

1. まえがき

砂の静的液状化は飽和されたゆるい砂がせん断力を受け、液体のように流れる状態である。この時の状態を定常状態 (steady-state) と言う。著者らは非常にゆるい砂の供試体を作成することに成功し、非排水試験から steady-state line の低圧部を求め、砂の変形特性を調べたので報告する。

2. 試料

試料は福井県三国海岸で採取した海砂で、2mm ふるい通過分を使用した。粒度分布及び物理的性質を Fig. 1、Table 1 に示す。粒形は球状または半球状で偏平なものではなく貝殻などもほとんど含まれていなかった。

3. 供試体の作成方法

CU 試験に使用する非常にゆるい供試体を得るために、含水比 10% の試料をモールドの中へスプーン約 1 杯ずつ入れ、均等につき固める。CO₂ を 1 時間通過させ、その後上部排水口からコンバムにより 0.05kgf/cm² の負圧をかける。そしてビューレットから脱気水を 1 分間に 10cm³ となるように徐々に注入する。このときコンバムからの負圧はかけたままで、脱気水が上部排水口から出始めたら下部排水口を止め負圧 0.05kgf/cm² を確認した後、モールドを外し、寸法を計る。直径は 9 カ所計り平均を取った。CD 試験での供試体は相対密度 20%、50%、90% の 3 種類とし、乾燥砂を用い作成した。

4. 試験方法

ひずみ速度 1%/min で、CD 試験では軸圧縮量が 0.5mm ごとに主応力差と体積変化量を読みとり、ひずみは 15%、CU 試験では軸圧縮量が 0.5mm ごとに主応力差と間隙水圧を読みとり、ひずみは 30% とした。

Table 1 Index Properties

G _s	2.735
D ₁₀ (mm)	0.15
D ₃₀ (mm)	0.23
D ₆₀ (mm)	0.35
U _c	2.33
U _c *	1.01
e _{max}	1.059
e _{min}	0.636

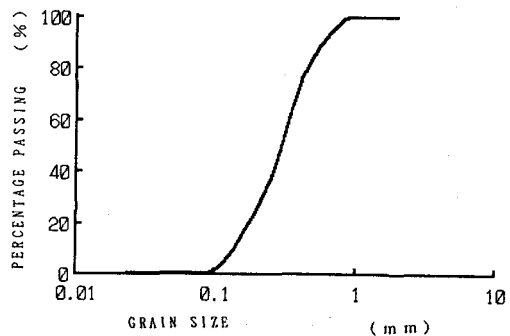


Fig. 1

5. 試験結果及び考察

5.1 steady state line

CD 試験から steady-state line を求めるために、A. Casagrande が定義した限界間隙比及びその時の側圧 (限界側圧) を用いた。初期状態が同じ供試体について主応力差-圧縮ひずみの関係より破壊時の圧縮ひずみを求め、さらにこのときの体積ひずみを求める。これを 4 種類の側圧について行い、側圧-体積ひずみのグラフで一次式に近似し、体積ひずみがゼロの時の側圧を求める。これが限界側圧であり、このときの間隙比が限界間隙比である。この限界間隙比と限界側圧をゆるい状態 ($D_r = 20\%$) 中詰め状態 ($D_r = 50\%$) しまった状態 ($D_r = 90\%$) について求め、図示したものが Fig. 2 の実線で示す steady-state line である。CU 試験結果を Table 2 に示し、Fig. 3 には圧縮ひずみとせん断力、Fig. 4 には応力経路を示した。せん断応力は小さなひずみでピークに達しその後ひずみ約 15% でせん断力一定となり、この時点で Fig. 4 の応力経路も一定となったことから steady-state と考えられる。また、側圧 0.5kgf/cm² では軸ひずみ 7% で供試体が座屈し、このときの間隙水圧は側圧と同じ 0.5kgf/cm² であった。

これは、間隙水圧が側圧と同じ値まで増加した時点で側方拘束圧がキャンセルされ、quick sandが発生したものと考えられる。Fig. 2 の○印はCU試験に用いた供試体の初期状態の間隙比であり、steady-state になったときの間隙比と有効側圧 (σ') をプロットしたものが●印である。このプロットは明らかにCD試験から求めたsteady-state line の低圧部につながるものである。ここで有効側圧とは間隙水圧を考慮し $\sigma' = \sigma_3 - \Delta u$ で表される。

