

堆積構造と初期せん断の影響を考えた砂の非排水せん断特性

福岡大学工学部 正会員 佐藤研一
福岡大学大学院 学生員 ○宇野勝彦

1.はじめに 自然堆積地盤は、一般に、砂粒子のもつ定方向配列に起因する初期構造異方性を有している。また、構造物基礎地盤には、初期せん断応力が作用している状態にある。そこで本研究では、中空ねじりせん断試験機を用いて、初期構造異方性を有する供試体を作製し、任意の主応力方向に初期せん断を作用させた後、同一方向に繰返し応力を作用させる非排水せん断を行った。この結果から、埋立地等における堆積砂地盤の繰返しせん断特性を明らかにする。

2.実験概要 実験は、全自動計測・制御可能な中空ねじり試験装置(供試体寸法外径約10cm、内径約6cm、高さ約20cm)を用い、豊浦標準砂($G_s=2.643$, $e_{max}=0.971$, $e_{min}=0.657$)を使用した。供試体の作製と密度調整は、空中落下法により行い、実験では $D_r=80\%$ に調整した。供試体作製後に炭酸ガスを通気させ、脱気水を通水した後、背圧を98kPa 負荷し、飽和させた。その後、有効拘束圧 $p'_c=196\text{kPa}$ まで等方圧密した。実験は、図-1 の応力経路と表-1 の実験条件に従い、初期せん断応力 $\tau_s/p'_c=0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.35$ の6種類を準自動制御によりステップ載荷し、異方圧密を行った。その後、繰返しせん断応力 $\tau_r/p'_c=0.25, 0.30, 0.35$ の3パターン、主応力方向角 $\alpha=15^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の3種類で非排水繰返しせん断を行った。ここで主応力方向角とは図-2 で示すように、鉛直軸からの最大主応力方向角の傾きと定義し、供試体に最初に応力が加わる方向である。また、せん断中は平均主応力 $p=196\text{kPa}$ 、中間主応力係数 b 値 $=0.5$ を一定とした。また、単調せん断試験は、繰返しせん断と同様に初期せん断載荷後、非排水条件で応力制御によるせん断を行った。ここで、 D_r は、供試体作製時の初期相対密度である。

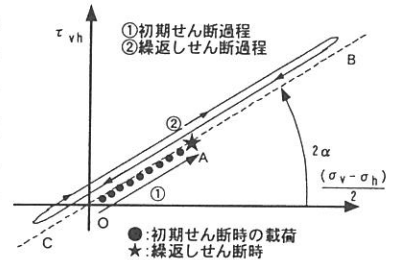


図-1 実験の応力図

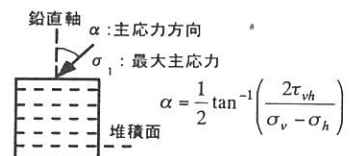


図-2 主応力方向と堆積面の定義

表-1 実験条件図

$\alpha=15^\circ$			$\alpha=45^\circ$			$\alpha=60^\circ$		
τ_s/p'_c	τ_r/p'_c	$D_r(\%)$	τ_s/p'_c	τ_r/p'_c	$D_r(\%)$	τ_s/p'_c	τ_r/p'_c	$D_r(\%)$
0.05	0.25	79.0	0.05	0.25	84.0	0.05	0.25	81.6
	0.30	82.5		0.30	83.8		0.30	82.2
	-	-		0.35	81.0		0.35	88.5
-	-	-	0.10	0.25	83.2	-	-	-
				0.30	83.9			
				0.35	83.9			
0.15	0.25	83.1	0.15	0.25	88.3	0.15	0.25	83.4
	0.30	83.0		0.30	81.6		0.30	83.2
	0.35	82.2		0.35	83.0		0.35	82.5
0.20	-	-	0.20	0.30	83.9	0.20	-	-
	-	-		0.30	83.2		-	-
	-	-		0.35	80.8		-	-

