

格子状地盤改良による液状化対策の検討

その1: 沈下量に着目した改良パターン

清水建設 ○福武毅芳・石川 明・吉田 順

1. はじめに 著者らは2011年東北地方太平洋沖地震(311地震)において、浦安地区の液状化による沈下を解析的に説明できることを示した¹⁾。本論文では街区(構造物群と周辺道路)を想定し、格子状地盤改良による液状化対策の効果を三次元有効応力解析による検討を実施し、沈下抑制の観点から有効な改良パターンを示した。

2. 解析手法と解析条件 使用したプログラムはHiPER^{2), 3)}である。構成式は、砂・粘土ともに、応力～ひずみ関係として、偏差応力空間に拡張した三次元R-Oモデル⁴⁾、ひずみ～ダイレイタンスー関係としておわんモデル^{2), 3)}を用いている。従って、軸差応力～軸差ひずみの非線形特性もR-O+おわんモデルで表現できる。

地盤条件とFEMモデルを図1に示す。液状化特性は既報¹⁾を参照されたい。地盤の1次固有周期は $T_0=1.65$ 秒である。液状化可能性層はGL-1.5～7mの埋土細砂層である。残留沈下は細砂層で評価した。モデル化の範囲は20個の構造物群とその周辺道路である。側方境界は周期境界²⁾でモデル化した範囲の改良パターンが無限に繰返されることになる。簡単のため、民地内の構造物は規則正しく並んでおり、その基礎は直接基礎(接地圧 10kN/m^2 の等分布)とした。構造物自体はモデル化していないので、その慣性力は考慮されていない。

セメント系改良壁の平面図の配置例を図2に示す。同図は1つの構造物ごとを囲んだ場合であり、最密配置となる。解析によるパラメトリックスタディーでは、改良平面パターンと改良深度を様々に変えている(図4参照)。深さ7m改良はちょうど液状化層までの改良であり、9m改良は非液状化層に2m根入された改良である。

