

DEMによる飽和粒状体の粒径と繰り返しせん断特性に関する検討

豊橋技術科学大学
豊橋技術科学大学大学院
豊橋技術科学大学大学院
豊橋技術科学大学

正員
学生員
○

河邑 眞
Jafrit Tanjung
岡村達人
中根幹久

1.はじめに

飽和した粒状体の繰り返しせん断過程を DEM により解析し、せん断方向と間隙圧変化の関係、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。本解析に用いた DEM は間隙流体の運動を考慮したものであり、粒子が移動する際に生じる各間隙の体積変化、間隙流体の間隙間の移動量、個々の間隙流体の圧力を時刻歴で求めることが可能となっている。したがって繰り返しせん断変形過程での間隙圧変化を詳細に求めることが可能である。

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 とともに図-1 に示すような X 軸方向: 16、Y 軸方向: 8、Z 軸方向: 4 のせん断箱を仮定し、その中に合計 512 の内部要素を正規乱数で充填する。要素系列に従い規則的に並んでいる間隙はすべて流体で満たされており、間隙間の連続体は仮想パイプで表され、間隙水の移動はその仮想パイプを通して生じる。また、すべての境界面における間隙流体の流出入はなく、非排水状態で載荷を行う。

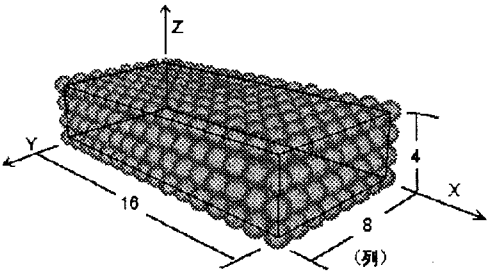


図-1 せん断モデル

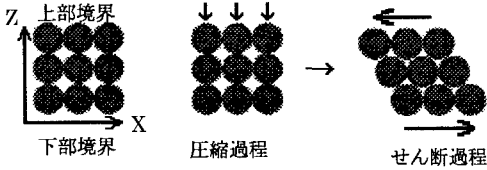


図-2 載荷過程

(2) 載荷過程

載荷過程は、図-2 に示すように圧縮過程とせん断過程から構成されている。まず、鉛直方向に圧縮を行い、粒子間の接触による有効応力と間隙水圧を発生させる。ここでは、Z 平面に約 5N/cm^2 になるまで Z 軸方向に徐々に応力を上部境界面にかけていき、以降は一定とする。次に、Z 軸方向の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、下部及び側部境界要素を X 軸方向に上部境界から距離に比例した与えることでせん断変形を発生させる。せん断過程では、X 軸の正方向負方向に交互に変位させることで、繰り返しせん断を 2 回せん断モデルに生じさせる。下部境界のせん断速度は 0.2cm/s であり、繰り返しせん断過程での歪振幅は 1.5% とした。また、解析に用いた材料定数を表-1 に示す。

表-1 材料定数

特性(単位)	記号	TYPE A	TYPE B
半径(cm)	γ	0.5	0.05
密度(g/cm^3)	ρ	2.5	2.5
粘着力	c	0	0
摩擦係数	μ	1.0	1.0
垂直弾性(N/cm)	K_n	1000	100
せん断弾性(N/cm)	K_s	500	50
体積弾性係数(N/cm^2)	E_w	240	240
粘性係数(N/cm^2)	μ_w	10^{-4}	10^{-4}
時間間隔(sec)	Δt	2.311×10^5	2.311×10^5
せん断速度(cm/s)	V_s	9.305×10^5	2.857×10^4

3.解析結果とその考察

(1) 粒径 10mm の解析について

粒径 10mm の場合における間隙水圧の変化を図-3 に、有効応力の変化を図-4 示す。間隙水圧は、いわゆる載荷時には増大し除荷時には減少しているのがわかる。また、正方向のせん断時よりも負方向への場合に大きく変化している。有効応力については、間隙水圧とは対照的にせん断に伴って減少していて、せん断過程における一定の鉛直荷重約 5N/cm^2 が効いているという条件を満足している。

(2) 粒径 1mm の解析について

粒径 1mm の場合における間隙水圧の変化を図-6 に、有効応力の変化を図-7 示す。間隙水圧の変化には規則性は

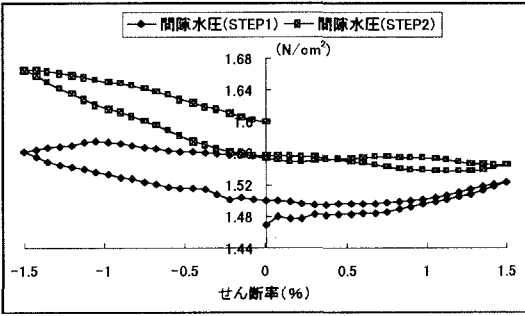


図-3 両振のせん断における間隙水圧-せん断歪関係 (粒径 10mm)

