

微量排水を伴う液状化砂の変形特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○野本ゆかり 岡崎真也

九州工業大学大学院 正会員 永瀬英生 廣岡明彦

1.はじめに

本研究では、地震によって土砂の移動距離が数十 m を超える傾斜地盤上盛土の滑動崩壊を対象としている。この被害では、(1)深い滑り面、(2)長い滑動距離、(3)剛体すべりといった特徴がある。ここで、図-1 に傾斜地盤上盛土の簡易モデルを示す。図-1 のような地下水が存在している傾斜地盤上盛土では、地震による液状化または繰返し軟化が原因で地下水面以下の盛土下部では支持力が失われ、盛土上部による荷重を支えられなくなり、その結果として地盤が流動して崩壊すると推察される。

このような問題に対して、一般的に非排水条件下での静的せん断試験の結果に基づいた解析的検討が行われている¹⁾。非排水条件下においてせん断応力 τ -せん断ひずみ γ の関係は、図-2 に示す液状化した場合については微小抵抗領域が存在し、剛性が回復し始めるのに大ひずみの発生を必要としているが、一度回復が始まると急激に剛性が回復するといった特徴が見られる。しかしながら、実地盤において、このような急激な剛性回復を持つせん断応力 τ -せん断ひずみ γ の関係を考えるならば、滑動は抑制されるのではないかと考えられる。そこで、本研究では液状化後の剛性回復が排水状態で行われることに着目し、中空ねじりせん断装置を用いて液状化後に微量排水を伴うせん断試験を行って、傾斜地盤上盛土の液状化による滑動崩壊のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2.試料および実験方法

試料として豊浦砂、装置として中空ねじりせん断装置を使用した。供試体は外形 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形であり、振動締固め法により相対密度 $Dr=65$ 、35%となるように作製した。せん断試験では、繰返し载荷試験により供試体を液状化させた後、表-1、2 に示す試験条件下で静的単調载荷試験を行った。表-1 は片側排水で層厚 10m を想定したモデル地盤における間隙水圧の消散過程に基づき背圧を制御した試験の条件²⁾であり、表-2 は排水経路上に低透水層を設置し排水を制御した試験の条件である。ただし、表-2 の低透水層は豊浦砂とベントナイトの混合試料で作製したもので、粘土含有率 C_c 、締固め度 D_c を表のように変化させている。また、静的载荷試験の载荷速度は 10%/min である。なお、繰返し試験より、 $Dr=65$ 、35%のときの液状化強度比はそれぞれ $R_{120}=0.240$ 、0.170 となり、液状化を再現する繰返し試験において繰返し応力比をそれらの値とした。

表-1 圧密理論による背圧制御の試験ケース

Case	载荷条件	Dr [%]
M65H7	7m地点	65.96
M65H8	8m地点	67.91
M65H9	9m地点	68.02
M65H10	10m地点	68.20
M35H7	7m地点	37.00
M35H8	8m地点	38.49
M35H9	9m地点	35.13
M35H10	10m地点	37.68

表-2 低透水層を用いた排水制御の試験ケース

Case	Dr [%]	C_d [%]	D_c [%]
L65C5D95	66.89	5	95
L65C5D90	66.53		90
L65C10D95	67.46	10	95
L65C10D90	65.93		90
L35C5D95	35.60	5	95
L35C5D90	38.42		90
L35C10D95	38.31	10	95
L35C10D90	36.59		90

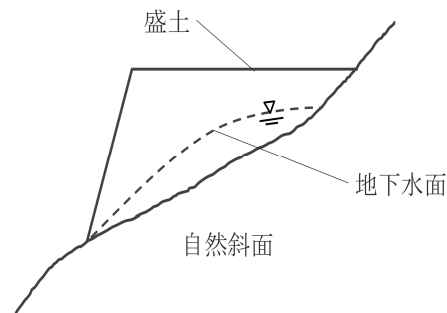
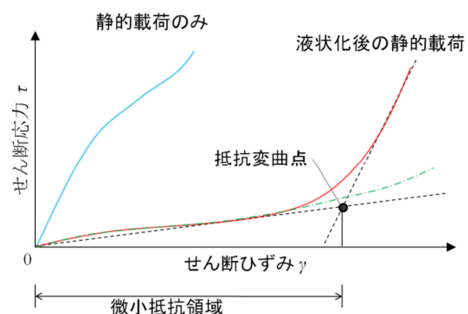


図-1 傾斜地盤上盛土の簡易モデル

図-2 せん断応力 τ -せん断ひずみ γ 関係

キーワード 液状化、応力-ひずみ曲線、砂、中空ねじり試験、盛土

連絡先（住所：福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 電話番号：093-884-3111）

3.結果および考察

(1) 圧密理論による背圧制御 (図-3)

図-3にモデル地盤内の間隙水圧を変化させた場合の $Dr=65\%$ におけるせん断応力 τ -せん断ひずみ γ の関係を示す。モデル地盤内の間隙水圧を変化させた場合において、今回再現した液状化直後からの排水を伴うせん断挙動には相対密度 Dr の影響があまり見られなかったため、 $Dr=65\%$ の結果を代表して示した。図-3より、片面排水の場合では、深いところから排水されていくため深いところの方が剛性の回復も早く、剛性回復後のせん断応力の値も大きくなっている。浅いところでは排水が地震後緩やかに生じるので、せん断剛性が小さくなっている。しかし完全な非排水ではないので、非排水時のような大ひずみにおける急激な剛性回復は見られない。

