

排水速度を制御した場合の液状化砂の変形特性

九州工業大学 学生会員 ○岡崎 真也 岩國 英紀
正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦

1. 研究目的

2007 年能登半島地震では、自然斜面に比べ、傾斜地盤上に施された盛土の被害が多く見られた。このときの盛土被害では (1) 深いすべり面、(2) 大きい流動距離、(3) 剛体すべりといった特徴を有していることが報告されている。また、これらの盛土被害は水が集中しているところで多く発生しており、地下水が重要なパラメーターであると考えられる。その一例として、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盤の剛性が低下することにより斜面が崩壊すると考えられる。

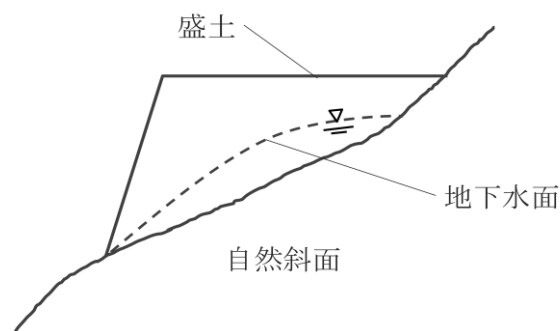


図-1 傾斜地盤上盛土の簡易モデル

液状化に伴う地盤の流動に関する研究では、繰返し非排水試験を行い、その後非排水条件を保ったまま静的せん断試験を行って、繰返し载荷を受けることによるせん断剛性の低下に基づいた解析により流動現象を再現する方法が一般的によく用いられている。しかし、このような非排水状態での実験では次のような問題が生じると考えられる。まず、図-2 は静的载荷のみを加えた場合と、繰返し载荷により供試体を液状化させた後に静的载荷を加えた場合に得られるせん断応力-せん断ひずみの関係である。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しているのが確認できる。つまり、このように剛性が急な回復をすると考えるならば、2007 年能登半島地震のように 50m を超える大きな流動は発生せず、むしろ抑制されるのではないかと考えられる。

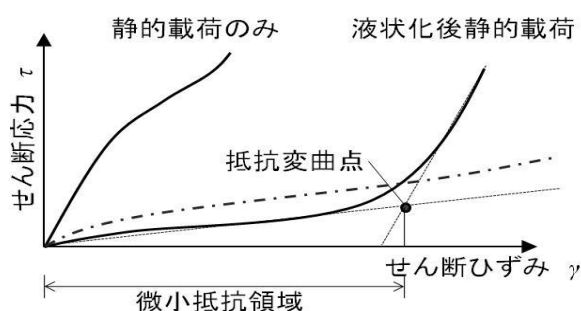


図-2 非排水状態での静的载荷

以上のことにより、地震による液状化の後、地下水が非常にゆっくりと排水されることにより水圧もゆっくり消散し、図-2 の一点鎖線のように剛性回復が緩やかに行われることにより連続的にすべりが発生することで移動距離の大きなすべりが発生す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微量排水の下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排水速度を制御した場合の液状化砂の変形特性を調べ、傾斜地盤上盛土の液状化による流動崩壊のメカニズムを解明することを目的とする。

2. 実験方法

供試体は、外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形とし、空中落下法で相対密度が 50% となるように作製し、初期有効拘束圧 $\sigma_0 = 98 \text{ kPa}$ で等方圧密した。

軸方向変位を拘束した後、非排水状態で 0.1Hz の正弦波荷重を 20 回载荷し液状化させた。ただし、正弦波荷重は同様の条件のもとで行った繰返し試験によって求められた液状化強度 R_{120} に基づいて設定した。

排水は供試体上端部から圧密排水用のビューレットへ背圧制御によって行い、間隙水圧は供試体下部で計測した。

3. 静的載荷時の条件

今回は上述したように繰返し載荷を 20 回行い、供試体が液状化したことを確認した後、背圧条件を設定し静的単調載荷を行った。

表-1 には背圧を一定の割合で低下させた場合の試験条件を示す。既定の圧力まで低下させた後は、圧力を一定に保ち試験を継続している。

また、表-2 では地盤モデルとして地下水面が地表面と一致する深さ 10m の地盤において片側排水の場合を想定したときの試験条件を示す。このとき、間隙水圧の消散は圧密理論に従うとし、圧密係数は土田らの研究²⁾により得られた値を用いた。

