

静的締め固め工法による地盤改良効果 - 数値解析による検討 -

名古屋工業大学 正会員 檜尾 正也 H. M. Shahin 中井 照夫
 名古屋工業大学大学院 学生会員 柳生 案理
 K&O corporation 近藤 巧
 株式会社大北耕商事 大北 耕三

はじめに

地震時に発生する液状化現象や地盤の流動によって、構造物は大きなダメージを受ける。特に地下に埋設してあるガス、電気、水道等の軽いライフライン構造物は浮き上がり、生活に多大な影響を及ぼす。このような問題は緩い地盤で生じるため、対策としては薬液を注入して地盤を固める、地盤の密度を上げる等の地盤改良方法がある。これらの方法の中では経済的な理由からサンドコンパクションパイルのように砂杭を打設する際に地盤改良土を投入して上から押し込むことによって、砂杭の直径を拡大し周辺地盤の密度を増加させる方法が一般的に行われている。また、上から土を押し込む方法とは異なり、オーガの回転を利用して改良土を直接水平方向に押し出し、周辺地盤を密にする新たな工法が提案されている。既往の研究¹⁾ではこの新工法による周辺地盤の締め固め効果をシミュレーションしており、その改良効果を解析的に検証している。そこで本研究では、この工法の違いに着目して、砂杭の打設する際の締め固めを有限要素解析でシミュレートし、その締め固め方法によって周辺地盤の改良効果がどれだけ異なるのかを解析的に検証する。

解析の概要

解析対象とする地盤は深さ 10m の緩い砂地盤であり、ケーシングの直径は 60cm として 5m の深さまで打設するものとする。また解析は対象地盤の条件を考慮して半径 5m の軸対象条件で行っている。境界条件として側方は水平方向固定、底部は完全固定としている。Fig.1 に解析に用いた有限要素メッシュを示す。解析に用いた要素はアイソパラメトリック要素であり、構成モデルは密度や拘束応力の影響を考慮した弾塑性モデル(subloading t_{ij} model)²⁾を用いた。用いた地盤材料は豊浦砂であり。そのパラメータを Table1 に示す。また、Fig.2 に平均主応力一定の三軸試験結果と解析結果の比較を示す。この結果から構成モデルは同じパラメータで密度の異なる砂の挙動を的確に表現できることがわかる。有限要素解析で砂杭打設時のプロセスは(1)ケーシングの挿入と掘削、(2)改良土の投入と締め固め、である。(1)は要素の除去によって、(2)は節点に強制変位を与え、50cm の厚さの土要素を順次作成している。その後は地盤の表面まで強制変位と要素の生成を連続的に行うことによって地盤改良のプロセスをシミュレートしている。この解析のプロセスを Fig.3 に示す。(b)図は従来工法での施工プロセスであり、この工法では投入した改良土を鉛直方向に締め固めるため、解析では鉛直方向に強制変位をかけて解析を行っている。

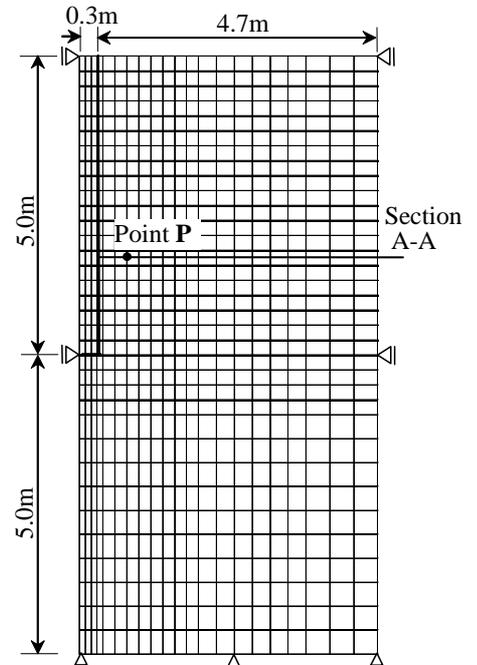


Fig.1 有限要素メッシュ

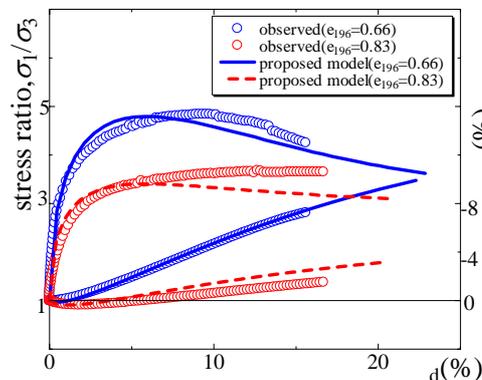


Fig.2 豊浦砂の三軸試験結果と解析結果

Table1 豊浦砂の材料パラメータ

λ	0.007
κ	0.0045
N	1.10
$R_{CS}=(\sigma_1/\sigma_3)_{CS(comp)}$	3.2
β	2.0
a_{AF}	30
a_{IC}	500
v_c	0.2