(2) 低透水層による排水制御 (図-4～7)

図-4、5に低透水層を用いた場合の $Dr=65\%$ 、 35% におけるせん断応力 τ -せん断ひずみ γ の関係を示す。両相対密度共通してC5D95の低透水層を用いたときに最も緩やかに剛性が回復した。非排水せん断と比較すると、 $Dr=65\%$ の場合、C5D95とC10D95のケース、 $Dr=35\%$ の場合、C5D95とC10D95、C10D90のケースでより緩やかに剛性が回復している。

また、図-6、7に $Dr=35\%$ におけるC5D95、C10D90での過剰間隙水圧比の変化 $\Delta u/\sigma_0'$ と排水量の関係を示す。両図より、排水量が多いほど過剰間隙水圧比がゼロの状態から減少傾向に移るときにせん断ひずみが大きくなっている。 $Dr=65\%$ の場合も同様の傾向が見られた。このことから、排水を伴うことで過剰間隙水圧比の減少傾向が異なってくることは正のダイラテンシーの影響が現れるまでの領域が変化することであり、注目すべき挙動と考えられる。さらに、微小抵抗領域 γ_L と透水係数 k_{15} の関係をみると、透水係数が小さくなるにつれ、微小抵抗領域が大きくなる傾向にあった。

以上のことから、緩やかな剛性の回復を再現するために低透水層を用いて排水量を制御することは有効な方法であると考えられる。しかし、低透水層内のベントナイトが移動し低透水層内に水みちが生じ、透水係数が増加したため、剛性が急激に回復したと考えられるケースC5D90もあった。このことから、低透水層作製には更なる工夫が必要であり、適当な透水係数となる低透水層の作製を行うため、今後も検討する余地があると考えられる。

4.まとめ

液状化砂に対して微量排水を伴う条件で静的単調載荷試験を実施した。その結果、微量排水を伴うことで微小抵抗領域が拡大し得ることが明らかになった。

参考文献

- 1) 安田進ら(1999): 液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集、No.638/III-49、pp.71～89。
- 2) 岡崎真也ら(2011): 排水速度を制御した場合の液状化砂の変形特性、第46回地盤工学研究発表会、pp.1677～1678。

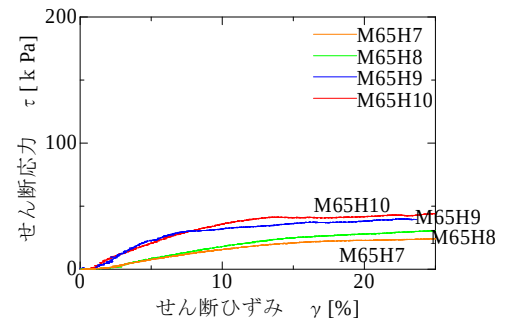


図-3 $Dr=65\%$ における τ - γ の関係

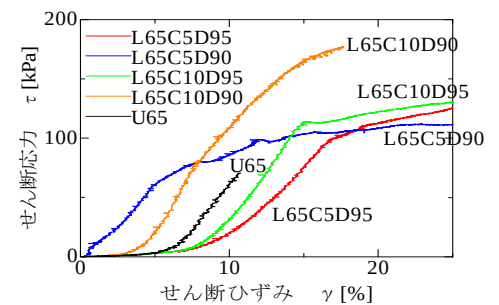


図-4 $Dr=65\%$ における τ - γ の関係

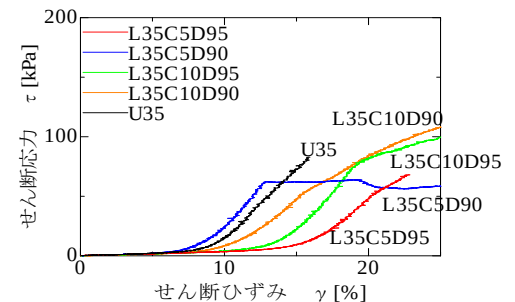


図-5 $Dr=35\%$ における τ - γ の関係

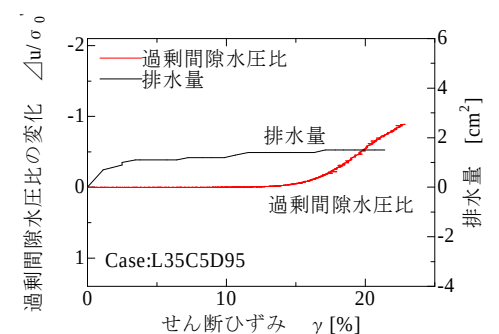


図-6 $\Delta u/\sigma_0'$ 、排水量と γ の関係

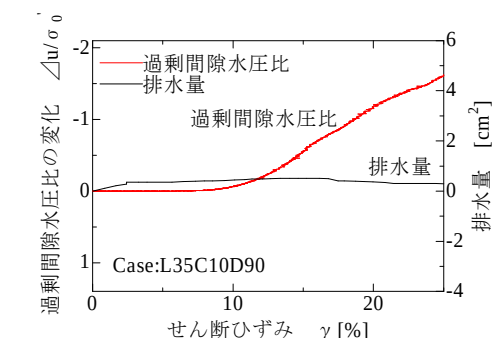


図-7 $\Delta u/\sigma_0'$ 、排水量と γ の関係