

高速三次元個別要素法による地盤の数値実験システム

東京電力株式会社	正会員	末広 俊夫
東京電力株式会社	正会員	高橋 聡
東電設計株式会社	正会員	中瀬 仁
海洋研究開発機構	正会員	阪口 秀

1. はじめに

個別要素法は、昨今の市販計算機の計算速度の向上とアルゴリズムの改良により、20年前に比べ数千倍から数万倍の要素数を取り扱えるようになった。ようやく、液状化現象や斜面崩壊等様々な地盤工学の局面にその長所を生かした適用が可能となってきたと言える。本稿では、海洋研究開発機構が開発した三次元個別要素法プログラム HIDE M をベースに構築した数値実験システムについて紹介する。ここでは、実験装置が忠実にモデル化され、実験手順と対応する手順で解析が進められる。

2. 要素試験

個別要素法においては、解析パラメータをどう定めるかという点が常に頭を悩ませる問題の一つになる。筆者等は、地盤モデルの変形強度特性を再現するため、まず、三軸試験等の要素試験のシミュレーションを行ってその要素試験における実地盤の変形強度特性をベストフィットする解析パラメータを定め、このパラメータを用いて模型試験や実機のシミュレーションを行うという手順で解析を実施している。本節では、その要素試験のシミュレーションの例として、三軸試験と中空ねじり試験の数値実験について説明する。

(1)三軸試験 図-1, モールドに砂をまきだすように、所定の高さに一層ずつ直径 1cm のモデル粒子を発生させ(赤色要素)、重力落下によるパッキングを行って、高さ 20cm のシミュレーションの初期状態を作成する。右端図,黄色の要素の中心点に試験体の軸方向に向かう集中荷重を作用させることによりメンブレンによる拘束圧をかける。図-2 に上端のオレンジ色の要素の強制変位による軸圧縮の状況と(底面の白色要素は固定)、強度および圧縮性が豊浦砂と対応するように解析パラメータを定めたシミュレーション結果を示す。

(2)中空ねじり試験 同様の手法で作成した高さ 20cm の中空ねじり試験の数値実験の初期状態を図-3 に示す。試験体の外側の黄色の要素の中心点に試験体の軸方向に向かうベクトルと平行な集中荷重を、内側のそれには反対方向の集中荷重を作用させることによりメンブレンによる拘束圧をかける。上端のオレンジ色の要素には、軸方向の拘束圧を一定に保ちつつ、試験体にトルクを作用させる方向にサーボコントロールをかけながら強制変位させる。拘束圧は、試験体の体積変化に応じて発生する水圧を減ずる。この方法により再現された液状化試験の数値実験結果を図-4 に示す。要素数は約 2 万個、計算時間は市販 PC で 100 時間程度であった。

3. 模型試験

高さ 10cm 幅 25cm のせん断土槽モデルに、第 2 節において豊浦砂のモデルとして設定された粒子を充填し、5Hz, 200gal の正弦波を 7 秒間入力して振動シミュレーションを実施した。両端の褐色の要素はせん断土槽のレイヤーを表す(底面の肌色粒子は固定)。粒子の移動による間隙の変化から水圧をマイクロゾーン毎に計算し、これを粒子にフィードバックする液状化解析¹⁾である。図-5 上に、相対的に大きな荷重を伝達する粒子(白色)が連なってせん断に抵抗する応力柱が形成される液状化途中と、図-5 下に、液状化により水圧が上昇して(背景の赤色)、応力柱が消失しせん断抵抗が失われた状況を示す。水深 17.5cm における水圧の上昇過程を図-6 に示す。

参考文献 1) 末広俊夫他：大型振動台による地中埋設構造物の浮上と個別要素法によるシミュレーション，第 28 回地震工学研究発表会講演論文集，2003 年 6 月

キーワード 液状化試験，DEM，大変形，数値実験

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3 丁目 3 - 3 東電設計株式会社耐震技術部 TEL 03-6372-5563

