

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
 神戸大学大学院 学生員 ○山根 健太郎

1.はじめに

液状化現象は水平動による繰返しせん断応力に起因することが知られているが、1995年に発生した兵庫県南部地震を契機に、上下地震動による液状化への影響が注目されている。しかし、そのメカニズムはまだ十分に解明されていないというのが現状である。本研究では著者らによって開発された個別要素法液状化解析プログラム(DEFA)を用いて、要素の挙動に着目することにより上下動が過剰間隙水圧に及ぼす影響を考察する。

2.解析手法

本研究では図-1の各メッシュの間隙面積を逐次求めて、間隙面積の変化から間隙水圧の計算を行う。メッシュ(i, j)における初期間隙面積を $A_{0i,j}$ 、ある時刻 t における間隙面積を $A_{i,j}^t$ とすれば、地震波などによりメッシュ内の要素が変位するとメッシュ中の要素によって形成される間隙面積は変化する。そして時間経過とともに大きな振動力により、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。間隙面積の変化率 S_{ij} は式(1)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(2)より求まり、時刻 t における過剰間隙水圧 $P_{i,j}^t$ は式(3)となる。

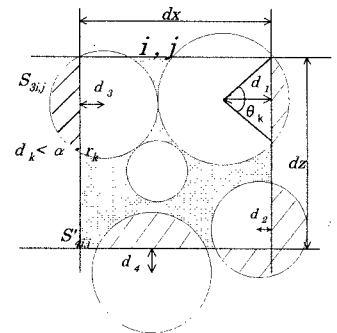


図-1 メッシュの間隙面積

$$S_{i,j} = (A_{i,j}^{t+\Delta t} - A_{i,j}^t) / A_{0i,j} \quad (1)$$

$$\Delta U_{i,j} = E_w \cdot S_{i,j} \quad (2)$$

$$P_{i,j}^t = P_{i,j}^{t-\Delta t} + \Delta U_{i,j} \quad (3)$$

3.解析条件

本研究では砂粒子の集まりを1つの要素と見なして、液状化発生時にある程度の土粒子が固まりとして挙動するものと仮定する²⁾。解析地盤モデルを図-2に示す。半径 0.5, 1.0, 1.5, 2.0cm の各要素をランダム配置にてパッキングを行い、要素の変動を抑制するために重力による安定解析を行って、深さ 60cm、長さ 180cm の地盤モデル(要素数 1200 個、壁要素 98 個)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 90cm を液状化層と仮定して 15 個のメッシュ(18cm×18cm)に分割した。考察の対象とするメッシュは、地表面に近いメッシュ No.3 と底面に近いメッシュ No.13 の2つのメッシュである。また、解析に用いた入力パラメータを表-1に示す。入力波は 5Hz の正弦波を 3 秒間入力した。解析ケースを表-2に示す。

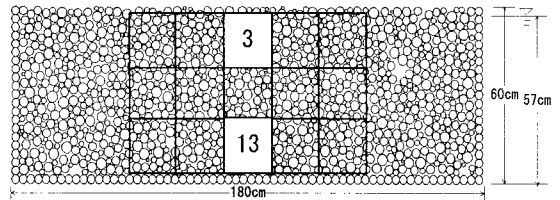


図-2 地盤モデル

表-1 要素の入力物性値

	弾性係数 $E(\text{kN/m}^2)$	ポアソン比 ν	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	摩擦係数 μ	減衰定数 h
土要素	3.40×10^7	0.35	16.66	0.45	0.02
壁要素	6.80×10^7	0.30	19.60	0.55	0.02

表-2 解析ケース

No.	水平入力加速度 (gal)	上下入力加速度 (gal)
(i)	50	0
(ii)	50	150
(iii)	0	150

Shiro TAKADA, Nemat HASSANI and Kentaro YAMANE

4.解析結果および考察

図-3 に両モデルのケース(i)における加振終了後の地盤モデルを示す。本図より、液状化発生によって要素の配置が密な構造へと移行し、地盤が沈下していることが分かる。

