

地盤改良による地盤反力向上効果

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
 熊本大学工学部 学生員 坂本孝志

1. はじめに 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の地震による被害は、都市機能を麻痺させ、社会・経済活動に多大な影響を及ぼすことが過去の地震においてしばしば報告されている。特に地震時の地盤の液状化はライフラインに大きな被害をもたらすことから、これまで各種の液状化対策が開発され、施工されてきているが、液状化対策の有効性が示された実例は、昨年の釧路沖地震などごくわずかであり¹⁾、液状化を考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よう。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による地盤改良が地盤反力特性に及ぼす影響を、模型実験及び数値解析により検討した。

2. 実験概要 液状化地盤の地盤反力を杭の変形より求める実験を以下に行った。せん断変形が可能な側板を設置した模型砂槽(縦1500mm×横1000mm×高さ1000mm)の底面に、図1に示すような杭模型(幅50mm×長さ900mm×厚さ3mm)を固定し、曲げモーメント及び変位を測定するため、杭の両面には歪ゲージを、杭上部には変位計をそれぞれ図中の位置に配置した。試料砂を水中落下法により砂槽底面から高さ800mmまで投入し、ゆる詰め飽和砂地盤を作成した。なお水圧計、加速度計を砂槽中央の地表面より100mm, 300mm, 700mmの深さに設置した。次に、この模型砂地盤に対して、現場のSCP工法と同様の手順により砂杭を打設し、改良地盤を作成したが、その詳細はここでは省略する(文献2)参照)。SCP打設後、一定時間地盤を安定させた後、模型杭の地表面に水平荷重を静的に載荷し、杭の歪と変位を計測した。その後、振動数5Hz、加振時間20秒、入力加速度約120galで砂槽を水平加振し、模型杭に同様の静的水平荷重を3段階に分けて載荷し、歪・変位を計測した。

3. 解析手法 著者らが開発した波動累積プログラムWAP3³⁾を用いて、SCPによる締固めの数値解析を行い、次に、井合氏ら⁴⁾の理論に基づいて著者らの研究室で開発した2次元有効応力解析プログラムNUP2⁵⁾(Nonlinear u-p analysis in 2-dimensions)により、改良地盤の液状化解析を行った。

4. 実験および解析結果と考察 実験で計測した歪より杭の曲げモーメントの深度分布を求め、これをチェビシェフの7次多項式により曲線回帰し、その2回微分より土圧を、2回積分より変位を算定した。また土圧と変位の比より地盤反力係数を算定した。図2は、実測変位と上記により算出した推定変位との関係を示したもので、両者はほぼ一致している。図3は地盤反力係数と有効応力の関係の一例であり、砂杭間隔250mmの場合の深さ300mmにおけるものを示している。図中SCP打設時加振力が36, 54kgfの場合は、地盤改良の効果により模型砂層の液状化が発生しなかったため地盤反力係数は初期状態とほぼ同じ値となっているが、SCP加振力18kgfの場合は、模型砂層の改良効果が小さく、液状化が生じたため有効応力の低下にともない地盤反力係数も低下している。図中の直線は、松本ら⁶⁾による同様の実験結果の回帰式であり、本研究の結果は、松本らの結果より若干小さい値となっているもののほぼ同様の傾向が示されている。以下では、SCPによる地盤改良が地盤反力係数に与える効果について、解析により検討した結果について述べる。