一方、(a)図の新工法は水平方向に改良土を押し込むため、水平方向に 15cm の強制変位を与えている。ここで、新工法と従来工法の改良効果の比較をするためには、同じ量の改良土を投入した場合について検討を行う必要がある。そこで、解析では新工法と従来工法で強制変位による体積の変化同じとなるようにすることで改良土の投入量が同じとなるようにシミュレーションを行った。

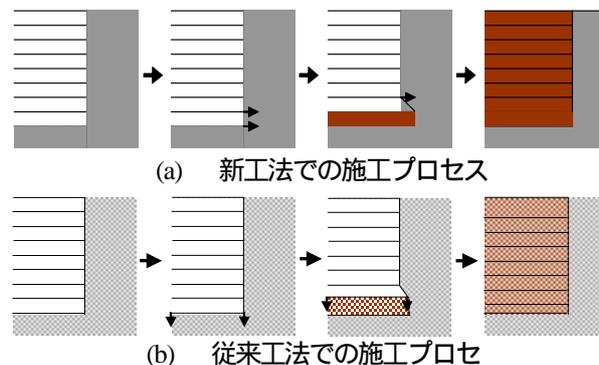


Fig.3 地盤改良プロセス

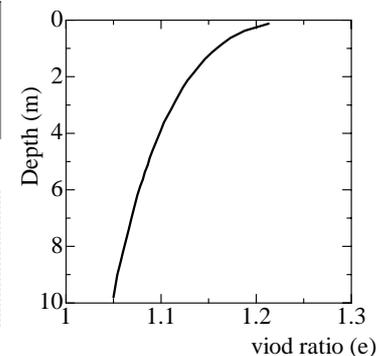


Fig.4 初期地盤の間隙比分布

キーワード：地盤改良、有限要素法、弾塑性
 連絡先 名古屋工業大学（住所：名古屋市中昭和区御器所町、電話・FAX：052-735-7157）

解析結果の考察

まず、解析に用いた地盤の間隙比分布を Fig.4 に示す。地盤改良の効果を見る指標として最初の間隙比に比べてどれだけ間隙比が減少したかをパーセントで表示した e_R を用いる。

e_R の定義は以下とする。

$$\Delta e_R = \frac{e_i - e_f}{e_i} \times 100 \quad (1)$$

ここで e_i, e_f はそれぞれ改良前と改良後の間隙比を表す。

Fig.5 に改良効果～水平距離の図を示す。この図は Fig.1 に示す A-A 断面での最終的な地盤改良の解析結果であり、横軸は砂杭の中心から距離をとっており Fig.1 に示す P 点からのデータを示している。また、縦軸は e_R である。この結果から、新工法と従来工法ともに、地盤改良の効果が出ているが、同じ地盤に同じ量の改良土を入れたとしても新工法の半径方向の改良効果が大きいことがわかる。また、改良効果が図のように山型となり、杭のより少し離れたところ(杭から約 1m)で最大の効果がでている。さらに、地盤の密度増加自体は新工法の方が大きい、その影響範囲はほとんどかわらず、砂杭から約 2m 以上離れたところでは工法の違いによる差異は見られなかった。

Fig.6,7 に新工法および従来工法での改良効果 e_R の分布を示す。それぞれの図で(a)図は深さ 10m の地点で締め固めを行った場合、(b)図は施工の中間地点(深さ 5m の地点)まで締め固めを行った場合、(c)図は施工完了時の解析結果である。これらの図からも、新工法の方が高い改良効果があることがわかる。従来工法では鉛直方向に押し込むことによって杭の直下で大きく密度増加しているが、その後の締め固めではその補強効果は水平方向にはあまり広がらず杭の下部で密度増加が集中していることがわかる。つまり、施工の後半の浅いところでの締め固めではその効果があまり発揮されていないといえる。一方、新工法では水平方向に押し出すためその締め固め場所で大きな効果が得られる。ただし、砂杭直近の地表面付近では、拘束圧が低い、地面の盛り上がりが生じる。

Fig.8,9 に新工法および従来工法での平均応力の分布を示す。Fig.6,7 と同様にそれぞれ地盤改良の時系列に(a),(b),(c)の分布を示す。この図から従来工法では球根のように杭の下方に応力の増加域が広がっている。一方、新工法では、応力の増加域は側方に広がっておりこの応力増加によって地盤の改良効果が得られると考えられる。また、最終的な応力分布では従来工法のほうが全体的に大きな拘束圧の地盤となっている。したがって、新工法は従来工法に比べ周辺の応力をあまり増加させなくても地盤の密度増加ができる事となる。つまり、従来工法は地盤の応力増加にエネルギーを費やしているため、同じ地盤改良の効果に対して大きなエネルギーが必要となる。