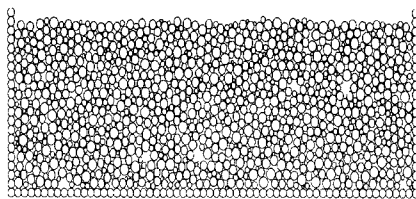


図-3 加振終了後の地盤モデル

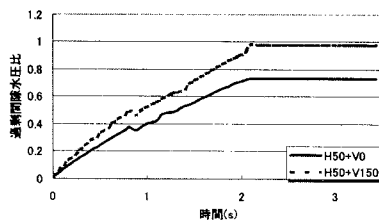
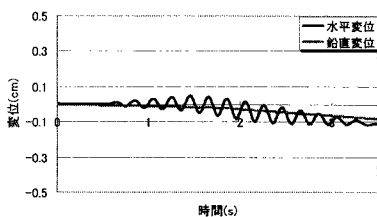
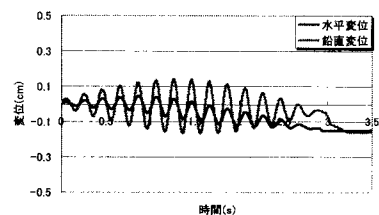


図-4 過剰間隙水圧比時刻歴(No.13)

図-4 にケース(i), (ii)におけるメッシュ No.13 の過剰間隙水圧比時刻歴を示す。本図より、ケース(i)では過剰間隙水圧比が 0.7 付近までしか上昇しなかったのに対して、ケース(ii)では上下動が加わることにより過剰間隙水圧比が 1.0 まで上昇したことが分かる。



(i) H50gal+V0gal

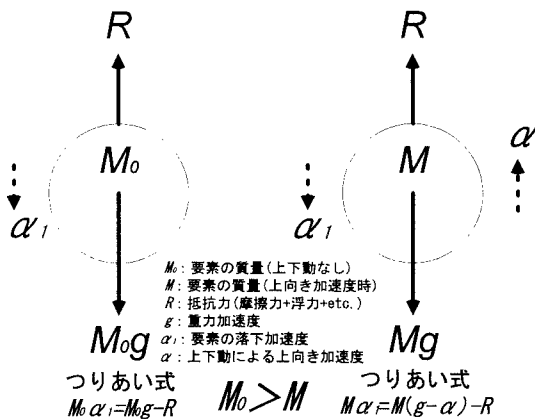


(ii) H50gal+V150gal

図-5 メッシュ No.13 中の一要素変位

図-5 にケース(i), (ii)における、メッシュ No.13 中の1要素の水平および鉛直変位を示す。本図より、ケース(i)と比べてケース(ii)の鉛直変位においては、要素が上下方向に細かく動きながら沈下していることが分かる。上下動により要素がよく振動することによって、メッシュ中の要素間をかき乱すことが考えられ、要素の落ち込みによって間隙水圧が上昇した可能性がある。

図-6 に上下動が要素に及ぼす影響を示す。本図より、上下動が加わっていない時に比べて、要素に上下動の上向き加速度が加わる時には、見かけの質量は小さくなる。よって、繰返しせん断応力によって要素のかみ合わせがはずれやすくなり、結果として上下動が加わった時、過剰間隙水圧が上昇すると考えられる。



(a)上下動なし (b)上向き加速度 α の場合

図-6 上下動が要素に及ぼす影響

5.まとめ

個別要素法により液状化シミュレーションを行った。その結果、水平動のみで完全液状化に至らなかったものが、上下動によって過剰間隙水圧が上昇し完全液状化に至った。上下動による要素の落ち込みが間隙水圧上昇に寄与していると考えられる。また液状化により、要素配置もより密な構造へと移行し地盤が沈下する結果となった。

<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) 高田至郎ら: 液状化時の側方流動現象に対する個別要素法の適用, 建設工学研究所論文報告集, 第 41-B 号-阪神・淡路大震災特集号-, pp.11-23, 1999.11.