

表層注入固化対策によるタンクの液状化時の挙動解析

清水建設 ○福武 毅芳、古川 治、中檜 新

1. はじめに 本論文では、液状化地盤に立地する旧法タンクを想定し、液状化層の内、上層を注入固化工法により対策した場合の地震時挙動を三次元有効応力解析で評価した。薬注改良体の特性は、おわんモデルで表現した。

2. 解析手法と解析条件 使用したプログラムはHiPER¹⁾である。構成式は、砂質地盤と粘土質地盤の双方に対し、ダイレイタンシーモデル（おわんモデル）と三次元に拡張したR-Oモデルを併用^{1), 2)}している。（粘土も水圧を考慮）

地盤条件とFEMモデルを図1示す。GL-14.8mまでの砂質系地盤がFL<1.0の液状化層である。底面境界は、 $V_s=331\text{m/s}$ に対応するダンパー境界とし、2E波入力とした。側方境界は、加振方向の相対する直交面の対応する節点の変位をx, y, zともに同変位とした(繰返し境界)。対称面とそれと相対する面は、面外 (y軸方向変位) 拘束とした。鋼製タンク(直径 13.6m, 高さ 13.7m)は本体をシェル要素でモデル化し、内容液は固定水と自由水に分けてHousnerの式により質点・バネ系でモデル化した。入力地震動は、建設省告示スペクトルを用いてランダム波の位相特性を有する人工地震動とした(図2)。砂質土層の液状化特性を図3に示す。

図4には、薬液注入改良体の繰返し要素試験結果と計算結果の比較を示す^{2), 3)}。特徴としては、①応力～ひずみ関係が逆S字型となる、②ひずみ振幅が有限の大きさで留まる、③有効応力経路は平均有効応力がゼロに至らず 20%程度の有効応力が残留し、サイクリックモビリティに似た経路となる、ことである。

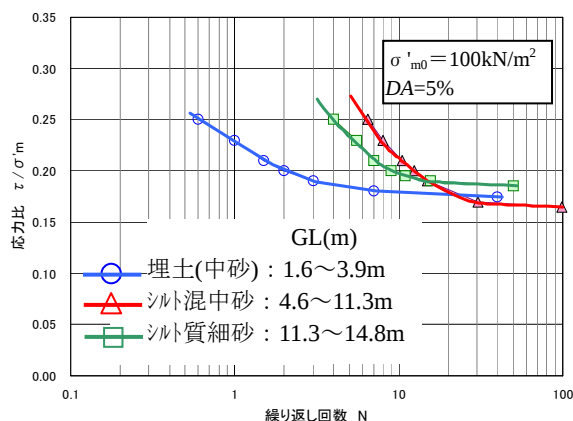


図3 砂質土層の液状化強度曲線

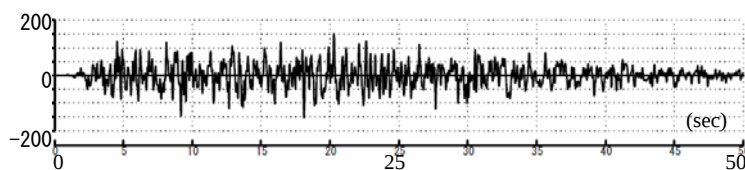


図2 入力地震動：工学基盤における2E波 (max=153Gal, ランダム位相)

