

III-B 397

3次元個別要素法による液状化解析の試み

大成建設株式会社 正会員 ○曾田 暢一  
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎  
 東京大学生産技術研究所 正会員 片山 恒雄

**1. はじめに:**本研究では間隙水の挙動を考慮した3次元個別要素法プログラム(3D-DEM)を開発し、液状化解析を行った。これまでDEMを用いた液状化解析の例は若干<sup>1)~4)</sup>あるが、それらは各々問題(例えば、2次元解析のため適切な間隙比のモデルの作成が不可能であったり、間隙水の挙動を直接的に扱うのではなく単に面積一定の非排水条件で簡便的に表現したり、ランダムな要素配置を対象とした間隙水挙動は扱えないなど)があり、現象をうまく説明できるモデルとは言い難い。今回開発したモデルは任意の要素配置を持つ3次元モデルを対象とし、要素と間隙水の相互作用をモデル化したものであり、液状化現象やパイピング現象などをうまく再現できる。

**2. 間隙水の挙動を取り入れた3次元DEM:**本研究ではDEMを用いた液状化解析を行うために間隙水の移動、過剰間隙水圧の影響などを取り入れた3D-DEMを開発し、液状化解析を試みた。DEMを用いた従来の液状化解析は主に2Dを対象とし、非排水を模擬した定体積条件の下でモデルにせん断変形を与えるとこのものであった。また、間隙水の挙動を簡便的に考慮したモデルもあるが、それらは規則的に配置された等粒径の粒状体モデルを対象とし、間隙の形状や大きさが著しく変化する挙動を追いかけるに至っていない。それは、時々刻々と変化する間隙の変化を追跡し、隣り合った間隙間での水のやり取りを効率よく行う手法がなかったためである。垂水<sup>1)</sup>らは、2次元の不規則な半径でランダムな配置のモデルを対象に、時々刻々と変化する間隙の変化を追いかけ、その面積の変化に応じた過剰間隙水圧を要素に作用させることにより、液状化解析を試みた。しかし、対象モデルが2次元であったため、大きな間隙比を持つモデルの作成が困難であり、また複雑な形状を持つ間隙の面積を逐次計算するために、多くの計算時間を費やし現実的な問題として液状化解析を行うまでに至らなかった。そこで本研究では3D-DEMモデルを対象とし、間隙水の挙動を仮想のブロックごと

に扱うことにより簡便的に間隙の逐次変化を追跡し、効率よく間隙水の挙動をDEMに取り込む手法を開発した。ここで開発した手法とは、ブロックごとの要素の占める割合、水の占める割合、空気の占める割合を要素の移動に基づいて計算し、時間ステップごとの体積の変動から過剰間隙水圧を求めていく手法である。ブロックを単位とすることによる利点<sup>4)</sup>は、複雑な間隙の形状の変化や体積の変化が簡単に取り扱えることである。また間隙水の移動は隣り合うブロック間どうしの水圧差によってダルシー則に従うとしている。過剰間隙水圧が要素に与える効果はブロック単位で考え、ブロックの重心から要素の中心へ引いたベクトルの方向に間隙水圧の変動に基づいて作用させる。

**3. モデルの作成:**解析モデルは(図-1)に示すようにランダムな粒径を持つ504要素を格子状に発生させたモデルを水に満たされた容器内に落下させる条件で作成した。水中落下の過程で(図-2)に示すように、平均間隙比93%程度のゆる詰めのパッキングモデルを作成した。その過程における過剰間隙水圧の変化を(図-3)に示す。要素の落下によって各ブロックの初期においては過剰間隙水圧が変動するが、やがてこの変動は沈静化し安定する。

