

I - B 256

実地盤の液状化現象に対する個別要素法の適用

東電設計株式会社 ○正会員 中瀬 仁

東京電力株式会社 正会員 武田 智吉 石川 博之

1 まえがき 筆者らは、Hakuno *et. al.*¹⁾による液状化解析手法を改良し²⁾、液状化強度試験の数値シミュレーションを行った結果、豊浦砂に対する試験結果を良好に再現することができた³⁾。本研究では、実地盤を想定した液状化現象にこの手法を適用し、一般的な問題に対するフィジビリティについて検討を行う。

2 実地盤のモデル 厚さ13m、長さ55mの地盤モデルを図-1に示す。3536個($D_{50}=28\text{cm}$)の要素に対して水中で徐々に重力を増加させてパッキングを行い、相対密度30%の初期状態を作成した。粒度分布は標準豊浦砂と相似である。この初期状態は、相対密度65%~70%の豊浦標準砂と同程度の液状化強度を発揮すると考えている。要素は回転固定し、バネ係数は($3.6 \times 10^7 \text{ (n/m)}$)、要素間摩擦角は 24° である。地盤を表す要素を囲む枠は、剛な境界を示し、模型振動実験で言えば土槽の壁にあたる。図中のマイクロゾーンは、間隙水を考慮するための差分格子を示す。太線は、地下水面の位置を表す。境界に対して、図-2の波形を入力し、この地盤に発生する液状化現象をシミュレーションする。入力波形は、500gal、3Hzの正弦波30波である。波形の前後6波は滑らかに増減させた。加振終了後の地盤の挙動を観察するため、入力した後10秒間放置する。

3 シミュレーション結果 図-3に地表の加速度応答波形を示す。4秒付近から急に振幅が小さくなり、液状化した地盤の傾向をよく再現している。加振終了後の振動は液状化した地盤の自由振動を表しており卓越周波数は3.6Hzである。図-4にマイクロゾーンP1、マイクロゾーンP2および境界底面の過剰間隙水圧波形を示す。いずれの波形も4秒付近で十分上昇した後、ほぼ一定の値となる。これは、この時帯水層が完全に液状化したことを示しており、地表の加速度応答波形の振幅が急に小さくなったことと対応している。水深の浅いマイクロゾーンP1の水圧がマイクロゾーンP2の水圧より低く、加振後の水圧の消散が早いのは妥当である。境界底面の過剰間隙水圧がマイクロゾーンP2および加振中のマイクロゾーンP1に比べて小さいことは、場所によって過剰間隙水圧の上昇の程度が異なることを示す。図-5に境界底面の有効上載圧を示す。有効上載圧は、粒子から受ける力の総和から計算した。初期状態にあつては、200kPaであつた有効上載圧が、境界底面の過剰間隙水圧の上昇に伴って減少し、液状化終了時には1/5程度になった。加振終了後の境界底面の有効上載圧と過剰間隙水圧の和はほぼ一定の値になっている。図-7に初期状態、液状化後および解析終了時の応力伝達経路を示す。これは、50kN以上の力を伝達する接点を共有する要素の中心を太い線分で結び、粒状体の基幹となる構造を表したものである。液状化直後は帯水層において応力伝達経路が失われており、地盤が非液状化層と液状化層の二つの層にほぼ完全に分離している。解析終了時には、沈下により応力伝達経路が再生しつつある。図-8に初期状態から加振終了時および加振終了時から20秒までの粒子の変位ベクトルの分布を示す。最初初期状態から加振終了時までは、地盤の左半分の大部分が60~70cm右方向へ変位している。初期状態において、地盤の左半分を構成する要素の個数は1803個、右半分を構成する要素の個数は1733個であり、地表はわずかに右方向へ傾斜していると言える。加振終了時から20秒までは、非液状化層が全体的に5~6cm程度沈下している。

4 あとがき 実地盤を対象に個別要素法による液状化現象の数値実験を行った。この結果、帯水層の液状化に伴って地表応答加速度が低下するという液状化特有の現象を再現できた。また、わずかな地表の傾斜によって平均して約60~70cm地盤が側方流動し、加振終了後は沈下した。個別要素法のプログラムは、京都大学澤田純男氏のDEMSを基に改良して用いた。

キーワード：数値シミュレーション、側方流動

連絡先：〒230 東京都台東区東上野3丁目3番3号、東電設計上野センター技術開発本部、中瀬仁

TEL:03-5818-7791,FAX:03-5818-7608,E-mail:nakase@aed.tepsco.co.jp

参考文献 1) Hakuno *et. al.*: A granular assembly simulation for the seismic liquefaction of sand, Proc. of JSCE No.398/I-10, pp129-138 2) 藤谷昌弘他: 個別要素法による液状化現象のシミュレーション, 第31回地盤工学研究発表会, pp997-998 3) 中瀬他: 個別要素法による室内せん断試験のシミュレーション, 第24回地震工学研究発表会論文集, pp489-492

