

III-167

非常にゆるい三国砂の挙動

立命館大学大学院 学生会員 ○武石 雅行
立命館大学理工学部 正会員 竹下 貞雄

1. まえがき

砂の静的液状化特性を調べるためには、非常にゆるい飽和された供試体を用いる必要がある。今回、著者らは非常にゆるい砂を中心に $\overline{C}U$ 試験を行うことにより、Steady State Line (S.S.L.) を求めるとともに、Brittleness Index を定義することにより砂の静的液状化特性を評価してみたので報告する。

2. 試料および供試体の作製方法

試料は福井県三国海岸で採取した海砂で、2mmふるい通過分を用いた。図-1、表-1に試料の粒度分布および物理的性質を示す。非常にゆるい供試体は、含水比10%に調整した試料をスプーンで1杯ずつモールド内にいれ、供試体が円柱になるように軽く突き固めて作製した。供試体が非常にゆるいために、飽和のための通水中に砂粒子間の表面張力が失われることにより供試体の骨格構造が崩れ、供試体の体積が減少する。そこで、砂を詰めた後 -0.05kgf/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。この方法により、最小相対密度 -10% 程度の供試体を得られた。飽和度は、通水前に CO_2 を1時間通過させ、圧密後に背圧 4kgf/cm^2 をかけることによりほぼ B 値97%以上が得られた。

3. 実験方法

圧縮試験はひずみ速度 $1\%/mm$ のひずみ制御方式とし、軸変位量 30mm まで試験を行った。側圧は、非常にゆるい供試体では $0.5\sim 20\text{kgf/cm}^2$ で、またS.S.L.の高圧部を求めるために、相対密度50%以上のしまった供試体を用いて側圧 $15\sim 35\text{kgf/cm}^2$ の範囲内で試験を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 Steady State Line

図-2に三国砂のS.S.L.を示す。三国砂では、平均有効主応力 p' が $0\sim 2\text{kgf/cm}^2$ 付近までは緩やかな右下がりの曲線となり、 p' が 2kgf/cm^2 以上では直線となる。また、 p' が0であるものはQuick Sandが発生したものである。ここで、S.S.L.が $e_c=1.04$ 付近まで接していることと、土質工学会基準による最大間隙比が 1.059 であることを比較すると、Quick Sandが起こる相対密度の限界値は $Dr=0\%$ に近い値であると推測される。

4.2 応力比(R_v)

飽和した非常にゆるい砂の軸差応力は、低い軸ひずみでピーク値 q_{max} まで増加し、その後急激に減少し最小値 q_{min} を示す(図-4参照)。ここで q_{min} と q_{max} の比を R_v と定義し、 R_v と圧密後の間隙比の関係をプロットしたものを最小

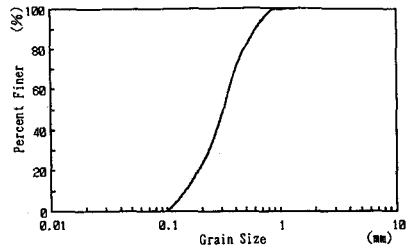


図-1 Grain Size Distribution Curve

表-1 Index Properties

Gs	2.753
D_{10} (mm)	0.16
D_{30} (mm)	0.24
D_{50} (mm)	0.32
D_{60} (mm)	0.36
U_c	2
U_s	1.0
e_{max}	1.059
e_{min}	0.636

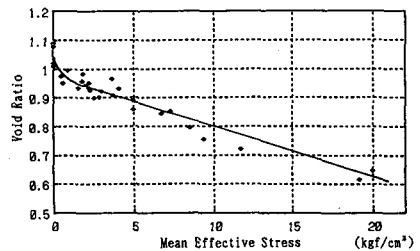


図-2 Steady State Line

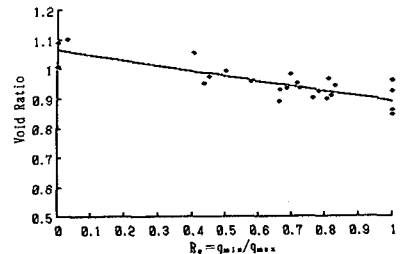


図-3 Stress Ratio

自乗法で一次式で近似したものが図-3である。Quick Sandが発生するときは $R_v = 0$ であり、 q_{min} が生じないような非流動挙動を示すときには $R_v = 1$ ($q_{min} = q_{max}$)となる。つまり、流動挙動を示す限界が $R_v = 1$ であり、このときの間隙比は $e_1 = 0.890$ であった。

