

1. はじめに

盛土や埋戻し土などの締め固めた土の静的な強度特性、変形性、透水性などは、締固め含水比や締固めエネルギーによって異なる。また、砂の液状化強度は、同一密度の供試体でも、供試体の作成方法によって異なる。これらのことより、締め固めた砂の液状化強度は、密度以外に、締固め含水比や締固めエネルギーによっても変化することも考えられる。このような観点から、締め固めた砂の液状化強度に対する締固め含水比、締固めエネルギーの影響を調べるため、2種類の砂に対して、振動三軸試験機を用いて液状化試験を実施した。

2. 試験材料と試験内容

試験材料には2種類の砂(C材、D材と呼ぶ)を用いた。その物理的性質を表-1に、粒度分布を図-1に示す。締固め含水比は、C材では4種類、D材では3種類とした。締固めエネルギーは、C材、D材とも、 $5.6 \times 10^4 (=E_{25})$ と表示)、 $3.4 \times 10^4 (=E_{15})$ と表示) m.kgf/cm^2 の2種類とした。締固め含水比および締固めエネルギーの1つの組合せに対し、液状化試験と $\overline{CU}$ 試験を実施した。試験条件の一覧を表-2に示す。締固めエネルギーが E_{25} の供試体は、突固め試験JIS A 110のオI方法で突き固めたものであり、 E_{15} の供試体は、各層当りの突固め回数を15回としたものである。突固めにより作成した供試体は、直径5cm、高さ10cmに成形した。供試体は、 CO_2 を圧入した後、脱気水を1~3昼夜通水し飽和させた。また、 $2 \sim 4 \text{ kgf/cm}^2$ の背圧を作用させた。圧密圧は、すべて 1 kgf/cm^2 であり等方圧密である。B値は、95%以上になるように努めたが、C材のタイプC4、C8では、95%まで上がらないものがあり、最低で88%であった。試験に用いた振動三軸試験機は油圧サーボ式のものであり、セル内に設けたロードセルの出力に対しフィードバック機能を有している。液状化試験の繰返し振動数は0.1Hzとし、 $\overline{CU}$ 試験の載荷速度は 0.125 MPa/min とした。

3. 試験結果

図-2(a)、図-3(a)にタイプC1~C4の $\overline{CU}$ 試験、液状化試験の結果を、図-2(b)、図-3(b)にタイプD4~D6の $\overline{CU}$ 試験、液状化試験の結果を示す。また、図-4(a)、(b)に、C材およびD材に対する締固め含水比(w)と圧密後乾燥密度(ρ_d)、内部摩擦角(ϕ_0)、液状化強度(R_{60})の関係を示す。内部摩擦角(ϕ_0)は $\overline{CU}$ 試験における σ'_1/σ'_3 の最大値を用いて、 $\phi_0 = \sin^{-1}(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3})$ より求めたものである。また、液状化強度(R_{60})は、20回の繰返しで両振幅軸ひずみ5%を生じさせる時の繰返しせん断応力比(σ_d/p_{sc})を表わしている。

図-4において、締固めエネルギーの違いに着目すると、C材およびD材とも、締固めエネルギーが大きい E_{25} の場合の方が、 E_{15} の場合に比較して、 ϕ_0 、 R_{60} とも大きくなる傾向がある。ただし、C材のタイプC2とC6の関連においては、 ρ_d はC2の方が大きい、 ϕ_0 、 R_{60} ともほとんど変化していない。また、C材のタイプC1、C4、C7の ρ_d はかなり近い値であるが、それらの R_{60} は異なり、締固めエネルギーが小さいにもかかわらず、最適含水比付近で締め固めたC7の R_{60} が最も大きい。

表-1 材料の物理的性質

項目	C材	D材
土粒子の比重 G_s	2.635	2.625
平均粒径 D_{50} (mm)	0.15 ~0.18	0.32 ~0.33
均等係数 C_u	20	2.9~3.4
細粒分(75μm以下)含有率 (%)	11.2 ~16.2	5.0 ~7.2
最大乾燥密度 ρ_{dmax}	1.372	1.550
最小乾燥密度 ρ_{dmin}	1.015	1.209

* JSF T26-1981による

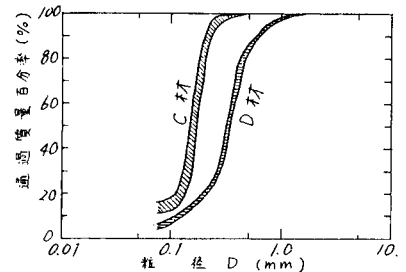
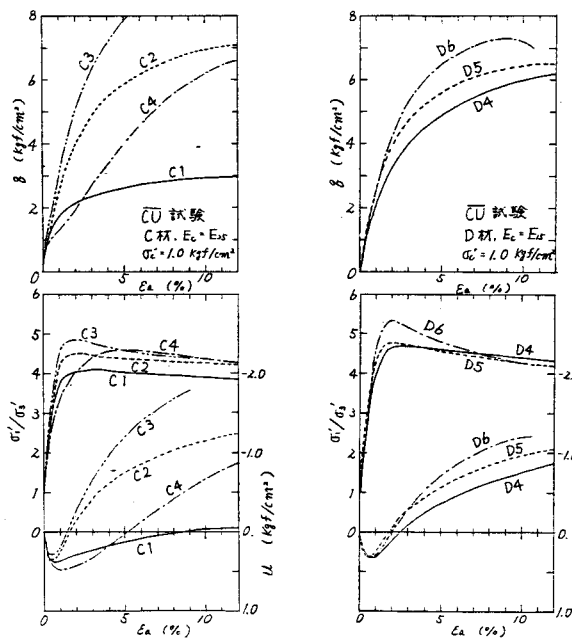


