

(72) 部分排水条件下における砂質土の液状化強度

建設省土木研究所 正会員 荒川 直士
 " " " 〇近藤 益央
 国土庁 " " 木全 俊雄

1. まえがき

構造物の耐震設計における砂質土の液状化問題は、1964年の新潟地震より着目され、それ以後液状化のメカニズムおよびその影響に関して、多くの研究が実施されてきている。これらの結果は、道路橋示方書等の技術基準に反映され、実務設計に生かされている。しかしながら、既存の液状化強度の推定は、試験方法が容易であるという理由から非排水条件下で行われてきた。この条件は、現地において液状化を検討しようとする層の上下に、粘性土等の不透水層が存在する場合にはあてはまるが、液状化を検討しようとする層の上下に、砾ルキ層等の透水層が存在する場合は適用できないものである。この場合の液状化強度を求めるためには、排水条件を考慮した試験が必要になる。また、排水条件下での液状化強度は、載荷振動数および排水量の影響を受けるとわかっている。本報告は、以上のような現状をふまえて行った排水条件下での振動三軸試験結果を、既往の非排水条件下の結果と比較検討した結果についてとりまとめたものである。

2. 試験方法

本試験に使用した試料は、豊浦標準砂 ($G_s = 2.636$, $e_{max} = 0.987$, $e_{min} = 0.623$) である。供試体は、あらかじめ重量を測定した乾燥砂を、モールド内に落下させ、モールドを木づちで打いて目標とする相対密度にする打撃法により作成した。供試体の平均寸法は、外径75mm、高さ140mmである。このようにして作成した供試体は、炭酸ガスを1時間供給した後、十分に脱気した蒸留水を供給して飽和化を図り、B値が95%以上になった時点で圧密を行った。圧密は、圧密圧力1.0kgf/cm²の等方圧密で3時間行った。

表-1 試験ケース

Case No.	Frequency	Coefficient of Permeability
Case-1	1.0 Hz	Undrain
Case-2	1.0 Hz	1.03×10^{-2} cm/sec
Case-3	1.0 Hz	1.53×10^{-3} cm/sec
Case-4	0.5 Hz	1.53×10^{-3} cm/sec

表-1には、今回実施した4ケースの載荷振動数と排水層の透水係数を示した。排水層の透水係数は、三軸セル内に1.0kgf/cm²の圧力をかけ、その時のビューレットの流速を測定し次式より求めた。

$$k = V_b \cdot A_s \cdot L / (A_b \cdot H) \dots (1)$$

ここでkは排水層の透水係数(cm/sec)、 V_b はビューレットでの流速(cm/sec)、Lは排水層の排水距離で今回は5cmとした。 A_s は上部ペDESTALの断面積(44.18cm²)、 A_b はビューレットの断面積(0.91cm²)およびHは水頭差である。

また、液状化の定義としては、過剰間隙水圧が有効応力と等しくなった時点と初期液状化とし、軸ひずみが両振幅で10%となった時点と完全

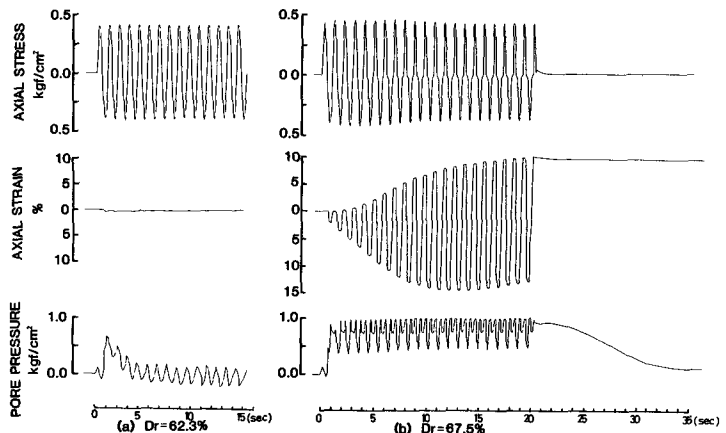


図-1 試験波形例(ケース2)

