

東京都土木技術研究所 正員 草野 郁

1. はじめに

我が国のような地震多発地帯においては、沖積層自然地盤は過去の大小さまざまな地震によってくり返しせん断応力履歴の影響を受けている。自然地盤はセメンテーションによる硬化も考えられるが、液状化検討の対象となる沖積地盤については、地震履歴による硬化と静止土圧係数 K_0 の増加が地盤の液状化強さを増加させる大きな原因であると考えられる。^{1,2)}

ここでは、攪乱砂を用いて作成した供試体にくり返し応力を加え（累積間げき水圧が有効拘束圧の20, 30, 50, 60%になるまで）、その後、初期条件で圧密させ、再液状化実験を行い液状化強さの増加傾向を調べた。

2. 実験法

実験に用いた試料は、表-1に示すような細砂（豊浦標準砂、 $D_{50}=0.18\text{mm}$ ）と中砂（戸田橋砂-荒川の戸田橋附近で採取した沖積砂を水洗いして細粒分を落した砂、 $D_{50}=0.44\text{mm}$ ）である。 e_{max} 、 e_{min} はシェルツェムス法によって求めた。供試体作成法は、ゆるづめ砂については4層にわけ、スプーンを用いて水中落下させ、各層ならし棒で軽くならしながら作成する方法を用いた。密づめ砂については、3層にわけ、各層つき棒で25回つき固めて供試体を作成した。実験条件は、有効拘束圧 2.0 kg/cm^2 、バックプレッシャー 3.0 kg/cm^2 であり、圧密後の B 値は 0.95 以上とした。くり返し応力載荷は 0.2 Hz で、平均主応力一定($\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_3 = 0$)の三軸試験である。

再液状化実験は、初めにくり返し応力を加え、ゆるづめ砂については初期有効拘束圧の20, 30, 50%まで、密づめ砂については20, 30, 60%まで間げき水圧を累積させ、その後、初期条件で圧密させ、液状化実験を行う方法を用いた。

3. 実験結果

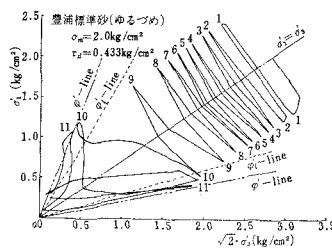
1) 液状化の判定

豊浦標準砂のゆるづめ砂、密づめ砂についての液状化実験結果をレンジリックの応力面を用いて、ベクトル・カーブをかくと図-1になる。

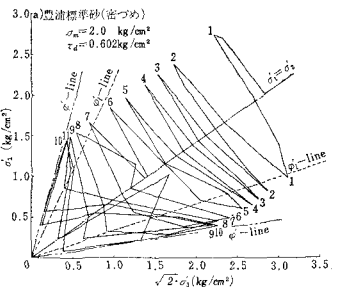
ゆるづめ砂の場合、ベクトル・カーブが変相線(ϕ_c -line)³⁾にぶつかるとき、除荷の過程で累積間げき水圧は急増し拘束圧に達する。密づめ砂の場合、ベクトル・カーブが静的破壊包絡線(ϕ -line)に来るとき、除荷の過程で累積間げき水圧は急増し拘束圧に近づく。したがって、その時点をもって“初期液状化”とした。そのときの軸ひずみは、ゆるづめ砂、密づめ砂ともにおよそ1%であった。³⁾

表-1 砂の物理特性

砂の種類	G	$D_{50}(\text{mm})$	$D_{10}(\text{mm})$	$D_{60}(\text{mm})$	U_c	e_{max}	e_{min}
豊浦標準砂	2.645	0.16	0.18	0.19	1.19	0.981	0.592
戸田橋砂	2.699	0.28	0.44	0.48	1.71	1.076	0.693

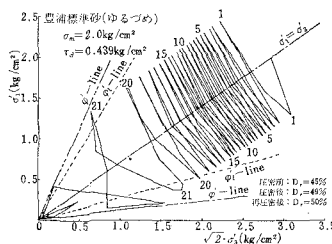


a) ゆるづめ砂

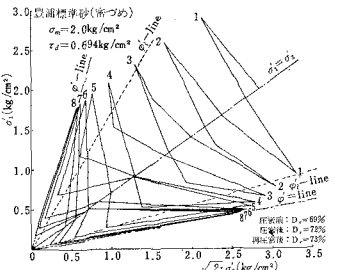


b) 密づめ砂

図-1 豊浦標準砂のベクトル・カーブ



a) ゆるづめ砂



b) 密づめ砂

図-2 再液状化実験結果のベクトル・カーブ(豊浦標準砂-有効拘束圧の50%)

