

## 第II部門 水圧変動を受ける海底地盤の挙動に関する数値シミュレーション

京都大学工学部 正 員 酒井哲郎 京都大学工学部 正 員 後藤仁志  
京都大学大学院 学生員 富永圭司 京都大学大学院 学生員 豊田泰晴

1. はじめに 波浪による海底地盤内の間隙水圧変動と海底地盤表面の圧力変動の間には応答遅れが存在するため、特定の位相における間隙水圧分布は地盤に揚力を作用させ、地盤の液状化を引き起こすことがある。このことは、沈下、転倒などの海岸構造物

災害を引き起こす一因であるとの認識から、これまでに多くの室内実験や現地観測が行われ、地盤内間隙水圧の変動についての解析モデルが提案されている。ところで、既往の解析モデルの多くは、連続体近似を前提としているため、地盤を構成する砂粒子間の有効応力が一端ゼロとなる（いわゆる『液状化』現象が生じる）場合には、

現実の地盤の挙動をうまく説明できない。本研究では、このような連続体近似の適用限界に相当する条件下での地盤の挙動について、地盤を多数の要素の集合体としてモデル化する個別要素法に基づく数値解析を実施する。

2. モデルの概要と計算方法 本研究では図-1のような直径2cmの2次元円盤要素群を規則的に配列したモデルからなる海底地盤を想定した。個別要素法では、要素間の力の伝達は接触点における弾性スプリングと粘性ダッシュポットで行われるものとして各要素について運動方程式をつくり、それらを前進法で解く方法がとられるが、ここでは、実地盤の3次元性を考慮して要素間の噛み合わせ効果による地盤の塑性的挙動を表現するため非弾性スプリングを導入した。さらに、間隙水の流動に伴う間隙水圧の変動過程に関しては、要素間の間隙が相互に細い流路で連結された状態を想定した離散型のモデルを用い、流路内の水はダルシー則に従うものと仮定した。なお、地盤全体としての透水係数が実際の砂地盤（ここでは中央粒径0.25mmを想定）のものと同オーダーになるように、局所的な透水係数（間隙を結ぶ流路での値）を調整した。地盤全体としての透水係数は0.03 cm/sである。また、要素群の両端の鉛直壁にかかる土圧分布が平衡状態に達した点を初期条件とし、海底地盤表面の水圧変動が正弦波で与えられる際の要素間接触力の変動過程を追跡した。個別要素法の計算手順のフローチャートを図-2に本研究で用いた主なDEM係数を表-1に示す。

