

繰り返しせん断を受ける粒状体の変形と配列の関連

豊橋技術科学大学

豊橋技術科学大学 大学院

豊橋技術科学大学

正 員 河 邑 眞

学生員 羽上田 裕章

○ 学生員 大 橋 嘉夫

1. 緒言

粒子の配列構造によるせん断挙動を把握することは、土のような粒状材料の構成関係を理解する上で重要である。このような目的を達成する有用な方法として、Cundallの個別要素法 (Distinct Element Method: 以下DEMと略記) がある。ここでは、このDEMを用いて粒状体の片振り繰り返しせん断のシミュレーションを行なうことにより、繰り返しせん断に伴う粒状体モデル内の応力伝達やダイレタンシー特性が、粒子の配列構造にどのような影響をもたらすか考察し、その結果について報告する。

2. 解析方法

DEMを用いた数値シミュレーションは、図-1に要約するループによって計算される。この計算ループは、Newtonの第2法則の粒子の運動への適応と接触点でのカー変位則の適応を交互に行なうことからなる。解析モデルとして、図-2に示すようなせん断箱を想定し、その中に496個の半径0.5cmの粒子要素を奥行き8列、高さ4段、15/16配列の交互配列で充填したものをを用いる。この要素配列のX-Z断面を図-3に示す。図中の●は、粒子要素(○)の回りに配列し、せん断箱に対応した境界要素を示す。

このモデルを用いた解析過程を表-2に示す。解析過程は3ステップからなる。ステップ1は、粒子作成過程で、せん断箱内に要素を発生させている。ここではまだ各要素の運動は生じていない。ステップ2は、圧縮過程である。ここではステップ1で配列した要素に 0.5 kgf/cm^2 の等分布荷重をかけ、 $\sigma_{zz} = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ を得る。ステップ3は、載荷～除荷過程である。ステップ2で行なった載荷を行ないつつ、底部の境界要素をせん断速度 0.2 cm/sec の速さでXの正の方向へ動かし、せん断ひずみが5%に達すると、今度はせん断ひずみが0%になるまで逆向きのせん断速度を与える。

ここで各層の境界層には、上部の境界層を 0.0 cm/sec として上面からのZ方向の距離により、比例配分したせん断速度を与えている。なお解析過程中、重力の影響は考慮していない。

表-1 要素諸元および材料定数

球の半径	R	(cm)	0.5
球の密度	ρ	(t/cm^3)	2.5
せん断剛性	K_t	(t/cm^2)	50.0
圧縮剛性	K_c	(t/cm^2)	100.0
摩擦係数	μ		1.0
粘着力	c	(t/cm^2)	0.0
弾性係数	Δ	(t/cm)	6.93×10^{-3}
せん断速度	V_s	(cm/sec)	0.2

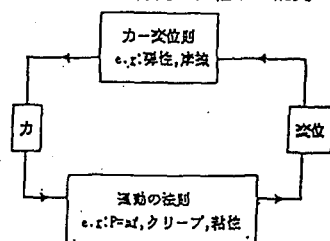


図-1 計算サイクル

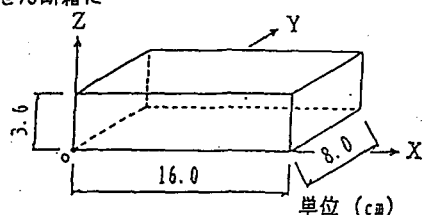


図-2 せん断モデル (交互配列)

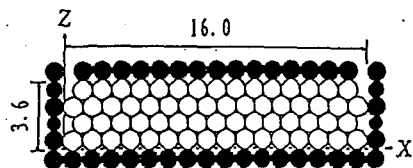


図-3 要素配列 (交互配列)

表-2 解析過程

ステップ	タイムステップ	タイムのタイムステップ	せん断速度 V_s (cm/sec)	せん断ひずみ γ (%)	せん断応力 τ (t/cm^2)
粒子作成	0	0	-	-	-
圧縮	600	600	0.2	-	0.5
除荷	16600	17200	0.2	5.0	0.5
載荷	16800	33800	-0.2	0.0	0.5
除荷	16600	50400	0.2	5.0	0.5
載荷	16600	67000	-0.2	0.0	0.5
除荷	16600	83600	0.2	5.0	0.5
載荷	16600	100200	-0.2	0.0	0.5

