

III-78 初期にせん断力を受けた砂の液状化

東京大学工学部 正員 石原 研而
 東京大学大学院 学生員 ○安田 進

まえがき

従来、液状化に関する研究は水平地盤を対象にして行なわれてきた。しかし十勝沖地震等で生じた盛土の崩壊といった斜面の問題や、水平地盤でも構造物の基盤の問題、といった事を考える時、複雑な初期応力条件の下での研究が必要となってくる。その為、今回は中空三軸ゆとりせん断装置を用い、種々の応力条件、側方変位条件で実験を行なってみた。今、地盤内の要素の水平面に初期にせん断力 τ_i が作用していて、地震時にはさらに水平な繰返しせん断力 τ_d が生じると仮定すると、図1のような応力状態で実験を行えば再現出来る事になる。

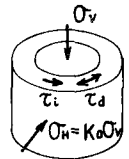


図 1

実験方法

実験は次の各々の条件を組みあわせて行なった。

- 圧密条件 --- $K_0 = 1.0, 0.75, 0.5$
- 初期せん断条件 --- $\tau_i / \sigma_v = 0, 0.1, 0.25$
- 側方変位条件 --- 拘束, 自由

試料は富士川砂 ($D_{50} = 0.4 \text{ mm}$, $U_c = 3.16$, $e_{\max} = 1.03$, $e_{\min} = 0.48$) を用いた。供試体寸法は外径10 cm、内径6 cm、高さ7.5 cm の中空円筒である。圧密荷重は垂直圧 σ_v はすべて 1.0 kg/cm^2 とし、側圧 σ_h を K_0 の値に応じて加えた。圧密終了後、排水状態で初期のせん断力 τ_i を与え、落ち着いてから(15分程度)非排水状態で正弦波形の繰返しせん断力 τ_d を加えた。この時にセル内に水(あらかじめ脱気してある)の出入りを許さないと側方拘束条件、出入りを許すと側方自由条件となる。なお実験はすべて $D_r \approx 55\%$ の密度で行なった。またバックプレッシャーはかけていない。

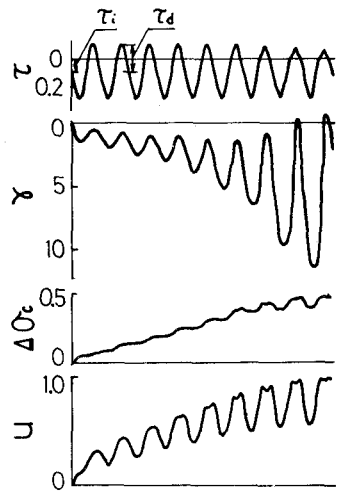


図 2. $K_0 = 0.5$, $\tau_i = 0.1$, 側方拘束

実験結果

実験条件の違いによって、次の3通りの破壊が生じた。

(破壊I): 図2に示した様に、繰返すにつれて間ゲキ水圧が上昇してゆき、その値がセル圧にほぼ等しくなったあたりでせん断ひずみ振幅が急増して、液状化を生じる破壊である。異方圧密で側方拘束の条件下では、図2に見られるようにセル圧も上昇してゆく。この値 $\Delta \sigma_v$ は、軸ひずみ $\epsilon_a = 0$ と仮定すると体積一定の条件の下に、 $\Delta \sigma_v = (1 - K_0) U$ という式で表わされる。図2の実験結果でも、間ゲキ水圧の上昇につれてセル圧はほぼこの値で上昇している事が見うけられた。

単位: $\tau, \Delta \sigma_v, U$ --- kg/cm^2 , γ, ϵ_a --- %

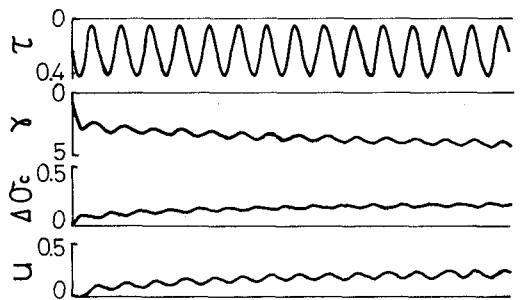


図 3. $K_0 = 0.5$, $\tau_i = 0.25$, 側方拘束

破壊Ⅱ：図3に示した様に、初期にせん断力を加えた方向へのせん断ひずみが大きくなってゆく破壊である。今回の実験では、完全に片振れの繰り返しせん断力を加えた時にこの現象が生じた。間ゲキ水圧の発生量は少ないといえども σ_v' は減少しているので、初期せん断力の影響で τ_i/σ_v' が大きくなって破壊が生じたと考えられる。

