

SCP 改良地盤の砂杭と杭間地盤の相対密度の差に着目した地震時の有効応力解析

東北大学 学 ○小宮 龍 正 河井 正

1. はじめに

サンドコンパクション工法は優れた地盤改良方法として実績も多く、低コストで経済的にも優れるため、砂地盤の液状化対策として広く用いられている。杭と杭間地盤の適切なモデル化にするために、本研究では 2 次元の有効応力解析を行う。ここでは、まず解析メッシュが基本応答に与える影響について確認した。

2. 二次元有効応力解析

2.1. 解析手法

本研究では、地震前後における物性の変化を検討するために、SYS カムクレイモデルを搭載した水～土連成有限変形解析（GEOASIA）を行う。GEOASIA は砂・中間土・粘土まであらゆる土の挙動を表現することができ、静的荷重・動的荷重を問わず用いることができる¹⁾。

2.2 解析条件

解析モデルは Bs, As, Ac1 の 3 層からなる深さ 22m、幅 68.5m の仮想の地盤とする。改良域には直径 0.7m の砂杭を杭心間距離 2m で 10 本打設したことを想定し、既往の文献²⁾を参考に、ここでは二次元平面の等価なモデルとして砂杭部分を幅 0.25m とした（図 1）。杭は水平方向に 1 要素または 3 要素に、杭間地盤は 4 要素または 7 要素に切られた計 3 ケースを用意した（図 2）。地下水面は地表面と同じである。境界条件は底面の鉛直方向を固定して水平方向のみの地震動を入力し、両側面は水平成層地盤を想定し、水平・鉛直方向に同一深度の節点に等変位の制約を与えた。

入力地震波は最大加速度 234Gal で継続時間 160 秒の人工地震波を用いた。

原地盤の物性は図 1 に示す Bs, As, Ac1 の各層ごとに表 1 の物性パラメータを使用した。改良域の杭間地盤の物性は深さ 1m ごとにそれぞれ入力し、代表的な物性として Bs, As 層の中央部分の物性と砂杭に用いた物性パラメータを表 2 に示す。

2.2 解析結果

砂杭と杭間地盤の水平変位深度分布を図 3 に示す。砂杭は左側から 5 番目の砂杭の右端の杭間地盤と接する節点の列について整理し、杭間地盤は左から 5 番目と 6 番目の砂杭の杭端から 1m の位置にある節