まとめ

1. 直接的に改良土を水平方向に押し出す新工法は、従来工法に比べ少ないエネルギーで地盤改良を行うことができる事が分かった。
2. 密度や拘束応力の影響を考慮できる構成モデルに良く解析は有用であるといえる。

《参考文献》

1)M. H. Shahin et al. : Finite element analysis for prediction of ground densification using subloading tij model., Proc. of IS-OSAKA 2004, pp.131-134, 2004
 2)T. Nakai & M. Hinokio, A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters., S&F, vol. 44(2), 2004

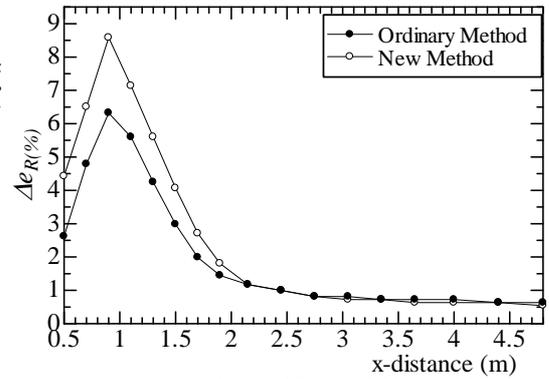
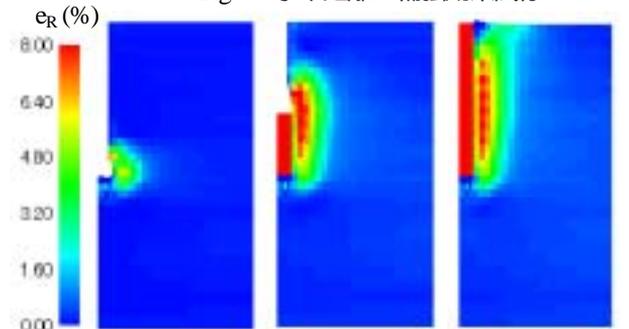
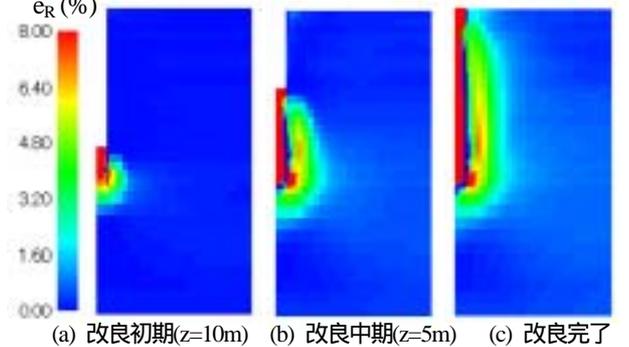


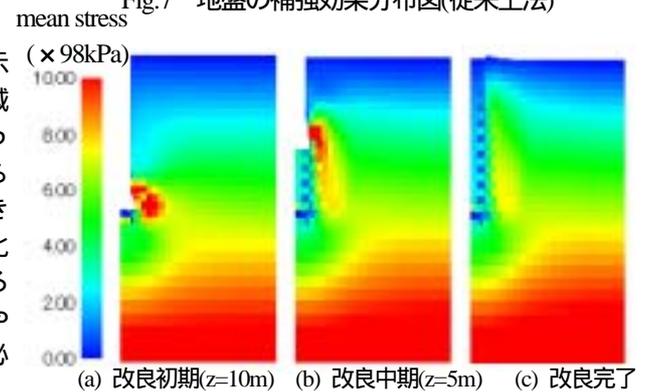
Fig.5 水平距離～補強効果関係



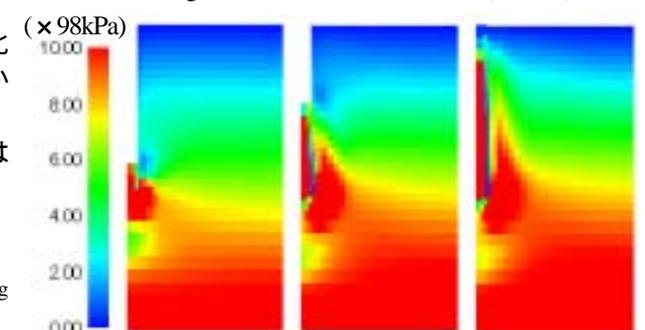
(a) 改良初期(z=10m) (b) 改良中期(z=5m) (c) 改良完了
Fig.6 地盤の補強効果分布図(新工法)



(a) 改良初期(z=10m) (b) 改良中期(z=5m) (c) 改良完了
Fig.7 地盤の補強効果分布図(従来工法)



(a) 改良初期(z=10m) (b) 改良中期(z=5m) (c) 改良完了
Fig.8 地盤の平均応力分布図(新工法)



(a) 改良初期(z=10m) (b) 改良中期(z=5m) (c) 改良完了
Fig.9 地盤の平均応力分布図(従来工法)