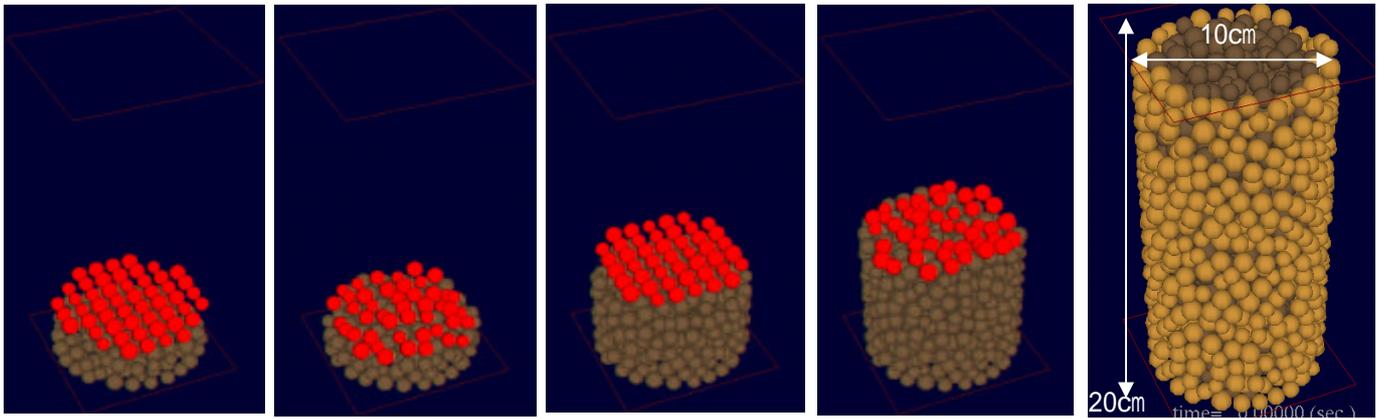


図-1 三軸試験シミュレーションの初期状態の作成

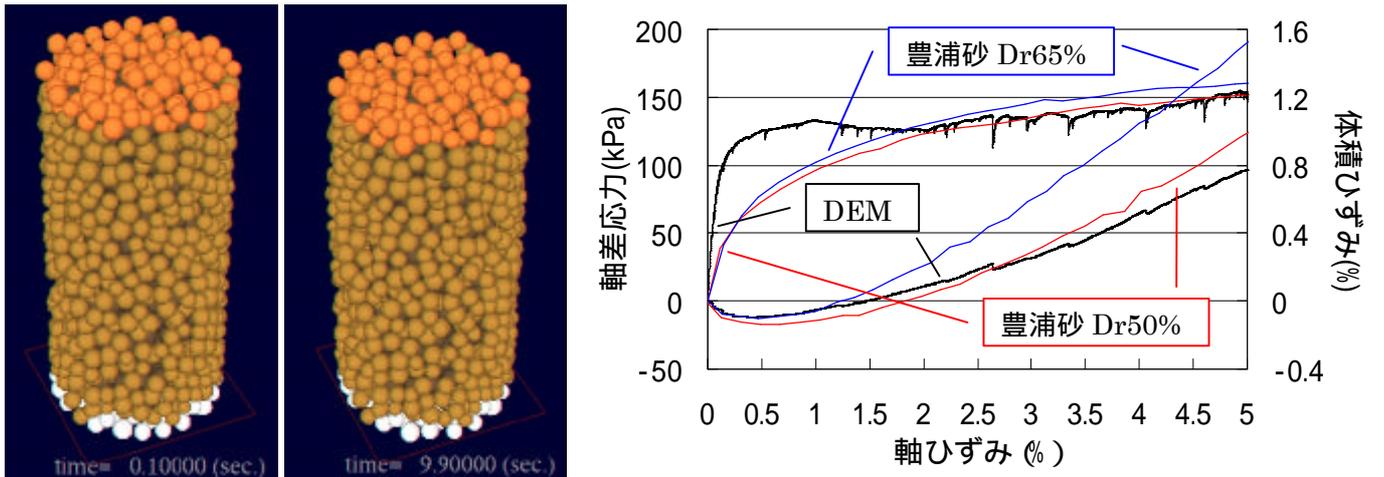


図-2 三軸試験圧縮試験のシミュレーション結果(拘束圧 50kPa)