図-1 粒度分布

表-2 試験条件の一覧

タイプ	材料	締固めエネルギー $E_c (\text{m.kgf/cm}^2)$	締固め含水比 w (%)	圧密後乾燥密度 $\rho_d (\text{g/cm}^3)$	供試体数	液状化試験	$\overline{CU}$ 試験
C1	C材	5.6×10^4	10.6	1.462	3	1	
C2			16.1	1.512	2	1	
C3			20.1	1.575	3	1	
C4			26.1	1.471	3	1	
C5		3.4×10^4	11.0	1.363	3	1	
C6			15.5	1.428	5	1	
C7			20.7	1.480	4	1	
C8			26.6	1.456	3	1	
D1	D材	5.6×10^4	10.2	1.393	4	1	
D2			15.1	1.512	5	1	
D3			17.2	1.476	3	1	
D4		3.4×10^4	10.1	1.313	4	1	
D5			14.8	1.433	3	1	
D6			17.3	1.332	3	1	

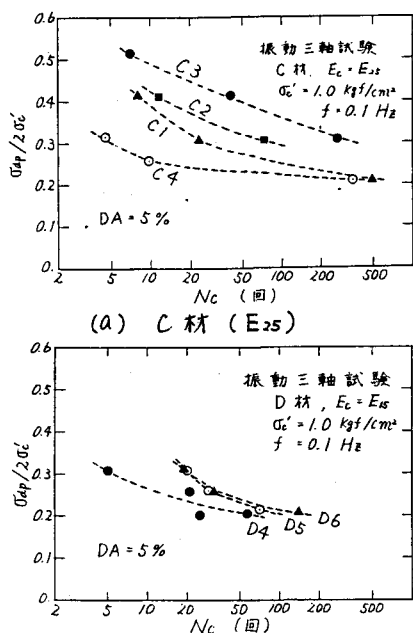
* ρ_d は平均値



(a) C材 (E25)

(b) D材 (E15)

図-2 CU試験の結果

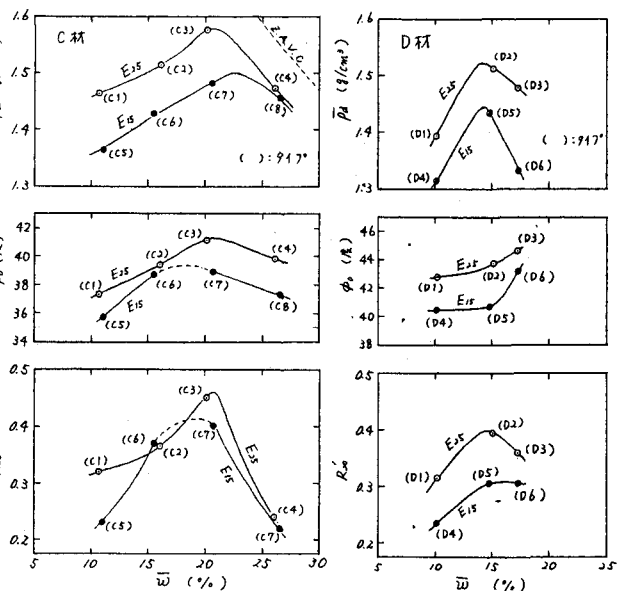


(a) C材 (E25)

(b) D材 (E15)

図-3 液状化試験の結果

また、図-4において、締め固め含水比の違いに着目すると、乾燥密度が最も大きくなる最適含水比付近で締め固めた供試体が、材料および締め固めエネルギーにかかわらず、同一の締め固めエネルギーによる場合には、最も大きな R_{50} を示すように思われる。今回の試験では、締め固め含水比($\bar{w}$)と圧密後乾燥密度($\bar{\rho}_d$)の関係を示す曲線と、締め固め含水比($\bar{w}$)と液状化強度(R_{50})の関係を示す曲線は、相似形とは言えず、密度以外に、締め固め含水比によっても液状化強度が変化することを示していると思われる。特に、C材の湿潤側で締め固めたタイプC4、C8は、密度の変化に比べて液状化強度の低下が著しい。図-2(a)に示すタイプC4のCU試験の結果では、軸ひずみが1~3%付近においてC1~C3よりも大きな正の間隙米圧が測定されており、これがC4の液状化強度の低下に結びついていると思われる。



(a) C材

(b) D材

図-4 $\bar{w} \sim \bar{\rho}_d, \phi, R_{50}$ の関係

4. おわりに

今回の試験より、締め固めた砂の液状化強度は、密度以外に、締め固め含水比や締め固めエネルギーによっても影響されることがわかった。したがって、締め固めた砂の液状化強度を求める試験では、密度以外に、締め固め含水比や締め固めエネルギーにも十分配慮する必要がある。