

間隙水を考慮した3次元DEMによるせん断解析法の提案

（株）奥村組 O中山 学
 近畿大学 久武 勝保
 河内長野市役所 岩井 成光

1. はじめに

1964年に発生した新潟地震以来、砂地盤における液状化による被害が注目されるようになった。従来の地震時における有効応力法による液状化解析では地盤剛性の非線形性を表すために構成則を用いているのが一般的である。本研究では、動的荷重条件下での「液状化」を対象とし、構成則によらず簡便に地盤剛性の低減を表現することを目的として、砂粒子および水粒子を不連続体要素とした2相系モデルの3次元個別要素法（DEM）によるせん断解析法を提案し、液状化問題への適応性について検討した。

2. 解析方法および解析手順

間隙水も一種の粒子とした「液状化現象」を対象とするモデルの場合、2次元モデルによるDEMであれば3次元モデルに比べて簡便であり、モデルも小さいので計算時間も少なくてすむという利点はあるが、奥行き方向への粒子の動きが制約されるので、間隙水圧の上昇を議論するには問題点が多く残されていると判断し、3次元モデルによる解析を試みた。そこで、解析モデルを小さくするために、境界面での接触力の伝達を導入することで解析領域の半無限性を考慮するものとした。すなわち、以下のような半無限への拡張手順を考えた。

- 1) 図-2のように水平方向に解析対象領域（1番領域）の周囲に解析対象領域と同形状の領域を設ける。
- 2) 解析領域内の任意の粒子Iに着目し、周囲の領域（2～9領域）に仮想粒子を想定する。そこで、粒子が解析対象外に飛び出した場合、飛び出した方向と反対の領域から解析対象領域に入るものとする。すなわち、解析対象粒子が2番領域に移動すれば、3番領域内の仮想粒子が解析対象領域（1番領域）内に移動する。ここで、解析対象領域（1番領域）内に中心がある粒子を解析対象粒子としているので、3番領域内に存在していた仮想の粒子を解析対象粒子とし、接触している粒子間のバネには弾性抗力が蓄えられているので、粒子番号の入れ替えに伴い、それと対応するように弾性抗力および接触面積の入れ替えを行う。

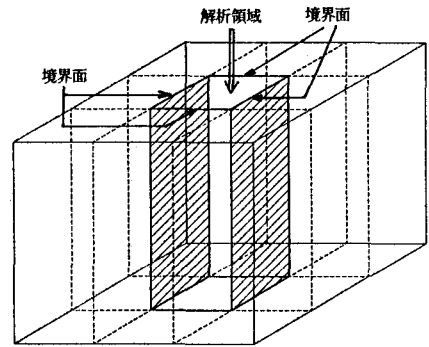
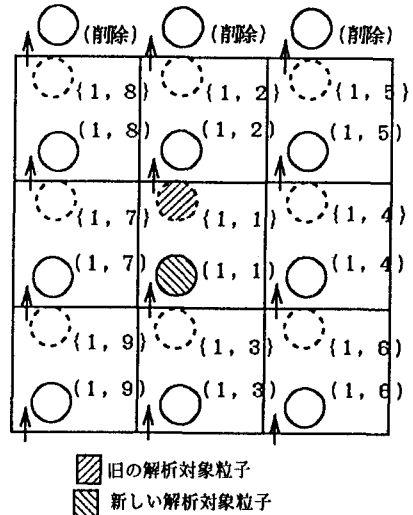


図-1 3次元解析モデル図



注1) 括弧内の文字で前は粒子番号、後は領域番号
 注2) { } 内の文字は粒子の旧の呼び名
 () 内の文字は粒子の新しい呼び名

図-2 解析対象領域外の
 粒子の取扱い

3. 解析例（解析条件）

まず、図-1の直方体の解析領域内に土粒子を規則配列し、上方の空隙内に水粒子を乱数発生させて自由落下させる。両者が十分落ち着いたと判断できる時間経過後、上壁を移動させ一定の载荷圧を加えて初期応力状態を再現した。次に、ひずみ制御方式で底板を水平方向に移動させることにより繰返しせん断を表現した。今回の検討では非排水状態とし、一定の上载荷重が作用するものとした。なお、土粒子数を2個、水粒子数を160個とし、上载荷重 σ_v を200gf/cm²と設定した。解析領域は2cmx2cmx10cmとし、底部に変位片振幅5cm（せん断ひずみ振幅50%）周期0.2secの正弦波を与えた。解析に用いたパラメータを表-1に示す。

