

砂質土の液状化後のせん断特性に影響を及ぼす要因について

(財)電力中央研究所 正会員 河井 正

1. はじめに

近年、地盤の側方流動量や側方流動時の構造物への流動抵抗を予測するため、中空ねじり試験装置を用い繰返しせん断による液状化試験と、液状化後の単調載荷試験を組み合わせた実験が実施されている¹⁾。ここでは、主に液状化後のひずみ履歴がその後のひずみ振幅の増大に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

中空ねじり試験装置を用いる場合、繰返しせん断による液状化試験に引き続いて単調載荷試験を実施することを想定すると、載荷方法は、軸圧・側圧の変化による三軸載荷とね

じりせん断を組み合わせることにより複数の載荷方法が考えられる。しかしながら、地震によって地盤が液状化し、ほとんど水平と見なされる地盤が流動することを想定した場合、ねじり方向の繰返し載荷により液状化させた後に、同じくねじり方向の単調載荷試験を実施することが最も自然な方法であると思われる。その場合、繰返し載荷をせん断応力が0となる

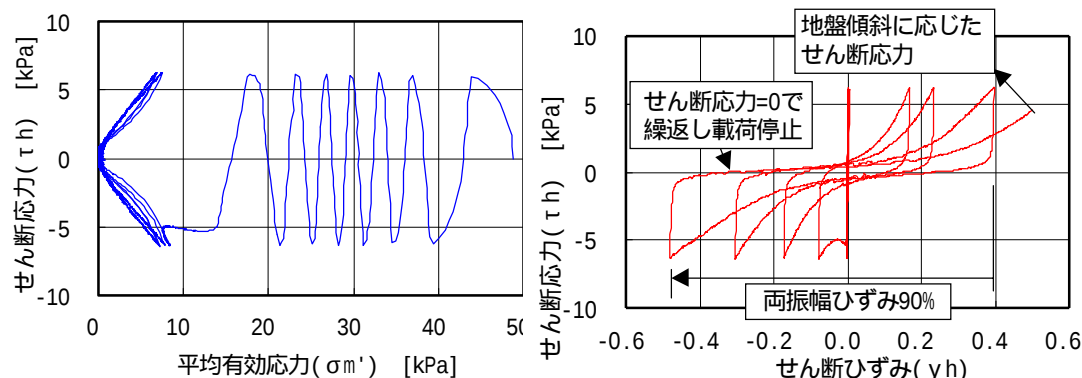


図1 液状化試験結果の例

表1 実験条件

	相対密度	液状化		応力比		ひずみ履歴	
		方法	回数	液状化前	液状化後	両振幅	回数
Case1-1	29%	通常	10.5	0.13	0.13	-	-
Case1-2	31%	通常	7.0	0.13	0.13	-	-
Case2	29%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	7.0	0.13	0.13	-	0
Case3-1	29%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	5.5	0.13	0.13	5%	1
Case3-2	29%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	7.0	0.13	0.13	5%	3
Case3-3	30%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	7.0	0.13	0.13	5%	5
Case4	30%	$\gamma=1.0\%$ 戻し	8.0	0.13	0.13	2%	5
Case5-1	29%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	8.0	0.13	0.13	2%	5
Case5-2	30%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	7.5	0.13	0.13	2%	20
Case6-1	29%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	6.5	0.13	0.10	-	0
Case6-2	30%	$\gamma=2.5\%$ 戻し	8.0	0.13	0.07	-	0

