

液状化時の盛土の沈下現象における周波数特性に関する個別要素法解析

東京大学大学院 正会員 ○本多 剛
東京大学大学院 正会員 東畑 郁生

1. はじめに これまで筆者らは、液状化した砂の強度発現メカニズムや液状化地盤と構造物との相互作用の影響について調べることを目的とした、個別要素法による液状化地盤の数値シミュレーション手法の開発を行ってきた¹⁾。本報告では、加振の入力周波数を変えた液状化地盤上の盛土の沈下現象に関する数値解析を実施し、盛土の沈下における加振周波数の影響について検討したので報告する。

2. 解析条件 本解析で用いた解析地盤の概要を図-1に示す。地盤は飽和層と不飽和層の盛土からなる。盛土を構成する要素間には一定の張力を与えることで不飽和土のサクシオンを再現しており、そのサクシオンの値は約 10 kPa 程度である。本解析では図-1 に示す地盤に 50 倍の重力加速度を与えた状態にて正弦波による入力加振を行っている。これは遠心模型実験を想定したものであり、解析パラメータは遠心模型実験の相似則に基づいて決定した。図-1 の括弧内の値は実物換算値である。表-1 には遠心場モデルでの解析パラメータを示す。表-2 は、本解析で用いた要素による平面ひずみ試験の解析結果から求めた要素の集合体としての強度を示す。なお、解析は拘束圧 100 kPa、乾燥と湿潤状態の 2 つの条件で行った。

加振は正弦波 300 gal、20 波を慣性力として入力し、加振周波数には 2, 3, 4, 5 Hz の 4 種類を用いた。また、動的遠心模型実験では地盤の透水性を下げるために粘性流体が用いられることから、解析では水と等しい粘性係数と水の 50 倍の粘性係数の 2 種類の値を用いた。

3. 解析結果 解析結果として図-2 と図-3 には盛土下部の沈下の時刻歴を、図-4 と図-5 には盛土法尻部での水平変位の時刻歴を示す。スケールには実物換算後の値を用いており、法尻部の水平変位には左右の法尻の水平変位量の平均値を用いた。粘性係数に水と等しい値を用いた

条件では、周波数 2 Hz のケースを除いて、盛土直下の沈下量及び盛土法尻部の水平変位量が一定の割合で増加し、その勾配は周波数に因らず一定の値になった。また、粘性係数に水の 50 倍の値を用いた条件では、水と等しい粘性係数に比べて盛土の沈下量及び法尻部の水平変位量はかなり減少している。またどのケースにおいても 20 波の加振終了後には、沈下量及び水平変位量の増加は止まっている。図-6 には、粘性係数に水と同じ値を用いた 2 Hz と 4 Hz の周波数の各要素の接触点数分布を表す。この図において、他要素との接触点を 4 点以上持つ要素を黒で、接触点を持たない要素を白で表し、1 から 3 の接触点数を持つ要素を接触点数に応じて灰色とした。図-6 の 4Hz のケースでは、盛土側方の水平地盤で徐々に液状化が始まり、10 波後には完全に液状化していることが分かる。盛土直下では、部分的に完全に液状化している点も見られるが、大半の領域では接点が失われず、有効応力が低い状態であっ

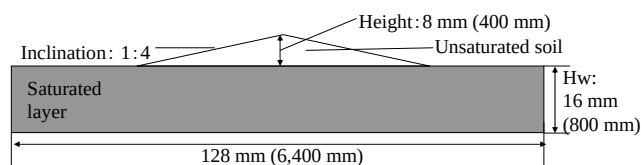


図-1 解析に用いた地盤概要

表-1 個別要素法の解析パラメータ

要素数	14,000	平均粒径	0.4 mm
土粒子密度			1.7 kN/m ³
法線方向の剛性(k_n)			9.5E+06 N/m
接線方向の剛性(k_s)			2.4E+06 N/m
法線方向の粘性係数(η_n)			5.5E+00 Ns/m
接線方向の粘性係数(η_s)			2.8E+00 Ns/m
粘着力 (c')			0.0 N
内部摩擦角(ϕ')			40.0 degrees
透水係数			4.0E-05 m/s
水の体積圧縮係数(K_w)			4.5E+08 N/m ²

表-2 拘束圧100 kPaでの平面ひずみ試験の解析から得られた要素集合体としての強度特性.

	間隙比 initial	サクシオン [kPa]	q max. [kPa]	ϕ' [degree]
Dry	0.159	0.0	122	21.4
Wet	0.157	10.3	134	21.4

