

建設省土木研究所 正員 ○ 鷺田 修 三
 同 正員 谷 口 栄 一
 同 森 下 義

1. まえがき

一般に人工的に構築される土構造物は密に締固められており、静的せん断応力が作用している。そのような状態の土構造物に地震のような繰返し荷重が作用したときの挙動を調べるために、初期せん断応力が作用している時の密な砂の液状化特性について繰返し三軸試験を行、たので報告する。

表-1 浅間山砂の物理特性

最大粒径 D_{max}	2.0 mm
平均粒径 D_{50}	0.26 mm
均等係数 U_c	1.75
最大開けき比 e_{max}	1.000
最小開けき比 e_{min}	0.658
比重 G_s	2.712

2. 試験方法

本試験では油圧サーボ型の繰返し三軸試験機を用いた。試験に用いた試料は浅間山砂で、その物理特性を表-1に示す。この試料を空気乾燥させ(含水比1.3%)、全体を5層に分けて空気中で突き棒で締固め、供試体に下部から炭酸ガスを通し、次に脱気水を通水して、供試体を飽和させるようにした。供試体の寸法は、直径50 mm X 高さ100 mmで相対密度が80%になるようにし、まず表-2に示すような拘束圧で約1時間圧密を行い、その後、荷重制御で0.1 Hzの繰返し軸荷重を与えた。

3. 試験結果

浅間山砂による繰返し三軸試験の結果得られた繰返しせん断応力比 q_d/p'_0 と永久せん断ひずみ γ の関係を図-1に示す。永久せん断ひずみとしては、図-2の測定例に示すようにせん断ひずみの最大値をとっている。図-1の曲線は3種類の初期せん断応力に対応するデータ全てを用いて

表-2 初期拘束圧

CASE	σ'_{10} (kgf/cm ²)	σ'_{30} (kgf/cm ²)	q_0/p'_0
1	0.500	0.5	0
2	0.654	0.5	0.133
3	0.864	0.5	0.267
4	1.000	0.5	0.333

最小自乗法により次式に回帰させたものである。

$$\frac{q_d}{p'_0} = \frac{\gamma}{a + b\gamma} \quad (1)$$

ここに、 $q_d = \sigma_{1d}/2$, a, b : 定数

図-1より、 γ が5%まではほぼ式(1)の曲線によって近似できる $p'_0 = \frac{\sigma'_{10} + \sigma'_{30}}{2}$, $q_0 = \frac{\sigma'_{10} - \sigma'_{30}}{2}$ が、 γ が5%以上になると式(1)の曲線からのずれが大きくなっていることがわかる。この図から γ が5%以下のせん断ひずみに達するのに必要な繰返しせん断応力比は今回の試験の範囲では初期せん断応力比にほとんど影響されず、それ以上になると初期せん断応力比が大きいかほど、せん断ひずみが進行しにくいことがわかる。

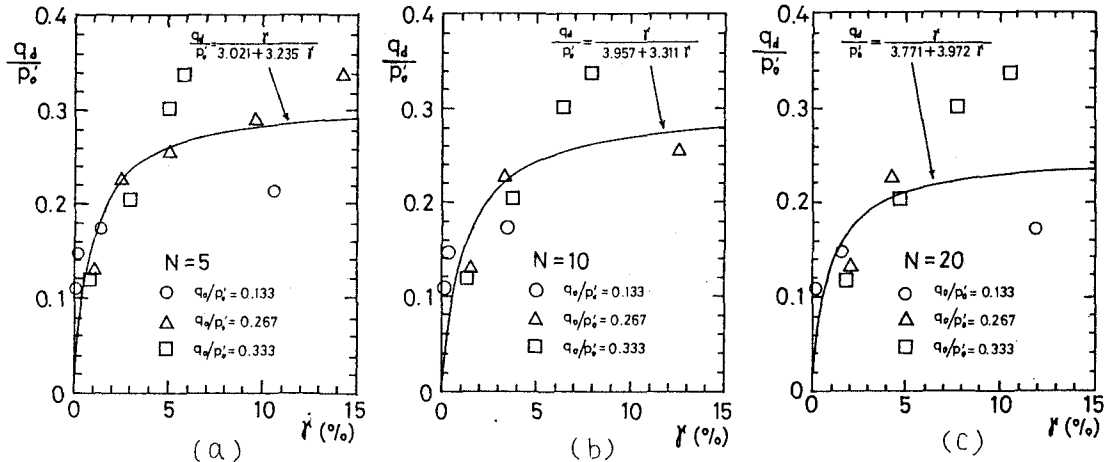


図-1 繰返しせん断応力比と永久せん断ひずみ

また図-1には示していないが、初期せん断能力がない場合は、繰返しせん断能力比 q_0/p'_0 が 0.10 ~ 0.13 という低いレベルで $N \leq 20$ のときにはほとんどせん断ひずみが増大せず、それ以後になって急にせん断ひずみが増大しはじめるという傾向がみられた。

