

しらすの再液状化挙動と相対密度の変化

山口大学工学部 学生会員 ○千田隆行 (現 同大学院)

山口大学工学部 正会員 山本哲朗 鈴木素之

山口大学大学院 学生会員 松尾 晃

1. はじめに 一度液状化が生じた砂質地盤において再び液状化が発生することが宮城県沖地震 (1978年) や日本海中部沖地震 (1983年) で確認されている。また、南九州に広く分布するしらす地盤においても鹿児島県北西部地震 (1997年) で液状化現象が発生し、同年の同第二北西部地震では再液状化現象が発生したことが報告されている。既往の研究によれば、再液状化強度は、液状化後の再圧密による密度増加にもかかわらず、初回の液状化強度よりも小さくなるとされているが、大原らの研究²⁾では再液状化強度は大きくなる結果が得られているので、この説明には直ちに首肯できない点もある。本研究では、初期密度を変化させたしらすの繰返し三軸試験結果に基づいて、液状化後の再圧密に伴う密度変化に着目して再液状化特性を考察している。

2. 繰返し三軸試験 試料には鹿児島県薩摩郡宮之城町平川で採取したしらすを用いた。図-1にしらすの粒径加積曲線および同図中に物理定数を示す。まず供試体は空中落下法により作製した。気乾したしらすを漏斗によりできるだけ落下高さを低くしてモールド内に投入し、所定の相対密度となるように試料を3層に分けて突固める。その後、供試体内の間隙空気をCO₂で置換してから脱気水を通水し、その後98kPaの背圧を1時間与えた。圧密前のB値が0.95以上を確認した。初期状態の相対密度を60%および90%の2シリーズで準備したしらすに対して繰返し三軸試験機を用いて液状化試験を、それに引き続いて再液状化試験を実施した。再液状化過程に先立って、初回の液状化により発生した過剰間隙水圧を両面排水条件下で消散させ、その間の体積変化量を測定した。なお、液状化および再液状化による破壊は両振幅ひずみDA=5%とした。

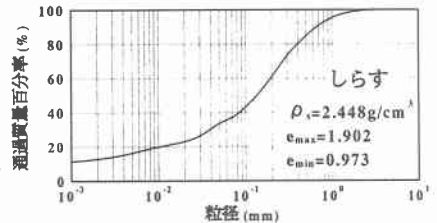


図-1 しらすの粒径加積曲線

3. 試験結果と考察 図-2 (a) および (b) はそれぞれしらすの液状化および再液状化強度曲線を示したものである。縦軸には繰返しせん断応力比 $\alpha/2\sigma'_{30}$ (σ_d : 軸差応力, σ'_{30} : 初期有効拘束圧) を、横軸には破壊までの繰返し回数 n_L をとっている。いずれの試験も $\sigma'_{30}=98\text{kPa}$ である。図-2 (a) 中の○印は圧密後の相対密度が $D_r=92.2\sim97.4\%$ (平均値 $D_r=94.9\%$)、◇印は圧密後の相対密度が $D_r=71.3\sim75.3\%$ (平均値 $D_r=73.3\%$) の供試体から得られたデータである。相対密度にばらつきがあるため、供試体の作製方法は今後の検討課題である (図中の液状化強度曲線を決定した実測値は上記の相対密度の範囲で得られたものである)。 $D_r=94.9\%$ の液状化強度曲線は $D_r=73.3\%$ のそれよりも上方にある。これより、液状化強度は相対密度が高いほど大きくなるといえる。このことは、当然の理由として相対密度が高い供試体の方がより密な構造

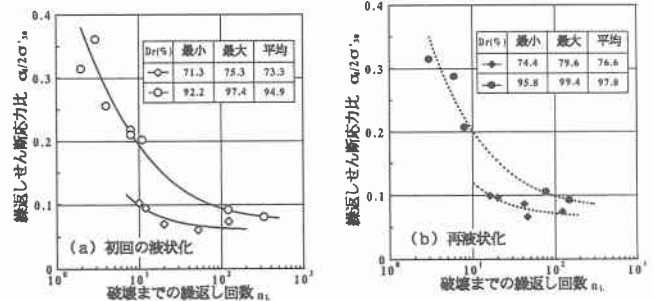


図-2 しらすの液状化および再液状化強度曲線 (その1)

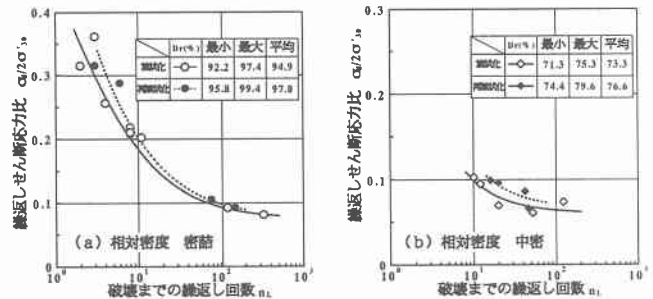


図-3 しらすの液状化試験および再液状化試験 (その2)

