

鳥取砂丘砂の力学特性

鳥取大学工学部 正会員 清水正喜

○佐伯建設工業(株) 正会員 岡田 茂

1. はじめに

地盤に変形が生じる様々な現象およびそのメカニズムを理解するのに、模型実験が行われたり、有限要素法などの数値解析が利用される。とくに、数値解析手法は、模型実験でカバーできない条件下で現象をシミュレートすることができ、その重要性がますます増大してきた。その際、対象土の応力ひずみ関係を適切に表現できる構成式を選択し、そこに用いられたパラメータを要素試験等によって同定する必要がある。

著者らは、鳥取砂丘砂に対して三軸試験を実施し、一つの弾塑性構成式¹⁾の適用性を検討してきた²⁾。本報告では、従来の成果と併せて、同構成式に用いられた力学パラメータに対する間隙比の影響について考察する。

2. 試料および実験方法

試料は、不純物を取り除き乾燥させた鳥取砂丘産の砂である。物理特性を表1に示す。 $D_{50}=0.5\text{mm}$ の粗い砂である。供試体は直径5cm、高さ12.5cmの円柱である。所定の相対密度($D_r=30, 40, 80\%$)となるように成形モールドに砂を詰め、凍結させて作製した。

行った試験は、三軸圧縮試験、等方圧密試験、ゴム膜貫入量試験である。

三軸試験は、側圧一定、ひずみ制御(軸ひずみ速度 $=0.6\%/分$)、排水条件で行った。側圧は1.0, 2.0, 3.0 (kgf/cm^2)と変化させた。等方圧密試験は、ダイレタンシーによる体積ひずみを評価するために行った。ゴム膜貫入量は鉄芯法により求めた。3種類の鉄芯(0.8, 1.5, 3.0 $\text{cm}\phi$)を用いた。

3. 結果と考察

3.1 ゴム膜貫入量と側圧の関係

通常、ゴム膜貫入量は、同じ砂であれば、間隙比に依存しないで側圧のみに依存すると言われている。しかし、ゴム膜貫入量は、同じ側圧変化に対しても、間隙比、あるいは、より一般的には砂の構造が異なれば異なるはずである。砂の構造は、載荷や除荷の履歴によって変化すると予想される。このような観点から、試験結果を整理した。図1は、相対密度30%の場合の、ゴム膜貫入量と側圧の関係である。処女載荷過程、除荷過程、再載荷過程等の各過程で、 $\sigma_r=0.2$ (kgf/cm^2)における貫入量からの相対量でゴム膜貫入量を表している。図1より、貫入量と側圧の関係は、処女載荷過程と他の過程の間で異なっていることがわかる。但し、相対密度が大きい場合($D_r=80\%$)この傾向は弱かった。

3.2 等方圧縮特性と詰まり方

図2に $D_r=30, 40, 80\%$ における $e \sim \log \sigma_m$ 曲線を示す。同じ砂であっても初期間隙比 e_0 によって圧縮特性が異なる。実際、 λ と κ を図2に引いた直線から求めて e_0 に対してプロットすると図3が得られ、 λ と κ 、とくに λ は e_0 が大きくなると小さくなることがわかる。

表1: 試料の物理特性

G_s	2.70
$e_{\max}$	0.888
$e_{\min}$	0.579
$D_{10}(\text{mm})$	0.26
$D_{50}(\text{mm})$	0.50
$D_{60}(\text{mm})$	0.60

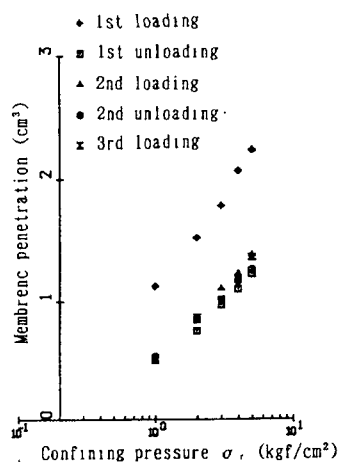


図1: ゴム膜貫入量と側圧の関係

3.3 セン断特性と詰まり方:

(1) 内部摩擦角 (ϕ_r , ϕ_m): ϕ_r は破壊時に発揮されている内部摩擦角, ϕ_m はダイレイタンスによる体積圧縮が最大の時に発揮される内部摩擦角である。ダイレイタンスによる体積ひずみ v_d は $v_d = v - v_c$ として求めた。ここに, v は全体積ひずみ, v_c は等方応力変化に起因する体積ひずみ。図4に ϕ_r および ϕ_m と e_0 の関係を示した。 ϕ_r , ϕ_m ともに e_0 が大きくなると減少している。 ϕ_m は ϕ_r に比べて間隙比に対する変化が緩やかである。 ϕ_m が間隙比と共に減少することは, 間隙比の大きい試料ほどダイレイタンスによる体積圧縮が最大になるまでに発揮される応力比が小さいことを表している。