5.2 液状化ポテンシャル (L_p)

L_p はA. Casagrande が定義した次式から求める。

$$L_p = \frac{\sigma_{3c} - \sigma_{3f}}{\sigma_{3f}} \quad \text{-----} \quad (1)$$

ここに σ_{3c} : 圧密曲線上の側圧

σ_{3f} : σ_{3c} と同じ間隙比でのS.S.L. 上の限界側圧

式 (1) を間隙水圧を考慮した式に書換えると $\sigma_{3f} = \sigma_{3c} - \Delta u$ であるから、

$$L_p = \frac{\Delta u}{\sigma_{3c} - \Delta u} \quad \text{-----} \quad (1)'$$

となる。この式からもとめた L_p の値をTable 2 に示した。ここで液状化を起こしているのは①～⑤で、とくに⑤での L_p は液状化を起こしているなかで最小値8.1となった。⑥～⑧は側圧を1.0kgf/cm²とし、間隙比を小さくしていったもので、ここでは間隙水圧がピーク後減少したため、最大値をもって L_p を計算した。これより L_p は間隙比の大小に依存することがわかる。

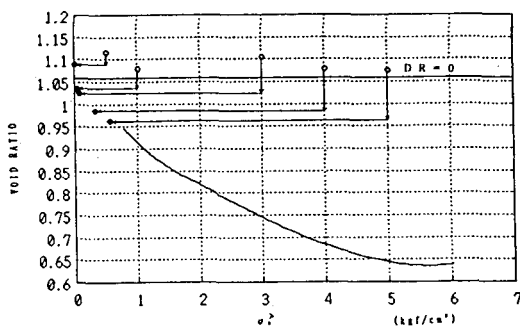


Fig. 2

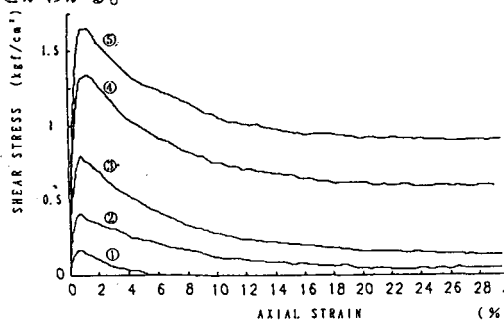


Fig. 3

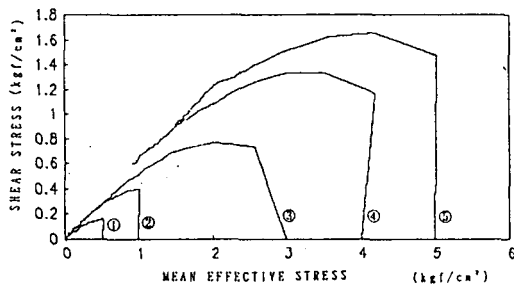


Fig. 4

Table 2 Test Results of the CU-Triaxial Test

	σ_3 kgf/cm ²	Δu kgf/cm ²	$\sigma_3 - \Delta u$ kgf/cm ²	e_0	e_c	L_p
①	0.5	0.5	0	1.116	1.089	∞
②	1.0	0.97	0.03	1.078	1.036	32
③	3.0	2.93	0.07	1.104	1.025	42
④	4.0	3.69	0.31	1.079	0.985	11.9
⑤	5.0	4.45	0.55	1.075	0.964	8.1
⑥	1.0	0.80	0.20	1.007	0.979	4
⑦	1.0	0.38	0.62	0.988	0.957	0.6
⑧	1.0	0.35	0.65	0.984	0.956	0.35

6) 結論

- 1) 相対密度が負になるような極めてゆるい供試体では静的载荷でもせん断力、有効応力ともにゼロになり、quick sand が発生した。
- 2) 非常にゆるい供試体のCU試験により、CD試験では求められなかった低圧部でのsteady-state line を求めることができた。
- 3) CU試験から液状化する L_p の値を求めると $L_p \geq 8$ という結果が得られた。

(参考文献) A. Casagrande : "Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fills", Boston Society of Civil Engineers, pp257-276 (1936)