なく、それほど変化はしていない1サイクル目に比べ、2サイクル目で大きく変動していることがわかる。また、間隙水圧のピークが載荷直後に現れていて、その値は 0.34N/cm^2 であった。一方、有効応力は規則的な変動をしているが、減少量は 0.06N/cm^2 。間隙水圧に比べて小さなものとなっている。これは、有効応力は全体の平均を用いているのに対し、間隙水圧は解析モデル中から間隙を1つ選び出し、そこから求められた値を用いているので、間隙流体の移動が激しい場合には一概に有効応力の形状と一致するとはいえないと考えられる。この解析で、鉛直及び水平剛性の値を $1/10$ 倍して用いているが、それは計算機の性能上解析時間の短縮するためである。

(3) 粒径の違いによる比較

表-2 (a) (b) に各サイクルにおけるせん断過程終了時の間隙水圧及び有効応力の推移を示す。この表を見る限りでは、間隙水圧は粒径 10mm の方が大きく、有効応力は粒径 1mm の方が大きくなっているが、正方向へ 1.5% せん断し負方向へ 1.5% せん断するという1サイクルが終了したときのものであり、せん断過程における間隙水圧の上昇は粒径 10mm の場合は最大で 1.66N/cm^2 で粒径 1mm の場合には最大 1.76N/cm^2 と粒径 1mm の方が大きくなっており、間隙水圧の影響を大きく受けていることが分かる。有効応力に関しては、粒径 1mm の場合に上昇しているのが確認できるが、これは粒子にせん断をかけた際この圧縮後ということでかみ合わせが強くなり一時的に上昇したと思われる。これらのことから、粒径 1mm の場合の方が間隙水の影響が大きいといえる。

4. まとめ

規則的な直列の飽和粒状体の非排水繰返しせん断に対する変形挙動に与える粒径の影響について検討した結果、粒径が小さくなるほど間隙水の影響を受けるということが確認された。このことより、砂のような粒径の小さい地盤において液状化が起こりやすいことが示された。しかし、今回の研究では、2つのタイプの間で鉛直剛性及びせん断剛性に違いがあるために、その影響を無視できないと思われる。そこで、今後の課題としては、統一した鉛直剛性、せん断剛性のもとでの非排水繰返しせん断特性および粒径の影響についての検討が挙げられる。

<参考文献>

河邑眞 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

河邑眞 藤村明男: “DEM による鉄球粒状体の繰返しせん断変形挙動に関する基礎的検討”, 第32回地盤工学研究発表会講演概要集 pp.493~494, 平成9年7月

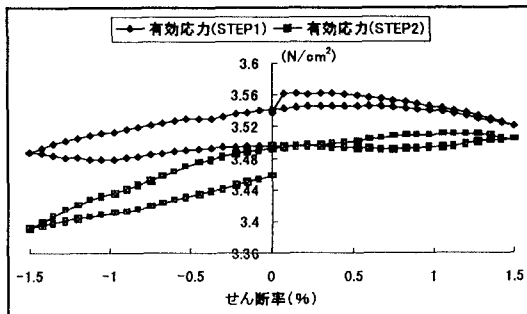


図-4 両振りせん断における有効応力—せん断歪関係 (粒径 10mm)

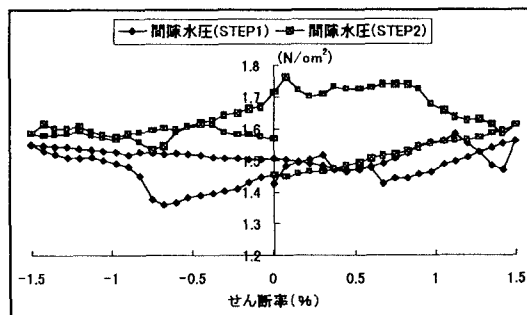


図-5 両振りせん断における間隙水圧—せん断歪関係 (粒径 1mm)

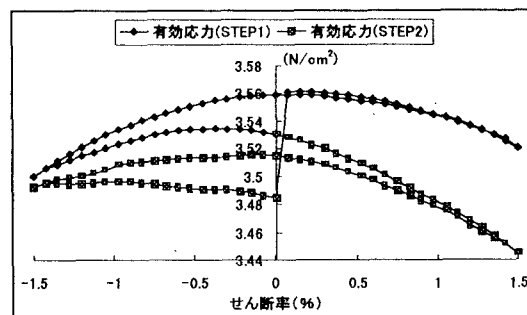


図-6 両振りせん断における有効応力—せん断歪関係 (粒径 1mm)

表-2 各粒径の比較

(a)

間隙水圧(N/cm²)	粒径 10mm	粒径 1mm
圧縮過程終了後	1469737	1427384
1サイクル終了後	1557045	1453714
2サイクル終了後	1598518	1566042

(b)

有効応力(N/cm²)	粒径 10mm	粒径 1mm
圧縮過程終了後	3537331	3484715
1サイクル終了後	3495102	352978
2サイクル終了後	3456416	348448