

東京大学大学院 学生員 ○菊池喜昭

東京大学工学部 正員 石原研而

東京大学大学院 学生員 金谷 宇

1 はじめに

海底に堆積した砂は、表層付近でゆるくかつ有効上載圧も低い。海洋構造物の安全性を調べるためには、このような低拘束圧下の砂の挙動を調べる必要がある。しかし実験上の困難さのためにこれまであまり多くの研究がなされていない⁽¹⁾。特に静的三軸試験は、筆者の知るところでは、Ponce et al.の研究⁽²⁾くらいである。そこで、高精度の三軸試験機を作製して低拘束圧下の砂の挙動を調べた。

2 装置および実験方法

低拘束圧試験の精度をあげるために行なったことは以下のようである。(1)応力測定機器の精度をあげる。セル圧と間ゲキ水圧用ブルトンゲージの最小目盛は 0.02 kgf/cm^2 のものを用いた。この10分の1まで読みとるようにしたので、測定精度は 0.002 kgf/cm^2 である。軸力測定には 50 kgf 用ロードセルを用いた。デジタル出力の1目盛は 0.0015 kgf/cm^2 以上の精度を持っている。さらに、ロードセルは防水防圧加工したものであり、セル内に設置してある。(2)変形の不均一性を減らすために、キャップとベDESTALの端部の径を供試体径より 1 cm 大きくし、さらにゴム膜とシリコングリスを用いて端面の摩擦を切った。(3)供試体作成時に過度の圧密となるのを防ぐために、供試体を自立させる時の負圧をできるだけ小さくし供試体に脱気水を通じさせる時の動水勾配をできるだけ小さくした。

実験に用いた砂は豊浦標準砂で、 $G_s = 2.65$, $e_{\max} = 0.977$, $e_{\min} = 0.597$ である。これをロートから 10.6 cm 空中落下させ(気乾)、直径 5 cm 高さ 10 cm の中実円柱供試体を作る。この供試体を約 10 , 20 , 30 , 50 kN/m^2 で等方圧密し、静的三軸せん断装置で応力制御のもとでせん断した。

実験は単調載荷ですべて三軸圧縮せん断であり、排水条件と非排水条件の2種類の条件で行なった。

3 非排水試験

非排水試験の結果を図-1, 図-2に示す。図-1は軸差応力 $\sigma = \sigma_a - \sigma_r$ を平均有効主応力 $p' = \frac{1}{3}(\sigma_a + 2\sigma_r) - u$ で除した応力比 (q/p') と最大せん断ひずみ $\gamma = \varepsilon_a - \varepsilon_r$ の関係を示したものである。この図によると、拘束圧が低くなるほど応力比 q/p' と最大せん断ひずみ γ の初期勾配が大きくなり、降伏ひずみが小さくなっている。しかし、最終強度に匹敵する応力比は初期拘束圧にほとんど影響をうけずほぼ一定になる。図-2は、応力経路と等ひずみ線のグラフである。どの等ひずみ線もわずかに上に凸な曲線と

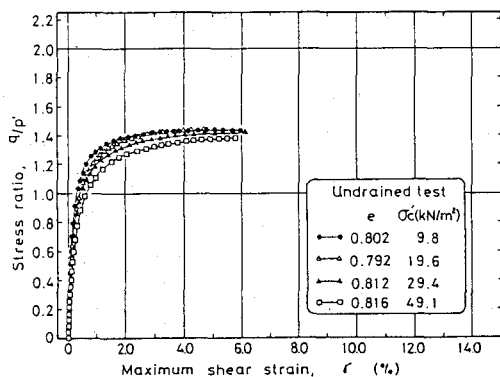
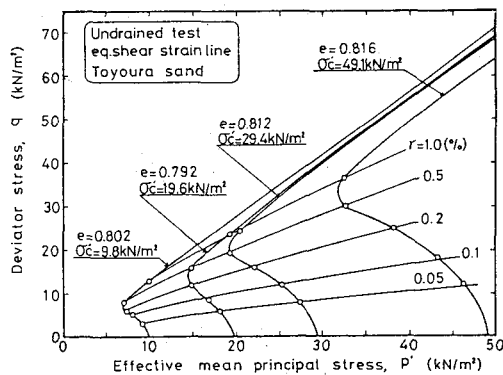
図-1 応力比 q/p' ~ ひずみ γ 曲線 (非排水)