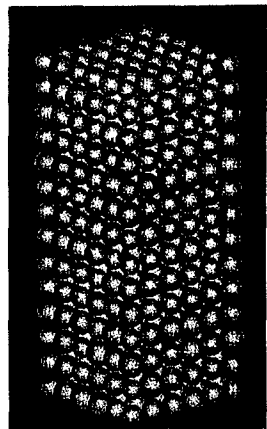


図-1

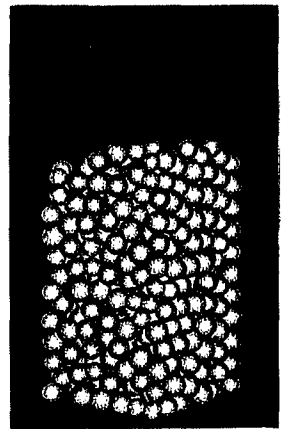


図-2

**4. 解析結果:**要素を水中落下させることで作成したモデルの底面と2枚のX方向壁平面に（図-4）に示す変位を入力させることで振動外力を与え、モデルが液状化する過程を解析した。X方向壁平面を変位制御で振動させることで外力を加えるので、間隙水の挙動を取り扱う仮想境界も入力と同様の変位で移動させることで過剰間隙水圧の著しい変動を抑えた。解析においてはモデルの表層付近の要素の所属するブロックが自由水面を有する条件を与えている。解析結果を図-5、6に示す。図-5は過剰間隙水圧、図-6は間隙比の変動を示す。過剰間隙水圧の変動をみると、間隙水がすぐに逸散する表層付近のブロックでは過剰間隙水圧の大きな上昇は見られない。一方内部のブロックにおいては、初期状態における間隙比が小さいという特性から、ブロック中間層に位置する(2, 2, 4)ブロックが最も要素どうしの骨格が外れ易く、大きな過剰間隙水圧の発生が観察される。過剰間隙水圧の上昇にともない間隙比が低下し、やがて水圧の逸散によって過剰間隙水圧が低下するとともに間隙比が一定になっていく様子が見られる。このような過剰間隙水圧の急激な上昇ならびに逸散過程は、間隙水をDEMに直接取り込んで初めて解析が可能となるところである。

**5. まとめ:**今回提案した過剰間隙水圧の影響を直接取り込んだ3D-DEM解析では、液状化にともなう過剰間隙水圧の上昇逸散過程ならびに骨格の再構築の過程が忠実に再現される。このような現象はこれまでDEMを用いて行われた液状化解析では十分に解析ができていない点であり、今後液状化にからむ様々な現象の解明ならびに挙動解析に適用できる。

(2, 2, 2), (2, 2, 3), (2, 2, 4), (2, 2, 5), (2, 2, 6)ブロック

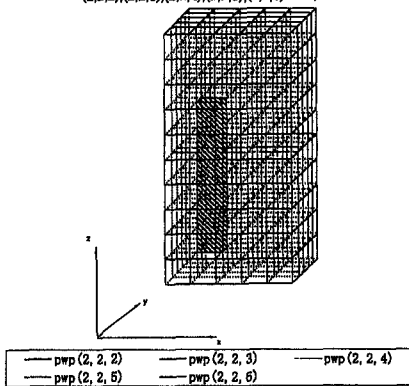


図-3. 5. 6と対応するブロック名

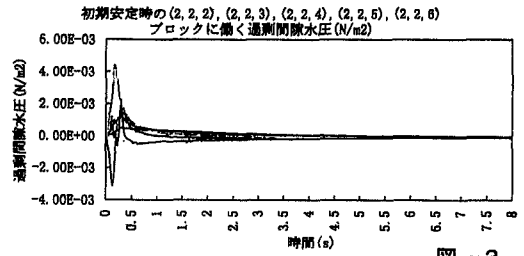


図-3

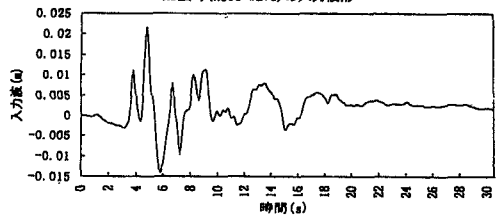


図-4

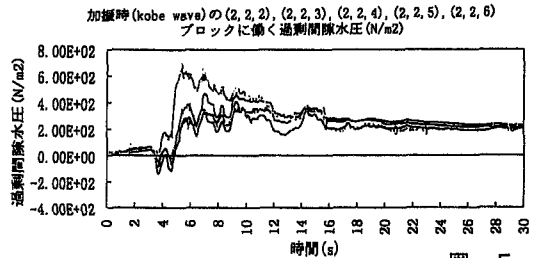


図-5

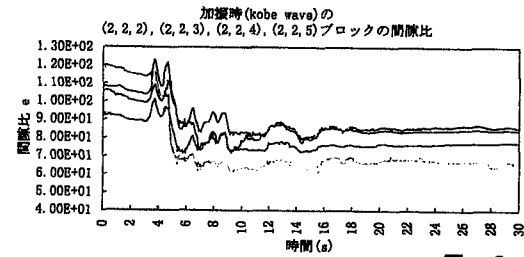


図-6

**参考文献:** 1) 垂水祐二・伯野元彦(1987):Quick Sandと液状化に関する粒状体シミュレーション、東京大学地震研究所彙報、Vol. 62, pp. 535-577. 2) 澤田純男・岩崎好規・プラダグンテージ B. S. (1991):楕円要素を用いた個別要素法による砂のせん断挙動の解析、第20回土質工学研究発表会、pp. 512-522 3) 木山英郎・西村強・藤村尚(1994):間隙水連成型個別要素法の基本と拡張、土木学会論文集、No. 499, 3-28, pp. 31-39 4) 中瀬仁・安中正・藤谷昌弘・嶋田昌義(1995):ケーソン式護岸の模型振動実験に対する間隙水の影響を考慮した個別要素法の適用、第23回地震工学研究発表会、pp. 453-456