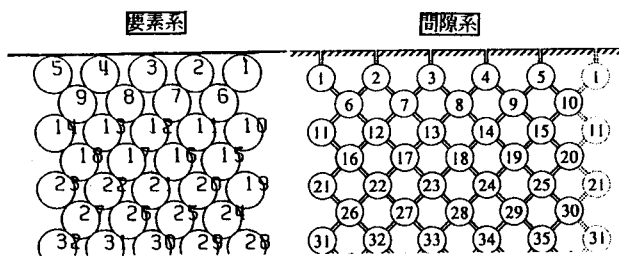


図-1 要素配列と間隙の配置

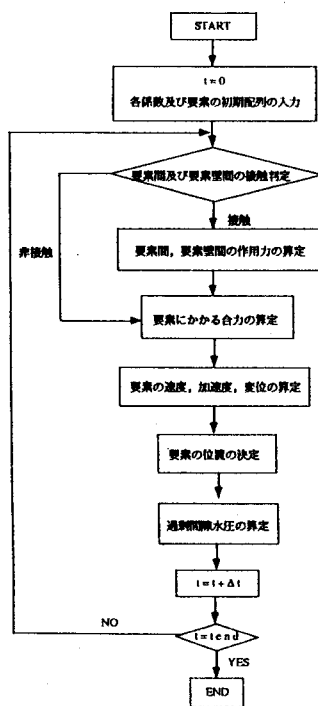


図-2 個別要素法計算プログラム フローチャート

Tetsuo SAKAI, Hitoshi GOTOH, Keiji TOMINAGA & Yasuharu TOYOTA

### 3. 計算結果と考察 厚さ27.05cmの海底地盤

(要素数77個, 層数17段でモデル化) を対象に 0.4, 0.5, 0.6mの振幅をもつ波の水圧変動を地盤表面に与えたときの要素間の法線方向接触力の時間変化を追跡し, これが0となるところで液状化が発生するものとした。図-3は振幅 0.4mの水圧変動を地盤表面に与えたときの5層目(上層), 10層目(中間層), 16層目(下層)の法線方向接触力の時間変化を示したものである。地盤表面における変動水圧の減少期には, 地盤内間隙水圧の応答遅れに起因する揚力が要素に作用するため法線方向接触力は減少する。この図より, 0.4mの場合には5層目までは液状化するが10層目, 16層目は液状化しないことがわかる。0.5mの場合は10層目まで, 0.6mの場合は16層目まで液状化が発生することが同様の検討を繰り返すことにより確認されている。次に図-4は, 図-3と同様の条件に対して, 土粒子の水中重量と間隙水圧分布による揚力との釣り合いを考えたMadsen (1974) の液状化条件を適用した結果を示しているが, この場合には全く液状化が生じない結果となっている。Madsenの液状化条件の基準になっているのは, 要素にかかる合力の鉛直方向成分であるが, これは図-4からわかるように滑らかな時間変化を示すのに対し, 個別要素法の法線方向接触力は上層でかなり大きく変動し, 中間層でも小刻みな変動を伴いながら時間とともに減少している。下層では変動幅は小さく単調減少的傾向が見られるが, 地盤表面作用圧力の最小値の前付近で急激に減少しており, Madsen型の条件とはかなり異なっている。

表-1 DEMの係数

| 法線方向<br>弾性係数                | 接線方向<br>弾性係数                 | 法線方向<br>粘性係数     | 接線方向<br>粘性係数      | 摩擦係数  | 時間間隔                        |
|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------|-------|-----------------------------|
| $9.45 \times 10^4$<br>(N/m) | $2.363 \times 10^4$<br>(N/m) | 39.73<br>(N s/m) | 19.865<br>(N s/m) | 0.577 | $1.0 \times 10^{-4}$<br>(s) |

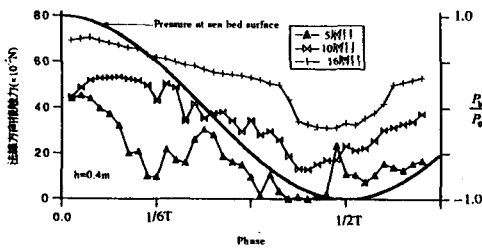


図-3 個別要素法による計算結果

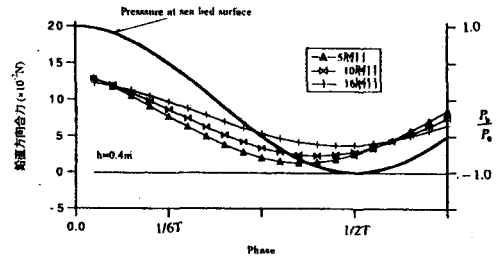


図-4 Madsen 型の条件による計算結果

4. おわりに このように, Madsenの条件では液状化が発生しない場合でも個別要素法では浅い層の液状化が予測されており, 個別要素法はMadsenの条件より安全側の発生予測になっていることがわかる。2つの解析結果に差がでるのはMadsenの条件では1つの要素にかかる水圧を要素のまわりに積分した値と要素の水中重量の釣り合いだけで液状化が生じるかを判断しているのに対し, 個別要素法では他の要素から受ける反発力や摩擦力も考慮することにより, 要素が単独で動くのではなく集団として挙動することを考慮に入れているためだと考えられる。このように個別要素法を用いることにより, 単一要素の安定問題とはかなり異なる挙動が見られるようになり, 土塊の集合体としての複雑な特性が模擬される。

### 参考文献

- 1) 木山英郎, 藤村 尚 (1983); カンドルの剛分散要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析, 土木学会論文集, 第333号, pp.137-275.
- 2) 酒井哲郎, 間瀬 肇, 山本哲也 (1993); 水圧変動による地盤表面付近の間隙水圧変動, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.586-590.
- 3) Madsen, O.S. (1974): Stability of sand bed under breaking waves, *Proc. 14th Int. Conf. on Coastal Eng.*, Vol. 2, pp. 776-794.