

液状化地盤に敷設されたトップヘビーな小規模構造物の三次元地震応答解析

有効応力解析 液状化 有限要素法

(株)浅沼組 国際会員 ○高稲敏浩
名古屋大学 国際会員 野田利弘、中井健太郎
(財)地震予知総合研究振興会 国際会員 浅岡顕
(株)浅沼組 正会員 山下勝司

1. はじめに

軟弱砂質地盤上に敷設されたトップヘビーな小規模構造物について、地震時の安定性を 3次元水～土連成有限変形解析コード GEOASIA^(1),2,3)を用いて、地盤～構造物系の地震前～地震後までの一連の挙動を検討した。入力した地震動は、長周期成分を含む東海・東南海・南海3連動地震である。

2. 計算条件

計算に用いた有限要素メッシュおよび境界条件を図1、2に示す。地盤は、図1、表1に示すように4層からなる砂質地盤で上層15mが緩い砂地盤である。構造の程度、比体積は各層で均一として、土被り圧に応じて過圧密比を鉛直方向に分布させた。また、工学的基盤面にあたる地盤下端は、底面粘性境界($V_s=380\text{m/sec}$)を設定し、地盤両側の同一高さにある全節点に等変位条件を課した(「周期境界」)。

地盤中央に設置する小規模な構造物を図2に示すがトップヘビーな構成となっている。計算にあたっては土中敷設の構造物はその部分の土要素を1相系弾性体で置換することにより再現し、地上部分は1相系弾性体の要素を追加することで再現した。ベースコンクリート幅の異なる2ケースについて検討した。地震動は、地盤底面の全節点の x,y 軸方向に東海・東南海・南海3連動地震(図3)を入力した。図4に示すように長周期成分が卓越した地震動である。計算は地震動を与えた後、圧密が終了するまで実施した。

3. 計算結果

図5に点aにおける過剰間隙水圧比の変化および図6に30秒経過後の平均有効応力分布を示す。概ね30秒以降に地盤は液状化しているものと判断される。図7に構造物の点Aおよび点Cにおける水平変位量、また、図8、9には紙面の都合上点Aの応答加速度およびフーリエ振幅を示す。構造物は、地盤が液状化した後、周期1～4秒の長周期で水

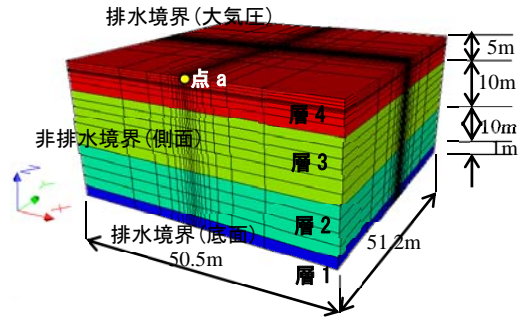
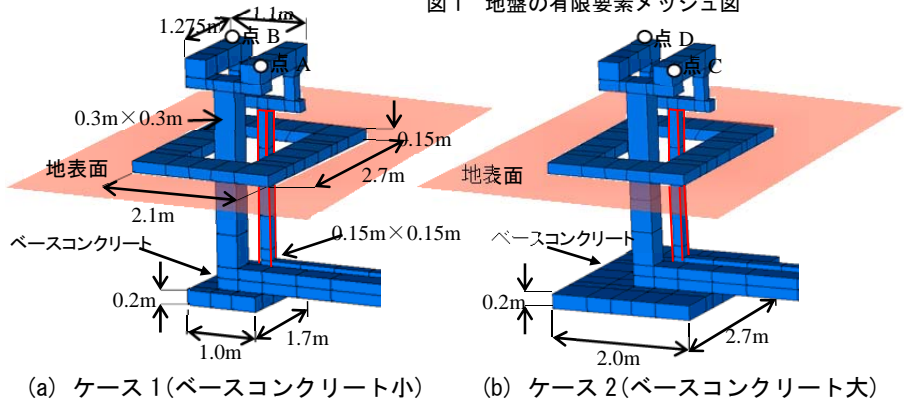
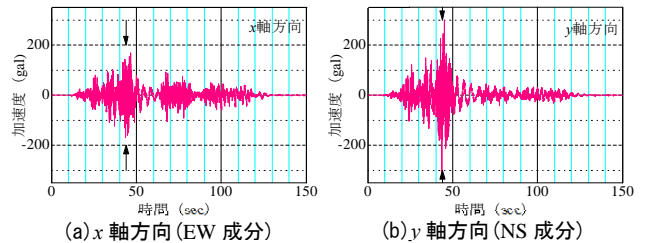


図1 地盤の有限要素メッシュ図



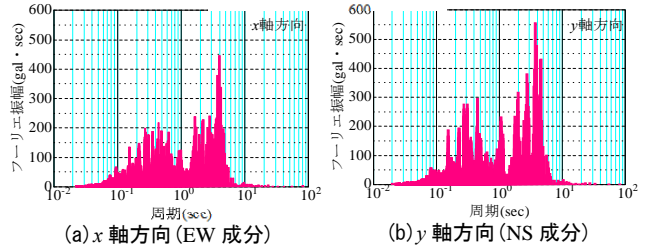
(a) ケース1(ベースコンクリート小) (b) ケース2(ベースコンクリート大)