3. 実験結果及び考察

3-1 初期せん断力の影響 図-3 に主応力方向 $\alpha=45^\circ$ 、繰返しせん断応力 $\tau_r/p'_c=0.3$ の時の初期せん断応力 (a) $\tau_s/p'_c=0.0$ 、(b) $\tau_s/p'_c=0.05$ 、(c) $\tau_s/p'_c=0.15$ の有効応力経路を示す。また、同時に単調せん断試験の結果を示している。これらの図から、繰返し試験の有効応力経路に初期せん断応力の大きさの影響が表れていることがわかる。初期せん断力 $\tau_s/p'_c=0.05$ の結果と $\tau_s/p'_c=0.0$ の結果を比較すると、繰返しせん断に伴う有効応力の低下量が少なくなっている。これは、供試体が初期せん断を受けることにより硬化し、繰返しに対する抵抗が大きくなっていることを示している。このことは、単調せん断試験の有効応力経路における変相点に至るまでの軟化傾向の違いに表れており、 $\tau_s/p'_c=0.05$ は軟化傾向が小さく、せん断に伴って供試体が大きく膨張している。一方、 $\tau_s/p'_c=0.15$ の結果は、この傾向とは逆に、

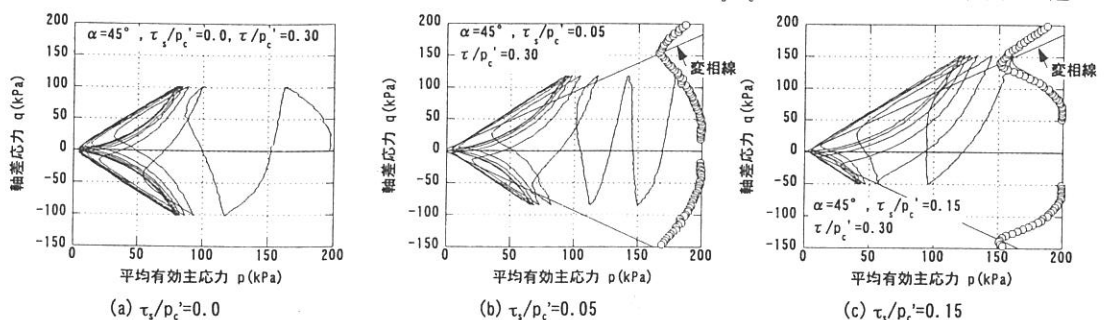


図-3 初期せん断を受けた砂の有効応力経路 ($\alpha=45^\circ$, $\tau_r/p'_c=0.3$)

単調せん断の結果に大きな軟化傾向が表れている。そのため、繰返しせん断に対する抵抗が小さくなり、せん断開始とともに有効応力経路は、大きな過剰間隙水圧の発生とともに変相線に達し、初期液化状態に至っている。したがって、初期せん断力が大きくなるに伴い、せん断前の応力状態が単調せん断試験から求められる変相線に供試体の応力状態が近づき、一旦硬化した供試体が軟化傾向を示し、繰返しに対する抵抗が小さくなること が分かる。次に、

図-4, 5 に主応力方向 $\alpha=45^\circ$ 、繰返しせん断応力 $\tau/p_c'=0.3$ の時の初期せん断応力比 τ_i/p_c' と繰返し回数 $N=5$ 回までにおける最大過剰間隙水圧比 $u/p_c'_{max}$ および最大せん断ひずみ γ_{max} の関係を示す。これらの図から、先に示した応力経路図で述べたように初期せん断応力の大きさによって過剰間隙水圧及びせん断ひずみの発生過程が異なっていることが確認できる。最大せん断ひずみ γ_{max} においては、初期せん断の増加に伴って、少ない繰返し回数で破壊ひずみである5%に達している。図-6に、 $\alpha=45^\circ$ 、

破壊ひずみ $\gamma_{max}=5\%$ における液化化強度曲線を示す。この結果においても、初期せん断の増加に伴って液化化強度が小さくなっていることが確認できる。