ここで、静的単調載荷はひずみ制御方式で行い、そのときの載荷速度は $\dot{\gamma}=4\%/min$ とした。

4. 繰返し載荷後の静的載荷試験の結果

図-3, 4 はそれぞれ表-1, 2 の条件におけるせん断応力 τ とせん断ひずみ γ の関係を示したものである。CASE-1.4 の背圧を 274kPa にて一定にした場合は CASE-1.1, 1.2 に比べて剛性の回復が急であるが、これは CASE-1.4 が CASE-1.1, 1.2 に比べて排水速度が速いためである。また、CASE-1.4 では剛性回復後のせん断応力はほぼ一定の値をとっているが、CASE-1.1, 1.2 のように徐々に排水させた場合は剛性の回復が緩やかである。さらに CASE-1.4 のように背圧を一定にした場合に比べ、せん断ひずみが 20%を超えた大ひずみ領域でせん断応力が大きい値となっている。次に CASE-1.1, 1.2 を見てみると、それぞれ 6 分, 8 分で 274kPa まで背圧を下げている。しかし、図-3 より数分の時間差ではせん断応力の回復傾向に大きな違いは見られなかった。

背圧を一定の割合で低下させたときと比べて、モデル地盤を想定した場合は、剛性の回復が継続している。これは、背圧を一定にすることなく徐々に低下させ、ゆっくりとした排水が持続的に行われていたためと考えられる。また、背圧の低下の割合が小さくなると、剛性の回復が緩やかになっている。このことから、背圧の変化により剛性の回復が支配されていることが分かる。

5. まとめ

本研究では、次のことが明らかとなった。

- 静的時の背圧をゆっくりと下げることで、背圧が一定の場合に比べて剛性回復後のせん断応力が大きい値を取ることがわかった。
- 静的単調載荷時に背圧を一定の割合で低下させた場合では数分ごとの時間差ではせん断応力の回復傾向に大きな違いは見られなかった。
- 剛性の回復は、背圧の変化により支配されている。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤の動的解析-基礎理論から応用まで-, 2007.
- 2) 土田肇：振動により流動化した砂層が壁体に及ぼす圧力，土と基礎，vol.16, No.5, 1968.

表-1 試験条件

CASE	静的載荷時の背圧条件
CASE-1.1	6 分で 294kPa⇒274kPa
CASE-1.2	8 分で 294kPa⇒274kPa
CASE-1.3	6 分で 294kPa⇒284kPa
CASE-1.4	274kPa 一定
CASE-1.5	非排水

表-2 試験条件

CASE	静的載荷時の背圧条件			
CASE-2.1 深さ 10m	背圧[kPa]	196⇒166.6⇒156.8⇒151.9		
	時間[min]	3.0	7.5	6.4

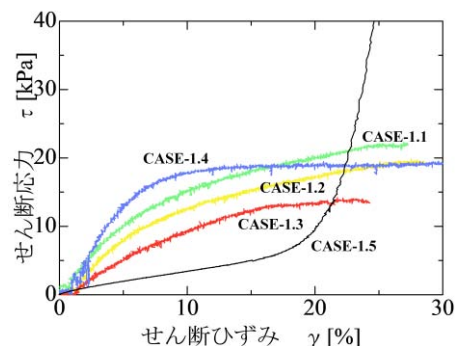


図-3 せん断応力-せん断ひずみ関係

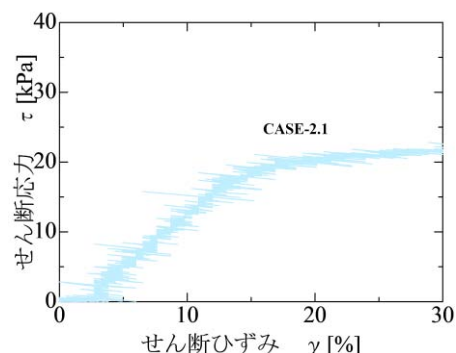


図-4 せん断応力-せん断ひずみ関係