# 液状化層の上層に非液状化層を有する格子状地盤改良の格子間隔の影響について

竹中工務店　正会員　○金田　一広
竹中土木　正会員　今井　政之，東中　邦夫
港湾空港技術研究所　正会員　小濱　英司，大矢　陽介

## １．はじめに

格子状地盤改良は液状化対策工法の一つであり，液状化する砂質地盤を格子状にセメント改良土で囲み，地震動によるせん断変形を抑止する工法である．一方で，液状化層よりも上部に非液状化層が存在すると液状化が起こりにくい[1)]との報告がある．これまで，液状化層の上層に非液状化層がある地盤に対して液状化層に格子状地盤改良を施した場合の，非液状化層厚と格子間隔が地表面沈下と過剰間隙水圧比に及ぼす影響について数値解析により検討してきた[2)]．本論文では，特に地表面沈下に着目して報告する．

## ２．解析条件

数値解析は，過剰間隙水圧の消散による地盤の体積収縮を考慮できる SYS カムクレイモデルを竹中工務店保有の動的／静的解析プログラム MuDIAN に導入して 3 次元有効応力解析を実施した．**図 1** に用いた解析モデルを示す．解析モデルは半断面と設定しており，格子状改良は全断面において正方形とし，格子間隔を変化させた．改良体幅は 1m とする．

**表 1** に解析ケース一覧を示す．格子間隔は格子がない未対策を含めて 7 パターン，非液状化層厚は 0m から 5m まで 1m 毎に 6 パターン設定した．なお，改良壁の厚さは 1m とした．入力加速度波形は，**図 2** に示す JR 鷹取波 EW 成分（最大加速度 615.5Gal）を解析モデル下端の粘性境界を介して 2E 波として入力した．そして，この波形を用いた大規模地震の解析ケースをケース L，加速度振幅の 50%とした波形を用いた小規模地震の解析ケースをケース S と設定した．なお，ケース L は工学基盤面における 2E 波を地表面以下 15m の地点で入力しているケースであるため，極めて大きな入力地震動の設定になっていることを付記する．**表 1** に示すように格子なし（未改良）と格子間隔 10m では 2 つの地震波（ケース S と L），格子間隔 6m と 8m ではケース L のみ，格子間隔 12m 以上ではケース S のみ実施した．材料解析パラメータは**表 2** に示す．

## ３．解析結果と考察

**図 3** に各格子間隔における最終沈下量と非液状化層厚の関係をケース S とケース L で分けて示す．非液状化層が厚くなるほど，いずれのケースでも沈下量は小さくなっている．ケース S では，格子間隔が 16m（L/H=1.6）の場合でも，非液状化層厚が 5m あれ

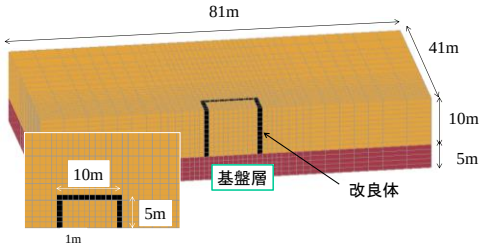



**図 1**　解析モデル（非液状化層厚 0m）

**表 1**　解析ケース一覧

| 格子間隔 | L/H | 表層非液状化層の厚さ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0m | 1m | 2m | 3m | 4m | 5m |
| 格子なし | — | 0-0 | 0-1 | 0-2 | 0-3 | 0-4 | 0-5 |
| 6m | 0.6 | 6-0 | 6-1 | 6-2 | 6-3 | 6-4 | 6-5 |
| 8m | 0.8 | 8-0 | 8-1 | 8-2 | 8-3 | 8-4 | 8-5 |
| 10m | 1 | 10-0 | 10-1 | 10-2 | 10-3 | 10-4 | 10-5 |
| 12m | 1.2 | 12-0 | 12-1 | 12-2 | 12-3 | 12-4 | 12-5 |
| 14m | 1.4 | 14-0 | 14-1 | 14-2 | 14-3 | 14-4 | 14-5 |
| 16m | 1.6 | 16-0 | 16-1 | 16-2 | 16-3 | 16-4 | 16-5 |