キーワード 液状化、盛土、個別要素法、周波数

連絡先 〒113-8656 東京都文京区 7-3-1 東京大学大学院 Tel:03-5841-6137, Fax:03-5841-6137

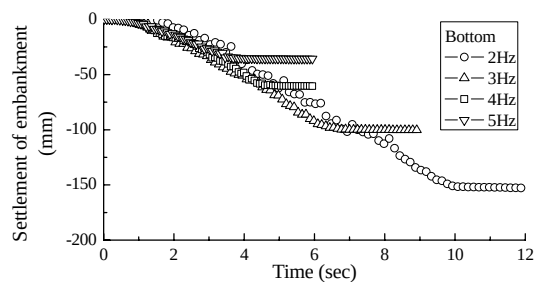


図-2 盛土下部の沈下の時刻歴

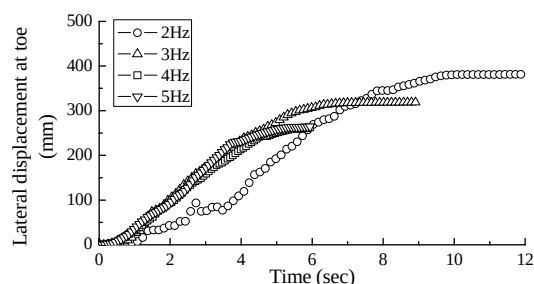


図-4 法尻部の水平変位の時刻歴

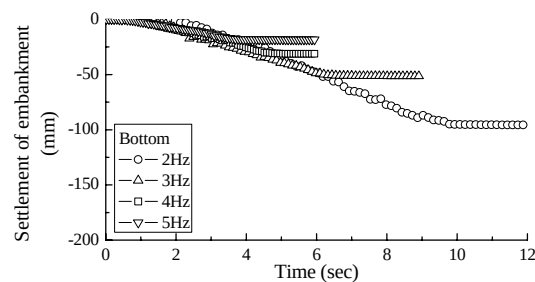


図-3 盛土下部の沈下の時刻歴（粘性係数：50 倍）

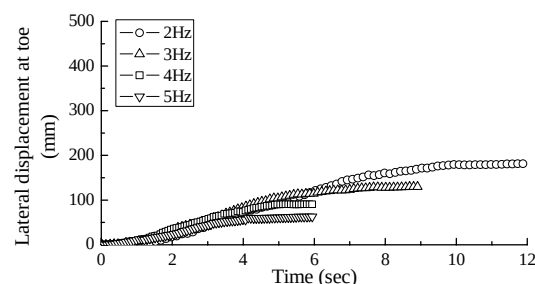
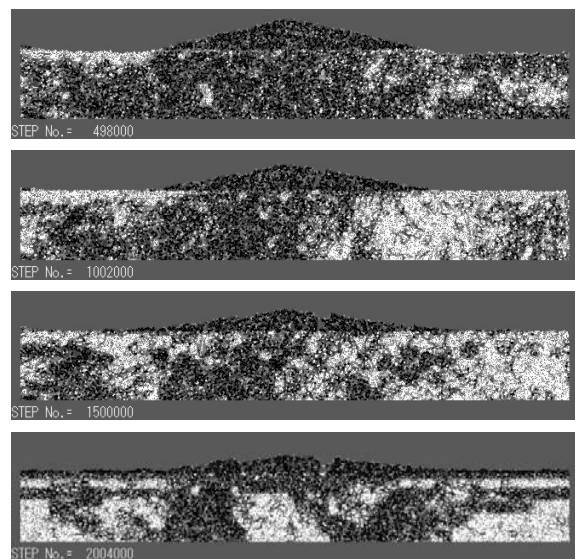
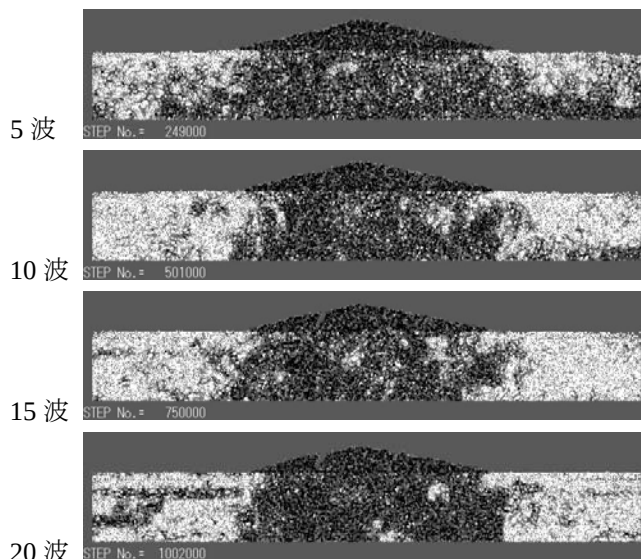


図-5 法尻部の水平変位の時刻歴（粘性係数：50 倍）



(a) 2Hz、粘性 1 倍



(b) 4Hz、粘性 1 倍

図-6 各要素の接触点数分布（上から 5 波、10 波、15 波、20 波の入力終了時）

た。一方、2 Hz のケースでは、水平地盤部分において完全液状化状態の程度が 4 Hz のケースに比べて低くなっている。これは、加振周波数が低いために盛土の水平変位が大きくなり、盛土法尻部直下から有効応力の回復が発生したために部分的に接触点数が増加している。なお、この 2 Hz のケースを除く他のケースは 4 Hz の接触点数分布に類似していた。図-2 から図-5 の変位の時刻歴と図-6 の関係から、粘性係数に水と等しい値を用いた 2 Hz のケースでは地盤の広範囲で有効応力の回復が起これ、沈下及び水平変位の増加速度は遅くなり、その他のケースでは、一定の速度で変位が増加し、その割合が周波数に因らないという結果になった。

4. まとめ 液状化時の盛土の個別要素法解析から、模型実験や粘性モデルを用いた解析と同様に、一定の割合で盛土の沈下や側方への変位が増加するという結果になった。また、その変位の増加速度は周波数に依存しないこと、粘性流体を用いたケースでは変位量が小さくなるという結果になった。

参考文献

- 1) Honda, T. & Towhata, I. 2004, Flow deformation of a river dike due to seismic liquefaction. Proceedings of the Second International PFC Symposium, Numerical Modeling in Micromechanics via Particle Methods – 2004, Tokyo, Japan, pp.265-271