

低粘着性を有する砂の繰返しせん断特性

福岡大学大学院 学生会員 椎名拓允
 福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 藤川拓朗

1.はじめに 砂地盤の液状化対策の一つとして地盤の粘着力を増加させる方法がある。この原理を利用して、砂に5%程度セメントと分離防止剤を混合させて港湾部埋立て材料として用いる事前混合処理工法^{1),2)}は良く知られている。そこで、本研究では、砂に数%の固化材(セメントや石膏など)を混合し、砂粒子間に緩やかな固結力(粘着力)を持たせ、砂の繰返しせん断挙動に及ぼす影響について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験に用いた試料 実験試料は、土質材料には、表-1 に示す豊浦硅砂を、固化材には、今回普通ポルトランドセメントを用いた。

2-2 供試体作製方法 固化材を添加していないC=0%供試体は、相対

密度 $D_r=60\%$ を目標にし、空中落下法を用いて作成した。一方、固化材を添加したものは、C=0%の $D_r=60\%$ における乾燥密度 $\rho_d=1.489\text{g/cm}^3$ を目標にし、密度管理による締固め法(タンピング法)により供試体を作成した。固化材添加率は、C=2%、3%で行った。ここで、添加率は豊浦硅砂の絶乾質量に対する内割り配合を意味している。また、調整含水比は共に10%に設定し、養生日数は3日間とした。

2-3 実験条件および方法 表-2 に実験条件

を示す。排水・非排水単調せん断試験は、共に軸ひずみが15%に達したところで実験終了とした。せん断速度は、0.17%/minである。一方、非排水繰返しせん断試験は、載荷速度0.1Hzの正弦波の応力制御により行い、両振幅軸ひずみDA=5%にて液状化強度の判定を行った。全ての条件において供試体の飽和度B値が0.96以上であることを確認して実験を行なっている。

3. 結果及び考察

3-1 排水・非排水単調せん断試験 図-1 に排水単調せん断試験より得られた強度定数を示している。また、図中には一軸圧縮試験より得られた $c=q_{\text{umax}}/2$ も示している。セメント添加率を増加させることにより、内部摩擦角 ϕ' 、粘着力 c' とともに増加していることがわかる。特に、セメント添加に伴う粘着力 c' の増加が大きいことがわかる。

図-2、3 に非排水単調せん断試験結果を示す。C=0%では、ひずみが一旦、軟化した後、硬化する緩い砂の挙動を示している。また、その軟化挙動は伸張側で顕著に見られることから、空中落下法による異方性が発達していることが分かる。これに対し、セメントを添加した場合、C=2%においては圧縮、伸張とも、一旦軟化傾向を示すものの、その後すぐに硬化挙動を示している。特にC=3%においては、試験開始時から硬化し続ける密な砂の挙動に類似した挙動を示している。また、供試体作製法の違いにより等方的なせん断挙動を示していることも分かる。この等方的な挙動は、図-1 に示した粘着力の増加からも分かるようにセメント添加に伴う粒子間の緩やかな固結力によって生じ、引張に対して抵抗力を持つことに起因していると考えられる。また、図中に示している変相線の傾きもセメント添加の増加に伴って大きくなっており、繰返しせん断時の強度増加が示唆される。

表-1 物理特性

試料名	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	最大間隙比	最小間隙比
豊浦硅砂	2.646	0.985	0.639

表-2 実験条件

試料	固化材	試験条件	添加率 (%)	含水比 (%)	目標密度 (g/cm^3)	Dr換算 (%)	拘束圧 (kPa)	養生 (日)
豊浦砂	普通ポルトランドセメント	非排水単調	圧縮	0	0	1.489	60	30 50 100
			伸張	0	0			
		排水単調	圧縮	2	10	1.489	60	
			伸張	2	10			
	非排水繰返し	-	-	0	0	1.489	60	100
				2	10			

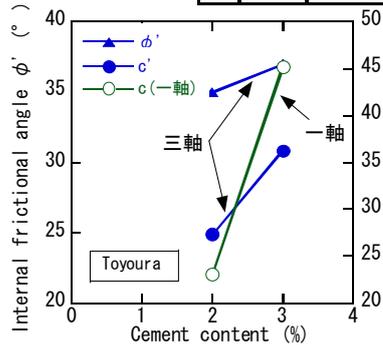


図-1 非排水単調せん断試験

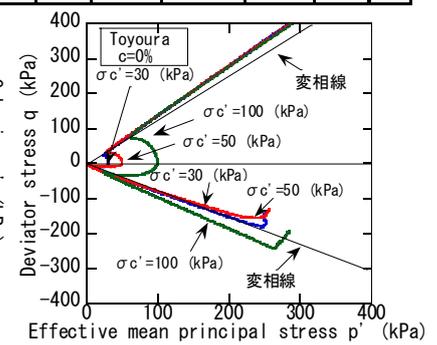


図-2 有効応力経路図(C=0%)

