

神戸大学工学部

フェロー 高田 至郎

神戸大学工学部

正会員 Nemat Hassani

(株)オリエンタルコンサルタンツ

正会員 ○西川 啓二

1.はじめに

個別要素法による液状化解析は Hakuno et. ¹⁾ によって、粒粒子を個別要素として非常に小さな地盤モデルについて行なわれているが、膨大な計算時間を要する。また、中瀬ら ²⁾ は土粒子の運動に伴う過剰間隙水圧を簡便的に計算する手法を用いて液状化解析を行っている。本研究では、著者らによって開発した個別要素法を用いて、過剰間隙水圧の計算を体積ひずみの変化としてとらえ、地盤の液状化解析をおこない、液状化に伴い発生する側方流動現象のシミュレーションをおこなう。

2.解析手法

藤谷ら ³⁾ は、解析モデルをメッシュに分割し、メッシュの間隙面積増分 $\Delta v'_{ij}$ は、図-1 に示すように隣接するメッシュに中心位置がある要素がメッシュ (i, j) の間隙面積増分に影響を及ぼすと考えて、時刻 t における水圧増分を計算し、その後、水圧消散量を考慮して解析をおこなっている。しかしながらこの手法では、メッシュの面積変化に起因する要素の中心位置からメッシュ境界線間での距離が非常に短いとき、要素の挙動によって初期に属していたメッシュから要素が移動するとその近傍メッシュの面積は急激に変化するため、異常な水圧発生を引き起こす可能性が考えられる。

そこで本研究では、図-2 の各メッシュの間隙面積(横線部)を逐次求めて、間隙面積の変化から間隙水圧の計算をおこなう。各メッシュの間隙面積は、メッシュ面積($dx \times dz$)からメッシュ内に中心が位置する要素の合計面積を差し引くことにより求めることができる。また、メッシュ境界と交差している要素の中心と境界線との距離 d_k が各要素半径 r_k の α 倍より小さいとき、図-2 中のはみ出している面積(斜線部分) $S_{ki,j}$ は式(1)より求まる。同様にメッシュに食い込んでいる面積 $S'_{ki,j}$ も考慮することにより、時刻 t における各メッシュの間隙面積 A_{ij} は、式(2)のように求めることができる。

$$S_{ki,j} = r_k^2 \theta - d_k \cdot r_k \sin \theta \quad [d_k < r_k \cdot \alpha] \quad (1)$$

$$[A_{ij}]_k = dx \cdot dy - \left\{ \sum_k A_k - \sum_k S_{ki,j} + (S'_{k+1,j} + S'_{k+1,j} + S'_{k,j-1} + S'_{k-1,j}) \right\} \quad (2)$$

ここで、 A_k : 各メッシュに含まれる要素 k の面積

メッシュ (i, j) における初期間隙面積を A_{0ij} 、ある時刻 t における間隙面積を A_{ij}^t とすれば、地震波などによりメッシュ内の要素が変形すると各メッシュにはひずみが発生し、メッシュ内に閉じこめられた水の過剰間隙水圧は上昇するはずである。そこで本研究では、地盤内のメッシュのひずみに注目して過剰間隙水圧の計算をおこなう。間隙面積のひずみ S_{ij} は、式(3)より求まり、水の体積弾性率を E_w とすると、過剰間隙水圧の増分量 ΔU_{ij} は式(4)より求まり、時刻 t における過剰間隙水圧は式(5)となる。

$$S_{i,j} = (A_{i,j}^{t+\Delta t} - A_{i,j}^t) / A_{0i,j} \quad (3)$$

$$\Delta U_{i,j} = E_w \cdot S_{wi,j} \quad (4)$$

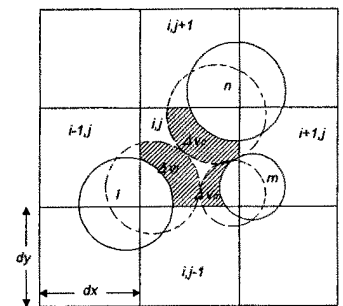


図-1 メッシュの面積増分

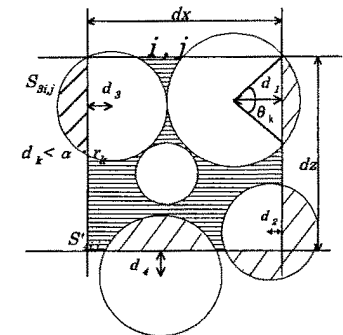


図-2 本研究での間隙面積変化

$$P_{i,j}^t = P_{i,j}^{t-\Delta t} + \Delta U_{i,j} \quad (5)$$

本研究では、土粒子の集まりを1つの要素として考え、液状化発生時における程度の土粒子が固まりとして挙動するとして半径10cm、1092個の要素(壁要素92個)を4角形配置にて深さ4m、長さ10mの地盤モデル(図-1)を作成した。また、過剰間隙水圧を計算するため解析モデル図の中央部6mを液状化層と仮定して60個のメッシュ(60cm×60cm)に分割した。また、解析に用いた入力パラメータを表-1に示す。入力波形は最大加速度800gal、2Hzの正弦波を3秒間入力した。