破壊Ⅲ：図4に示した様に、軸ひずみ ϵ_a が増大してゆく破壊である。この場合も間ゲキ水圧はあまり発生しないが、 $q/p' = 3(\sigma_v - \sigma_h) / (\sigma_v + 2\sigma_h - 3\sigma_u)$ の値が増大して軸方向に破壊したと考えられる。

各実験条件でどの破壊の様相を示したかをまとめると表1のようになる。

結果の整理

前述の様に破壊状況が異なる為、間ゲキ水圧 u 、軸ひずみ ϵ_a 、ねじり方向せん断ひずみ γ の3者についての関係をまとめる事が必要となってくる。その為、1つのまとめ方として、5回程繰り返した時に生じた u 、 ϵ_a 、 γ と τ_d についてまとめてみた。なお、 γ_c としては、初期の位置からのズレとして、振幅の中心点をとった。

図5は $u \sim \tau_d \sim \gamma$ 関係を示したものである。初期せん断力が異なると間ゲキ水圧の発生量は少し差が生じるが、大差はみられなかった。これに対し、 γ については著しい差が生じた。

図6は $u \sim \tau_d \sim \epsilon_a$ 関係を示したものである。 K_0 が小さいと発生する間ゲキ水圧量は小さく、最終的な液状化も起こらない事がわかる。また K_0 が小さいと生じる ϵ_a は非常に大きくなる事がわかる。

まとめ

種々の応力状態の供試体に繰り返しせん断力を加えると、
 ・間ゲキ水圧が上昇しせん断ひずみ振幅が増大するに伴う液状化
 ・初期せん断力方向にひずみを増してゆく破壊、
 ・軸方向ひずみが増大してゆく破壊、の3通りの破壊が生じる事がわかった。

参考文献

- ・李相一，“主軸ネジリせん断試験による飽和砂の液状化の研究”，博士論文，昭48
- ・大岡，吉見，坂口，“片振り又は部分両振りせん断による飽和砂の液状化”，第9回土質工学研究発表会，昭49

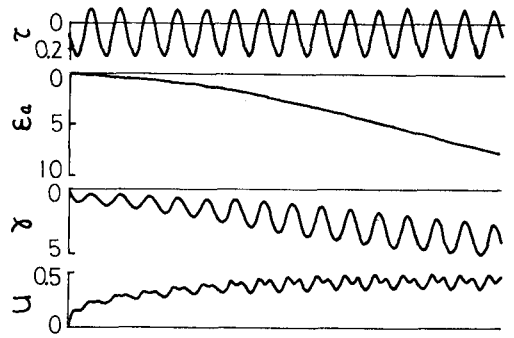


図4. $K_0=0.5$ ， $\tau_i=0.1$ ，側方自由

表1. 破壊状況のまとめ

τ_i/σ_v	拘束			自由		
	1.0	0.75	0.5	1.0	0.75	0.5
0	I	I	I	I	I	III
0.1	I(II)	I(II)	I(II)	I(II)	I(II)	III
0.25	II	II	II	II	II	II

I(II)：今回の実験ではIとなったがIIとなる可能性あり

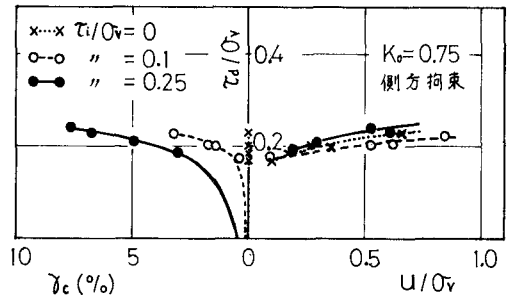


図5. $u \sim \tau_d \sim \gamma$ 関係

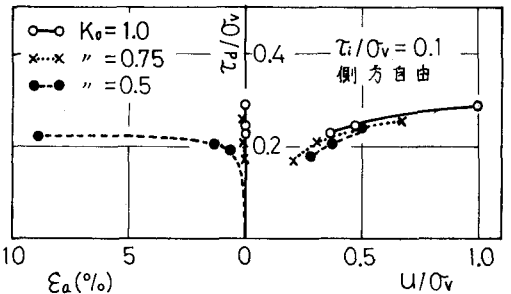


図6. $u \sim \tau_d \sim \epsilon_a$ 関係