

京大・防災研究所 正員 柴田 徹
西松建設 正員 三好 学
京大・大学院 学生員 長谷川 元信

飽和砂の液状化に関する既報の成果に引続き、今回は相対密度を広範囲に拡張したときの諸特性、粒径・粒形の影響ならびに繰り返しせん断応力の大きさを、載荷途中で任意に変えた場合の挙動等について実験を行なった。その中から若干の結果を概要として述べる。

1. 実験方法、試料

急速の繰り返しに対しては振動三軸試験機¹⁾を、また緩速の繰り返しに対してはNGI型単純せん断試験機を用いた。いずれも非排水状態での試験であり、三軸試験では平均主応力 σ_m 一定の繰り返しせん断（圧縮と伸張）を行なった。急速繰り返しの場合は 1 Hz である。供試体はゆるぎりの状態とするために、凍結して成型したものを三軸セル内にセットしたのちに融解・圧密したものである。なお飽和度を高めるために back pressure を作用させている。試料は豊浦標準砂が主であるが、特殊な目的のために粒度調整した砂試料あるいはガラス・ビーズを用いた。

2. 応力振中が一定の場合の挙動

平均主応力 σ_m を一定にして、せん断応力 τ を繰り返し載荷すると、非排水状態では過剰間げき水圧 Δu が累加されていく。その様子は例を 図-1 の $\Delta u \sim$ 繰り返し回数関係に示すようになって、 Δu がある値（ここでは初期液状化とよび、図-1 の例で 0.5 kg/cm²）に達するまではほぼ直線的に増加するが、それを越えると Δu の増分が大きくなり、やがて完全液状化となる。図-1 には3種類の τ/σ_m について調べた例が描いてあり、繰り返し回数に対する間げき水圧の増分 Δu は、 τ/σ_m が大きいほど大きくなる。それらの関係は既に報告した¹⁾ように、

$$(\Delta u/\tau) = a \{ (\tau/\sigma)_c - (\tau/\sigma) \}$$
 なる式で表現することができる（図-2 参照）。ただし a 、 $(\tau/\sigma)_c$ はいずれも土の種数、密度等によって定まる係数である。

つぎに有効応力の観点から、繰り返しせん断中の砂の挙動を調べてみる。図-3 は単純せん断試験機による緩速の等体積繰り返し試験結果を、 $\tau \sim \sigma'$ 図上に描いた有効応力軌跡である。繰り返し回数とともに鉛直有効応力 σ' は減少していくが、途中でベクトル・カーブに反転がみられるようになり（図中の矢印）、それ以後は内部摩擦角 ϕ' に近い傾斜をもつようになる。ベクトル・カーブにみられる反転現象は、谷本ら²⁾のいふ飛び出し現象とも関連して

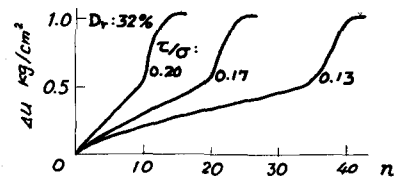


図-1. 間げき水圧と繰り返し回数

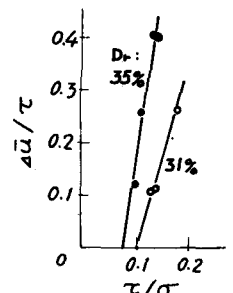


図-2. 間げき水圧の増分と応力比

いるが、図-3中の実線で示すように、最初に反転が現われる実と原実を結んだ直線の傾斜はこの砂の粒子間摩擦角に近似した値がえられた。

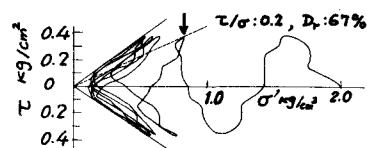


図-3. 単純せん断による繰返し繰返し。

図-4は振動三軸試験機による急速繰返し試験によってえられたペフトル・カークの例であって、図中の一実線と描いた直線が上述の反転現象のみられる実であり、その傾斜角はやはりこの砂の粒子間摩擦角に近い値がえられた（ガラス・ビーズを用いた実験、Seedらの結果からこのことがいえる）。なお図中の実線は、間接水圧が繰返し回数に対して急増しはじめる初期液状化を示すものであるが、繰返し繰返しの場合には、単純せん断でも三軸試験でも明瞭な初期液状化と判定される現象はみられなかった。このように急速繰返しの場合のみ初期液状化とよぶ現象がみられることは、今後検討の余地がある。

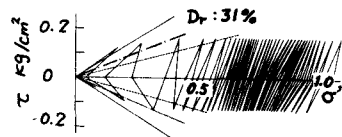


図-4. 振動三軸による急速繰返し。

さて液状化を生じる繰返し回数も10回とか30回とかに指定した場合、従来の便宜的に τ/σ が相対密度 D_r に対して直線的に増加すると仮定されていた。今回の凍結試料を用いた実験によって、広範囲の D_r を対象とすることができたのでその関係を調べてみると、図-5に示すように $\tau/\sigma \sim D_r$ 関係はやはり原実を通る直線で代表させてもよさそうである。

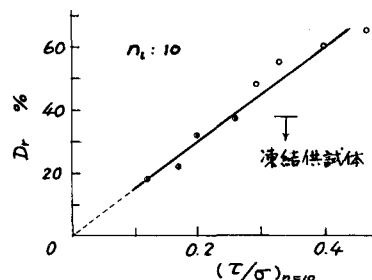


図-5. 液状化回数10に対する τ/σ と相対密度。

3. 応力振中が任意に変化した場合の挙動

従来の行なわれている液状化実験は、すべて応力振中の与え方が規則波形であるが、実地震は不規則である。そこで不規則波形に対する液状化の手掛りをうるために、 σ_m は一定に保ち、繰返しせん断応力、大きさを任意に変える実験を行なった。例えば図-6(a)に示すようにせん断応力 τ も与えたと同時に発生する過剰間接水圧は図-6(b)のようになる。このような数種類の試験を行なった結果、このレベルが

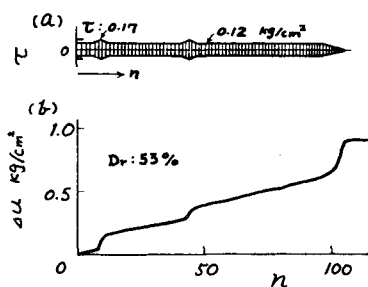


図-6 (a) 繰返し応力と回数
(b) 間接水圧と回数。

上がった瞬間に Δu も上昇するが、 τ を元のレベルまで下げると、 $\Delta u \sim n$ 関係線の傾斜は元の傾斜にはほぼ等しくなることが判明した。このことから興味ある推論が可能であるが、任意波形に対する検討結果と合わせ、粒径・粒形の影響をも含めて講演会で報告する。

参考文献:

- 1) 例えば 柴田、行友; 飽和砂の繰返し載荷による液状化現象の研究, 土木学会論文報告集, 180号, 1970, p. 73.
- 2) 例えば 谷本、西; 砂の流動化における繰返し応力, 砂のふるまひ, vol. 19, No. 4, p. 19.