3. シミュレーション結果

図-1の地表面水平地盤モデルにおいて左側のメッシュ2,12、中央部のメッシュ5,15,25における過剰間隙水圧の時刻歴をそれぞれ図-2、図-3に示す。両図とも2秒付近において液状化に達している。中央部に位置するすべてのメッシュでは時間経過とともに一定の間隙水圧に達している。また、図-4に4秒後の地盤の土粒子配置を示し、図-5にベクトル図を示す。図中の円は、土粒子の初期位置と4秒後の位置を示している。液状化層は、周りの地盤に比べて大きく要素はせん断変形し、その結果、約40cm程度の沈下が見られる。また図-5より、側方への移動も見られる。地表面水平地盤においても側方への移動量は最大10cmとなっている。また液状化発生により土粒子の配置が密な構造へと変化している。地表面が傾斜している場合の結果については発表時にゆずる。

4. まとめ

メッシュの体積ひずみの変化を正確に求め、間隙水圧を考慮することによって、過剰間隙水圧は上昇し液状化に至った。また要素の挙動は、せん断力による変形の後、土粒子構造が密な地盤となり、その部分では地盤が沈下、側方移動する結果となった。

参考文献

- 1) Hakuno, M. and Tarumi, Y.: A Granular Assembly Simulation for the Seismic Liquefaction of Sand, *Proceedings of Japan Society of Civil Engineering*, No. 398/ I-10 pp.129-137, 1988.
- 2) 中瀬ら: 実地盤の液状化現象に対する個別要素法の適用, 土木学会第53回年次学術講演概要集, I-B256, pp.512-513, 1998
- 3) 藤谷昌弘ら: 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, pp.997-998, 1996.

表-1 要素の入力物性値

	弾性係数	ポアソン比	単位体積重量	摩擦係数	減衰定数
	E (kN/m ²)	ν	γ (kN/m ³)	μ	h
砂要素	3.40×10 ⁷	0.35	16.66	0.45	0.02
壁要素	6.80×10 ⁷	0.30	19.6	0.55	0.02

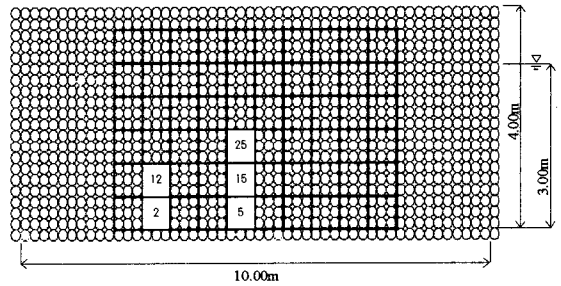


図-1 地盤モデル

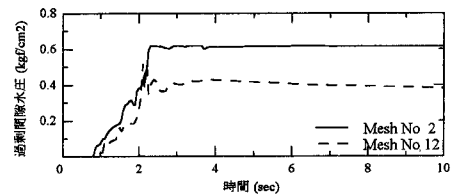


図-2 過剰間隙水圧

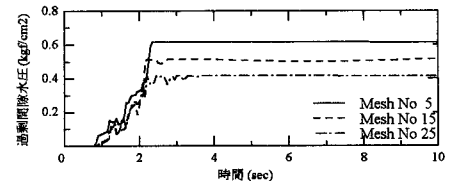


図-3 過剰間隙水圧

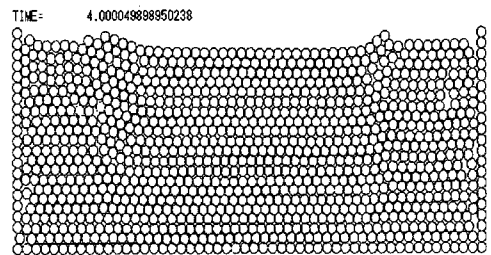


図-4 4秒後の土粒子挙動

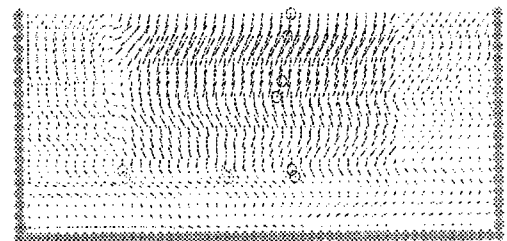


図-5 4秒後の土粒子の変位ベクトル