表-1 要素定数

Par.	Particle	SOIL	WATER	WALL
Radius (cm)		1.0	0.18	1000
Density (gf/cm ³)		2.5	1.0	---
Young's modulus (dyn/cm ²)		4.0x10 ⁷	5.0x10 ⁶	1.5x10 ⁹
Poisson's ratio		0.3	0.5	0.3
Friction coeff.	SOIL to	0.577	0.100	0.577
	WATER to	0.100	0.025	0.100
Damping ratio	SOIL to	1.0	1.0	1.0
	WATER to	1.0	1.0	1.0
Time step(sec)		$\Delta t = 4 \times 10^{-6}$		

4. 解析結果および考察

せん断解析結果のうち、底板から2.5cmの断面A-Aにおける鉛直方向の有効応力、間隙水圧の経時変化を図-3に示す。これから以下のことがうかがえる。

- 1) 図-3より、上載圧を载荷した初期の段階、すなわち圧密状態においては有効応力の変動は多少見られるが、以降せん断開始まで落ち着いた状態であると見なす。したがって、初期応力状態は再現できていると考えられる。
- 2) 粒子数も少なくパッキングについても間隙比をより現実に近い状態にするためには問題点が残されており、1/2波分しか入力していないので、定量的な結果を断定できる段階までに至っていないが、有効応力の減少と間隙水圧の上昇傾向が見られ、液状化現象が再現できると判断できる。

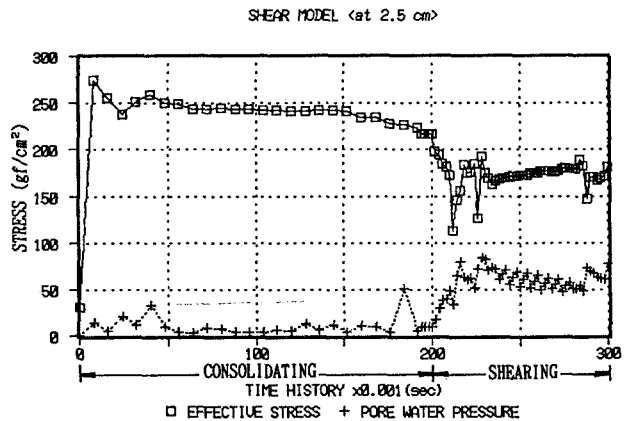


図-3 A-A断面 応力経時変化

4. あとがき

水の非圧縮性を近似的な捉え方をしている点、粒径の影響で間隙が大きい点等対応すべき箇所はあるが、土粒子・水粒子を要素とした2相系の3次元DEMによって間隙水圧の上昇ならびに有効応力の低減を定性的に表現できると考えられる。また、粒径、粒子剛性と計算時間間隔との関係に着目し、合理的な設定をすれば、地盤の有効応力の低下および間隙水圧の上昇といった応力値の変化をより簡易に評価しやすくなると予想される。今後、振動台実験結果や地震発生時の被害例と解析結果とを比較することによって定量的な評価を加えるとともにパラメータの設定方法も含めて、本解析手法のより定量的な液状化検討への適用性について試みるとともに、粒径および粒子数を変えた場合の検討結果を当日発表する予定である。

（参考文献）

1. 吉田 博 ら：個別要素法による数砂上への落石の衝撃特性に関する解析（土木学会論文集第392号）1988
2. 澤田純男ら：個別要素法による粒状体の単純せん断挙動（第27回土質工学研究発表会 217）1992
3. 久武勝保ら：粘着力を考慮した個別要素法の開発（土木学会第45回年次学術講演概要集Ⅲ-433）1990