時点で終了し、繰返し載荷の最終方向に非排水単調載荷し、単調載荷の開始時のひずみの値を0としなければ、その試験によって得られる応力経路や応力 - ひずみ関係は、図1に示される通常の液状化試験で得られる応力経路、応力 - ひずみ関係と同様である。ところで、この図に示されているように、液状化後の砂質土は、応力振幅が一定であるならば、繰返しに伴いひずみ振幅は単調に増加する。したがって、繰返し回数を一定とする種々の応力比振幅の実験を実施した場合、応力比の大きさによって液状化までの回数が異なるため、液状化後の繰返し回数も異なる。したがって、所定の回数の繰返し載荷の後に、引き続いて単調載荷試験を実施した場合、単調載荷によって発生するひずみが異なることは容易に推測できる。しかしながら、このような実験結果を側方流動にあてはめて考えるならば、図1の結果で側方流動によるせん断ひずみが70%程度発生するためには、振動時に両振幅ひずみ70%程度が発生していることになる。側方流動以前の地震動によりこのように大きなせん断ひずみが発生するものとするれば、側方流動により発生するひずみを予測する以前に振動時のひずみを抑制することが必要であり、あえて側方流動量を検討する必要はなくなる。また実際には、液状化により液状化層より上方に地震動が伝達されにくくなるため、振動時に発生する応力、ひずみはある程度小さな値に抑制されることになる。本研究ではそのような状況を想定して、液状化後の繰返し載荷を定ひずみ振幅で実施し、種々の液状化後の繰返し載荷によって、その後発生するひずみ振幅がどのように変化するか、繰返し試験のみで検討した。供試体は珪砂5号 ($G_s=2.688$, $e_{max}=1.091$, $e_{min}=0.683$, $D_{50}=0.3mm$) を用いて相対密度29～31%の供試体(外径20cm、内径10cm、高さ20cm)を作成し、ねじりせん断部にメガトルクモータを用いた中空ねじり試験装置により、定ひずみ速度でせん断試験をしながら、所定の応力値で反転するという変則的な応力制御試験を実施した²⁾。表1には実験ケースを示しているが、液状化方法の欄の“ $\gamma=2.5\%$ 戻し”とあるのは、液状化以前に発生したせん断ひずみの大きさにより液状化後のひずみ振幅が異なる可能性を考慮して、

液状化、側方流動、繰返し試験、ひずみ履歴、応力比振幅

(〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 0471-82-1181 0471-84-2941)

$\gamma = 2.5\%$ に達した時点（液状化前）で載荷方向を反転させることによって過剰間隙水圧比を0.95以上としている。

3. 実験結果

図2は実験結果の整理に用いた繰返し回数と両振幅ひずみの定義を示している。繰返し回数(N)は、液状化時点を0回とし、その時の両振幅ひずみを γ_0 によって求め、その後応力を反転する毎に、 $\gamma_0.5$ 、 $\gamma_1.0$ 、 $\gamma_1.5$ 、・・・のように、繰返し回数に対する両振幅ひずみを定義している。図3は、このようにして得られたCase1, Case2の結果を示している。Case1の2つの実験はほぼ同一の条件で実施されており、実験の再現性と誤差を確認した。Case2は" $\gamma = 2.5\%$ 戻し"により液状化させた場合の結果であるが、通常の液状化試験では液状化以前に $\gamma = 6 \sim 8\%$ 発生しており、この差がN=0回

におけるCase1, Case2の両ひずみ振幅の差となっている。

図4、5はCase2と同様の方法で液状化させた後に、種々のひずみ履歴を与えた場合の結果を示している。図4のCase3は両振幅ひずみ5%の履歴を与えた結果で、履歴によって両振幅ひずみが変化していることがわかる。また図5は両振幅ひずみ2%で履歴を与えた場合の結果を示しているが、同様に、履歴を与えたものの方が同一回数での両振幅ひずみが大きくなっている。図6には、液状化まではCase2～5と同一条件とし、液状化後は履歴を与えず応力振幅のみを変えた場合の結果を示している。この図に示されるように、履歴を与えない場合は、N=0の両振幅ひずみの大きさは異なるものの、それ以後の両振幅ひずみの増大はあまり変わ

らない結果となっている。今回実施した範囲では、液状化後(N=0)に発生する両振幅ひずみの大きさは20%程度であり、履歴の有無、応力比の振幅によってそれほど変化しなかった。一方、履歴を与えることで、繰返しに伴う両振幅ひずみの増大程度は異なりN=2では60%以上となり、履歴の程度によってこの値は大きく異なった。図6のように、液状化後の両振幅ひずみの増大傾向が応力比振幅の大きさにあまり影響されないことから、ある程度の応力の発生を伴う履歴を与えることでN=0における両振幅ひずみが大きく変化する可能性もあるが、少なくとも今回実施した範囲の定ひずみ振幅履歴では、N=0において発生するひずみを著しく増大させることはできなかった。したがって、実際の側方流動現象を考えた場合、液状化後の砂質土のせん断特性のみでは、地震時に発生するひずみの大きさと側方流動によって発生するひずみの大きさが異なることを説明できない。今後は、より広範囲なひずみ履歴、応力条件の下で同様の実験を行うとともに、異なる種類の砂を使用して検討を進める予定である。