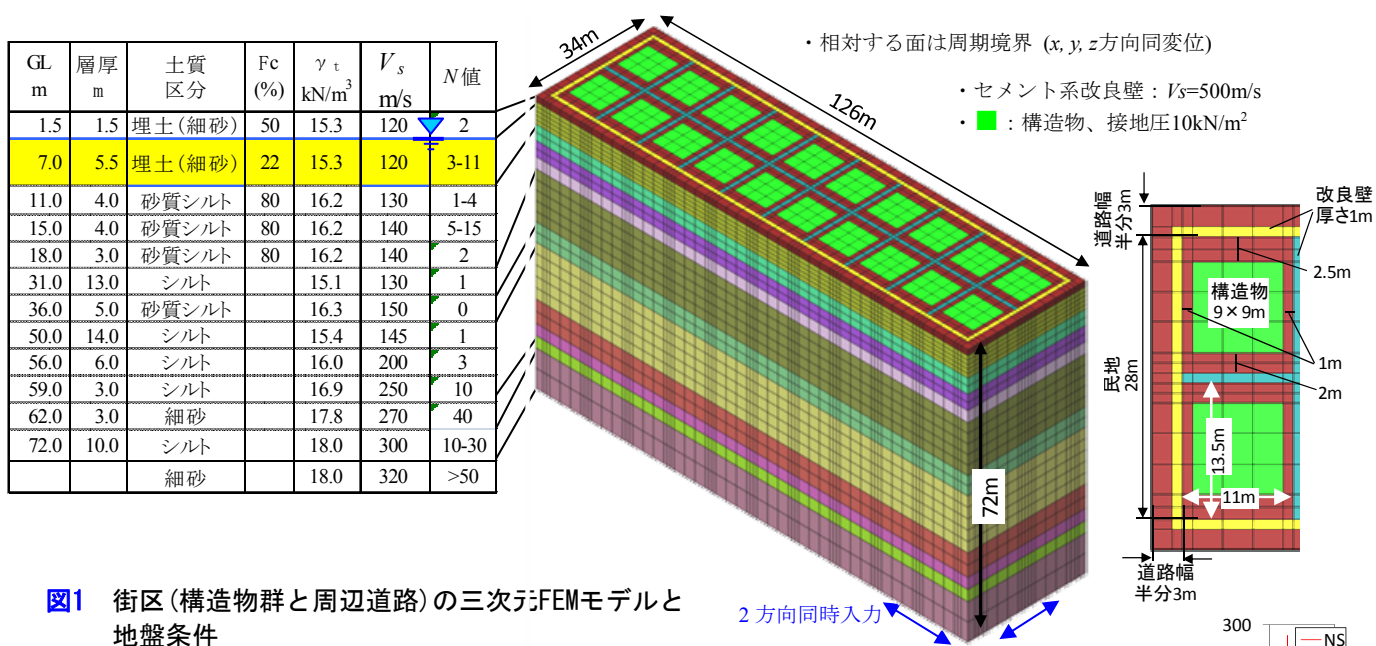


図1 街区(構造物群と周辺道路)の三次元FEMモデルと地盤条件

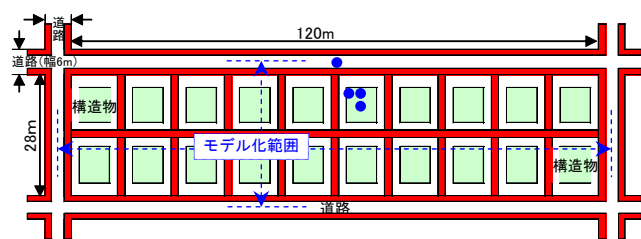


図2 モデル化した街区の改良パターンと沈下算定位置(●)
 (1つの構造物ごとの最密配置改良、壁間隔: $11 \times 13.5\text{m}$)

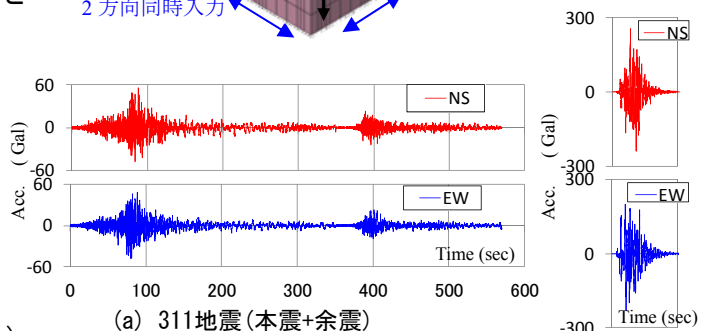


図3 入力地震波 (a) 311地震(本震+余震) (b) 東京湾北部地震

キーワード 液状化対策, 格子状改良, 沈下, 有効応力解析, 街区, 三次元

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 Fax 03-3820-5955

入力波は、図3に示す③111地震の本震と余震の浦安近傍の工学的基盤観測波¹⁾、②東京湾北部地震(首都直下地震)の基盤波⁵⁾である。NSとEW方向の水平2成分を同時に入力した。

沈下量の算定にあたっては、解析による最大合せん断ひずみ Γ_{max} から、文献6)のチャートより体積ひずみ ε_v を砂層のみに対して求め、深さ方向に積分した(文献1)を参照)。沈下算定地点は、図2に示す2地点：①道路長手方向中央、②民地内3地点の平均、である。

3. 解析結果 図4には、各ケースにおける加速度と沈下量を示す。同図上方には、改良パターンを示す。改良深度が深くかつ改良パターンが密になるに従い、沈下も加速度も減少している。特に深度9mの最密配置(1構造物ごとの仕切り)では、沈下量が1cm程度と最も小さくなっている。深度7mの最密配置では、砂層の下部でやや大きなひずみが生じ沈下量が若干大きくなっている。せん断変形抑制・沈下抑制の観点からすると、非液化化層への根入が望まれる。最密配置よりも壁間隔の広い2構造物ごとに囲む場合でも沈下は小さくなっているが、この場合は隣接構造物の影響でお互いにお辞儀するように傾斜する可能性があるため、1構造物ごとの対策の方が安全である。

道路は幅員6mで改良壁(厚さ1m)を施工した場合、未改良幅は4mとなる。道路の長手方向には仕切り壁は無いが、壁間隔が4mと狭いことや、2方向入力であることから壁直交方向の加振に対する変形抑制効果が効いたことにより、沈下抑制効果が発揮された。道路部と民地部では、改良パターンに対する沈下量の増減傾向はほぼ同じである。すなわち道路部の沈下が、民地部の仕切り壁間隔の影響を受けている。これは、民地部の仕切り壁により道路に沿った壁の面外振動が抑えられるため、民地部の改良が結果的に道路の沈下抑制に寄与している。逆にいえば、民地部の仕切り壁が無いと、120mの長い壁が面外振動を起こし、道路部の沈下を抑制できない。

加速度の増減傾向は、沈下量と同じである。これは改良が密になるに従いサイクリックモビリティによるスパイク状の波形が抑えられたことと、マクロに見た場合の改良体全体の剛性向上による入力損失効果によるものである。

