

粒状土の構造異方性と K_0 値

九州大学 工学部 廣重圭一 九州大学 工学部 落合英俊
九州大学 工学部 林 重徳 九州大学 工学部 鎌田幸治

1. まえがき

自然の砂地盤は砂粒子の定方向配列に起因する異方的な構造を有しており、この構造異方性が砂の変形・強度特性に大きな影響を及ぼすことは、これまで多くの研究者によって指摘されている。著者らは、微視的な粒子構造の異方性を、測定が容易な巨視的応答量によって評価し、それを媒介として変形・強度特性との関係を定量的に把握することが実用的であるとの立場から、その評価パラメータとして K_0 値に着目し、粒子配列状態が異なる立方供試体について K_0 圧縮試験とそれにひき続く単純せん断試験を実施し、実験的な研究を行ってきた⁽¹⁾。その結果、 K_0 値には初期密度と構造異方性の度合いが複雑に影響を与えており、さらに詳細な実験の検討が必要であることがわかった。本文では、多重ふりい落下法を用いて、再現性のある粒子構造を持つ供試体の作成と初期密度の管理に留意し、 K_0 値と密度の関係について検討した。

2. 試料・供試体および試験法

用いた試料は、次の通りである。

- a) 海砂(志賀島)；粒径0.84~2.00mm，幾分長めで偏平な粒子形状
b) アルミ円板；直径2.3mm，厚さ0.5~0.8mm

一辺7.6cmの立方供試体は、多重ふりい落下法にて作成し、表-1に示す4通りの初期密度とした。試験に際して、堆積方向と圧縮方向を任意に設定するために、一時的に凍結させた。 K_0 圧縮試験は、鉛直応力 σ_x を 3.0 kgf/cm^2 まで段階的に载荷し、側方応力 σ_y, σ_z を測定した。供試体と圧縮方向の関係は、図-1に示す3ケースである。

3. 実験結果と考察

K_0 圧縮時における鉛直応力 σ_x と側方応力 σ_y, σ_z の関係は図-2に示すとおりであり、図-1のすべてのケースにおいて、ほぼ直線関係にあることが認められる。以下、それらの直線勾配を $K_0(y) = \Delta\sigma_y / \Delta\sigma_x, K_0(z) = \Delta\sigma_z / \Delta\sigma_x$ と表示する。すでに指摘したように、異方的な堆積構造をなす場合、堆積方向と K_0 値の関係は次のように要約できる⁽¹⁾。

- 1) 圧縮方向が堆積方向に一致する場合(Case-1)；側方二方向の K_0 値はほぼ等しい。
- 2) 圧縮方向と堆積方向が直交する場合(Case-2,3)；側方二方向の K_0 値は異なり、堆積面に垂直な方向の値が常に大きい。

図-3は、側方二方向の K_0 値の平均 $(K_0(y) + K_0(z))/2$ を間隙比に対して整理したものである。間隙比が大きくなるほど側方二方向の K_0 値の平均値は大きくなり、Jakyの式($K_0 = 1 - \sin\phi'$)等から推測される結果と一致する。