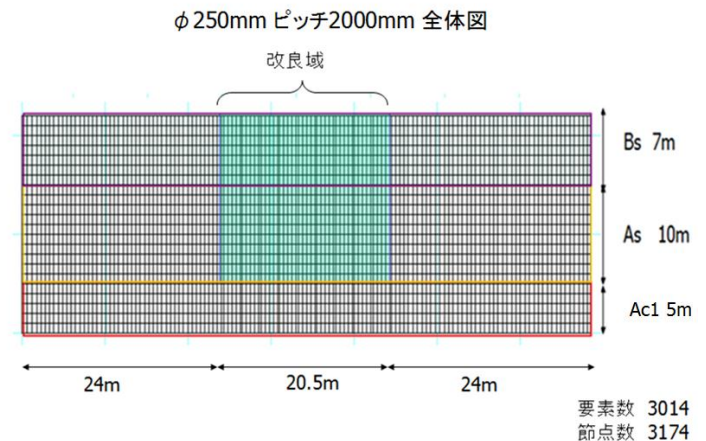


図 1 仮想地盤全体図

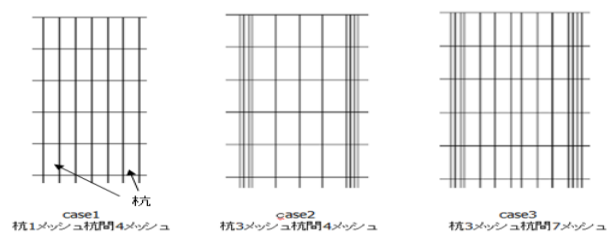


図 2 改良域の解析メッシュ拡大

表-1 解析パラメータ

	K-Ac1	K-As	K-Bs
正規圧密線の切片N	2.05	1.8	1.98
限界状態指数M	1.3	1.35	1.35
圧縮指数λ	0.23	0.06	0.06
膨潤指数κ	0.03	0.008	0.008
ポアソン比ν	0.3	0.3	0.3
透水係数k	1.E-07	1.E-03	1.E-03
土粒子密度	2.762	2.702	2.686
応力比k0	0.8	0.7	1
過圧密度1/R	1	1	1
構造の程度1/R*	5	1.5	1.5
正気圧密土化指数 m	6	0.09	0.09
構造劣化指数 a	8	8	8
構造劣化指数 b	0.3	5	5
構造劣化指数 c	1	1	1
回転硬化指数 br	1	1	1
回転硬化限界指数 mb	0.001	2.5	2.5
回転硬化係数のk0	1	0.8	0.8
初期間隙比	0.8	0.7	0.7
水の圧縮性	1.25	0.726	0.857
	2.20d+04	2.20d+04	2.20d+04

表-2 解析パラメータ

	K-As	K-Bs	砂杭
正規圧密線の切片N	1.80	1.98	1.98
限界状態指数M	1.35	1.35	1.00
圧縮指数λ	0.06	0.06	0.05
膨潤指数κ	0.01	0.01	0.01
ポアソン比ν	0.30	0.30	0.30
透水係数k	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-03
土粒子密度	2.70	2.69	2.80
応力比k0	1.05	1.50	0.80
過圧密度1/R	5.12	2.49	10.00
構造の程度1/R*	1.00	1.00	1.26
正気圧密土化指数 m	0.08	0.09	0.08
構造劣化指数 a	5.00	5.00	2.20
構造劣化指数 b	1.00	1.00	1.00
構造劣化指数 c	1.00	1.00	1.00
回転硬化指数 br	2.50	2.50	3.50
回転硬化限界指数 mb	0.80	0.80	0.70
回転硬化係数のk0	0.59	0.46	0.80
初期間隙比	0.66	0.85	1.06
水の圧縮性	22000	22000	20000

点列について整理した。case1 と case2 を比較すると砂杭の水平方向へのメッシュ分割数による水平変位の最大値深度分布への影響は認められない。同様に case2 と case3 においても杭間地盤のメッシュ分

Key Word : SCP 工法, 二次元有効応力解析

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 人間環境仮設実験棟 2F 地盤工学研究室

割による影響は認められない。

図 5 では水平加速度深度分布を示す。図 4 には case1 の杭間地盤(節点は水平変位最大値深度分布と同じ)での地表面加速度時刻歴を示す。図 5 は、このうち 20 秒から 50 秒の振幅の大きい時刻の拡大図である。水平加速度の深度分布では・20m から・15m で差が見られるが 図 5,図 6 の地表面加速度の時刻歴には大きな差は見られないので有意な差ではないと思われる。

図 7 に case1 における加振 40 秒後の鉛直有効応力のコンター図を示す。同深度において鉛直有効応力値は改良域で大きな値を示していることから、過剰間隙水圧の上昇量は少なく改良効果が現れていることが確認できる。