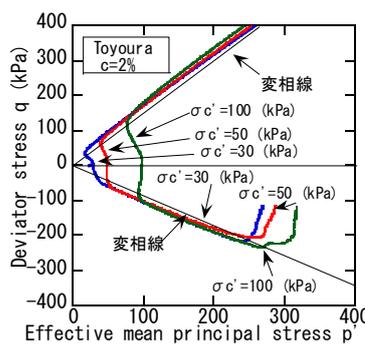


図-3 有効応力経路図(C=2%)

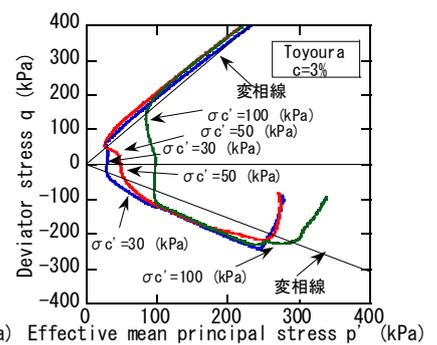


図-4 有効応力経路図(C=3%)

3-2 非排水繰返しせん断試験 図-5、6 に非排水

繰返しせん断試験結果を示す。C=0%の結果を見ると、一般的な中密な豊浦砂の繰返しせん断挙動を示し、繰返しせん断と共に有効応力が徐々に低下し、ストレスパスが変相線に達し、伸張側で一気に液状化に至っている。これに対し、緩やかな粘着力を与えた C=2%の結果は、いずれの繰返し応力比においても繰返し初期から膨張傾向を示し、繰返しと共にゆっくりと有効応力が低下している。これは、セメント添加に伴う固結力の発生に伴う砂粒子間の粘り強さがせん断挙動に表れた結果と言える。次に、図-7、8の繰返し回数と最大間隙水圧比 (u/p'_c)_{max} の関係を示している。C=0%では、せん断初期から、徐々に過剰間隙水圧が上昇し、いずれの繰返し応力比においても、過剰間隙水圧が 0.6 付近を越えたあたりから、急激に過剰間隙水圧が 1.0 に達し、液状化状態に至っている。これに対し、C=2%では、せん断初期

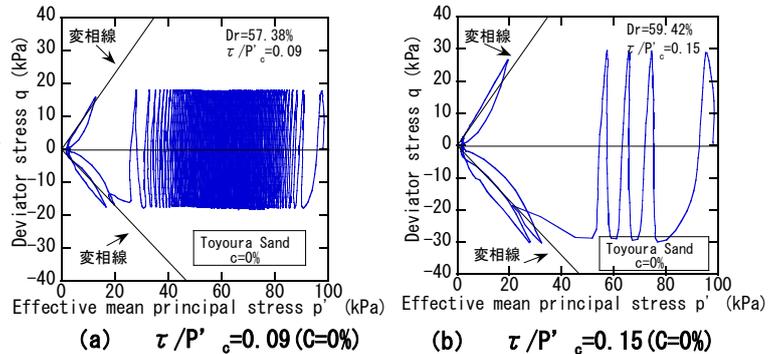


図-5 有効応力経路図 (C=0%)

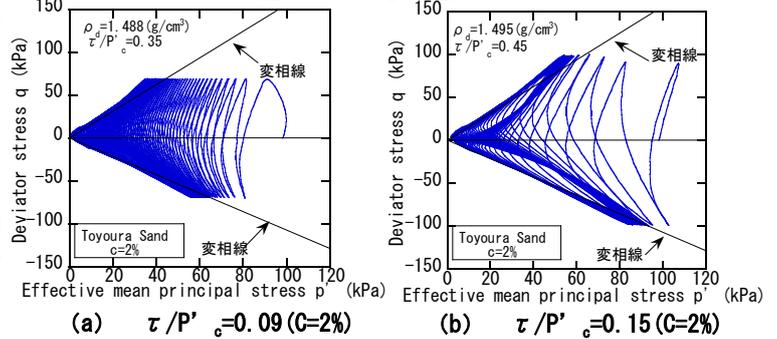


図-6 有効応力経路図 (C=2%)