：ケースSおよびケースLで実施
：ケースLのみで実施
：ケースSのみで実施

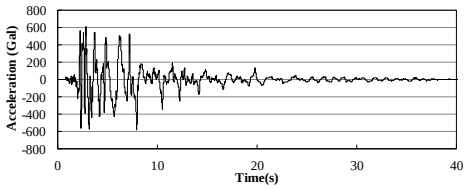



**図 2**　入力加速度波形（JR 鷹取波 EW 成分）

**表 2**　材料パラメータ

| ＜弾塑性パラメータ＞ | 基盤 | 液状化層 | 非液状化層 |
|---|---|---|---|
| 圧縮指数　λ | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 膨潤指数　κ | 0.02 | 0.002 | 0.01 |
| 限界状態定数　M | 1.4 | 0.6 | 1.4 |
| NCL intercept N (at p'=98kPa) | 1.79 | 1.79 | 1.79 |
| ポアソン比　ν | 0.1 | 0.1 | 0.3 |
| ＜発展則パラメータ＞ | | | |
| 正規圧密粘土化指数　m | 0.3 | 0.3 | 0.05 |
| 構造劣化指数　a | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| 構造劣化指数　b，c | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 回転硬化指数　$b_r$ | 2.5 | 3.0 | 2.5 |
| 回転硬化限界指数　$m_b$ | 0.5 | 1.0 | 0.5 |
| ＜初期条件＞ | | | |
| 過圧密比　R | | $3.57\times10^{-2}$ | |
| 初期異方性　$\zeta_0$ | 1.0 | 0.6 | 1.0 |
| 静止土圧係数　$K_0$ | 1.0 | 0.6 | 1.0 |
| 構造の程度　$R^*$ | 1.0 | 0.2 | 1.0 |
| 土粒子密度　ρ (g/cm$^3$) | | 2.656 | |
| 透水係数　k (m/sec) | $1.0\times10^{-5}$ | $1.0\times10^{-5}$ | - |

| ＜弾性パラメータ＞ | 改良体 |
|---|---|
| ヤング率　E (kN/m$^2$) | $7.0\times10^{5}$ |
| ポアソン比　ν | 0.3 |
| 土粒子密度　ρ (g/cm$^3$) | 2.65 |
| 透水係数　k (m/sec) | $1.0\times10^{-10}$ |

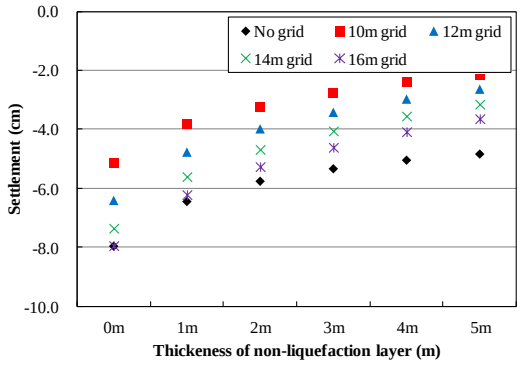
キーワード：格子状地盤改良，非液状化層，地震応答解析
連絡先：〒270-1395　千葉県印西市大塚 1-5-1　株式会社竹中工務店　技術研究所　Tel:0476-77-1288

ば沈下が 4cm 以下に抑えられていることが分かる．非液状化層が厚くなることで，液状化層での沈下の影響が地表面で小さくなるためと考えられる．ケース L では，地震動が大きくなったため，発生する沈下量も大きくなっており，特に格子なし（未対策）では非液状化層が厚くなっても沈下量はあまり小さくならなかった．また，格子状地盤改良の場合は，非液状化層厚が 0m と 5m のときを比較すると，沈下量は格子間隔 6m では約 2cm，格子間隔 10m では約 5cm 軽減されており，非液状化層が厚くなるほど，格子間隔が広いほど沈下量の低減効果は大きくなった．これは非液状化層により液状化層の拘束圧が上昇したことによる．