図-2 応力経路と等ひずみ線

なっている。このことは図-1と表裏をなす。また、この応力経路を見ると、ややではあるが、せん断初期の立ちあがりには拘束圧が低くなるほど急になっている。つまり拘束圧が低くなると間ゲキ水圧の上昇率がやや低下することが示されている。しかし、拘束圧の低いところでは供試体作成時に過圧密状態となっている可能性があり、その影響で間ゲキ水圧があがりにくくなっていることも考えられる。

4 排水試験

排水試験の結果を図-3、図-4、図-5に示す。図-3のグラフの軸は図-1と同様である。この図によると、非排水の場合と同様に拘束圧が低下するほど応力比 q/p' ～ひずみ γ 曲線の勾配が増大する。一方終局強度は、非排水の場合と異なり、初期拘束圧が低くなるほど増大する。特に初期拘束圧が約20～30 kN/m²の場合を境にして終局強度の増加の割合が大きくなっている。図-4は、初期拘束圧 σ_c' と体積ひずみ v の関係を等せん断ひずみ線をひいてあらわしたものである。この図によると $\sigma_c' = \text{約} 20 \sim 30 \text{ kN/m}^2$ を境として、それ以下の初期拘束圧で急に体積膨張性が増大している。このように、体積膨張性が増大することが低拘束圧下の強度を増加させる原因となっているようである。

図-5は、図-3から得られた応力比最大 $(q/p')_{\max}$ におけるモールの応力円を描き、その包絡線を経んだものである。包絡線はわずかに上に凸な曲線となっているが、ほぼ直線とみなすことができ、このまま外挿していくと、非常にわずかであるが、2 kN/m²程度の粘着項が存在すると言えそうである。 $(q/p')_{\max}$ の値が低拘束圧時に大きいのは、圧密圧力の違いによってこの項の影響が異なるためでもあると考えられる。

5 結論

以上のことから次のことがわかる。

- ① 拘束圧の低下とともに初期せん断定数が増加する。
- ② 特に排水条件では拘束圧の低下とともに強度が増加する。体積膨張性と粘着項との二つの原因によると考えられる。

しかし、今後さらに過圧密の影響についてはチェックの必要がある。

6 参考文献

- (1) 国生剛治 「土の動的特性と地盤の非線形震動に関する研究」(1981)
- (2) Ponce T.M. & Bell J.M., "Shear strength of sand at extremely low pressures" (1971) Proc. of ASCE SM4 pp. 625-638.

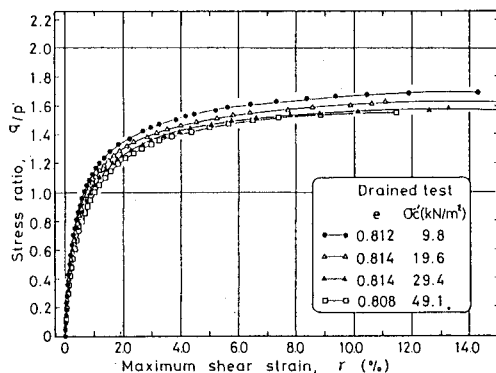


図-3 応力比 q/p' ～ひずみ γ 曲線(排水)

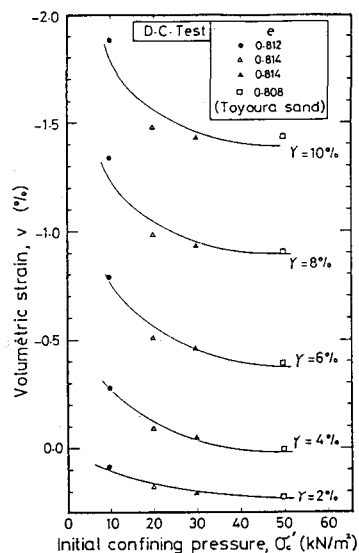


図-4 初期拘束圧 σ_c' と体積ひずみ v の関係

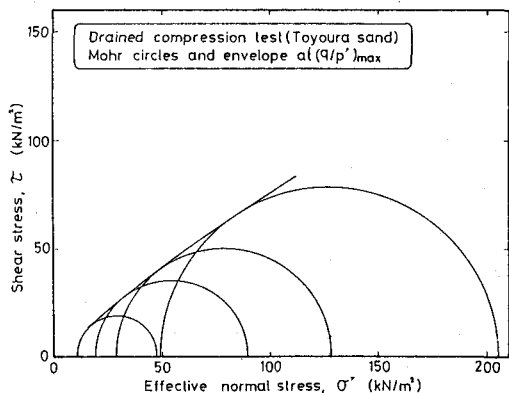


図-5 モールの破壊包絡線