(2) セン断弾性係数 G : G は $(\sigma_a - \sigma_r) \sim 2(\epsilon_a - \epsilon_r) / 3$ 曲線の初期接線係数である。図5に, G を平均主応力 σ_m で正規化した量 (G/σ_m)と e_0 の関係を示す。正規化したせん断係数は間隙比と共に減少している。また, その関係は拘束圧の大きさにあまり依存しないようである。

(3) 双曲線パラータ G' : τ_{oct}/σ_m と γ_{oct} の関係を双曲線近似したときの初期接線係数を G' とする。 G' と e_0 の関係を図6に示す。 G' が側圧の大きさに拘らず, 間隙比と一義的な関係にあることがわかる。 G' を求めるに際して, セン断ひずみは弾性, 塑性を分離していない。したがって, ここで求めた G' と e_0 の関係は, セン断弾性係数 G を評価するための別法として用いることが出来ると思われる。

4. 結論

① ゴム膜貫入量と側圧の関係は, 処女載荷過程と他の過程で異なる。その差は初期間隙比が大きいとき大きい。② λ と κ は初期間隙比が小さいほど大きくなる。とくに λ は初期間隙比の影響を受ける。③ その他の力学パラメータ (ϕ_r , ϕ_m , G/σ_m , G')も初期間隙比の影響を受け、初期間隙比と共に顕著に減少する。

参考文献: 1) 西, 江刺(1962): 電力中央研究所報告376014.

2) 清水, 平岩(1989): 土木学会中四支部研究発表会, pp.264-265.

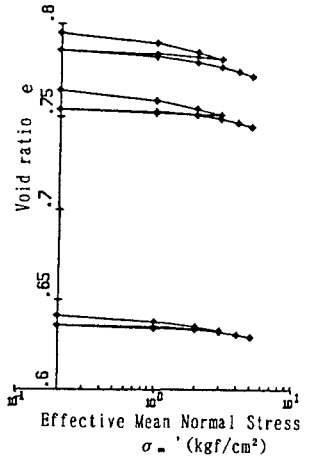


図2: $e - \log \sigma'_m$ 関係

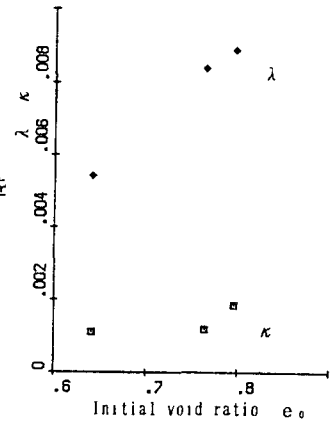


図3: λ , κ と e_0 の関係

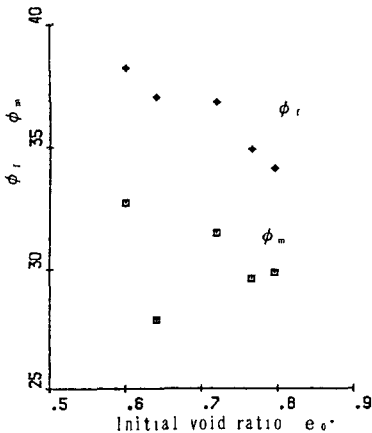


図4: 内部摩擦角と e_0 の関係

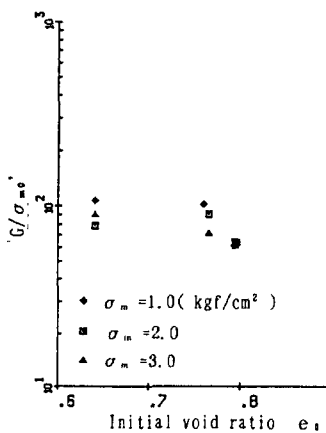


図5: G/σ_m と e_0 の関係

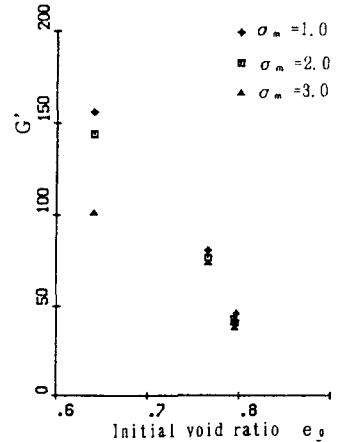


図6: 双曲線パラメータ G' と e_0 の関係