4.3 Collapse Surface

図-4は飽和された非常にゆるい砂の応力経路のモデルを示す。軸差応力の最大値であるB点で破壊が生じた後、C点でSteady State となる。BDは軸差応力の損失を表わし、CDは平均有効主応力の損失を表わすことから、BCはこれら2つの応力を合成した損失である。Sladen¹⁾はBCをCollapse Surface とし、BCの距離をもって非排水破壊を評価することができるとしている。Collapse Surface は破壊点とSteady State 点を直線で結んでいることから、液状化特性を評価するのに有効であると考えられる。ここで、側圧や供試体の状態に関係なく応力経路を比較するために、軸差応力 q および平均有効主応力 p' を最小平均有効主応力 $p'_{..}$ で除することによって正規化し、その結果を図-5に示す。これによると試験条件に関係なく応力経路はM(1. M_0) 点に収束し、この点に留まる間は、Steady State を維持し続ける。三国砂では $M_0 = 1.51$ であった。そして、この正規化応力経路と間隙比の関係を3次元的に表わしたものが図-6である。この空間上で表されるCollapse Surface 上で、 e_1 からQuick Sandが発生した最小間隙比 $e_v = 1.007$ で囲まれる面積(図-6の斜線部分)をBrittleness Index (B. I.) と定義することにより液状化傾向を総括的に表わせると考えられる。正規化応力経路の破壊点とM点との距離とそれぞれの間隙比をプロットしたのが図-7である。両者の関係を示す近似式からB. I. を求めると、

$$B. I. = \int_{e_1}^{e_v} Y dX = \int_{0.890}^{1.007} 6.18X^{17.24} dX = 0.344$$

なお、鳥取の砂ではB. I. = 0.663が得られている。

5. 結論

三国砂について以下のような結論が得られた。

- (1) Quick Sandが発生する間隙比の最小値は1.007であった。
- (2) CU試験において流動挙動を示す限界を $R_v = 1$ で定義すると、このときの間隙比は0.890であった。
- (3) 液状化傾向を総括的に表わせると考えられるBrittleness Index はB. I. = 0.344であった。

〈参考文献〉

- 1) J.A.Sladen et al. : "The Liquefaction of Sand, a Collapse Surface Approach", Canadian Geotechnical Journal, Vol.22, pp564-578, (1985).

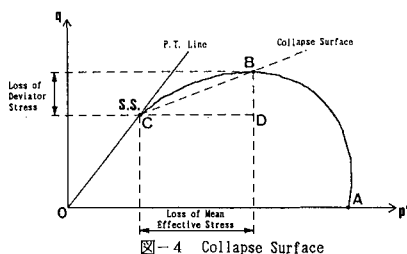


図-4 Collapse Surface

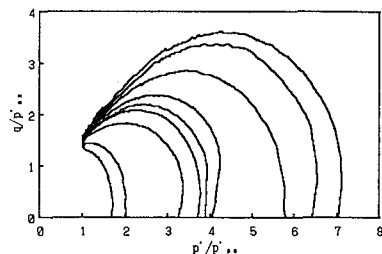


図-5 Normalized Stress Paths

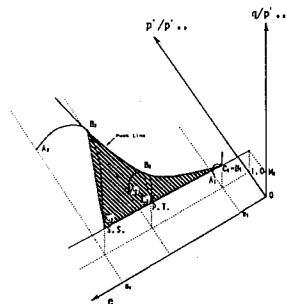


図-6 Collapse Surface on $e-p'/p'..-q/p'..$ Space

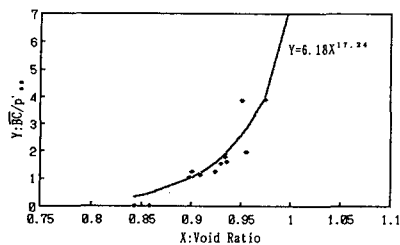


図-7 Collapse Surface on $BCI/p'..-e$ Space