

地盤流動の持続において振動継続の果たす役割

東京大学大学院 正会員 東畑郁生
 東京大学大学院元学生 非会員 堀江慶昭

1. はじめに

液化地盤の流動現象を定量的に扱うためには現在までのところ、固体的手法と（粘性）流体的手法とが並立している。筆者は後者の立場に立つものであるが（Towhata et al., 1999）本稿では固体手法についてコメントしたい。

図1は、固体手法でしばしば使われる考え方の模式図である。非排水状態で砂の非排水せん断が起こると、せん断応力は一度ピーク強度に達し、密度があまり高くなければ、過剰間隙水圧の上昇によって、応力は軟化する。そして準定常状態あるいは残留強度状態に至る。そして密度が低すぎなければ間隙水圧が低下を始め、有効応力の増大とともにせん断応力は上昇する。最終的には定常状態という一定応力状態があるはずであるが、そこまでせん断試験ができるかどうかは、一概には言えない。

図1のような実験を行えば（準）定常状態に対応する応力が測定でき、これと荷重とを比べることによって安全率が算定できる。こうして流動破壊の危険度が評価されるのである。

上記の手法では（準）定常状態において有効応力が破壊包絡線の近傍に達しているので、間隙水圧の大小が（準）定常状態の強度を支配している。従って水圧の高低が強度に及ぼす影響は大きい。筆者は定常状態強度を使って1G 模型実験の斜面流動の安全率を計算したことがあるが、三軸せん断試験などから得られた強度が大きすぎ、流動破壊を説明することは不可能であった。そのようなことから、流動する地盤の中の強度は図1の概念よりも小さく、すなわち間隙水圧はもっと高いのではないかと、という感触を持った。

1Gで模型振動実験あるいは、Okamura et al. (2001)の遠心実験によれば、極端にゆる詰めの場合を除き、加振終了と同時に流動変位も停止する。また Meneses et al. はひずみ制御の非排水単調載荷せん断時に、他の方向からくり返しせん断応力を作用させ、間隙水圧が急増、剛性が急減することを示した。このようなことは、振動やくり返し載荷が流動変形に及ぼす影響について、さらに議論を行なう必要性を、示している。

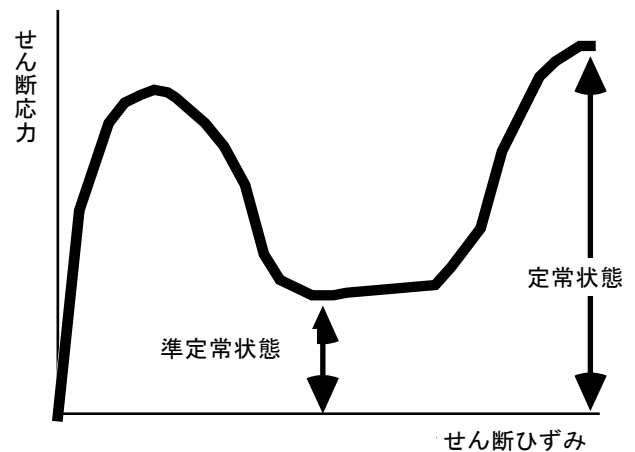


図1 砂の単調載荷非排水せん断試験の概念図

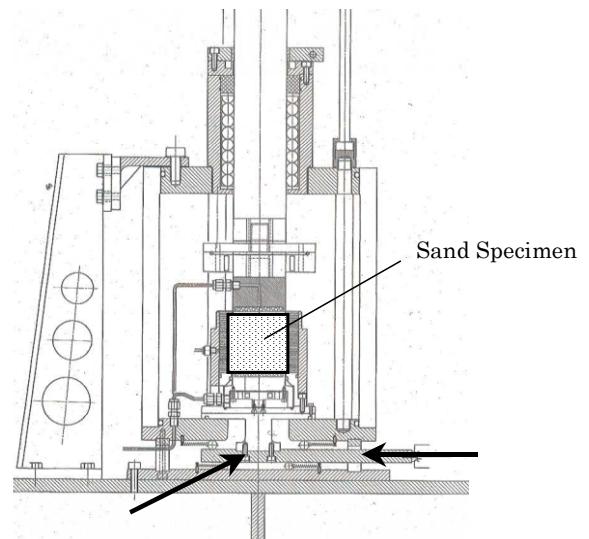


図2 二方向単純せん断装置

キーワード：砂質土、せん断、ダイレタンシー、繰り返し載荷

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL：03-5841-6121 FAX：03-5841-8504

