひずみ 三軸試験		6.90-8.00			せん断ひずみ(繰返し回数)
	2-1		0.8		0.05(100)
	2-2		0.78	0.025(100), 0.05(100), 0.10(30)	
	2-3		0.81	0.025(100), 0.038(50), 0.05(100), 0.10(50)	

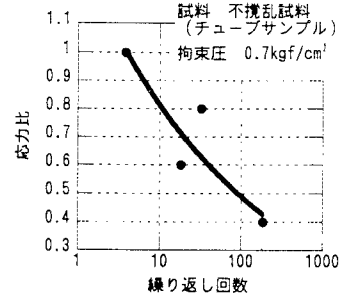


図-1 液状化強度曲線

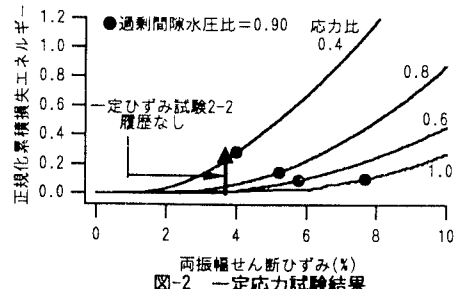


図-2 一定応力試験結果

ごとに違うことが分かる。これらの事より、定応力試験において応力比が違う実験をした場合、それぞれの供試体は同じひずみ状態に達していても土粒子構造の劣化の程度は異なっていると考えられる。又、図-3-a), b) に応力比 0.4 と 1.0 における有効応力経路を示したが、伸張側で 1 又は 2 載荷目にして有効応力経路が破壊線に達している。すなわち、供試体の破壊はまず、有効応力が十分に低下していない状態で伸張側で局部的に起きていると考えられる。特に、応力比 1.0 では 1 載荷目にして大きなダイレイタンスーが発生している。以上より、繰返し載荷時に供試体全体が一樣に損傷を受けているのではなく、まず伸張側のせん断面で構造変化が起き、応力比の大きさによって破壊線に達するときの有効応力も異なる。すなわち、供試体のある一部が損傷ただけでひずみが発達するため、大きな応力比で繰返した場合の方が、累積損失エネルギー量が少ないまません断ひずみが発達することになる。

#### 4. 一定ひずみ振幅制御試験の結果

一定ひずみ振幅制御三軸試験におけるせん断応力比の時刻歴を図-4 に示す。図-4 より、繰返し載荷により過剰間隙水圧比が 1 に達し、剛性が低下してもせん断ひずみ振幅を増加させると、剛性が回復することが分かる。又、回復した剛性は繰返し載荷を受けると再び減少する。このことにより、液状化過程は、過剰間隙水圧の上昇と土粒子骨格構造の変化という二面性があり、有効応力のみで劣化の程度を表すには無理がある。

図-2 に一定ひずみ試験における実験 2-2 のステップ 1 における累積損失エネルギー量を示した。一定ひずみ試験における累積損失エネルギー量は、一定応力試験においてそのひずみレベルに達するまでに消費出来る累積損失エネルギー量より大きいことが分かる。この理由として、一定ひずみ試験では一定応力試験のようなひずみの局所化が起きず、供試体全体が劣化するために、消費出来る累積損失エネルギー量が大きい事が考えられる。

#### 5. まとめ

土の繰返しに伴う土粒子骨格の劣化はせん断経路に大きく依存し、局所的なひずみの発達と大きく関係する。そのため、ひずみの発達は、応力履歴（ひずみ履歴）に大きく依存する。従って、一定応力振幅制御も一定ひずみ振幅制御も一つの応力経路に過ぎない。従って、実際の地震動の応力履歴（ひずみ履歴）と累積損失エネルギー量と地震被害の関係を詳細に調べる必要がある。

#### 参考文献)

- 1) 安田進, 吉田望, 安達健司: 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文集 No.638/III-49, pp71-89, 1992
- 2) 風間基樹, 鈴木崇弘, 柳澤栄司: 地盤に入力された累積損失エネルギーの評価法と液状化予測への適用, 土木学会論文集 No.631/III-48, pp161-177, 1999
- 3) 風間基樹, 柳澤栄司, 増田昌明: 定ひずみ制御繰返し三軸試験による液状化強度評価の可能性, 土と基礎, 第 46 巻, 第 4 号, 4 東北大学 (工学部・工学分館)
- 4) 吉見吉昭: 砂地盤の液状化, 技報堂出版株式会社, 1991

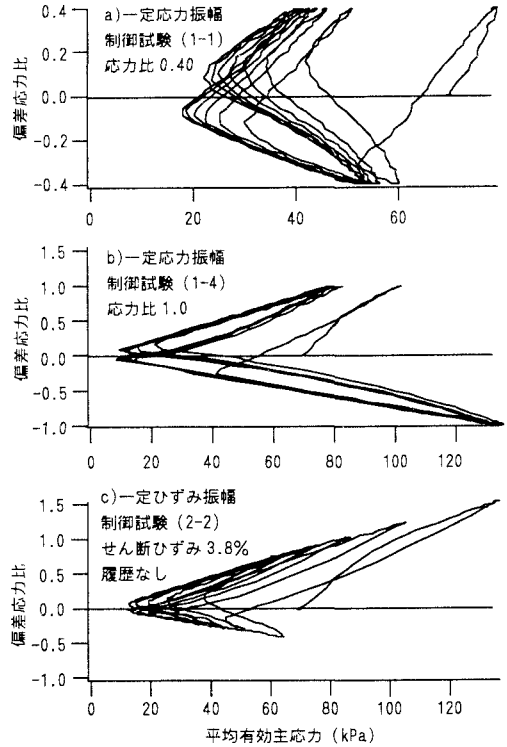


図-3 有効応力経路

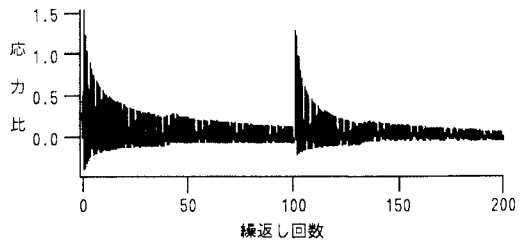


図-4 応力比の時刻歴