2) 再液状化実験による液状化特性

豊浦標準砂の再液状化実験結果(ゆるづめ砂-累積間げき水圧が初期有効拘束圧の50%、密づめ砂-60%)をベクトル・カーブで示すと図-2になる。小さなひずみのくり返し応力を加えた後に再圧密すると、間げき比はゆるづめ砂、密づめ砂について、相対密度に換算して1%以下しか増加しなかったが、液状化強さはかなり大きくなる。一方、密づめ砂の実験例であるが、完全に液状化させ、小さくくり返しひずみを加えた後に再圧密すると、排水量は大きくかなり密になるにもかかわらず、液状化に要するくり返し回数は1%程度に小さくなり、液状化強さは著しく低下する傾向を示した。

なお、小さなひずみの応力履歴を与えた後の再液状化実験のベクトルカーブは、応力履歴を与えない液状化実験よりも、液状化モデルにあり挙動を示した。²⁾ このことは、くり返し応力履歴を与え再圧密することによって、供試体は均一化されると考えられる。

3) 小さくくり返しひずみ履歴を与えたときの液状化強さの増加
くり返しひずみ履歴はいずれも0.2%以下であり、くり返し回数は5~15回程度である。再液状化実験結果をゆるづめ砂については $D_r=50\%$ 、密づめ砂については $D_r=80\%$ に換算して、 $\tau_d/\sigma_m \sim N_L$ の関係を求め、くり返し応力履歴を与えない普通の液状化実験値と比較すると図-3, 4となる。豊浦標準砂、戸田橋砂とも、ゆるづめ砂で累積間げき水圧を有効拘束圧の50%、密づめ砂で60%まであげた後の再液状化実験値は、20, 30%のものより若干大きくなっているがその差はあまりみられなかった。再液状化実験による液状化強さの増加は、図-3, 4に示すように、普通の液状化に対し、ゆるづめ砂の場合15~20%、密づめ砂の場合20~26%であった。

4. おわりに

小さなひずみのくり返し応力履歴を加えると、液状化強さは大きくなる。一方、攪乱砂の供試体は、粒子接触部の組合せが悪く、また、局部的に不均一なところがあると考えられる。このような弱い構造は、くり返し応力を加えることにより、均一化し安定構造に移行し、液状化強さを増す要因になると考えられる。自然地盤はくり返し応力履歴を受けて安定構造になっていると考えられるので、攪乱砂の液状化実験値を用いて地盤の液状化を推定する場合、くり返し応力履歴による液状化強さの増加を考慮する必要があると思う。

5. 参考文献

- 1) 月岡康一、石原研而：応力履歴の砂の液状化特性におよぼす影響、第32回土木学会年次講演
- 2) 草野郁、佐々木俊子：液状化実験結果の地盤への適用法に関する研究、昭和51東京都土木技術研究所年報
- 3) 石原研而、龍岡丈夫、安田進：飽和砂のくり返し非排水せん断モデル、第12回土質工学研究発表会

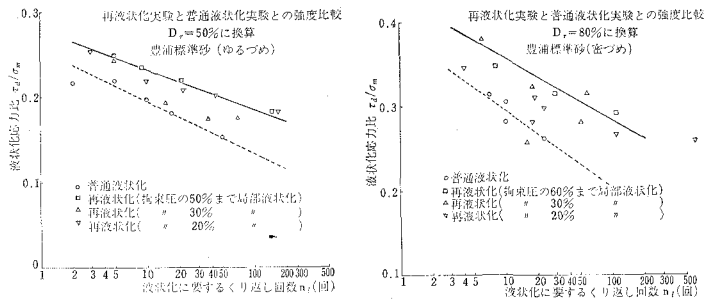


図-3 再液状化実験と普通液状化実験との強度比較(豊浦標準砂)

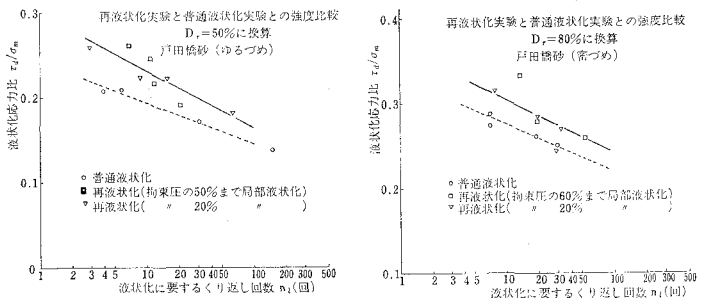


図-4 再液状化実験と普通液状化実験との強度比較(戸田橋砂)