

繰り返し三軸試験機による非塑性細粒分を含む砂の液状化とエネルギー損失

中央大学

正会員 國生剛治

中央大学

学生会員

○田口健太 加藤亮

1. はじめに

砂質土の液状化強度は細粒分含有率に大きく影響されることが知られている。ここでは、非塑性細粒分の含有率を変化させた砂質土の非排水繰返しせん断強度(液状化強度)を側圧一定の繰返し三軸試験により求め、細粒分含有率や相対密度の違いの影響を検討する。またそこで得られた応力-ひずみ関係より単位体積あたりの損失エネルギーを算出し、細粒分含有率や相対密度の違いが液状化に達するまでの累積損失エネルギーに与える影響を検討した。

2. 実験方法と試料

図-1 に本研究に用いた三軸試験機の概略を示す。供試体は直径 50mm, 高さ100mm である。試料は堅硬な土粒子からなる河床砂に、ほぼ非塑性 ($I_p=6$ 程度) のまさ土細粒分を、 $F_c=0\%$, 5%, 10%, 20%, 30%になるように粒度調整したものである。図-2 に用いた試料の粒径加積曲線を示す。供試体は圧密後相対密度 D_{rc} がほぼ 30%, 50%, 70%になるよう、試料を 5 層に分けてモールド内で締固めるドライタッピング法により作成した。 $D_{rc}=30\%$ についてはドライタッピング法では供試体作成が困難であったため、締固める過程で脱気水を加える方法にて供試体を作成した。バックプレッシャーを 196kPa, 有効拘束圧 49kPa で圧密した後、周波数 $f=0.05\text{Hz}$ で非排水繰返し载荷を行い、両振幅軸ひずみ DA が 10%以上に達した所で試験を終了した。

3. 試験結果

図-3(a), (b), (c) に両振幅軸ひずみ DA が 5%に達した時の繰返し応力比 R_L と繰返し载荷回数 N_c の関係を圧密後相対密度別に示す。繰返し载荷回数 $N_c=20$ で定義される液状化強度 R_{L20} は、細粒分含有率 F_c が増加すると相対密度 Dr に関わらず低下する傾向があることがわかる。

$Dr=70\%$ では 50%, 30%と比べて細粒分含有率の増加にともない液状化強度が大幅に低下し、細粒分含有率の影響が特に大きいことが分かる。それに対し、 $Dr=30\%$ では細粒分含有率の増減による液状化強度の変化は極めて小さい。

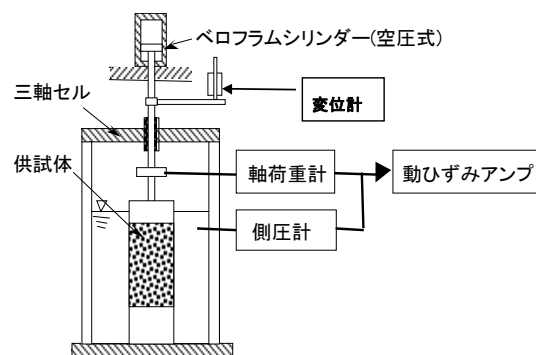


図-1 三軸試験機概略

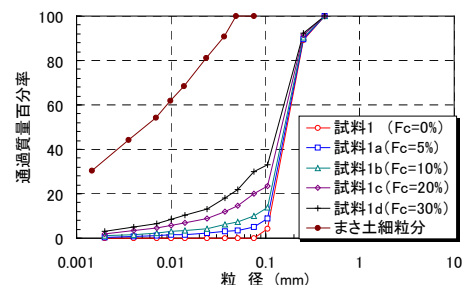


図-2 粒径加積曲線

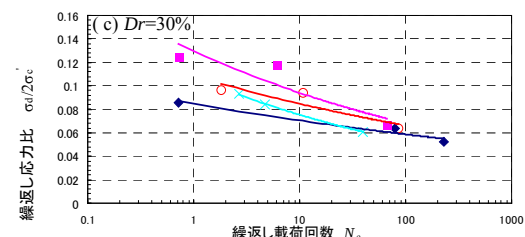
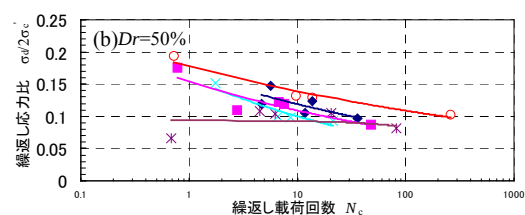
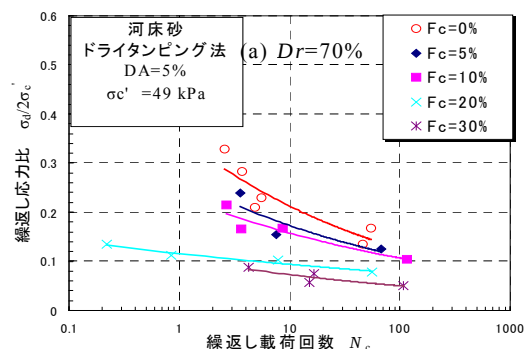


