

熊本大学工学部 正 員 秋吉 卓, 八代工業高等専門学校 正 員 淵田邦彦
 熊本大学工学部 正 員 松本英敏, 熊本大学大学院 学生員 方 火浪

1. はじめに 地震時の地盤の液状化は、都市域において複雑なネットワークシステムを構成するライフライン施設に多くの被害をもたらすことから、これまで各種の液状化対策手法が開発され、施工されてきている。このような液状化対策の有効性が実証された例は、昨年の釧路沖地震の場合などごくわずかであり¹⁾、液状化に配慮した土木構造物の耐震設計は、今後も検討を要する重要な課題といえる。本研究では、液状化対策工法として施工実績の高いSCP(サンドコンパクションパイル)工法を取り上げ、SCPによる地盤改良が、埋設管路の応答に及ぼす影響について検討する。

2. 解析手法 SCPによる地盤改良を評価するための解析手法として、著者らの研究室で開発した波動累積プログラム WAP3 (Wave accumulation process in 3-dimensions)²⁾を用いる。WAP3は、SCPの打設締固めをケーシングの静的圧入と振動締固めの2つの過程としてシミュレートするものである。次に、Biotの2相混合体理論を基に、井合らの構成式³⁾を組み込んで、同じく著者らが開発した2次元有効応力解析プログラムNUW2 (Nonlinear u-w analysis in 2-dimensions)⁴⁾を用いて、SCP改良地盤の液状化解析を行う。さらに、このような改良地盤中に埋設された管路を弾性床土のほりとみなし、液状化時の浮力が作用するときの管路の応答を修正伝達マトリクス法により解析する⁵⁾。ここでは、液状化による浮力と有効応力との関係を図1のように仮定し、NUW2による解析から算定される有効応力と地盤反力係数より、管路に作用する浮力と地盤ばね係数を求めて、浮力を受ける管路の応答を解析する。

3. 解析結果と考察 図2は、N値がごく小さい軟弱な砂地盤モデルに対して、砂杭間隔2mで地盤改良を行うものとして、WAP3により加振力60tfで30秒間締固めを行ったときの、地盤のせん断剛性の深度分布を示したもので、初期地盤のせん断弾性係数を■印で、細粒分含有率 F_c を5%、10%、20%とした場合のWAP3による締固め後のせん断弾性係数をそれぞれ□、○、△印で図示している。図より F_c が小さいほど締固めの効果があり、せん断弾性係数が大きくなっていることがわかる。図2のように締固められた地盤に対して鉛直下方より最大加速度100galのEl Centro波を入力した場合をNUW2により解析した。図3は、未改良地盤における初期の地盤反力係数を基準として、液状化解析後の地盤反力係数との比をとり、有効応力比との関係を図示したものである。図より、地盤反力係数比が3.0以上の場合、有効応力比は0.9程度であり、液状化は生じないのに対し、有効応力比が0.5以下で液状化が発生した場合には、地盤反力係数は、地盤改良が不十分なために、未改良地盤のその2倍以下にまで低下している。これより、SCP地盤改良の度合を地盤反力係数比で判断する場合には、少なくとも未改良地盤の地盤反力係数の3倍以上まで改良する必要があるといえる。

表1のような諸元の管路に対して、図3の改良地盤の液状化解析後の地盤反力係数比と有効応力比の結果及び、図1の管路に作用する浮力を用いて、管路の応答を解析した。ここでは、深さ2mに埋設された連続な管路に対して、有効応力比が0となるような完全液状化時の浮力(図1の P_0)を100kgf/m(980N/m)とした。そこで図1より未改良地盤(有効応力比0.1)における管路の浮力を81kgf/m、改良地盤(有効応力比0.7)のそれを9kgf/mとし、また完全液状化時の単位管路長あたりの地盤ばね定数を