図2 構造物メッシュ図



(a)x軸方向(EW成分) (b)y軸方向(NS成分)

図3 入力地震動



(a)x軸方向(EW成分) (b)y軸方向(NS成分)

図4 フーリエ振幅

表1 材料定数

層	弾塑性パラメータ					発展則パラメータ				初期値			ρ_s (t/m^3)	透水係数 k_0 (cm/sec)	
	圧縮指数 λ	膨潤指数 κ	限界状態数 M	正規圧密線の切片 N	ポアソン比 ν	構造低位化指数 a, b, c, c_s	正規圧密土化指数 m	回転硬化指数 b_p	回転硬化限界定数 m_p	応力比 K_0	構造の程度 $1/R^*_0$	異方性の程度 K_β			初期比体積 v_0
層1($D_r=80\%$)	0.05	0.0002	1.1	1.989	0.3	5.0,1.0,1.0,0.1	0.12	3.0	0.9	0.6	1.40	0.6	1.720	2.675	1.0×10^{-4}
層2($D_r=60\%$)	0.05	0.0020	1.1	1.989	0.3	5.0,1.0,1.0,0.1	0.12	3.0	0.9	0.6	1.40	0.6	1.790	2.675	1.0×10^{-4}
層3($D_r=40\%$)	0.05	0.0020	1.1	1.989	0.3	5.0,1.0,1.0,0.1	0.12	3.0	0.9	0.6	1.40	0.6	1.860	2.675	1.0×10^{-5}
層4($D_r=40\%$)	0.05	0.0020	1.1	1.989	0.3	5.0,1.0,1.0,0.1	0.12	3.0	0.9	0.6	1.40	0.6	1.860	2.675	1.0×10^{-4}

($N_p=98\text{kN/m}^3$ における繰返し土の等方正規圧密線上の比体積)

3D seismic response analysis of a top heavy structure constructed on liquefiable ground: Takaine, T. (Asanuma Corp.), Noda, T., Nakai, K. (Nagoya Univ.), Asaoka, A.(ADEP) and Yamashita, K. (Asanuma Corp.)

平に振動している。図 2 の赤枠で示した立ち上がりの柱部分(□0.15m)の地震中～地震後に生じる最大曲げモーメントを図 10 に示すが、ケース 1,2 とも図 3 に示した矢印の時刻 $t=43.9$ 秒で生じている。その大きさは、基礎幅の大きいケース 2 のほうが大きくなっている。なお、部材の許容応力以内であることを確認している。

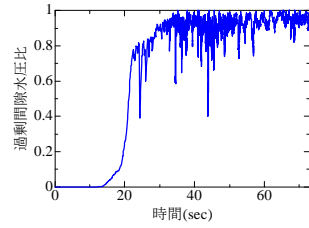


図 5 過剰間隙水圧比

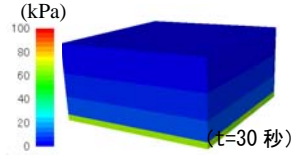


図 6 平均有効応力分布

地震中～地震後における地盤各層の沈下量を図 11 に示す。層 3 および層 4 での沈下が大きく、液状化したため地震後過剰間隙水圧の消散とともに沈下したためである。図 12 にはケース 1, 2 の構造物を敷設したときの点 A～D の沈下を示す。各点の沈下量を比べるとケース 2 のほうが大きくなっているが、点 A と点 B の沈下量の差は、ケース 2 のほうが小さく、ベースコンクリートの幅を広くすることで、不同沈下が抑えられている。 $t=43.9$ 秒および地震後圧密終了時のせん断ひずみ分布を図 13、14 に示す

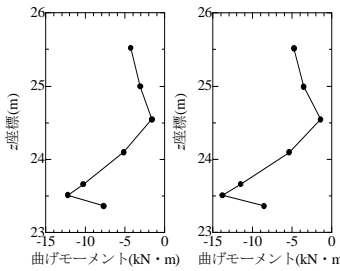


図 10 最大曲げモーメント

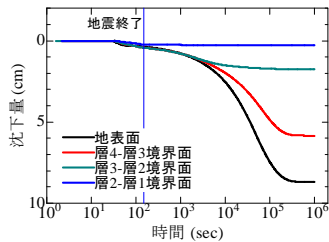
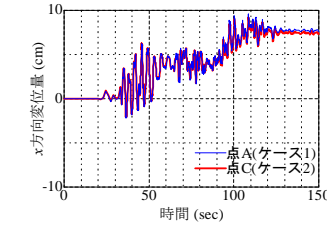
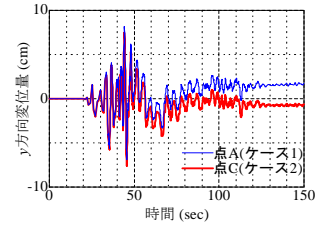


