

(95) 地中パイプラインに対するSCP地盤改良の側方流動防止効果

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 秋吉 卓
 熊本大学工学部 正員 松本英敏

1. はじめに 地震時の地盤液状化に伴う側方流動に関する多くの研究が行われているが⁽¹⁾²⁾、側方流動防止のための合理的な設計手法が確立されるまでには到っていない。また側方流動に対する地中パイプラインの挙動特性やその対策の効果など解明すべき課題も数多く残されている。本研究では、液状化防止工法として多用されているサンドコンパクションパイル(SCP)工法を取り上げ、側方流動変位を地盤のせん断変形より算定する解析手法により、地盤改良が側方流動防止に及ぼす効果について検討した。さらにパイプラインを弾性床の上のりとした解析手法により、サンドコンパクションパイルによる地盤改良がパイプラインの応答に与える効果についても検討した。

2. 解析手法の概要 本研究では、側方流動変位を液状化に伴う地盤の軟化に起因したせん断変形と考え²⁾、解析対象領域を2次元FEMモデル化し、外力として各節点にポテンシャルヘッド(位置水頭)を与えて、弾性体のせん断変形より算定する解析プログラム「FLOW」を開発した。一方、著者らは、サンドコンパクションパイルの打設締め固め過程をシミュレートするプログラム「WAP3」³⁾及び2次元液状化解析プログラム「NUW2」⁴⁾を開発し、SCPによる改良地盤の液状化評価システムを構築している⁵⁾。ここでは、上記の側方流動解析プログラム「FLOW」に、「WAP3」と「NUW2」とを組み込んだ、図1のような解析手法により、SCPによる改良地盤の液状化時の側方流動変位を解析する。ただし、本手法は地盤の弾性変形解析より側方流動を算定する方法であり、解析対象地盤に対して、「WAP3」によるSCP地盤改良及び「NUW2」による液状化解析を行った後、得られた過剰間隙水圧比 u^* に応じて、図2より低減率 $\sqrt{1-u^*} \times 10^{-3} u^*$ を求め、地盤のせん断剛性を低減させて「FLOW」による側方流動解析を行う方法とする。図2の低減率は、規矩らによる液状化時のせん断剛性の低減率と同様の傾向となっている⁶⁾。上記のようなSCP改良地盤の液状化解析及び側方流動解析で得られた地盤の側方流動変位と地盤ばねを用いて、改良地盤中に埋設されたパイプラインの解析を行う。解析手法は地中パイプラインを図3のように弾性床の上のりとして、伝達マトリクス法により側方流動変位を受けるパイプラインの曲げ変形を解析するもので、著者らが開発したプログラム「PIPE」を用いる⁷⁾。

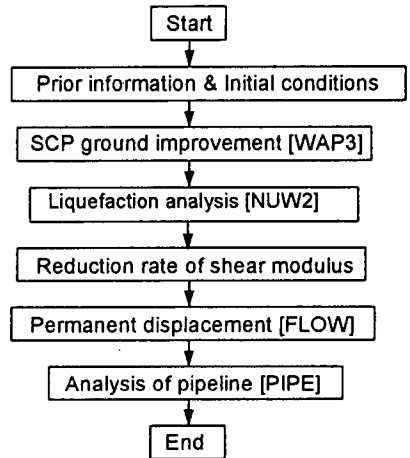


図1 解析のフロー

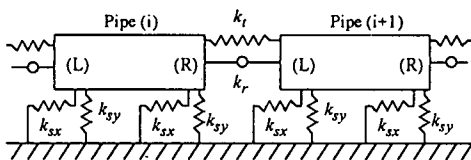


図3 地中パイプラインの解析モデル

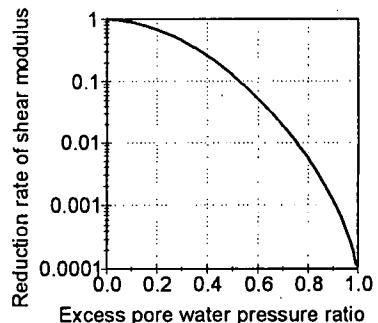


図2 せん断弾性係数の低減率

3. 液状化による側方流動模型実験の概要

図4は飽和砂層の室内液状化模型実験の概要である。砂槽(1000x1500x1000mm)内に、傾斜10%の非液状化層(厚さ5~20cm)を作成し、その上に水中落下により厚さ50cmのゆる詰め飽和砂層を作成し、側壁にはスポンジ柱を、砂層表面には20cm四方にピンを設置して、入力加速度100galで水平加振し、液状化後の砂層の変形量を測定した。SCPによる地盤改良については、現場施工法に類似した方法により、直径7cm、長さ40cm、間隔25cmでSCP振動締めを行ったが、詳細については文献3)に譲り、ここでは省略する。実験は、無対策の場合、SCPを1列4本及び2列8本作製する場合の合計3ケースについて実施した。

4. 側方流動変位の解析結果と考察

図5,6は、それぞれ無対策及びSCP改良地盤(SCP8本)の側方流動変位を10cmのメッシュ間隔で図示したもので、(a),(b)はそれぞれ本解析及び模型実験によるものである。両図より、SCP改良地盤では、側方流動変位は低く抑えられており、側方流動に対するSCPの地盤改良の効果がはっきりと表れている。

