

1. まえがき

砂の静的液状化を評価するにあたり重要な Steady State Line の概念は未だ統一的な見解が見られない。著者らは初期状態での相対密度がゼロ付近となるような非常にゆるい供試体を作成し、静的載荷における挙動を調べたので報告する。

2. 試料及び供試体の作成方法

試料は相馬標準砂を用いた。粒度分布及び物理的性質は図1、表1に示す通りである。粒子は主に石英、長石からなり、形状はほぼ球状であった。非常にゆるい供試体を作成するために試料を含水比3%に湿らせ、供試体が円柱になるように軽く突き固めて作成した。飽和のための通水中に粒子間の表面張力が失われ、供試体の骨格構造が崩れその結果体積が減少する。そのため一度 -0.05 kgf/cm^2 の負圧下で通水し、通水による体積減少が十分進行してから供試体の寸法を測定した。以上の方法により相対密度 $\pm 10\%$ 程度の供試体を得ることができた。また飽和度は通水前に CO_2 を1時間通過させ圧縮試験前に $B_p 4 \text{ kgf/cm}^2$ をかけることにより B 値 97% 以上をほとんどの試験で得ることができた。

表1 試料の物理的性質

Gs	2.619
e_{max}	1.028
e_{min}	0.659
$D_{10}(\text{mm})$	0.50
$D_{50}(\text{mm})$	0.64
Uc	1.28
Uc'	0.95

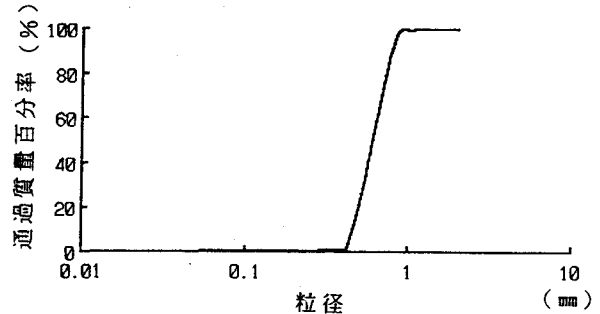


図1 粒度過積曲線

3. 試験結果

試験方法はひずみ速度 $1\%/min$ のひずみ制御方式でCU及びCD試験を行った。

CU試験は非常にゆるい供試体を用い、側圧 $0.5 \sim 7.0 \text{ kgf/cm}^2$ の低圧試験及び $15 \sim 35 \text{ kgf/cm}^2$ の高圧試験、さらに広い範囲での Steady State Line を求めるために $Dr = 50\%$ 以上のしまった供試体についての高圧試験も行った。またCD試験は非常にゆるい供試体から側圧 $1.0 \sim 7.0 \text{ kgf/cm}^2$ の低圧試験のみ行った。試験結果を表2に示す。

3.1 Stress Path及び内部摩擦角

非常にゆるい砂の Stress Path を図2に示す。CU試験からの①は軸ひずみ12%で軸差応力、平均有効応力ともにゼロとなり Quick Sand が発生したものである。Quick Sand の発生する間隙比は Steady State Line (定常状態曲線) の起点でありほぼ土質工学会基準による最大間隙比に近い値をとることが著者らの研究により明らかになっている。さらにこの間隙比を圧密後に得ることが必要なため相対密度がゼロ以下の供試体を作成することが重要な問題となる。Quick Sand が発生する間隙比は相馬砂では $e_c = 0.997$ であった。CU試験における②～⑦の実験では低いひずみで軸差応力がピーク値に達し、その後間隙水圧の増加により急激に低下する。そして軸ひずみ約7%で一定せん断応力、一定有効応力さらにひずみ制御の非排水試験であるから一定体積、一定速度で連続的に圧縮される状態、つまり定常状態に達する。また、定常状態に達してからの摩擦角は一定である。

図3にはCU試験においてピーク時及び定常状態時の摩擦角と間隙率の関係を示した。定常状態時の摩擦角にさほど変化がみられないのに対し、ピーク時の摩擦角は間隙率の増加にともない減少している。つまり一般に知られている間隙率の増加にともなう内部摩擦角の減少はピーク時の値に限って起こるものである。

3.2 Steady State Line

図4に相馬砂の Steady State Line を示す。図の○印は定常状態または変相点をプロットしたものである。液状化し易さはこの Steady state Line の位置によって定まる。これまでの著者らの研究を含め、他の研究者によっても Steady State Line が左方または下方にあるほど液状化し易いことが解っている。

3.3 液状化ポテンシャル (Lp)

Lpは Casagrande が定義した次式から求める。

$$Lp = (\Delta u) / (\sigma_v - \Delta u)$$

図5にLpと最小平均有効主応力との関係を示す。多少のばらつきはあるが、間隙比及び側圧に関係なく一意的に定まる。今回他の砂との比較は行っていないが、図5の曲線の関係より液状化し易さを総括的に比較できると思われる。

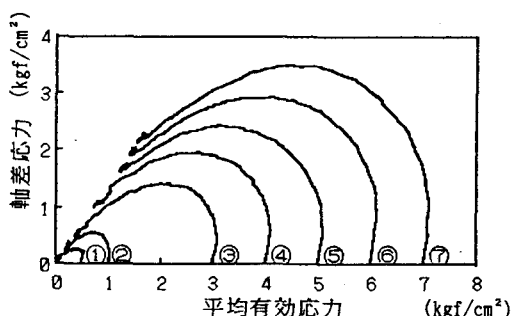


図2 応力経路

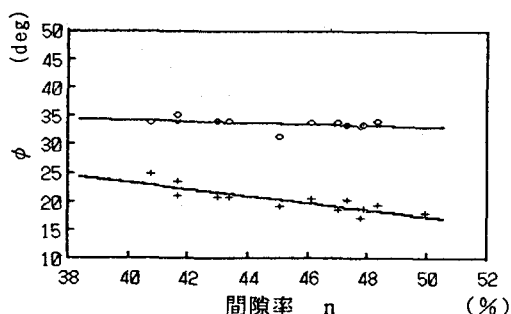


図3 内部摩擦角

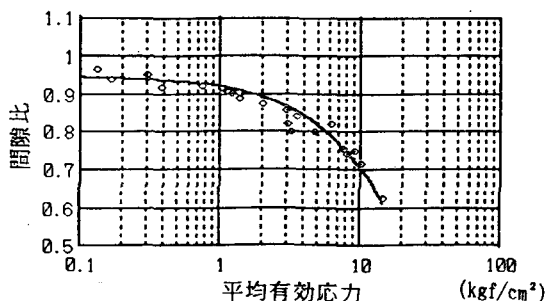


図4 Steady State Line

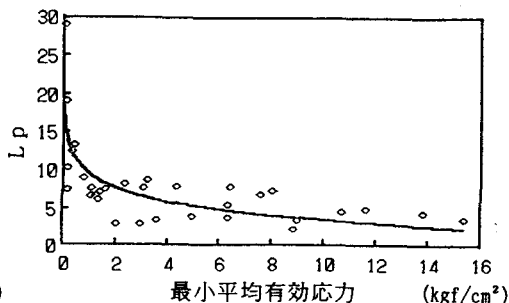


図5 液状化ポテンシャル

結論

- 1) CU試験とCD試験からの軸ひずみ25%における摩擦角は34°で一致したが、CU試験の破壊時の摩擦角は間隙率の増加によって減少し25°～15°であった。
- 2) 相馬砂に関して Quick Sand が発生する限界の間隙比は $e_c = 0.997$ であった。
- 3) Steady State Line の位置関係及びLpにより液状化し易さを総括的に比較できるものと思われる。