

粒状土の構造異方性と圧縮・せん断特性

九州大学 工学部 正 山内 豊聡 正 落合 英俊 正 林 重徳

同上 正 坂井 晃 学○白石 哲

1. まえがき

自然に堆積した砂は土粒子の定方向配列や土粒子間の接触状態の相違に起因して異方的な構造をなしている。このような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が、主としてその力学的異方性は、土粒子堆積面とせん断方向あるいは主応力方向の差異との関係で捉えられている。しかし、実用的には、微視的な粒子構造の異方性は、測定が容易な巨視的な応答量として評価しそこから得られるパラメータを用いて、強度や変形特性との関係と定量的に把握することが必要である。本研究は、扁平なアルミ円板とガラスビーズを試料として異方的な粒子構造をもつ立方供試体を作成し、 K_0 圧縮と単純せん断試験を連続して行ない、側方応力の変化に着目して、粒子配列や粒子形状の相違によって生ずる微視的な構造異方性と圧縮およびせん断特性の関係について実験的に検討したものである。

2. 試料および実験方法

用いた試料は粒径 2.0mm のガラスビーズ及び粒径 2.3mm ,厚さ $0.5\sim 0.8\text{mm}$ のアルミ円板である。一辺が 76mm の立方体モールド内に脱気水を満たし、試料を水中落下させて供試体を作成した。なお、アルミ円板の場合、より顕著な構造異方性とするために振動台の上でモールドを $shaking$ した。供試体は、試験装置へのセットを容易にし、また、堆積方向とせん断方向を任意に設定するための、一時的に凍結させた。試験には、立方供試体の鉛直および水平方向の直応力が測定できる単純せん断試験装置を用いた。所望のせん断方向と堆積方向になるように、凍結させた立方供試体を適宜 90° 回転させてせん断箱にセットし、約一日かけて完全に解凍・排水した後、排気状態で鉛直応力 σ_z が 3.0kgf/cm^2 まで側方応力 σ_r, σ_θ を測定しながら K_0 圧縮を行なった。その後、引き続き、せん断ひずみ速度一定(1mm/min)で単純せん断試験を行ない、側方応力 σ_r, σ_θ の変化も測定した。供試体の堆積方向とせん断方向の関係は、図-1に示す $case$ である。

3. 粒状土の堆積構造について

土粒子が重力場で堆積したときに構造異方性を有するのは、主に次の二つの原因に依るものと考えられる。a) 土粒子形状に方向性がある場合、堆積時に土粒子が定方向配列をなすこと。b) 堆積が重力場で行なわれるため、土粒子の質量を支持するためにより安定な構造が鉛直方向に形成されることにより、鉛直方向と水平方向の土粒子間の接触状態に相違が生じること。本研究では、粒子形状に方向性をもつ扁平なアルミ円板と方向性をもたないガラスビーズを用い、それぞれ、a) 粒子の定方向配列に起因する構造異方性、b) 粒子間の接触状態の相違に起因する構造異方性をシュミレートした。

4. 実験結果と考察

4.1 K_0 圧縮時の側方応力の変化

図-2(a), (b)は、それぞれアルミ円板、ガラスビーズを用いた場合の K_0 圧縮時の鉛直応力 σ_z と側方応力 σ_r, σ_θ の関係である。以下、図-2の直線勾配、 $\Delta\sigma_r/\Delta\sigma_z$ および $\Delta\sigma_\theta/\Delta\sigma_z$ を K_0 とする。アルミ円板では、Y-Z面

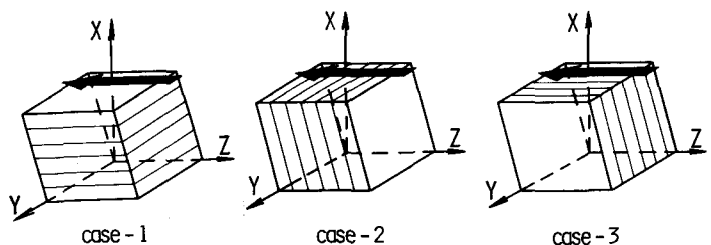


図-1 供試体の堆積方向とせん断方向の関係

内でランダムな粒子配列をなす case-1 の場合、側方ニ方向における K 値はほぼ等しいが、 Y - Z 面内で強い定方向配列をなす case-2, 3 の場合には側方ニ方向における K 値は異なり、堆積方向における値が大きい。一方、ガラスビーズでは、case-1, 2, 3 のいずれの場合においても側方ニ方向における K 値は等しい。この結果は、自然に堆積した砂は堆積面に垂直な方向に圧縮されにくく、膨張しやすい変形特性をもつことと関連しており、土粒子の定方向配列に起因する構造異方性については K 値によって評価できることを示していると考えられる。