図-3 液状化強度曲線

キーワード 累積損失エネルギー, 細粒分, 応力比, 相対密度

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科土質研究室

4. 損失エネルギー

三軸試験における応力-ひずみ関係により土の要素内で失われる損失エネルギーは、履歴ループが描く面積で計算される¹⁾。応力が0から次の0に戻るまでを1サイクルとして損失エネルギーを計算し、その累積値を拘束圧で基準化した値を繰り返し回数に対しプロットした例を図-4に示す。これより、各供試体で載荷するせん断応力比の大きさによって液状化までの繰り返し載荷回数 N が異なっている事が分かる。間隙水圧比が $\Delta u / \Delta \sigma' = 0.8$ あるいは両振幅軸ひずみが $DA=2\%$ になるまでの累積損失エネルギーは応力比の大小によらず比較的近い値をとるが、 $DA=5\%$ 、 10% については応力比が大きき N が小さいほど損失エネルギーが大きくなる傾向が表れている²⁾。

図-5(a), (b)は横軸に細粒分含有率 F_c 、縦軸に累積損失エネルギーをとり、両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ と 10% の結果をまとめたものである。グラフにはデータの平均値と最大最小の幅を示しており、バラツキは大きいものの、 F_c が大きくなるほど損失エネルギーが減少する傾向は特に相対密度が高い場合に明瞭である。

図-6(a)と(b)は $DA=5\%$ と 10% に対応した応力比とそのひずみまでの累積損失エネルギーの関係をプロットしている。細粒分含有率 F_c と相対密度 Dr が一定の条件に対して、バラツキはあるものの応力比と損失エネルギーは正の相関を示すものがグラフ右上の部分に多い。一方グラフ左下の Dr が小さく F_c が大きい供試体においては、応力比に対して損失エネルギーが一定か負の相関をとるものが多い。

一般に液状化するまでの損失エネルギーは応力履歴によらないといわれているが¹⁾、 Dr が大で F_c が小さいいわゆるサイクリックモビリティを生じやすい土は、 5% 以上の軸ひずみに達するための損失エネルギーは応力比に依存することを今回の結果は示している。一方、全体的に見ると、ほとんどのデータが図中の楕円で囲んだ範囲に入るため、液状化して $DA=5\%$ 、 10% に達するための応力比と損失エネルギーは大まかには F_c や Dr に関わらずほぼ比例関係にあると見ることが出来る。

5. まとめ

- ・ 相対密度 Dr の大きな砂ほど細粒分含有率 F_c がその液状化強度に及ぼす影響は大きくなる。
- ・ Dr が大きく F_c が小さい砂ほど、液状化して 5% 以上の両振幅軸ひずみに達するまでの損失エネルギーは応力履歴に依存する傾向が見られる。

【参考文献】1) 風間基樹:第32回地盤工学研究発表会(熊本)p723-724, 1999 2)原 忠, 天野真輔:第35回地盤工学研究発表会(岐阜)p53-54,

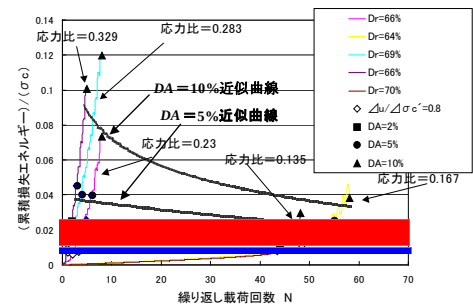


図-4 繰り返し載荷回数と累積損失エネルギーの関係($Dr=70\%$, $F_c=0\%$)

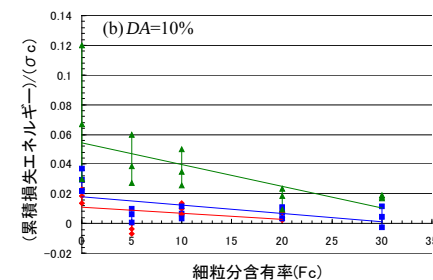
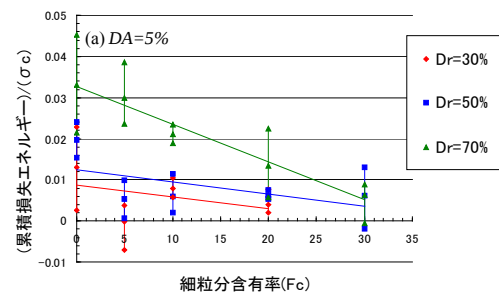


図-5 細粒分含有率と累積損失エネルギーの関係

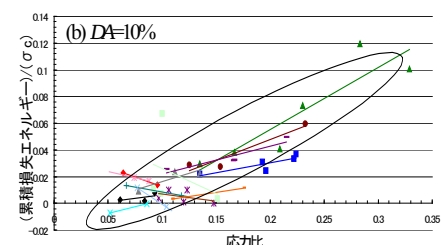
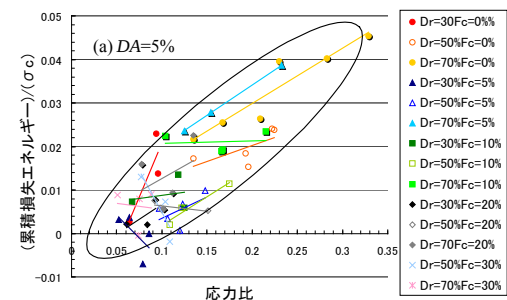


図-6 応力比と累積損失エネルギーの関係