2. 実験方法

前節の非排水実験より本質を調べるため、積層リングで拘束した直径 6cm 高さ 2cm の円柱供試体で、水平面に X-Y 二方向の単純せん断を同時載荷する装置を開発した（図 2）。載荷は 0.35 ~ 1.05mm/分の静的ひずみ制御である。締め固めた細粒分を含む有楽町層砂供試体を締め固めて装置にセットし、排水せん断によって体積変化（高さ変化）を測定した。

3. 実験結果

図 3 の実験では、X 方向に単調載荷試験を行いながら、その途中で直交する Y 方向に繰り返しせん断応力を作させた。使用した砂の相対密度が 105%程度と密詰めなので、はじめの X 方向の単調載荷時には、いずれの実験でも膨張が起きた。それに続いて Y 方向へ繰り返しせん断を重ね合わせると、図のように体積ひずみが増加（すなわち収縮）した。そして繰り返しせん断が終了すると、体積変化は再び膨張へ戻った。

図 4 の実験では斜面を想定して X 方向に初期静的せん断を加え、その後に二方向に繰り返しせん断を重複させた。二方向の重複荷重によって体積収縮が増大した。このように多成分の繰り返し応力を重ね合わせると、砂のダイレイタンシーが収縮的になる。非排水状態ならば間隙水圧の増大となり、前記 Meneses et al. の結果が理解できる。一成分の応力の単調載荷ならば隣接粒子に乗り上げるところが（膨張）多方向載荷によって落ち込むべき粒子間隙を見つけやすくなるのが、収縮の原因であろう。

4. 参考文献

Meneses, J. et al. (1998). Effects of superimposing shear stress on the undrained behavior of saturated sand under monotonic loading, " Soils and Foundations, 38(4), 115-127.

Okamura, M. et al. (2002). Effects of sand permeability and weak aftershocks on earthquake-induced lateral spreading. Soils and Foundations, 41(6), 63-77.

Towhata, I. et al. (1999). Mathematical principles in prediction of lateral ground displacement induced by seismic liquefaction, Soils and Foundations, 39(2) 1-19.

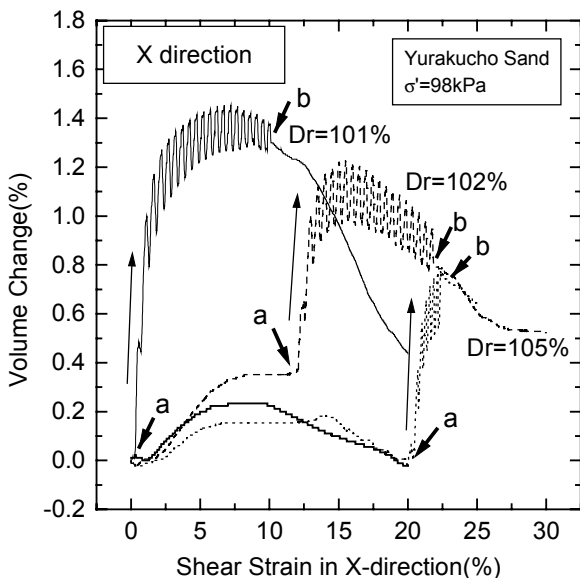


図 3 単調載荷と繰り返し載荷とを直交二方向へ重ね合わせた時の体積変化

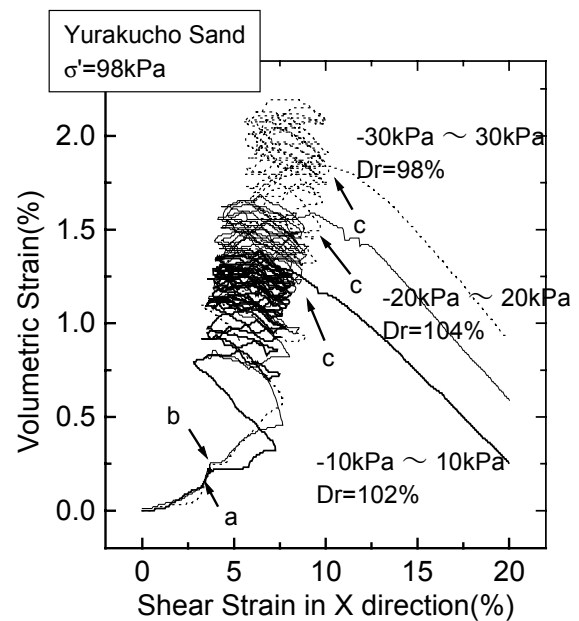


図 4 初期せん断を含む繰り返し載荷を直交二方向へ重ね合わせた時の体積変化