

Ⅲ - B 387

粒径の異なる飽和粒状体の繰り返しせん断特性に関する3次元DEM解析

豊橋技術科学大学
五洋建設
豊橋技術科学大学

正員
正員
大学院

河邑 眞
岡村達人
中根幹久

1. はじめに

0.1mmから1mmの粒径をもつ同質の粒状体のせん断特性を調べたところ、その値には大きな差がみられなかった。このような挙動を説明するためには、粒状体の接触剛性を粒径に応じて変化させる必要がある。本研究では粒径に対する換算係数を用いて接触剛性および間隙水の体積弾性係数を換算し、粒径の異なる飽和粒状体の繰り返しせん断過程を3次元DEMにより解析し、せん断過程における間隙圧変化及び粒径の違いによる比較について基礎的検討を行った。

2. 解析モデルと解析過程

(1) 解析モデル

本研究では、粒径10mm、1mm、0.1mmともにX軸方向:18、Y軸方向:10、Z軸方向:6のせん断箱を仮定し、その中に図-1に示すような内部要素を充填する。間隙はすべて流体で満たされており、その移動は間隙間を結ぶ仮想パイプを通して生じる。また、解析は非排水状態で行う。

(2) 載荷過程

載荷過程は、圧縮過程とせん断過程から構成されている。まず、鉛直方向の圧縮によって粒子間の接触による有効応力と間隙水圧を発生させ、徐々に上部境界面に応力をかけていき、全応力が約5N/cm²にあった後は状態を安定させ、それ以降は一定とする。次に、鉛直荷重を一定に保ちながら上部境界のX軸方向変位を固定し、X軸方向に繰り返しせん断を1回発生させる。また、解析に用いた材料定数を表-1に示す。

3. 粒径に対する換算の手法

本研究では、同一の配列モデルを用いて粒径の異なる要素の解析を行う。その理由としては、同じ大きさのモデルで解析を行った場合、粒径が1/10倍になるとモデル内の要素数は1000倍となり、解析時間等にも少なからず影響が出てくる事が考えられる。図-2のように粒子の接触点での変位と全体の変位について力の釣り合い条件を考えると、以下ようになる。

$$F = F_{CONTACT} + F_{PORE}$$

$$= Kn \cdot d + Ew \cdot 4\pi \cdot d - (1)$$

$$Kn_1 = \frac{59}{500} Kn_{10} \quad Ew_1 = \frac{59}{500} Ew_{10} - (2)$$

また解析モデルの配列形式によっては鉛直方向の接点数が変化するので、この関係式は異なってくる。また、Ksについても(2)式と同様の換算を行った。

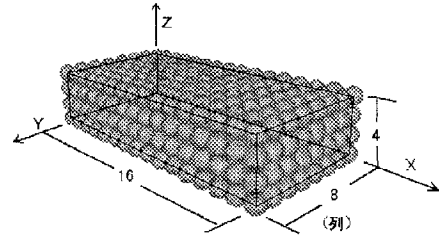


図-1 解析モデル

表-1 解析に用いた材料定数

特性(単位)	TYPE A	TYPE B	TYPE C
半径: r (cm)	0.5	0.05	0.005
密度: ρ (g/cm ³)	2.5		
粘着力: c	0		
摩擦係数: μ	1.0		
鉛直剛性: Kn (N/cm)	1000	118	13.92
せん断剛性: Ks (N/cm)	500	59	6.96
体積弾性係数: Ew (N/cm ³)	240	2400	24000
粘性係数: μ_w (N/cm ²)	10^{-4}		
時間間隔: Δt ($\times 10^{-6}$ sec)	90.33	2.857	0.090
せん断速度: Vs (cm/s)	0.2		

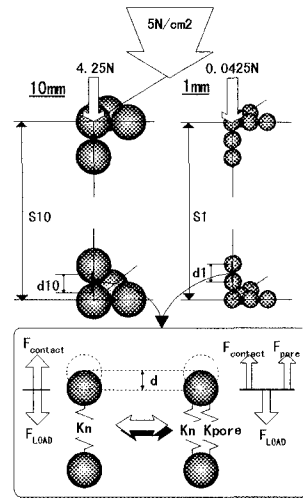


図-2 モデル内での力の釣り合い

4. 解析結果とその考察

(1) 圧縮過程について

それぞれの粒径について、圧縮過程でのモデル全体に対する平均の有効応力・間隙水圧の変化を図-3に示す。載荷時には有効応力・間隙水圧は徐々に増加し、全応力が約 5N/cm^2 になっている事がわかる。粒径毎に応力の増加の様子に若干の違いはあるが、圧縮過程終了後の状態としては、すべて同じになっていると言える。

(2) せん断過程について

それぞれの粒径について、モデル全体に対する平均の有効応力の変化を図-4に、間隙水圧の変化を図-5に示す。有効応力の変化と間隙水圧の変化は対称的なものになっており、そこからせん断過程における全応力が約 5N/cm^2 に保たれている事がわかる。