3. 解析結果及び考察

解析では前述の交互配列モデルとは別に、正規配列の片振り繰り返しせん断試験のシミュレーションを行った。正規配列とは、図-4に示すせん断箱内に、交互配列と同径の粒子要素を512個、同列、同段で規則正しく配列したものである。この配列のX-Z断面を図-5に示す。またこの解析に用いてる材料定数は同じで、最大せん断ひずみは4.4%である。

図-6, 7に各配列のせん断応力-せん断ひずみを示す。軌跡を追っていくと交互配列の場合、ループが2周期目から安定している。また正規配列の場合は、3周期目においてもせん断応力が安定状態に達していない。しかし徐々に安定状態に近づきつつあることから、サイクル数を増やせばせん断応力は安定していくと判断できる。図-8, 9に各配列の体積ひずみ-せん断ひずみを示す。交互配列の場合、体積が膨張しており、正規配列の場合は収縮しているのが分かる。これは、交互配列は正規配列に比べて噛み合わせが強く、粒子間の空隙が小さいため、変形の際に粒子が他の粒子の上を乗り上がろうとするためと考えられる。

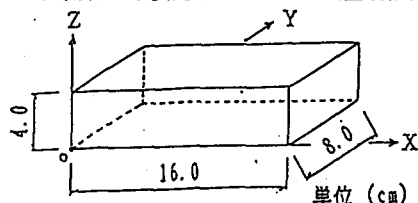


図-4 せん断モデル (正規配列)

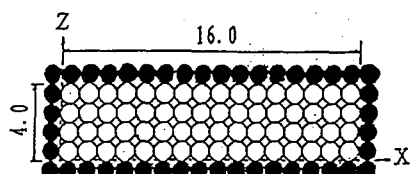


図-5 要素配列 (正規配列)

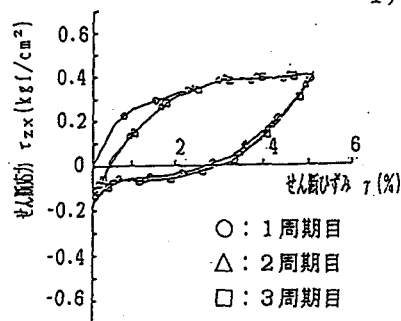


図-6 せん断応力-せん断ひずみ (交互配列)

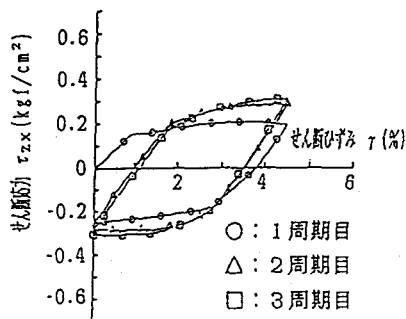


図-7 せん断応力-せん断ひずみ (正規配列)

4. 結語

DEMを用いて粒状体の交互配列による片振り繰り返しせん断試験のシミュレーションを行ない、正規配列のシミュレーション結果と比較をすることで、各配列によるせん断応力の安定状態への移行過程や、ダイラタンシー特性が把握できた。

<参考文献>

- 1) 河邑誠、渡井要三、羽上田裕章(1991): 粒子の配列構造とせん断のせん断抵抗との関係, 第26回土質工学研究発表会講演集, pp701, 702

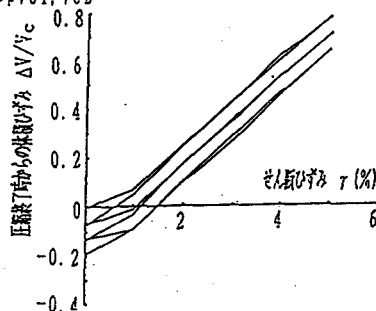


図-8 体積ひずみ-せん断ひずみ (交互配列)

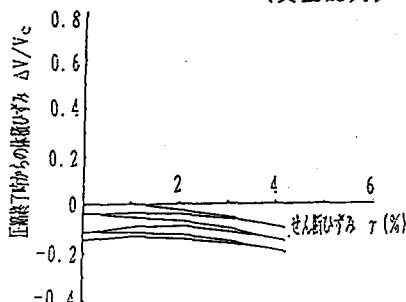


図-9 体積ひずみ-せん断ひずみ (正規配列)