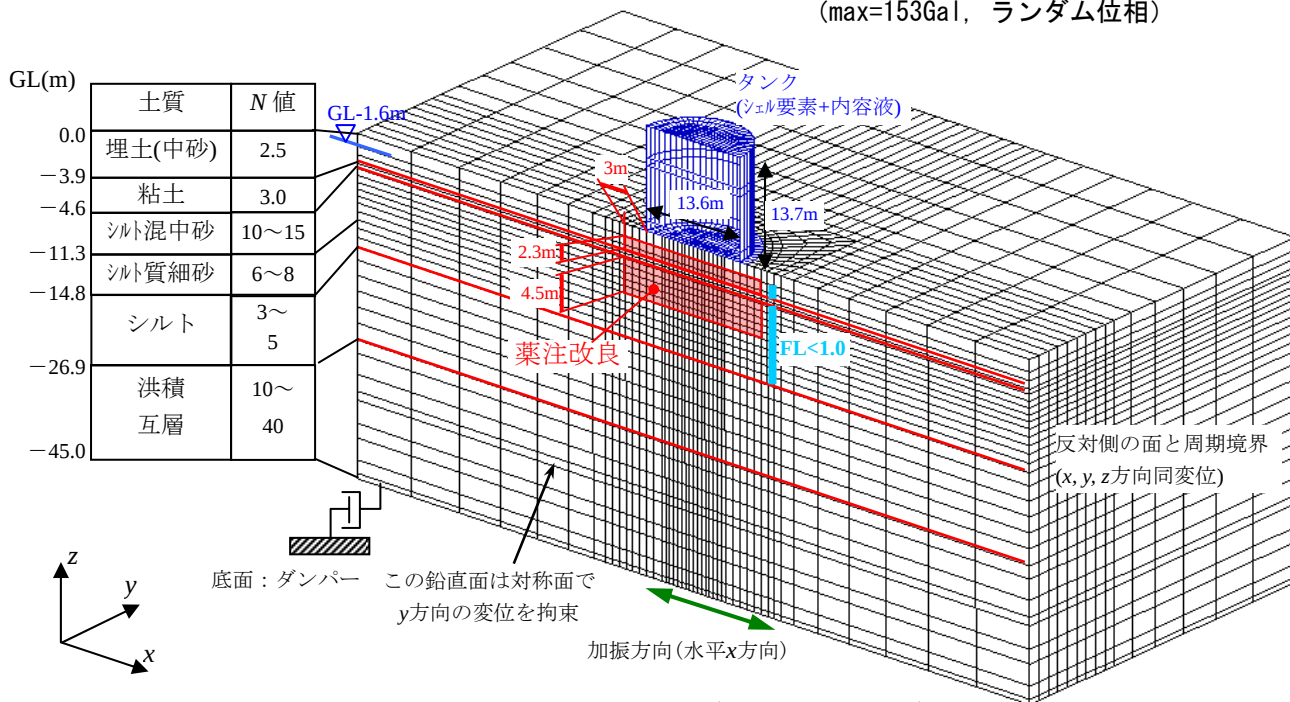


図1 タンク～地盤系の三次元FEMモデル (1/2対称モデル)

キーワード 液状化, 三次元, 有効応力解析, 薬液注入改良, タンク, おわんモデル

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 TEL 03-3820-8314

最近の設計では入力地震動は相当大きく設定されることが多いので、図のように大きなせん断応力が作用した場合の改良体の非線形性も忠実にモデル化することは重要である。改良範囲は、埋土層で層厚 2.25m、シルト混り中砂・シル質細砂層で層厚 4.5m とし、タンク端から 3m の範囲までとした（直径 19.6m の円筒状の改良体）。

3. 解析結果 図5の鳥瞰図には、最大過剰間隙水圧比コンターを最大変形に併記して示す。図6の地盤内鉛直3断面には、最大合せん断ひずみ Γ のコンターを示す。

薬液注入改良体では過剰間隙水圧は発生しておらずひずみも小さい。未改良部分の埋土（中砂）、シルト混り中砂内の下方、シル質細砂では、水圧比がほぼ 100%に達しており、液状化に至っている。これらの液状化層において、シルト混り中砂内の下方、シル質細砂では合せん断ひずみ Γ は 4%程度である。埋土では改良体が存在する対称面付近では変形は小さいが、改良体が存在しないモデルの奥側(y 方向)では変形が大きく、 Γ は 7%を超えている。すなわち改良体による変形抑制効果が現れている。また改良体の左右近傍ではローカルノンリニアリティーの影響で過剰間隙水圧が大きくなっている。改良体直下の砂質土層ではタンクの重量による押さえ効果によって、周辺よりも過剰間隙水圧がやや抑制されている。

4. まとめ タンク～地盤系の三次元有効応力解析を行い、①薬液注入改良体では過剰間隙水圧は発生しないこと、②未改良部分の埋土、シルト混り中砂内の下方、シル質細砂では、水圧比が 100%に達して液状化に至り、特に加振軸に対して改良体の左右近傍と奥側では大きなひずみが生じること、などが明らかとなった。液状化収束後の残留変形については次報⁴⁾で述べる。

参考文献

- 1) 福武：土の多方向繰返しせん断特性を考慮した地盤・構造物系の三次元液状化解析に関する研究,名古屋工業大学博士論文,1997
- 2) 福武・馬淵・吉田・社本：砂や薬注改良体の初期サイクリックモビリティ後のシミュレーション, 第43回地盤工学研究発表会, pp.437-438, 2008
- 3) 社本・風間・島田・米倉：恒久グラウトと本設地盤改良⑤, 活性シリカコロイドを用いた液状化対策工の設計と改良効果の評価法, 土木施工 7 月号, pp.106-111, 2006
- 4) 福武・古川・中檜：ポスト液状化解析による注入固化対策後のタンクの残留変形検討, 第64回土木学会学術講演会 III 2009(投稿中)