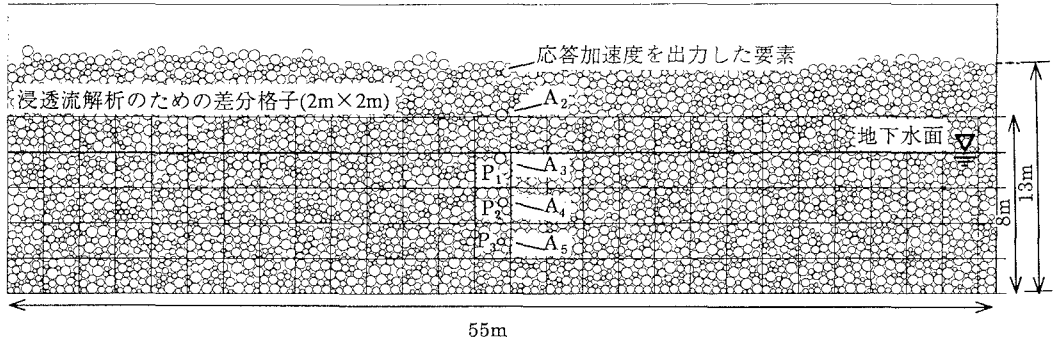


図-1 解析モデル

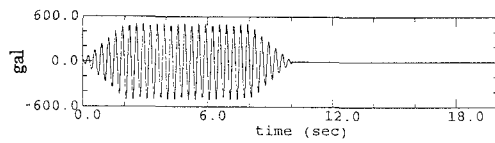


図-2 入力加速度

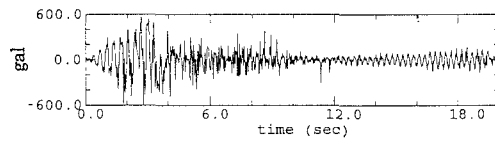


図-3 地表応答加速度

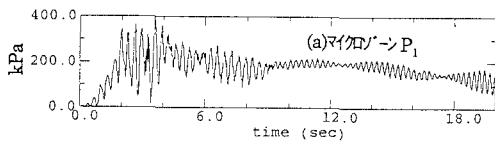


図-4 過剰間隙水圧

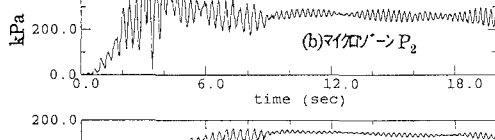


図-5 境界底面の有効上載圧

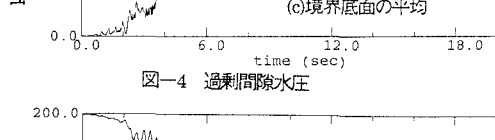


図-6 応力伝達経路

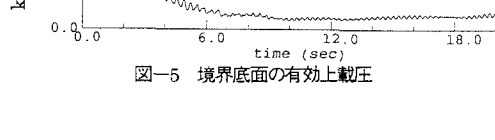
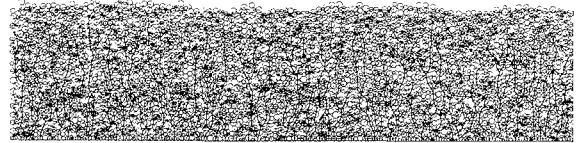
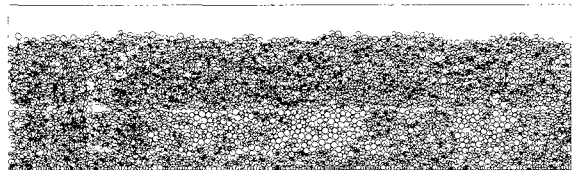


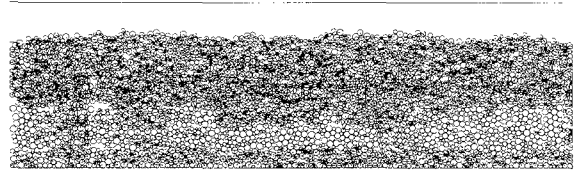
図-7 粒子の変位ベクトル



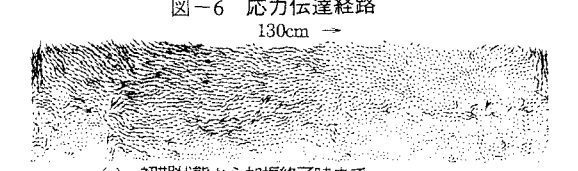
(a) 初期状態



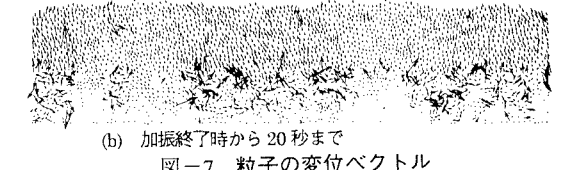
(b) 4秒後（液状化直後）



(c) 20秒後（解析終了時）



(a) 初期状態から加振終了時まで



(b) 加振終了時から20秒まで