X軸の正方向へせん断したときに比べて負方向へせん断したときの方が、有効応力及び間隙水圧が大きく変化している事がわかる。これは正方向のせん断過程では正規配列の解析モデルをせん断しているのに対し、負方向のせん断過程では正方向のせん断によって要素配列がわずかに乱され、それによって解析モデル内部に応力が残留したと考えられる。

(3) 粒径の違いによる比較

表-2に、解析中の有効応力と間隙水圧の推移を粒径別にまとめる。どの粒径の解析モデルにおいても圧縮過程終了後では、有効応力及び間隙水圧の値が同じになっていることから、応力状態は全て同じになっていると言える。また、X軸正方向のせん断過程では、有効応力及び間隙水圧おおよそ同じ値を示している事がわかる。それに対しX軸負方向のせん断過程終了後の有効応力の値は、粒径 10mm で $3.50(\text{N/cm}^2)$ 、粒径 1mm で $3.53(\text{N/cm}^2)$ 、粒径 0.1mm で $3.56(\text{N/cm}^2)$ 、間隙水圧は、粒径 10mm で $1.55(\text{N/cm}^2)$ 、粒径 1mm で $1.51(\text{N/cm}^2)$ 、粒径 0.1mm で $1.48(\text{N/cm}^2)$ となっており、粒径が大きくなるにつれて各値の変化が大きくなっている。

(4) 解析の安定性

本研究では、粒径の異なるモデルを解析する際に、その粒径に応じた剛性を用いて解析を行っているが、それによって同じ接触剛性を用いた解析時間が約 $1/10$ に短縮することができた。また、より安定した解析結果を得ることができた。

4. まとめ

規則的な配列の飽和粒状体の非排水繰返しせん断挙動に与える粒径の影響について検討した結果、せん断過程中的有効応力や間隙水圧の変化は、それほど粒径の影響を受けないが、残留応力は粒径が大きいほど残る傾向にあった。

<参考文献>

河邑真, 羽上田裕章: “間隙水の運動を考慮した DEM による粒状体のせん断挙動の解析”, 土木学会第 48 回学術講演会講演概要集, pp.1196~1197, 平成5年9月

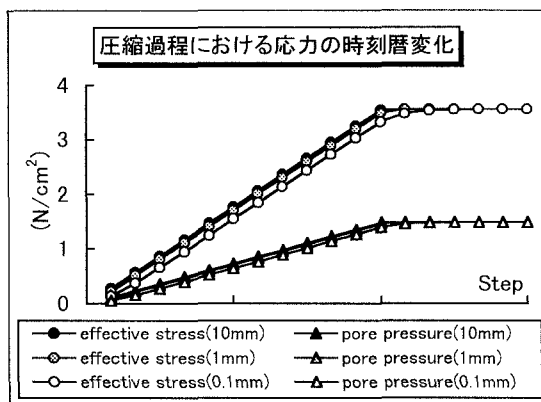


図-3 圧縮過程における応力の時刻歴変化

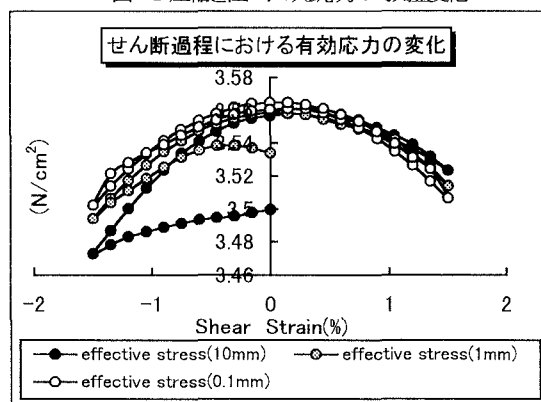


図-4 せん断過程における有効応力の変化

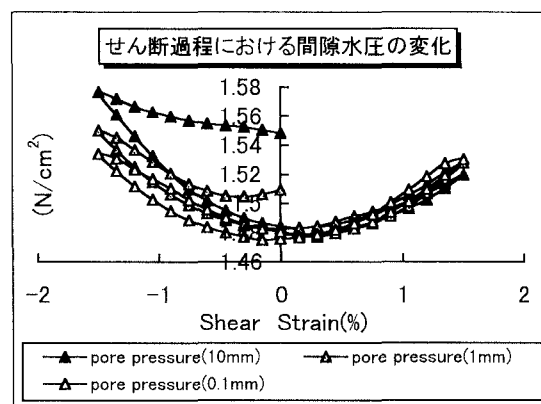


図-5 せん断過程における間隙水圧の変化

表-2 有効応力、間隙水圧 (N/cm^2)

有効応力/間隙水圧	TYPE. A		TYPE. B		TYPE. C	
圧縮過程終了後	3.56	1.48	3.56	1.48	3.56	1.48
せん断(+1.5%載荷)	3.52	1.52	3.51	1.53	3.51	1.53
(+1.5%除荷)	3.56	1.48	3.56	1.48	3.56	1.48
(-1.5%載荷)	3.47	1.58	3.49	1.55	3.50	1.53
(-1.5%除荷)	3.50	1.55	3.53	1.51	3.56	1.48