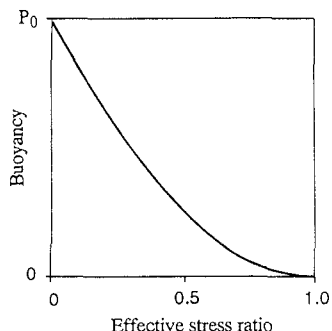


図1 浮力と有効応力比との関係

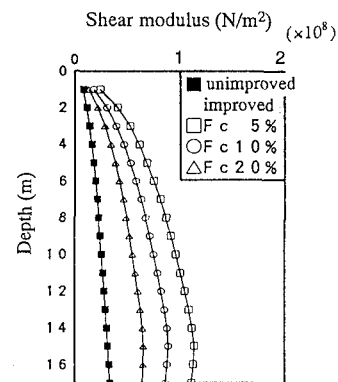


図2 地盤モデルのせん断剛性分布

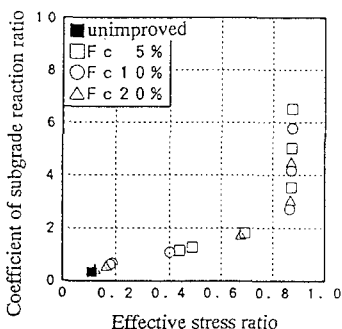


図3 地盤反力係数比と有効応力比との関係

10⁴kgf/m²として、図3の地盤反力係数比より、改良及び未改良地盤における地盤ばね定数を算定し、以上の浮力と地盤ばねを用いて、改良及び未改良地盤における管路の応答を解析した結果が図4であり、管路の変位、曲げモーメント及びせん断力の応答分布を示している。図より、未改良地盤では、管路の最大浮上量は2.5mに達し、端部における曲げモーメントは許容値を大きく上廻り、管体の破損が生じていると考えられるのに対して、改良地盤では、改良の程度が多少不十分で不完全な液状化状態が生じているにもかかわらず、管路の最大変位は約0.3mにとどまり、曲げモーメントの負担も大きく軽減される例が示されている。

図5は、図4の連続管路に加えて、S型の耐震継手で連結された管路（1管体の長さ5m）に対して、有効応力比の0.1～0.8までの各ケースにおける地盤ばねを図3より、管路に作用する浮力を図1の関係より求め、管路の応答を解析した結果であり、最大変位及び最大継手回転角と有効応力比との関係を示している。図より、SCPによる改良を行い地震時の有効応力比を増加することが、管路の応答値の低減に効果的であることがわかる。

4. まとめ 本研究では、SCPの波動累積プログラムWAP3と液状化解析プログラムNUW2とを結合してSCP改良地盤の液状化解析を行い、さらに液状化時の浮力を受ける管路の応答解析を行った。数値解析の結果、SCPによる地盤改良が液状化を防止するのに効果的であり、液状化時の浮力に対する管路の応答を低く押さえる効果があることなどを明らかにした。

参考文献 1)松永他, 第22回地震工学研究発表会, pp.399-402, 1993. 2)秋吉他, 土木構造材料論文集, 第8号, pp.51-60, 1992. 3)Iai,S. et.al., Soils and Foundations, JSSMFE, Vol.32, No.2, pp.1-15, 1992. 4)Akiyoshi,T. et.al., Soil Dynamics and Earthquake Engg., 12, pp.299-307, 1993. 5)Fuchida,K. and Wang,L.R.L., Technical Report, ODU, 1993.

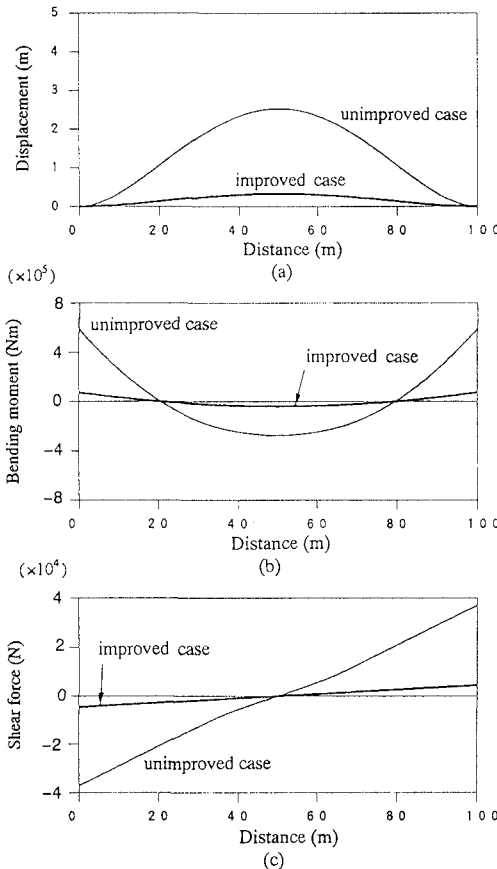


図4 浮力を受ける管路の応答分布

表1 管路の諸元

物理量	値(単位)
内 径	500 (mm)
外 径	528 (mm)
厚 さ	9.5 (mm)
総 延 長 距 離	100 (m)
Young' 係数	1.57 × 10 ¹¹ (N/m ²)
比 重	7.15

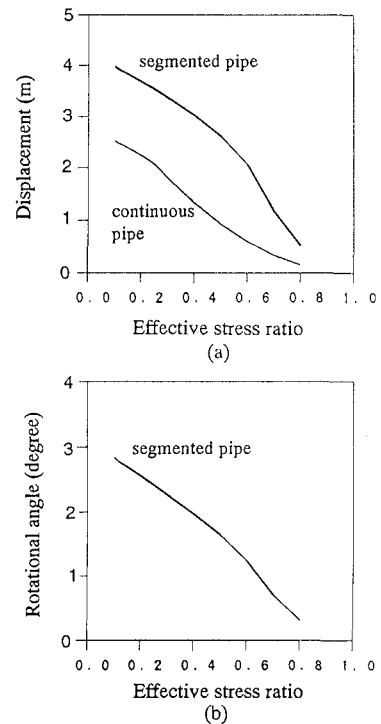


図5 管路の応答と有効応力との関係