表-1 実験ケース

実験ケース	間隙比	作成法
I	0.64	空中落下法
II	0.71	"
III	0.76	"
IV	0.92	水中落下法

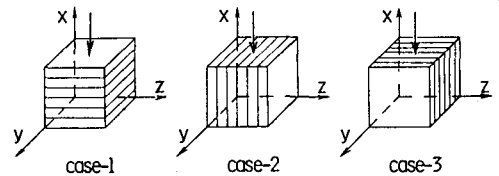


図-1 供試体の堆積方向と圧縮方向の関係

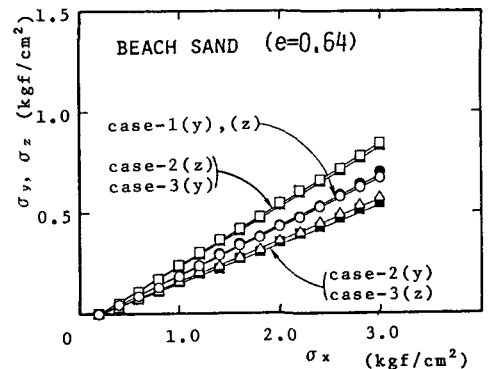


図-2 鉛直応力と側方応力の関係

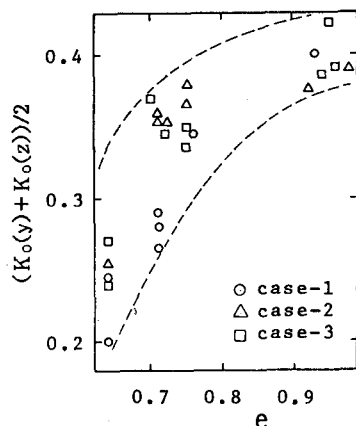


図-3 側方二方向の K_0 値の和

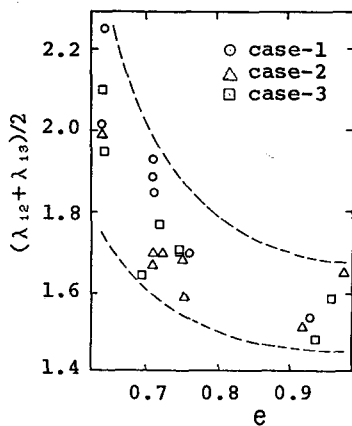


図-4 間隙比と $\lambda_{12}, \lambda_{13}$ の和の関係

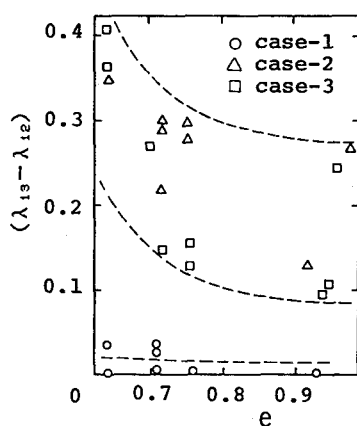


図-5 間隙比と $\lambda_{12}, \lambda_{13}$ の差の関係

佐武は異方性を取り扱う場合、その表現法として、三次元の場合 ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) 応力に関する次の3個の異方度を提案している⁽²⁾。

$$\lambda_{12} = \sqrt{\sigma_1 / \sigma_2}, \quad \lambda_{23} = \sqrt{\sigma_2 / \sigma_3}, \quad \lambda_{13} = \sqrt{\sigma_1 / \sigma_3}$$

ここで最大主応力 σ_1 は本文では σ_x に相当し、中間および最小主応力 σ_2, σ_3 の方向は Case-1, 2, 3 によって異なるが、いずれにせよ $\sqrt{1/K_0(y)}, \sqrt{1/K_0(z)}$ が $\lambda_{12}, \lambda_{13}$ のいずれかに相当する。

以下、この $\lambda_{12}, \lambda_{13}$ を用いて検討する。

図-4 は、異方度 λ_{12} と λ_{13} の平均値を間隙比に対して整理した結果である。間隙比が大きくなると λ_{12} と λ_{13} の平均値は小さくなる。このことは $(\lambda_{12} + \lambda_{13})/2 = (\sqrt{1/K_0(y)} + \sqrt{1/K_0(z)})/2$ の関係があるので、図-3 と同じ内容の結果と言える。図-5 は λ_{12} と λ_{13} の差を間隙比に対して整理した結果であり、次のように要約できる。

1) Case-1 の場合、間隙比に関係なくほぼ 0 に近い値をとる。すなわち、堆積面内の二方向については密度に関係なく応力の異方度はない。

2) Case-2, 3 の場合、間隙比が大きくなるにつれて異方度の差は小さくなる。すなわち、緩い状態になるほど堆積方向とそれに垂直な方向の応力の異方度の差は小さくなる。

図-6⁽¹⁾ は、供試体の鉛直及び水平断面の写真から粒子のみかけの長軸方向を測定し、Curryの方法に基づき、その分布の卓越の程度 $V \cdot M$ を求め、相対密度との関係を示したものであり、密になるほど鉛直断面の $V \cdot M$ は大きくなり、粒子の定方向配列の度合いが大きくなることを示している。このように、密な状態になるほど堆積面に沿った定方向配列が、より顕著になることと対応して、最大・最小主応力に関する異方度 λ_{13} と最大・中間主応力に関する異方度 λ_{12} の差が大きくなる。粒子の定方向配列の度合いと応力の異方度の差 $(\lambda_{13} - \lambda_{12})$ との関係を求めるのが今後の課題である。

4. まとめ

K_0 値は、密な状態になるほど、その値は小さくなる。また、定方向配列に起因する構造異方性の度合いは K_0 値の関数である応力の異方度 λ_{13} と λ_{12} の差によって評価できそうである。

参考文献：(1) 落合他(1986)；第21回土質工学研究発表会概要集，pp.321～324。

(2) 佐武(1984)；土と基礎 vol.32-11，pp.5～12。

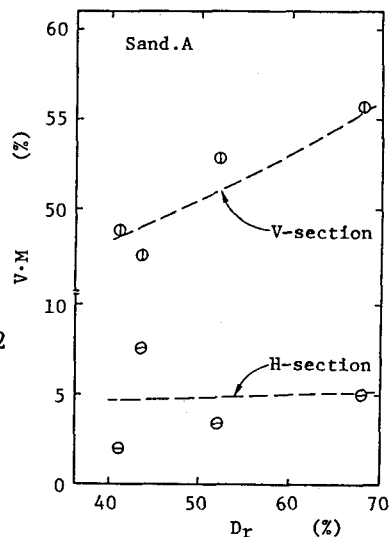


図-6 相対密度と $V \cdot M$ の関係