になっているためである。図-2(b)に示す再液状化強度曲線においても同様なことがいえる。図-3(a)および(b)は図-2で示したデータを相対密度ごとに再整理したものである。図-3(a)の密詰の場合では、再液状化強度曲線の方が初回の液状化強度曲線よりも若干上方に位置している。図-3(b)の中密の場合も同様の結果が得られている。図-4に初回の液状化時の繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma'_{30}$ と再圧密による間隙比変化量 Δe の関係を示す。 $D_r=92.2\sim 97.4\%$ のデータ(図中の記号:●)をみると、繰返しせん断応力比が大きくなるほど、 Δe は小さくなる。 $D_r=71.3\sim 75.3\%$ のデータ(図中の記号:◆)をみると、繰返しせん断応力比が高いレベルでのデータがないので明言できないが、ほぼ同様の傾向があるものと考えられる。なお、繰返しせん断応力比と過剰間隙水圧比の関係を調べると、いずれの試験ケースにおいても過剰間隙水圧比は0.95以上の高い値が得られている。図-5に初回の液状化時に発生した過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_{30}$ と Δe の関係を示す。過剰間隙水圧比が大きくなるほど間隙比変化量も直線的に大きくなる。

つぎに、再液状化特性を破壊に至るまでの繰返し回数 n_L の変化で評価する指標 Δn_L を提案する。図-6に Δn_L の決定法を模式的に示す。 Δn_L はある繰返しせん断応力比の下での液状化試験と再液状化試験の繰返し回数 n_L および n_{LR} の差と定義した。試験の都合上、液状化試験と再液状化試験の繰返しせん断応力比を厳密に一致させるのは大変困難なので、 n_{LR} は再液状化強度曲線上の値(内挿値)として求めている。図-7に Δn_L と Δe の関係を示す。 Δn_L は、 Δe の増加に対して、はじめは一定であるが、ある値から急に増加に転じる。 $D_r=92.2\sim 97.4\%$ の場合(図中の記号:●)には $\Delta e=0.033$ 程度で、 $D_r=71.3\sim 75.3\%$ の場合(図中の記号:◆)には $\Delta e=0.027$ 程度で、 Δn_L は急に増加するようである。すなわち、再圧密による間隙比変化量がある値より大きいと、再液状化強度の増加の度合いは大きくなり、間隙比変化がその値より小さくなると、再液状化強度は初回の液状化強度とほとんど変わらないようである。

4. 結論 本研究から得られた結論を以下に示す。①今回の試験結果に限れば、再液状化強度は初回の液状化強度よりも大きくなる。②液状化後の再圧密に伴う間隙比変化量は繰返しせん断応力比の増加に対して減少する。③再圧密に伴う間隙比変化量 Δe は過剰間隙水圧比の増加に対して直線的に増加する。④提案した繰返し回数に関する指標 Δn_L により再液状化特性を評価することができる。⑤ Δn_L と Δe の間には非常にユニークな関係が認められる。

謝辞 試験の実施にあたり御助力頂いた本研究室大学院生の川島洋史氏(現在(株)ウエスコ)に厚く感謝いたします。

参考文献 1)山本哲朗, 岡林 巧, 松本 直, 郷 健一: 1997年鹿児島県北西部地震, 同第二北西部地震における地震災害, 地震工学振興会ニュース, No.157, pp.31-41, 1997. 2)大原資生, 山本哲朗: 振動台による飽和砂の再液状化特性に関する実験的研究, 土質工学会論文報告集, Vol.22, No.2, pp.123-132, 1982.

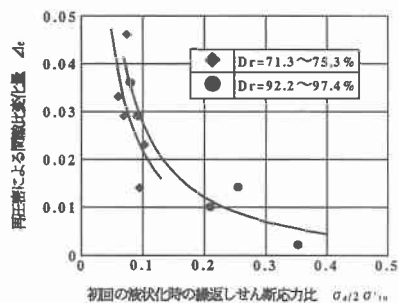


図-4 $\Delta e \sim \sigma_d/2\sigma'_{30}$ の関係

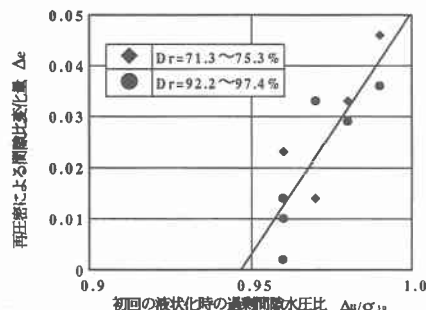


図-5 $\Delta e \sim \Delta u/\sigma'_{30}$ の関係

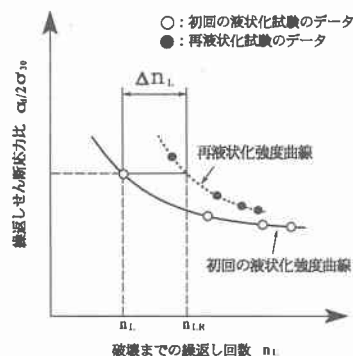


図-6 Δn_L の決定法 (模式図)

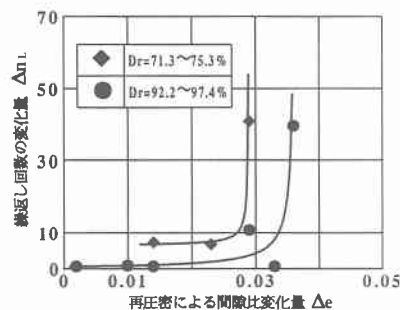


図-7 $\Delta n_L \sim \Delta e$ の関係