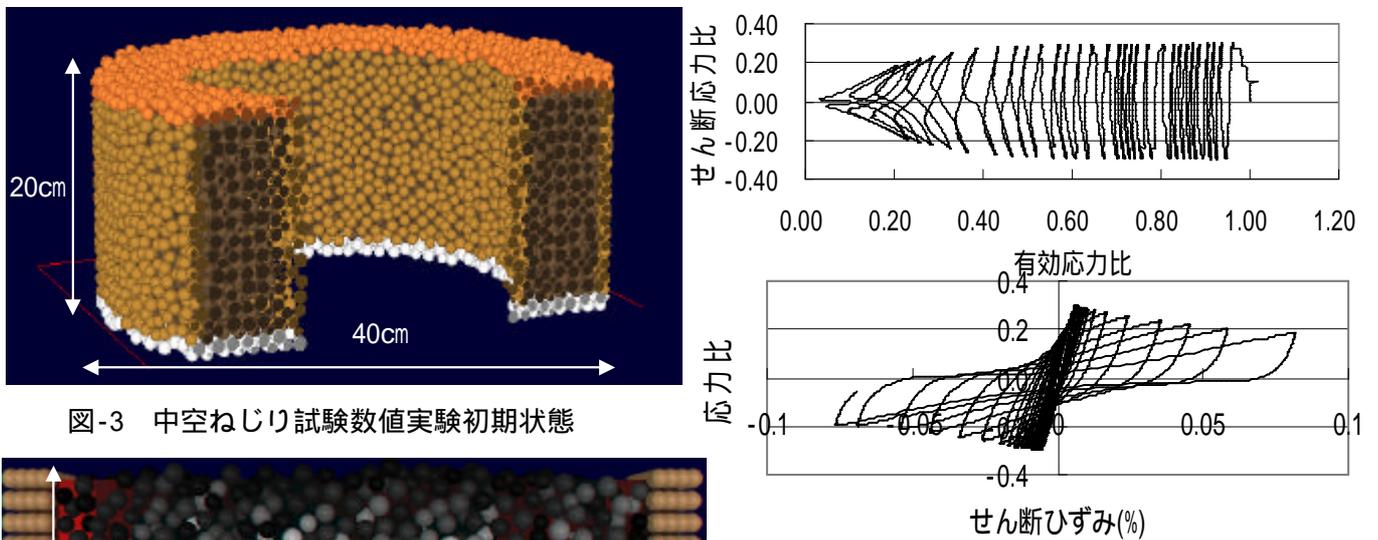


図-3 中空ねじり試験数値実験初期状態

図-4 液状化数値実験結果

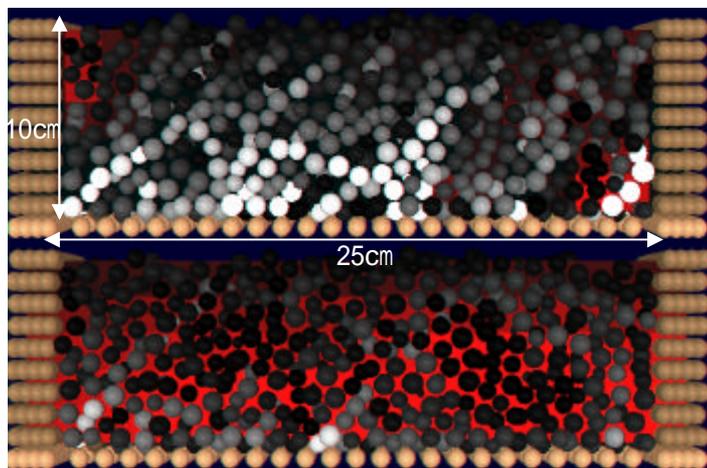


図-5 せん断土槽振動台実験のシミュレーション

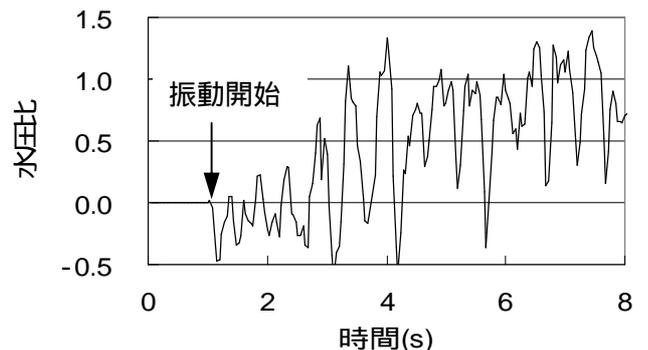


図-6 水圧の上昇過程