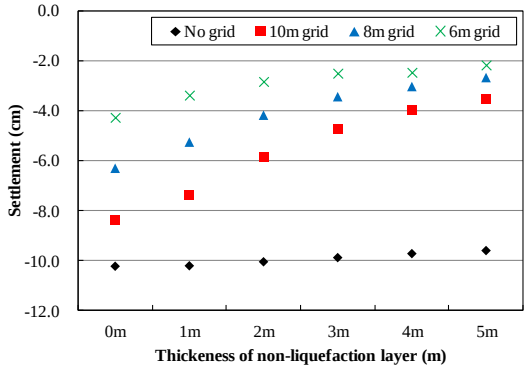
**図 4** にケース L，格子間隔 10m の解析ケースにおける沈下量の分布図を非液状化層厚毎に分けて示す．a)は地表面の沈下量，b)は液状化層の上端（液状化層と非液状化層の間）の沈下量を示す．c)は，地表面と液状化層上端の沈下量の差を示したもので，液状化層上部の非液状化層の層厚の変化を示している．a)より，非液状化層が厚くなるにつれて，地表面のうち格子内直上の沈下は小さく，改良体直上の沈下は大きくなり，格子内直上と改良体直上との相対的な沈下量は小さくなった．また，b)より非液状化層が厚くなるほど，非液状化層下端のうち格子内直上の沈下量は小さくなり，a)と比べて地表面の沈下量より大きくなることが分かる．一方，改良体はほとんど沈下しないため，改良体直上の沈下量は非液状化層厚に関わらず，2cm 程度となった．c)より，格子内および格子外側近傍では，非液状化層が厚くなるほど値が正となり，一方，改良体直上では負となっていることが分かる．値が正であることは地表面の沈下に比べて液状化層の沈下が大きいことを意味する．つまり格子内未改良地盤が沈下するときにあまり沈下しない改良体の直上にある地盤が，格子内部の方へ引き込まれと考えられる．また，改良体直上の地盤が格子内部に引き込まれる程度は，非液状化層が厚くなるほど大きくなり，液状化層で発生した変位差が非液状化層で緩和されることで結果的に地表面の不陸は小さくなったと考えられる．このような非液状化層における変形は層厚が大きくなるほど一定値に収束する傾向を示し，改良範囲における地表面の沈下量も結果的に 3cm 程度に収束した．

## 4．結論

非液状化層が存在する地盤に格子状地盤改良を適用したときの沈下抑制効果について，数値解析による検討を行った．結果，非液状化層厚が厚くなることで，液状化の発生の抑制と，地表面沈下と地表面の勾配が低減されることが分かった．

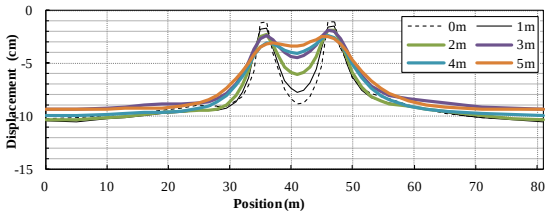



a) ケース S

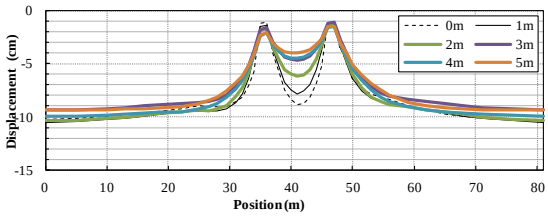



b) ケース L

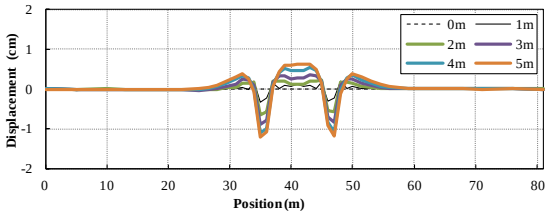
**図 3** 各格子間隔における最終沈下量と非液状化層厚の関係




a) 地表面の沈下量




b) 液状化層上端の沈下量




c) 地表面沈下量と液状化層上端の沈下量の差

**図 4** 沈下量の分布図（L ケース，格子間隔 10m），

参考文献：1) Ishihara, K.(1985):Stability of natural deposits during earthquake, 11th Inter. Conf. on Soil Mech and Foundation Eng., Vol.1, pp.321-376. 2) 金田一広ら(2014)：格子状地盤改良における非液状化層厚の影響についての数値解析，第 48 回地盤工学研究発表会