4.2 単純せん断中の側方応力と鉛直ひずみの変化

単純せん断中のせん断方向と直交をなす方向（中間主応力方向）

における側方応力および鉛直ひずみ ϵ_x の変化を図-3 (a), (b) に示す。なお、側方応力の変化は、せん断ひずみ $\gamma_{xz}=0$ における値との比 σ_y/σ_0 によって表わしている。側方応力比 σ_y/σ_0 の変化は、アルミ円板・ガラスビーズともにほぼ同じであり、せん断ひずみがほぼ 10% 付近まで単調に増加し、その後、せん断の進行とともに減少する。側方応力比が最大となるまでの過程では、その応力比は、堆積面に直角な方向にせん断する case-2 の場合、せん断ひずみとほぼ比例して増加する。一方、堆積面に平行な方向にせん断する case-1, 3 の場合には、せん断開始直後に大きく増加するが、その後、その増加割合は次第に小さくなり、せん断ひずみとほぼ比例して増加するようになる。これらの現象は、いずれの試料とも、せん断方向と堆積方向の関係のみによって生じており、粒子形状に関係なく、堆積方向により安定した構造になること、すなわち粒子間の接触状態の相違に起因する構造異方性のためであると考えられる。鉛直ひずみ ϵ_x 、すなわち体積ひずみ ϵ_v は、いずれの場合においても、せん断とともに、まず負のダイレイタンスを生じ、その後、最大圧縮点に達して正のダイレイタンスへと移行する。側方応力は、体積収縮時および体積収縮後一定体積を保つ間において単調に増加し、体積が膨張と始める付近から減少する。また、堆積面に平行な方向にせん断する case-1 の場合に体積収縮量は最も大きくなり、それに対応して、側方応力比のピーク値は最も小さくなる。以上の結果は、粒子形状に方向性のないガラスビーズでも重力場で堆積させると、粒子間の接触状態の相違に起因する異方的な構造となり、その影響は、単純せん断の場合、中間主応力方向の側方応力、あるいは体積変化に顕著に現われることを示している。

5. まとめ

粒状土を重力場で堆積させたときに生ずる構造異方性は、 K_0 圧縮あるいは単純せん断時の中間主応力方向の側方応力の変化によって評価できる可能性が得られた。今後、変形・強度特性との関係について検討していきたい。

参考文献

- (1) 山内・他 (1983): 九大工学集報, Vol. 55, No. 6
- (2) 落合・他 (1985): 土木工学学会西部支部研究発表会講演概要集

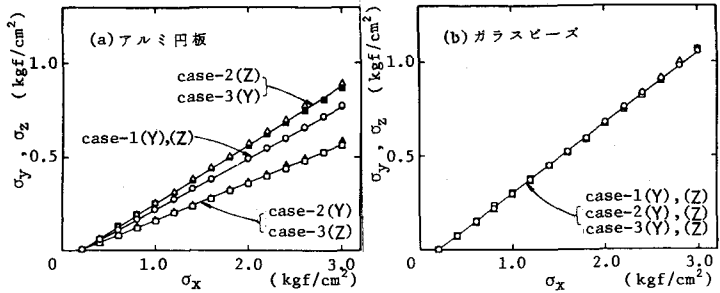


図-2 K_0 圧縮時の鉛直応力と側方応力の関係

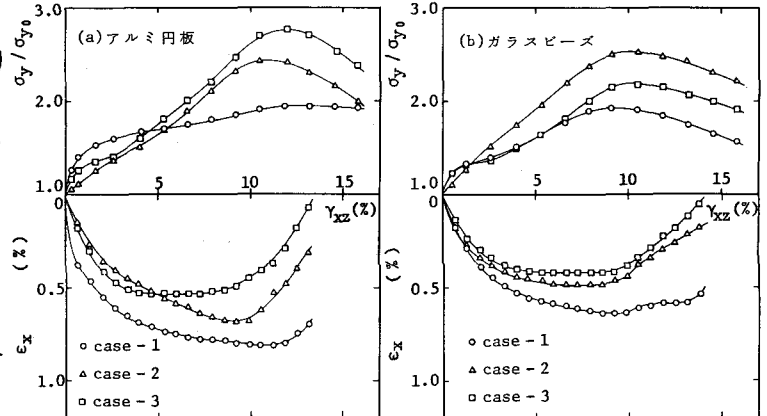


図-3 単純せん断時の側方応力および鉛直ひずみの変化