図-3は $q_0/p'_0 = 0.133$ の場合の繰返し応力比と、 $r = 2\%$ 、 $r = 5\%$ 、 $u/\sigma'_{30} = 1$ になる繰返し回数との関係の一例を示したものである。図-3より、 $N = 20$ のときに、一定の条件 ($r = 2\%$ 、 $r = 5\%$ 、 $u/\sigma'_{30} = 1$) に達する繰返し応力 σ_{1d20} を求めて液状化抵抗率 F_L を次のように定義した。

$$F_L = \frac{\sigma_{1d20}}{\sigma_{1d}} \quad (2)$$

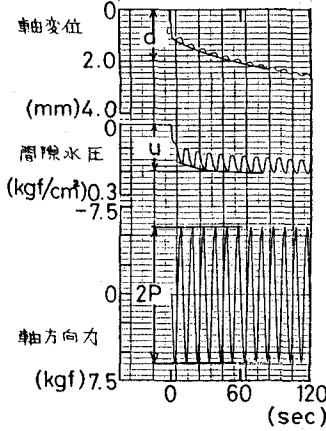
図-4は、間隙水圧比と液状化抵抗率 F_L (σ_{1d20} : $N = 20$ のとき $u/\sigma'_{30} = 1$ となる σ_{1d}) の関係を表わしている。図中の線は他の参考文献のものを引用したものであり、本試験の初期せん断能力のないときのデータは他の参考文献のものと類似している。図-4より同一の間隙水圧比が発生していても初期せん断能力がある場合は、初期せん断能力がない場合に比べて F_L が大きいことがわかる。また初期せん断能力がない場合に、 F_L が 1 ~ 1.2 の間で少し変動すると間隙水圧比が 0.3 ~ 1 まで大きく変動する結果になっている。なお、 $N = 20$ で $r = 5\%$ に達するときの σ_{1d} を σ_{1d20} とした場合の F_L と u/σ'_{30} の関係は図-4とほぼ同じであった。

図-5は横軸に初期せん断能力比 $(\sigma'_{10} - \sigma'_{30})/2\sigma'_{30}$ 、縦軸に $N = 20$ で一定の条件 ($r = 2\%$ 、 $r = 5\%$ 、 $u/\sigma'_{30} = 1$) に達する繰返し応力比の初期せん断能力がない場合の繰返し応力比に対する比率を表わしたものである。この図より初期せん断能力比が大きいほど繰返し応力比の比率が大きくなっている。 $(\sigma'_{10} - \sigma'_{30})/2\sigma'_{30}$ が 0.4 ~ 0.5 のときには、 $u/\sigma'_{30} = 1$ に達する応力比の比率は約 2.7倍になっている。このことから、密な砂では初期せん断能力比が大きいほど、液状化に対する抵抗率が大きいということがわかる。

4. まとめ

密な砂(浅間山砂)の繰返し三軸試験を行、た結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 初期せん断能力がある場合の繰返し応力比と永久せん断ひずみの関係は、永久せん断ひずみが5%以下の場合には式(1)によ、て近似することができ、
- 2) 初期せん断能力が大きいほど、液状化に対する抵抗率が大きくなる。



$r = 1.5 \frac{d}{H}$
 r : 永久せん断ひずみ
 d : 軸変位
 H : 供試体の高さ

$\sigma_{1d} = \frac{P}{A}$
 σ_{1d} : 繰返し軸方向応力
 P : 繰返し軸方向力
 A : 供試体断面積

図-2 r , σ_{1d} の定義

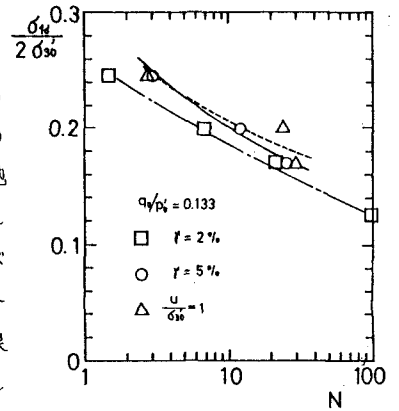


図-3 繰返し応力比と繰返し回数

図-4は横軸に初期せん断能力比 $(\sigma'_{10} - \sigma'_{30})/2\sigma'_{30}$ 、縦軸に $N = 20$ で一定の条件 ($r = 2\%$ 、 $r = 5\%$ 、 $u/\sigma'_{30} = 1$) に達する繰返し応力比の初期せん断能力がない場合の繰返し応力比に対する比率を表わしたものである。この図より初期せん断能力比が大きいほど繰返し応力比の比率が大きくなっている。 $(\sigma'_{10} - \sigma'_{30})/2\sigma'_{30}$ が 0.4 ~ 0.5 のときには、 $u/\sigma'_{30} = 1$ に達する応力比の比率は約 2.7倍になっている。このことから、密な砂では初期せん断能力比が大きいほど、液状化に対する抵抗率が大きいということがわかる。

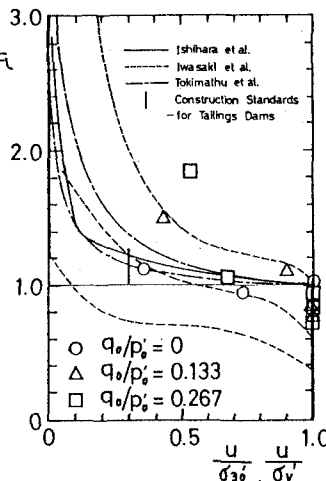


図-4 液状化抵抗率と間隙水圧比

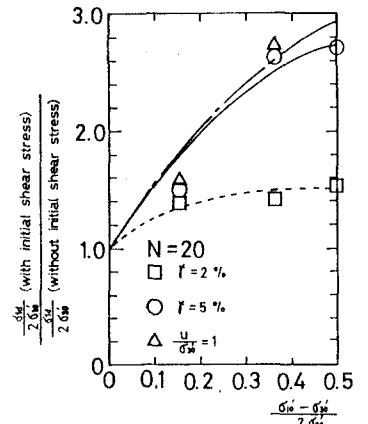


図-5 繰返し応力比の比率と初期せん断能力