3-2 初期構造異方性の影響 図-7に同じ初期せん断力 $\tau_i/p_c'=0.15$ における $\alpha=45^\circ$ と 60° の有効応力図を示す。また、図-8, 9 にせん断中の主応力方向に着目して整理した繰返し回数 N における最大過剰間隙水圧比 $u/p_c'_{max}$ および最大せん断ひずみ γ_{max} の関係について $N=9$ 回までの結果を示す。ここで、繰返しせん断応力 $\tau/p_c'=0.3$ である。最初に供試体に載荷する主応力方向と供試体の堆積面とのなす角度の違いによって、繰返し回数に伴う過剰間隙水圧とせん断ひずみの発生量が異なっていることが分かる。特に、主応力方向 $\alpha=60^\circ$ では、 $N=1$ 回で液化化して破壊ひずみに至っている。これは、著者らの行った等方試験の結果と同じ傾向である。したがって、初期せん断が作用しても、初期構造異方性の影響は、繰返し荷重を受ける砂の非排水せん断特性に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

4. まとめ ①初期せん断を受ける砂の繰返しに対する抵抗は、その大きさと単調せん断から求まる変相線の傾きに大きく依存する事が示された。

②供試体に初期せん断が作用する場合においても、初期構造異方性の影響を受けることが確認された。

【参考文献】1) 佐藤研一、安原一哉、樋口徹、吉田信夫(1996): 密な砂の非排水繰返しせん断挙動に及ぼす主応力方向角の影響, 土木学会論文集, No.541/III-3.5, pp.199-213

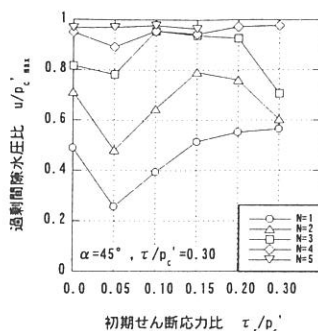


図-4 τ_i/p_c' と $u/p_c'_{max}$ の関係

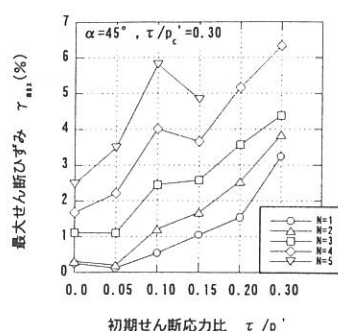


図-5 τ_i/p_c' と γ_{max} の関係

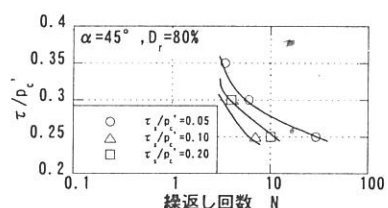


図-6 液化化強度曲線 ($\alpha=45^\circ$)

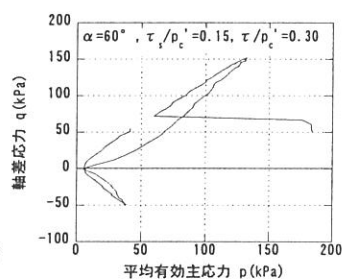
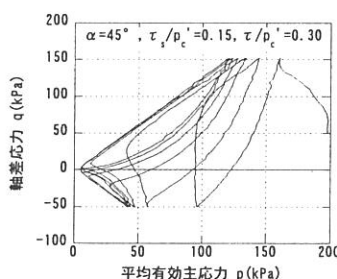


図-7 主応力方向の異なる有効応力経路図

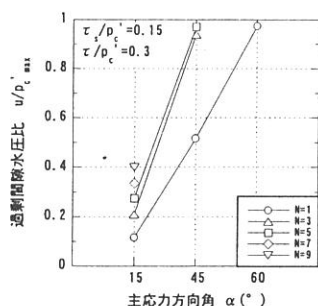


図-8 α と $u/p_c'_{max}$ の関係

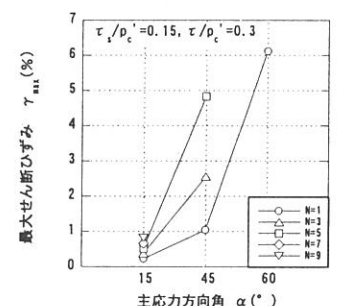


図-9 α と γ_{max} の関係