液状化した。

3. 試験結果

図-1に試験波形例としてケース2の試験波形を示した。図-1(a)は液状化しなかった例で部分排水試験によく認められる傾向である。この波形の例では、過剰間隙水圧が 0.7 kgf/cm^2 まで上昇したが、その後間隙水圧の消散が始まり、初期液状化にも至らなかった。このような現象は、排水条件下での試験にのみ認められる現象で、ケース2のように透水係数の大きな試験では、過剰間隙水圧が 0.5 kgf/cm^2 以上まで上昇しても初期液状化に至らない場合があることを示している。図-1(b)は、液状化した例で繰返し回数3回で初期液状化に達し、9.5回で完全液状化に至っている。そして、加振停止後1.5秒で過剰間隙水圧の消散が始まり、加振停止後15秒で過剰間隙水圧は完全に消散している。これは部分排水条件下の結果であり、ケース1のような非排水条件下では過剰間隙水圧の消散はおこらない。また、ケース3・4のように透水係数が小さい場合には、加振停止後、過剰間隙水圧が消散し始める時間および完全に消散が終了する時間は、ケース2よりも遅れる。

図-2は、非排水条件下において初期液状化に至るまでの繰返し回数 N_{LC} と応力比 $\sigma_{dp}/2\sigma_c$ の関係を示したものである。これにより、繰返し回数 $N_{LC}=10$ 回で初期液状化に至る応力比を非排水液状化強度とし、相対密度と非排水液状化強度の関係を求めると図-3のようになる。同図によれば、全体になだらかな曲線を描いており、相対密度70%付近から液状化強度が大きくなる傾向が確認できる。

これに対してケース2の液状化強度と相対密度の関係を示したのが図-4である。部分排水条件下では、図-1(a)に示したように初期液状化まで至らない場合があり、また、液状化した場合でも初期液状化に至るまでの繰返し回数は5回以下であった。従ってここでは、液状化しうる最小の応力比をもって、部分排水条件下における

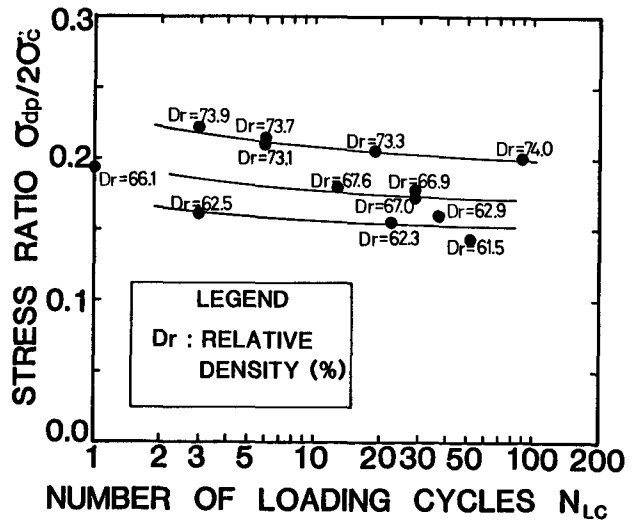


図-2 非排水試験結果

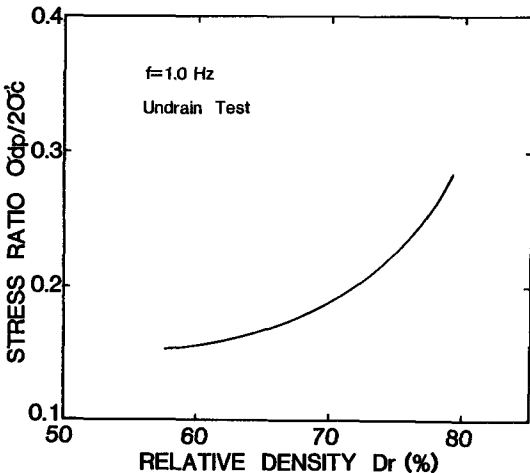


図-3 非排水液状化強度

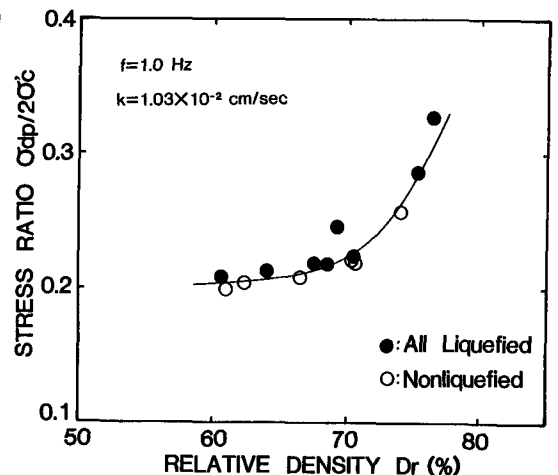


図-4 部分排水液状化強度(ケース2)