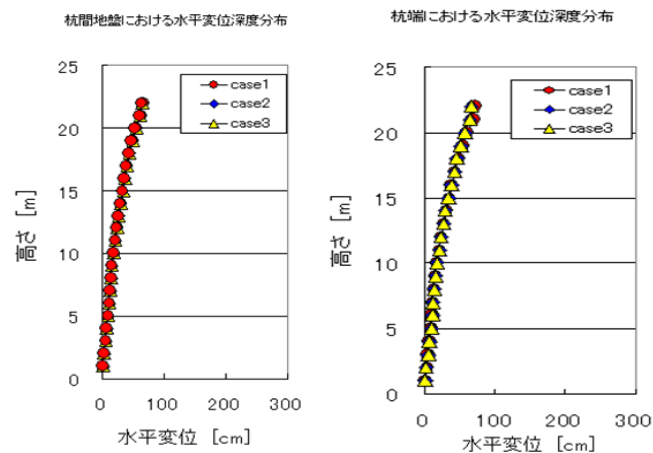


図 3 水平変位最大値深度分布

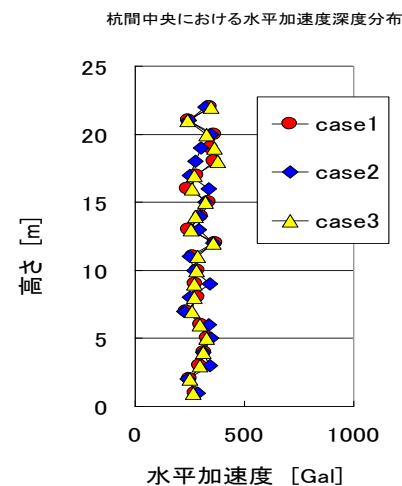


図 4 水平加速度深度分布

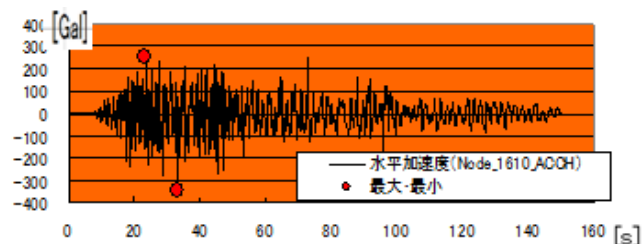


図 5 地表面加速度全体図

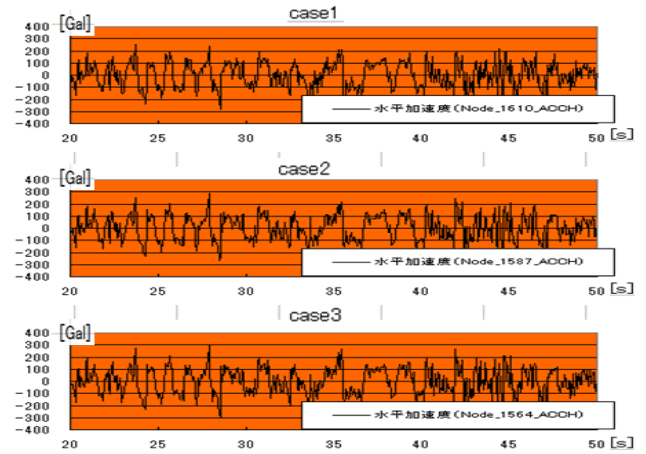


図 6 水平加速度時刻歴応答

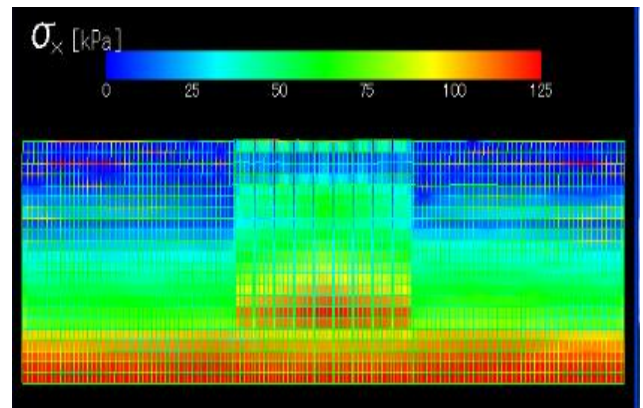


図 7 鉛直有効応力コンター図

3. 結論

地盤解析コード GEOASIA を用いて、仮想地盤での二次元有効応力解析を行った。その結果得られた結論を以下にまとめる。

- (1) 水平変位は杭、杭間地盤ともにメッシュの細かいの影響は見られない。地表面加速度においてもメッシュの影響は見られない。
- (2) 鉛直有効応力のコンター図において改良域での改良効果が確認できる。

今後、地震前後における間隙比の変化や杭間地盤の物性が杭からの距離に応じて変化する場合の挙動などについて考えていく必要がある。

参考文献

- 1) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M(2008) : soil-water couple finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, Soil and Foundation, Vol.48, No.6, pp.771-790
- 2) 竹内秀克, 野田利弘, 浅岡顕 : SCP 改良された砂地盤と粘土地盤の地震中・地震後挙動の比較