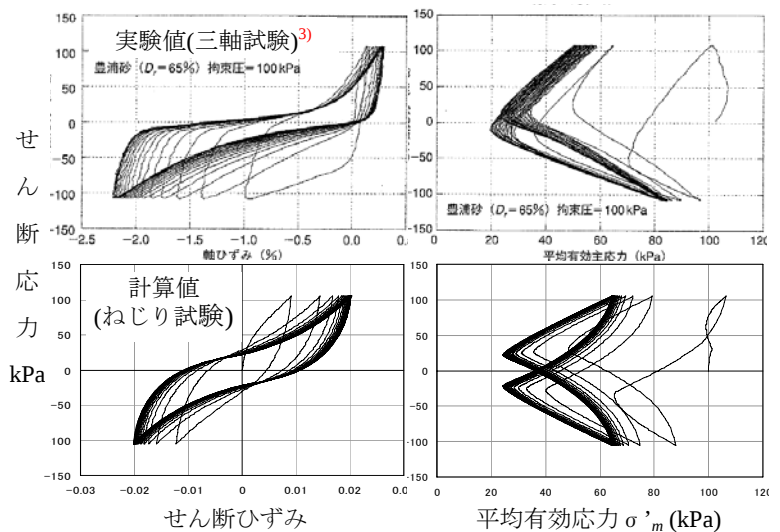


図4 薬液注入改良体の応力・ひずみ関係と有効応力経路
(特殊シリカ系薬剤 4%浸透, $D_r=65\%$)

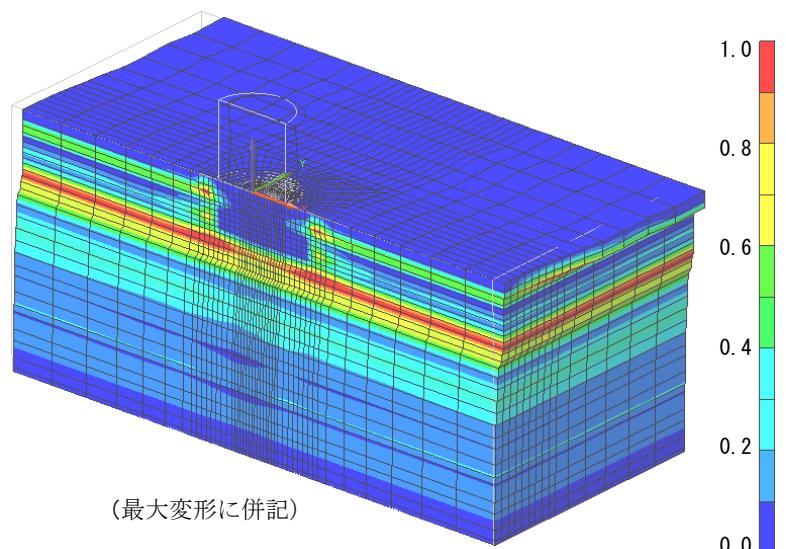


図5 最大過剰間隙水圧比コンター

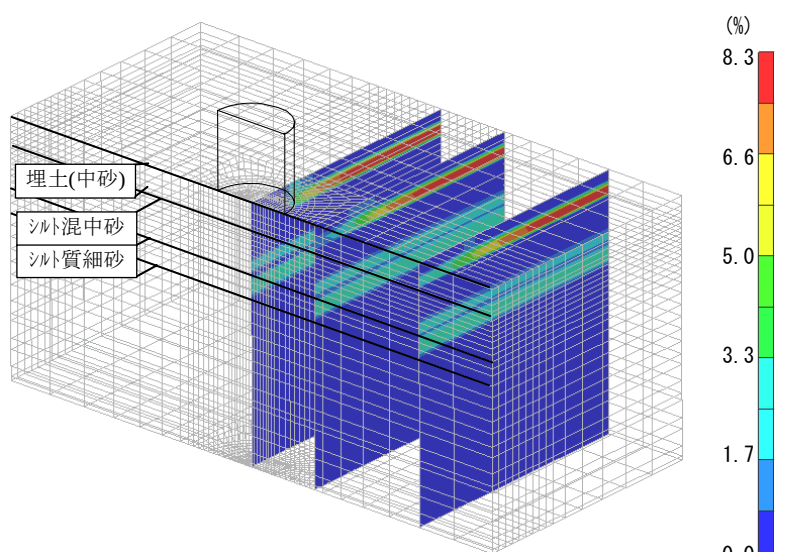


図6 最大合せん断ひずみ Γ のコンター