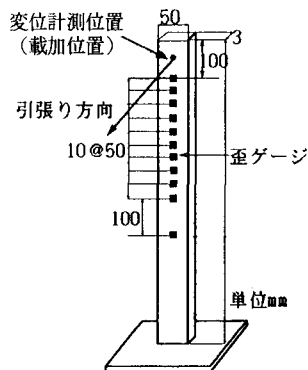


図1 模型杭の概要図

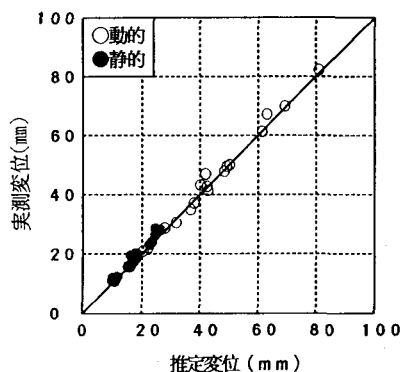


図2 実測変位と推定変位との関係

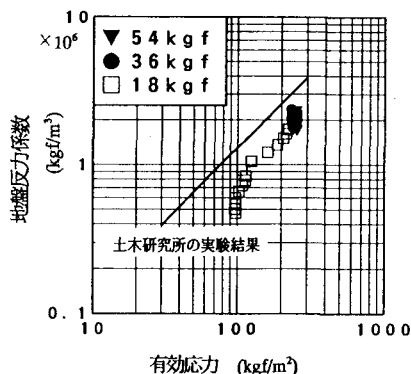


図3 地盤反力係数と有効応力との関係

図4は、細粒含有率(F_c)をそれぞれ5%, 10%, 20%とした場合の、 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時の、せん断弾性係数の深度分布を示したものである。図より、 F_c が小さいほどよく締固まっていることがわかる。そこで図5は、図4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としてEl Centro波を入力した場合をNUP2により解析し、深さ5mの位置におけるせん断応力を用いて、道路橋示方書の手順より求めた液状化抵抗率(F_L)と、地盤剛性比率(改良地盤における初期せん断剛性/未改良地盤における初期せん断剛性)との関係をプロットしたものである。図より、 $F_L=1.0$ 以下において液状化が発生するとすれば、初期の地盤剛性を2~3倍高める程度に改良すれば液状化を防止できることがわかる。とくに、 F_c が小さい地盤ほどSCP工法による改良効果が期待できるといえる。図6は図5と同じ解析において、地盤剛性の低下率より、未改良地盤における地盤反力係数を基準とする地盤反力係数比を算定し、それらと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程度までは、有効応力比は0.9程度であり、液状化は発生していない。また有効応力比が0.5以下の、液状化が生じた場合の地盤反力係数は、地盤改良が不十分だったために、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、地盤反力係数で改良の程度を判断する場合、少なくとも未改良地盤の3倍以上にまで改良する必要があるといえよう。

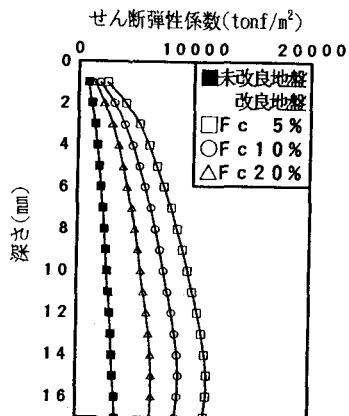


図4 モデル地盤のせん断剛性の鉛直分布

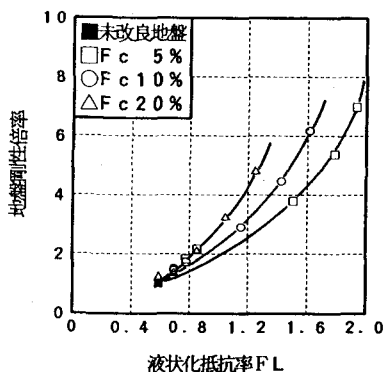


図5 地盤剛性比率と液状化抵抗率(F_L)との関係

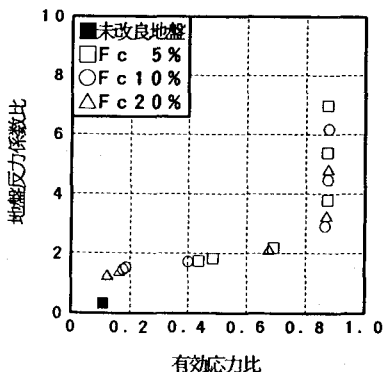


図6 地盤反力係数比と有効応力比との関係

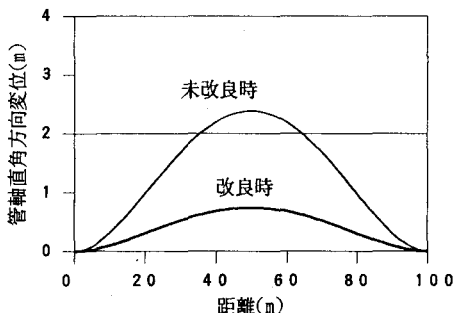


図7 浮力を受ける管路応答変位分布の1例

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)松本・秋吉他, 第22回地震工学研究発表会, pp. 59-62, 1993. 3)秋吉他, 土木構造・材料論文集, 第8号, pp. 51-60, 1992. 4)Akiyoshi, et al., Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 12, pp. 299-307, 1993. 5)松本他, 第22回土質工学研究発表会, pp. 827-828, 1987. 7)淵田他, 第22回地震工学研究発表会, pp. 723-726, 1993.