図 11 時間～沈下量関係(地盤)

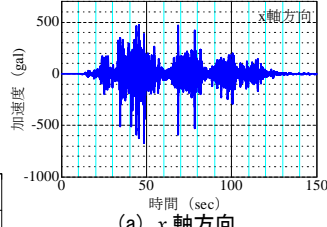


(a) x 方向変位量

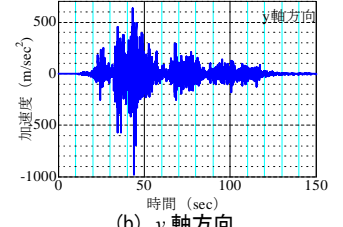


(b) y 方向変位量

図 7 水平変位量

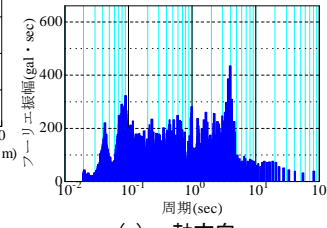


(a) x 軸方向

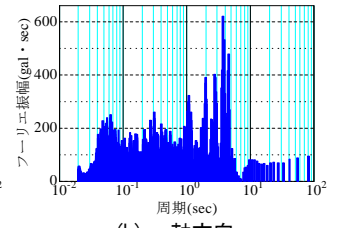


(b) y 軸方向

図 8 点 A 応答加速度

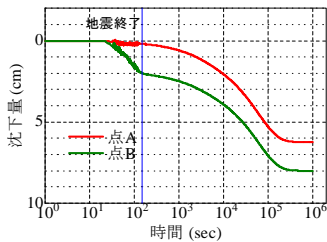


(a) x 軸方向

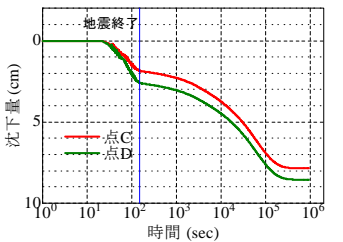


(b) y 軸方向

図 9 点 A フーリエ振幅



(a) ケース 1



(b) ケース 2

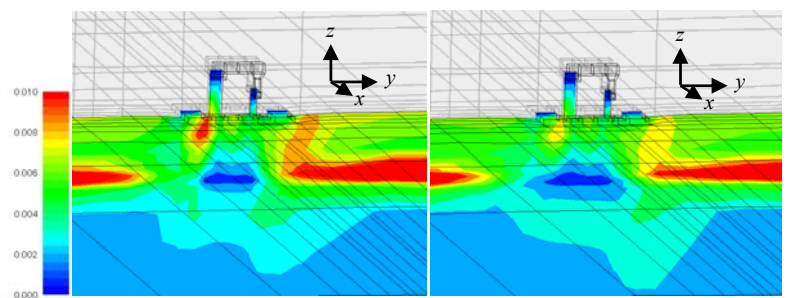
図 12 時間～沈下量関係

(図 1 点 a を通る yz 平面で表示)。点 B 側でせん断ひずみが大きく、ケース 2 では、ベースコン下で広く大きくなっていることが見てとれる(図中、○で囲った部分)。

4. おわりに

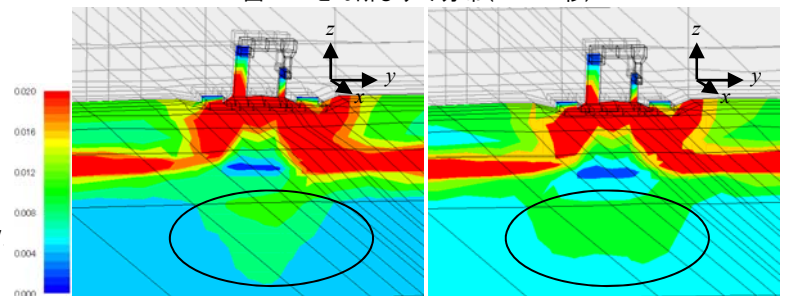
液状化層を有する軟弱砂質地盤上に敷設されたトップヘビーな小規模構造物について、3次元地震応答解析を実施した。構造物は、1～4 秒の周期で水平振動し、地震後の沈下はベースコン幅の大きいほうが大きい、不同沈下は小さくなった。

参考文献: 1) Asaoka et al.: An elasto-plastic description of two distinct..., S&F, 42(5), pp.47-57, 2002. 2) Asaoka and Noda: All soils all states all round geo-analysis integration, International Workshop on..., Hong Kong, China, pp.11-27, 2007 3) Noda et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis..., S&F, 48(6), 771-790, 2008.



(a) ケース 1 (b) ケース 2

図 13 せん断ひずみ分布 ($t=43.9$ 秒)



(a) ケース 1 (b) ケース 2

図 14 せん断ひずみ分布(圧密終了時)