液状化強度と定義した。この定義により、ケース2の部分排水液状化強度と相対密度の関係を示したのが図-4の曲線である。ケース2の結果では、液状化するケースと液状化しないケースは応力比が微妙に影響している。また、この時の部分排水液状化強度は、相対密度70%付近より急激に大きくなる傾向が認められる。一方、相対密度約70%以下の部分排水液状化強度は、相対密度にあまりよらないことがわかる。また、非排水液状化強度と部分排水液状化強度の差は、相対密度の小さい範囲で大きくなっている。

次に排水層の透水係数をケース2に比べて小さくしたケース3の試験結果を図-5に示した。ケース3においても初期液状化に至るまでの繰返し回数は5回以下で、応力比の微妙な違いによって、液状化するケースと液状化しないケースに分れる。同図に示した部分排水液状化強度は、ケース2の場合と同様に相対密度70%付近より急激に大きくなる傾向が認められる。また、非排水液状化強度との強度差は全体的に大きくなっており、特に相対密度約65%以下で顕著となっている。

次に、載荷振動数を0.5Hzとして行ったケース4の試験結果を図-6に示す。同図に示した部分排水液状化強度と相対密度の関係によれば、相対密度約60%以下の範囲では、相対密度の変化による液状化強度の顕著な差は認められない。また、相対密度約70%付近より急激な強度上昇が認められる。ケース4の部分排水液状化強度は、載荷振動数がケース2よりも大きいケース3の部分排水液状化強度よりも全体に大きくなっている。非排水液状化強度は載荷振動数の影響をほとんど受けないとされているが、部分排水液状化強度の場合には、載荷振動数が低いほど部分排水液状化強度が大きくなる傾向を示している。また、相対密度が高いほどこの傾向が顕著である。

図-7に、今回の試験に使用した豊浦標準砂の透水試験結果を示した。同図によれば、供試体の透水係数が相対密度75%付近で、ケース2の排水層の透水係数より小さくなっている。したがって、ケース2においては、相対密度75%以下では排水層側で排水が制限されているのに対して、相対密度75%以上の場合には供試体の透水係数により排水が制限されることになる。これに対してケース3・4では排水層の透水係数がどの相対密

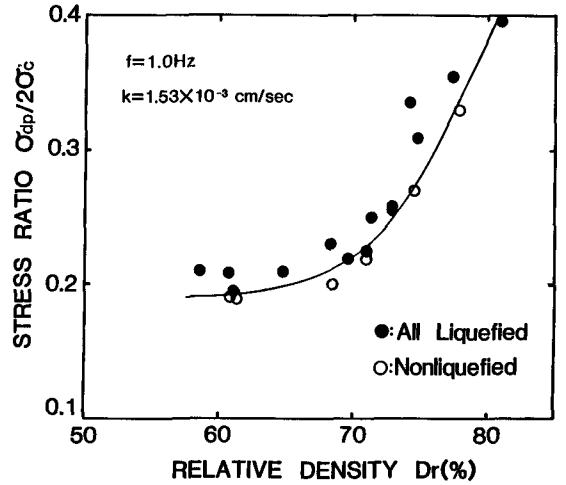


図-5 部分排水液状化強度(ケース3)

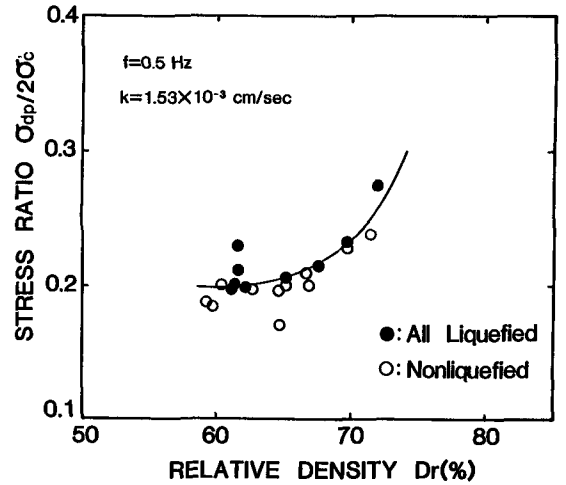


図-6 部分排水液状化強度(ケース4)