から、液状化に至るまで終止ゆっくりと間隙水圧が上昇し、最終的に 1.0 に近づいていることがわかる。次に、図-9、10の繰返し回数と最大せん断ひずみの関係を示す。C=0%では、過剰間隙水圧の急激な発生と同時に液状化直前で大きなひずみが発生する一般的な砂の液状化挙動を示している。これに対して、C=2%では、せん断初期から、過剰間隙水圧の発生に伴って徐々にひずみが発生し、液状化に至っていることがわかる。これらの結果をもとに DA=5%に達した時点

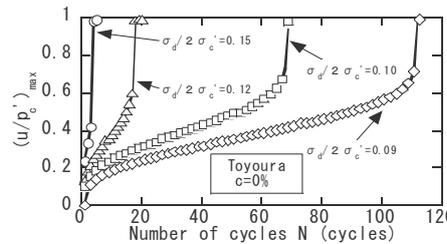


図-7 繰返し回数と最大間隙水圧比の関係 (C=0%)

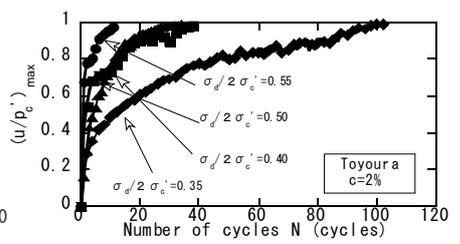


図-8 繰返し回数と最大間隙水圧比の関係 (C=2%)

の発生に伴って徐々にひずみが発生し、液状化に至っていることがわかる。これらの結果をもとに DA=5%に達した時点

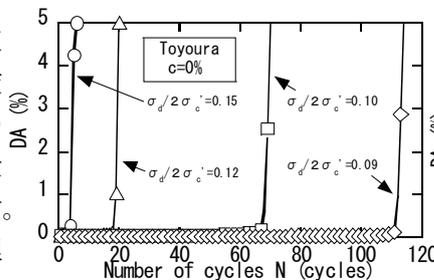


図-9 繰返し回数と最大せん断ひずみの関係 (C=0%)

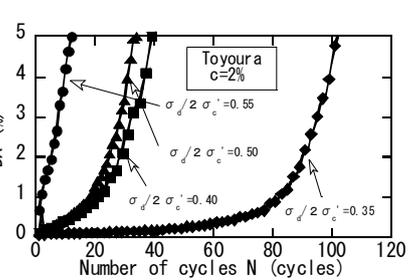


図-10 繰返し回数と最大せん断ひずみの関係 (C=2%)

また、同時に善ら⁴⁾が行った事前混合処理工法(セメント添加量 C=4%、材齢 28 日)の結果も示している。わずか 2%のセメント添加により同一密度の未改良の砂に比べ、液状化強度が大きくなっていることがわかる。また、液状化強度 N₂₀に着目してみると、C=2%において未改良の約 4 倍程度の強度増加を示している。また、事前混合処理工法の結果と比較しても、わずか養生 3 日で約半分の強度を示していることもわかる。

4. まとめ (1)低粘着性を有する砂の非排水単調せん断挙動は、わずか数%のセメント添加によって発生する固結力(粘着力)により、等方的かつ膨張傾向を示す密な砂のせん断特性を示す。(2)低粘着性を有する砂の非排水繰返しせん断挙動は、わずかな粘着力により、繰返しに対して粘り強い挙動を示した。また、C=2%において液状化抵抗が約 4 倍に増加することが確認された。今後は、他の固化材や引張補強材を用いて低い粘着性による液状化挙動について検討する予定である。

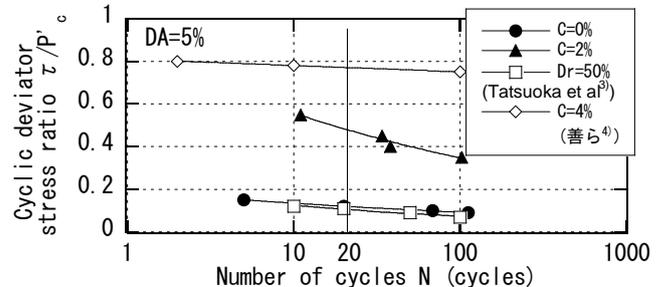


図-11 液状化強度曲線

参考文献 1)善功企：液状化対策としての事前混合処理工法の開発，土と基礎，Vol.38，No.6，pp.27-32，1990。2)善功企：事前混合処理土の動的強度・変形特性，第27回土質工学研究発表，pp.933-934，1992。3)Tatsuoka et al.:CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM, S&F, Vol. 26, No.3, pp.117-128, 1986。4)善功企：事前混合処理工法による埋立地盤対策，土と基礎，Vol.42，No.2，pp.37-42，1994。