

緩い砂の三軸非排水せん断に及ぼす初期せん断力の影響

東京都立大学工学部土木工学科 正会員 吉嶺充俊
東京都立大学工学部土木工学科 西田 徹

1. はじめに

これまでの研究によって、砂の非排水せん断特性は最大主応力方向と中間主応力の大きさによって大きく異なることがわかっている。三軸圧縮・伸張せん断はいろいろな応力条件の両極端であり、三軸試験における非排水せん断特性もまた両極端であることに注意する必要がある。本研究では、異方圧密によって初期せん断力が存在する条件での緩い砂(相対密度約 $D_r \approx 30\%$)の非排水三軸せん断特性を調べた。

2. 三軸試験方法

豊浦標準砂を用いて乾燥堆積法により高さ 100mm、直径 50mm の供試体を作成した。その際、5層に分割して乾燥砂をモールド内に非常に緩く堆積させた後に各層ごとにモールドを打撃する事により、圧密後の間隙比がおよそ $e = 0.82$ となるように密度を調整した。供試体を水で飽和して $B > 0.96$ とした後、所定の応力条件で圧密した。初期せん断を加える場合には、まず目的の圧密条件の最小主応力で等方圧縮した後、すみやかに最大主応力を載荷して約 1 時間圧密した。単調非排水せん断試験の場合には圧密応力レベルを $p' = (\sigma_v' + 2\sigma_h')/3 = 100\text{kPa}$ とし、せん断速度はおよそ $d\varepsilon_v/dt = 1\%/min.$ である。また、繰返しせん断試験の場合には圧密応力レベルを $(\sigma_v' + \sigma_h')/2 = 200\text{kPa}$ とし、載荷周波数を 0.1Hz とした。

3. 単調非排水せん断試験結果

表1に試験条件リストを、図1に試験結果を示した。三軸圧縮せん断においては過剰間隙水圧の発生はほとんどなく非常に強固な挙動が見られたのに対して、三軸伸張せん断では大きな間隙水圧が発生してせん断抵抗が低下しており、せん断方向によって、上に述べたような著しい挙動の違いを生じている。これに比べると初期せん断力の影響は小さいが、初期せん断力が大きくなるほど、非排水せん断過程でのピークせん断抵抗や有効応力の極小値が大きくなる傾向がある。ただし、初期せん断荷重に対する極小せん断応力の割合 (brittleness) は初期せん断が大きくなるほど小さくなっているため、初期せん断によって非排水せん断抵抗が増加しているとは一概には言えないだろう。

4. 非排水繰返しせん断試験結果

表2に試験条件リストを、図2~4に試験結果を示した。これらの図には単調せん断試験での応力経路もあわせて点線でプロットしてある。この結果より、繰返しせん断過程で応力条件が単調せん断試験での応力経路に近づくと急激に過剰間隙水圧が上昇して有効応力が低下していることがわかる。紙面の都合で応力-ひずみ図は省略するが、この時点で不安定な大変形が生じ、流動破壊が発生している。この事実は Sladen のコラプス面理論に符合するものである。砂の異方性のために三軸圧縮側には流動破壊応力条件(コラプス面)が存在しない。従って圧縮側に初期せん断が作用する場合でも伸張側で破壊することになり、大きな応力振幅を必要とする。図5は繰返し応力振幅と液状化(流動破壊)に至る繰返し回数 N の関係である。三軸単調伸張時のピーク強度と同じピークを持つ繰返し加重を載荷したとき、伸張側から載荷を開始すれば $N = 0.25$ 、圧縮側から載荷を開始すれば $N = 0.75$ で破壊することになる。そこでその振幅に対して $N = 0.5$ と置き、図5に加えてある。この図より、伸張側に初期せん断があると液状化強度が著しく小さくなることがわかる。

5. まとめ

相対密度 30%程度の緩い砂の非排水三軸試験では三軸伸張側にだけ流動破壊の応力条件が存在するために、液状化強度は初期せん断の方向に大きく影響されることがわかった。

表1 非排水単調載荷試験一覧

Test No.	Void ratio e	Initial shear stress ratio $(\sigma_v - \sigma_h) / p'_{ini}$	Shear mode
38	0.826	0	TC
39	0.824	-0.2	TC
40	0.821	+0.2	TC
21	0.824	-0.3	TE
22	0.818	-0.6	TE
23	0.823	-0.2	TE
24	0.825	-0.45	TE
25	0.819	0	TE
36	0.827	+0.2	TE

表2 非排水繰返し載荷試験一覧

Test No.	Void ratio e	Initial shear stress ratio $(\sigma_v - \sigma_h) / p'_{ini}$	Cyclic stress ratio single amplitude $(\sigma_v - \sigma_h) / p'_{ini}$	Number of cyclic loading to failure, N
28	0.820	0	0.20	>2000
29	0.824	0	0.35	1.75
30	0.820	0	0.27	18.75
31	0.819	0	0.25	39.75
32	0.818	+0.2	0.35	36.75
33	0.818	-0.2	0.10	>2000
34	0.817	-0.2	0.165	31.25
35	0.819	-0.2	0.16	39.25
41	0.822	-0.2	0.185	7.25
42	0.819	+0.2	0.44	4.75
43	0.821	+0.2	0.34	44.75