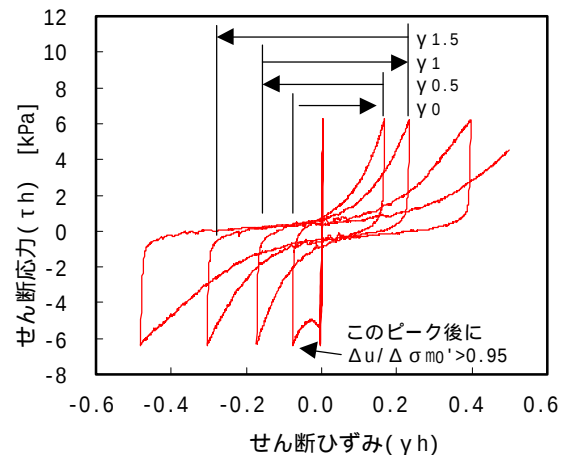


図2 繰返し回数(N)、両振幅ひずみ(γ)の定義

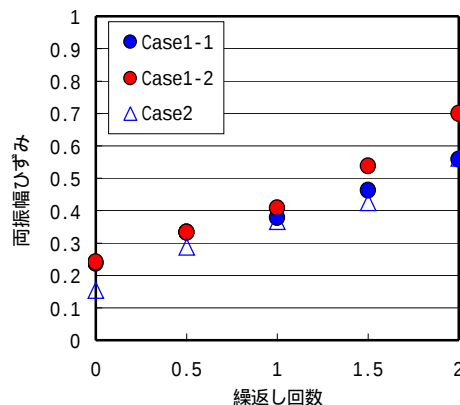


図3 履歴が無い場合のN - γ 関係

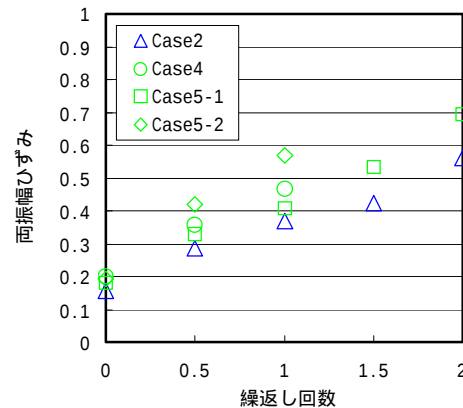


図5 両振幅ひずみ2%による履歴を与えた場合のN - γ 関係

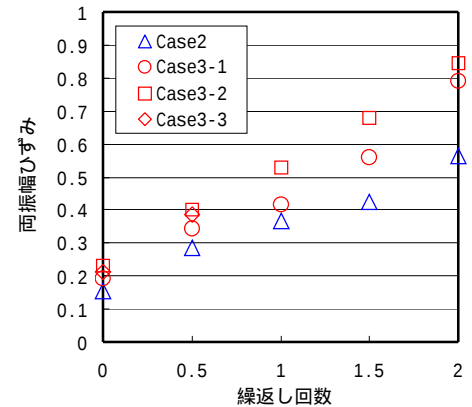


図4 両振幅ひずみ5%による履歴を与えた場合のN - γ 関係

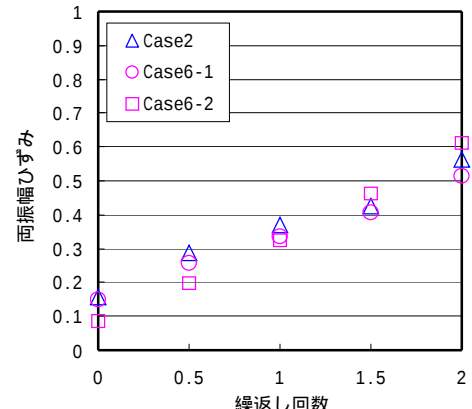


図6 液状化後の応力比振幅が異なる場合のN - γ 関係