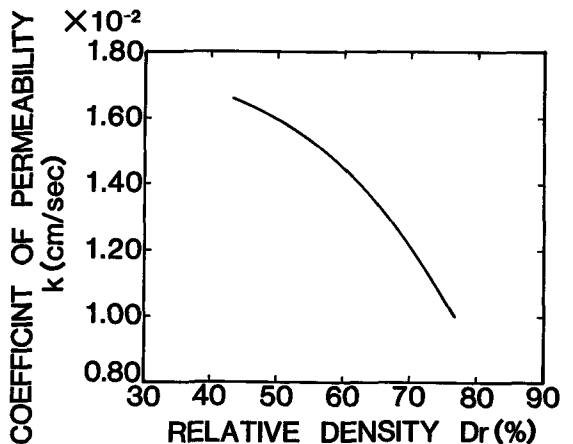


図-7 豊浦標準砂の透水係数

度においても供試体の透水係数よりも小さい。したがって、ケース3・4では絶えず排水層側で排水が制限されていることになる。

図-8は、全ケースの液状化強度と相対密度の関係と整理したものである。排水層の透水係数の影響を検討するためケース1,2,3を比較すると、相対密度が小さい領域で影響が多少認められるのに対して、相対密度が約70%以上の領域では、排水層の透水係数の影響が認められない。この原因については、前記したようにケース2の相対密度75%以上の領域では、供試体の透水係数に対して排水層の透水係数が大きい、ケース3の場合にはどの相対密度においても供試体の透水係数が排水層の透水係数よりも大きいことによると考えられる。したがって、ケース3では絶えず排水層側で排水が制限されているのに対して、ケース2の相対密度75%以上の場合には、供試体の透水係数により排水が制限されている。

次に載荷振動数の影響を検討するためにケース3,4を比較すると、載荷振動数が小さなケース4の部分排水液状化強度は、どの相対密度においてもケース3の部分排水液状化強度よりも大きくなっている。このことから、部分排水液状化強度は、載荷振動数の上昇とともに低下し、非排水液状化強度に近づくものと考えられる。

また、図-9は以上を示した結果と非排水液状化強度に対する部分排水液状化強度の比として整理したものである。これによれば、それぞれの部分排水液状化強度は、非排水液状化強度に対して15~40%増加している。

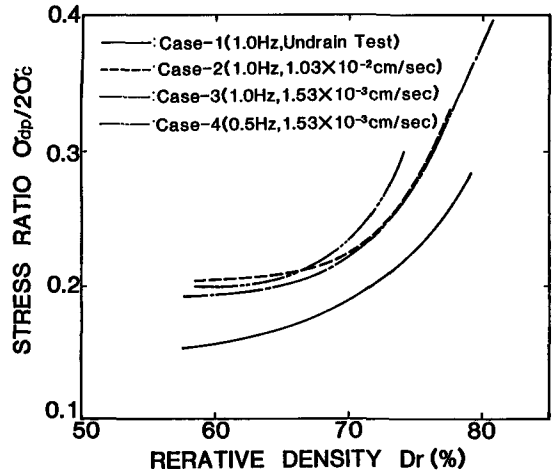


図-8 非排水液状化強度と部分排水液状化強度

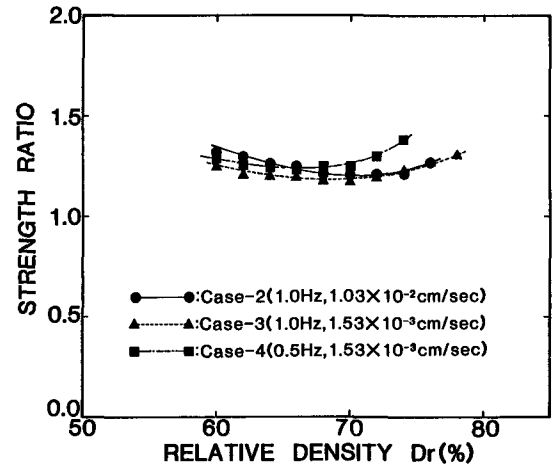


図-9 非排水液状化強度に対する部分排水液状化強度比

4. まとめ

今回実施した4ケースの試験結果についてまとめると以下のとおりである。

i)部分排水の液状化強度は、排水層の透水係数により変化し、今回行ったケースでは非排水液状化強度の約1.25倍の強度を示した。しかし、排水層の透水係数が $1.53 \times 10^{-3} \sim 1.02 \times 10^{-2}$ の範囲では、透水係数による部分排水液状化強度への影響はほとんど認められなかった。

ii)部分排水液状化強度は、試験時の載荷振動数により変化し、載荷振動数の上昇とともに低下する。最終的には非排水液状化強度に近づく傾向を示すものと考えられる。

5. あとがき

今回実施した試験は主として排水条件および載荷振動数に着目し行った。しかし、排水層の透水係数および載荷振動数についてそれぞれ2ケースしか実施できなかった。今後は透水係数の小さい場合および載荷振動数の大きい場合の試験例を増やすことが必要とされる。

＝参考文献＝ 1. 荒川・木全・近藤・小原；排水条件を考慮した液状化強度，第18回土質工学研究発表会論文集，1983.6