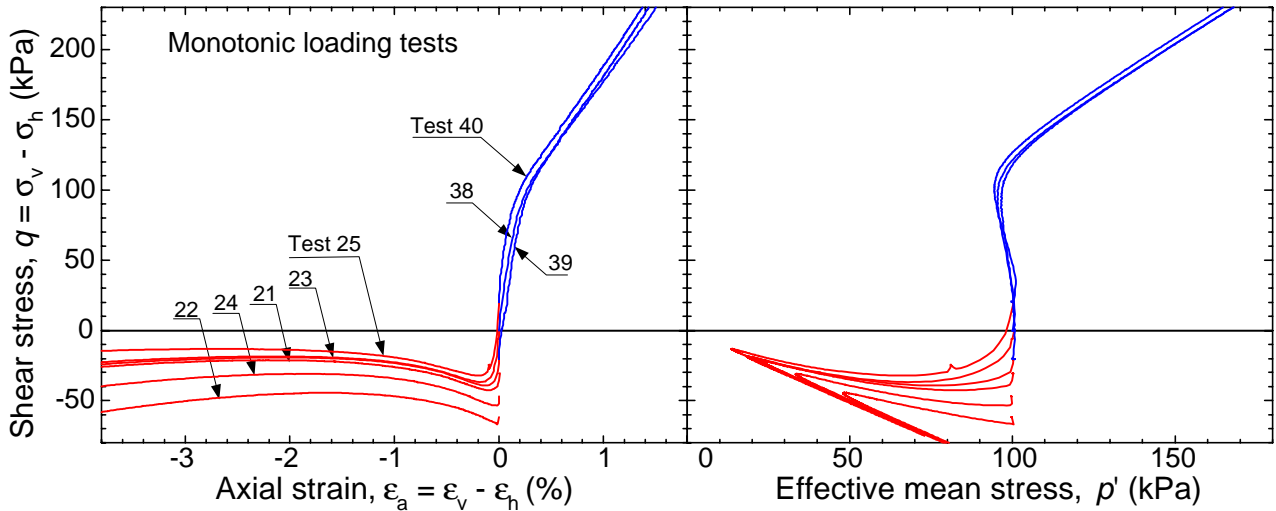


図1 非排水三軸単調せん断試験結果

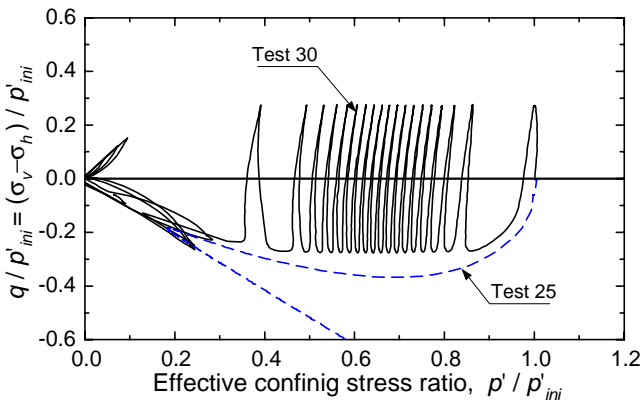


図2 初期せん断がない場合の非排水せん断

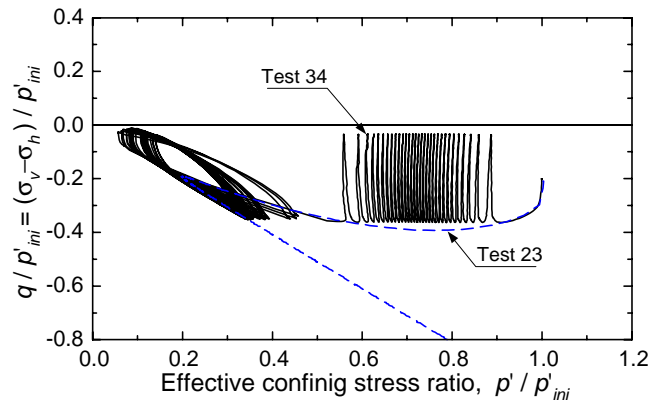


図3 初期応力比 $q_{ini} / p'_{ini} = -0.2$ での非排水せん断

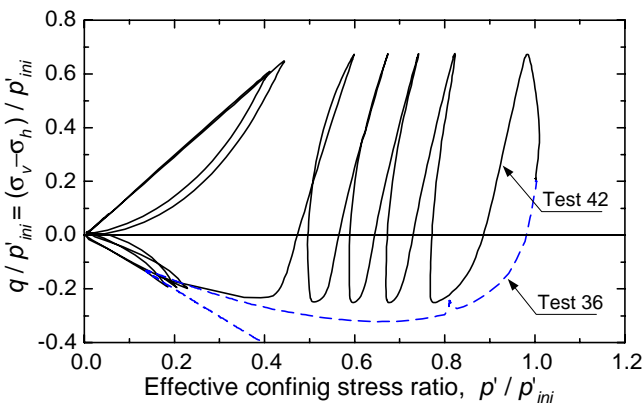


図4 初期応力比 $q_{ini} / p'_{ini} = +0.2$ での非排水せん断

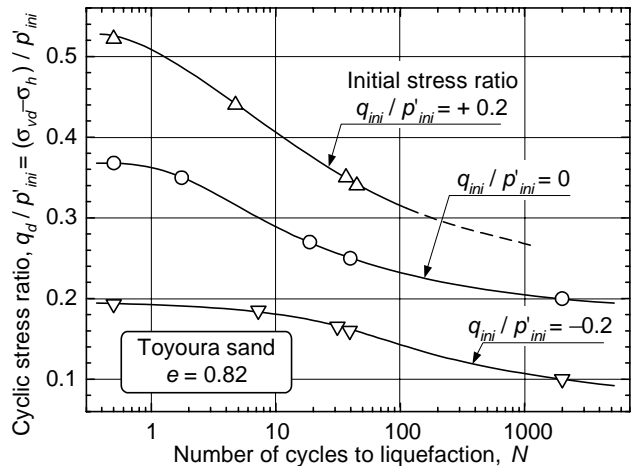


図5 液状化強度に関する初期せん断力の影響