4. まとめ ここでは311地震と首都直下地震に対して、沈下を抑制できる格子状改良のパターンを解析的に示した。すなわち、壁間隔11×13.5mで1つの構造物ごとに仕切る工法は、沈下軽減対策として有効である。この対策では未改良地盤が存在するので、より強い地震に対してはある程度の沈下を生じ得る。すなわち格子状改良は完全液化化防止対策(無被害対策)ではなく、沈下軽減対策(被害軽減対策)として捉えるべきであろう。

参考文献

1) 福武毅芳・張至鎬：2011年東北地方太平洋沖地震における浦安地区の地盤の有効応力解析による検討，土木学会論文集A1, Vol.68, No.4, 地震工学論文集第31b巻，登載決定 2) 吉見吉昭・福武毅芳：地盤液化化の物理と評価・対策技術，技報堂出版，2005. 3) 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 4) Nishimura S. and Towhata I. : A Three-dimensional Stress-strain Model of Sand Undergoing Cyclic Rotation of Principal Stress Axes, Soils & Foundations, Vol.44, No.2, pp.103-116, 2004 5) 中央防災会議<http://www.bousai.go.jp/chubou/chubou.html> 6) Ishihara, K. and M. Yoshimine :Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 173-188, 1992.

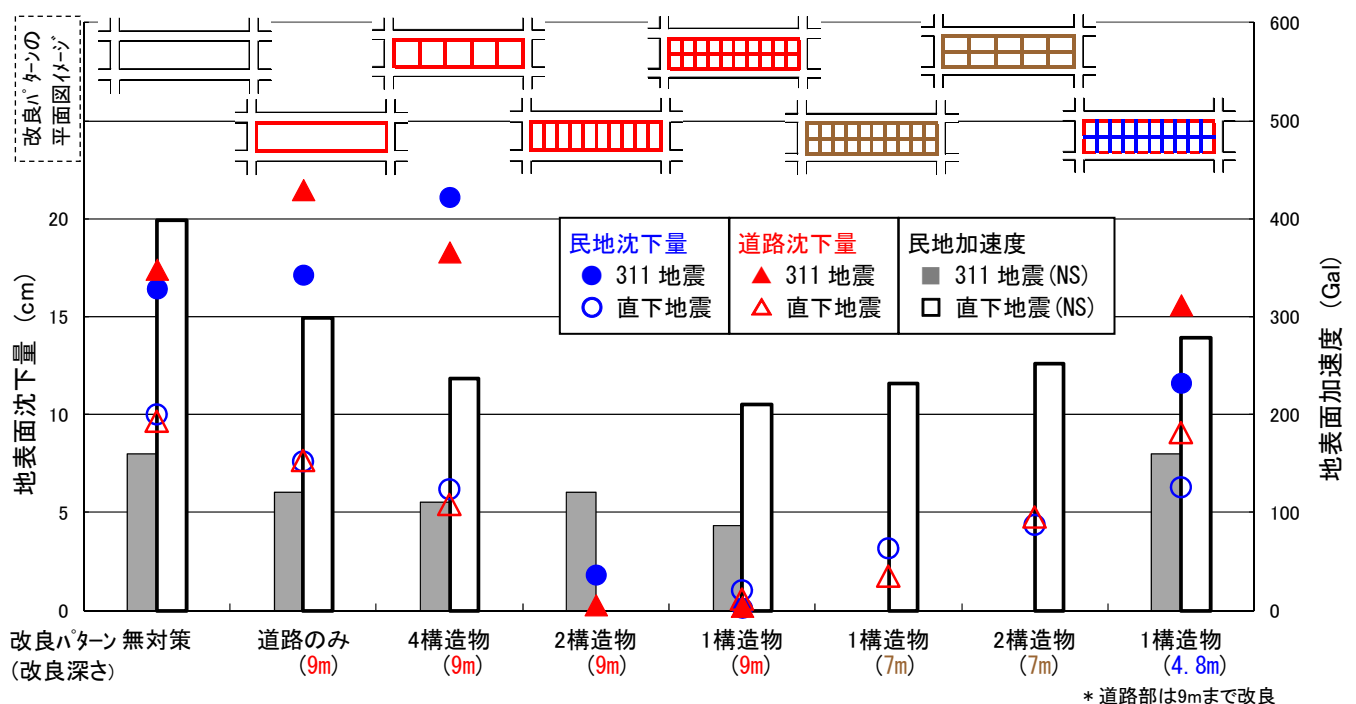


図4 種々の格子状改良改良における地表の沈下量(プロット)と加速度(棒グラフ)