また本解析による結果は、変位の鉛直分布形状及び沈下量に多少の違いはあるものの、実験結果とかなり近い結果を示している。図7は、図5,6の、地表面における側方流動変位量をSCP4本の結果も含めてプロットしたもので、解析結果は実験結果とかなり良く対応しており、本解析手法の妥当性が示されている。図8は、新潟市川岸町の地盤をモデル化し、本解析手法の「NUW2」による液状化解析及び「FLOW」による側方流動解析の結果を図示したもので、最大で1mを越える側方流動変位が得られている。図8の地表面における側方流動変位分布と実測値²⁾とを図示したものが図9であり、本解析手法による結果は地盤の弾性解析に基づく方法ながら、実測結果と概ね対応しているといえる。図10は、長さ150m×厚さ20mの実スケールの

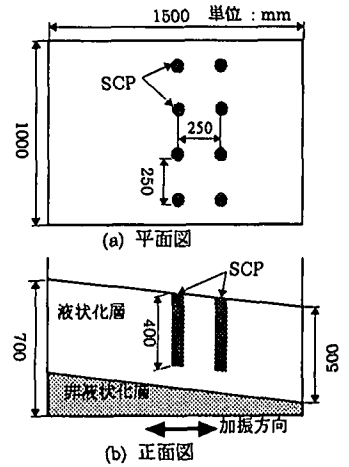
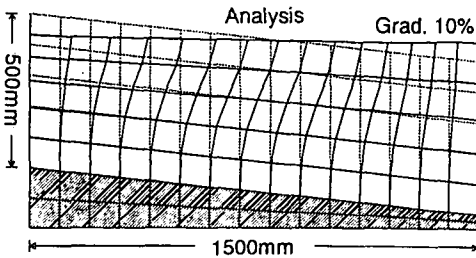
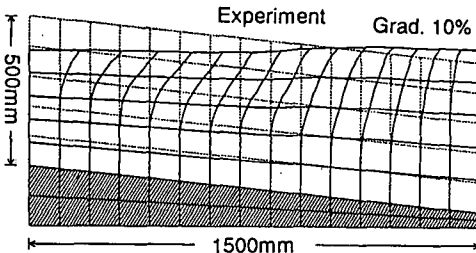


図4 模型実験の概要図

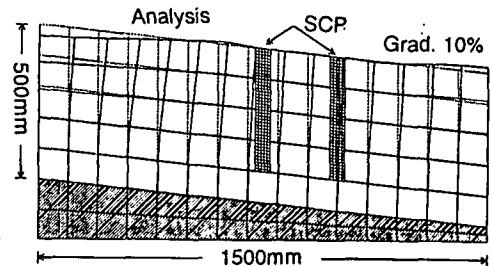


(a) 解析結果

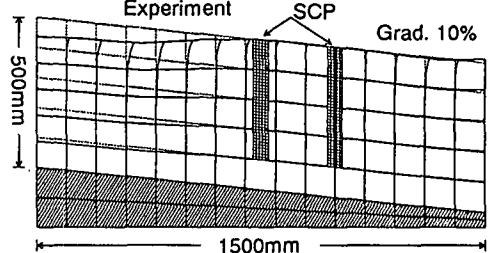


(b) 実験結果

図5 模型地盤における側方流動変位(無対策地盤)



(a) 解析結果



(b) 実験結果

図6 模型地盤における側方流動変位(SCP 対策地盤)

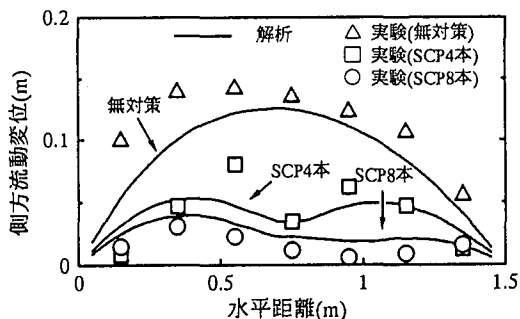


図7 模型地盤地表面における側方流動変位分布

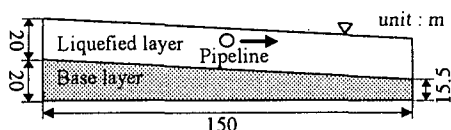


図10 実スケール地盤モデル

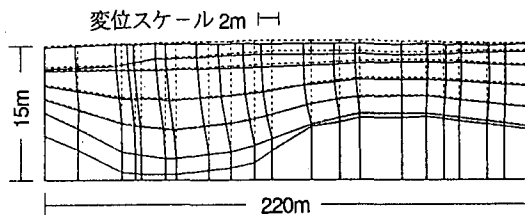


図8 実地盤モデルの側方流動解析結果

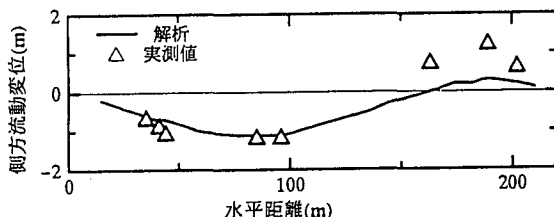


図9 実地盤モデルの側方流動変位分布

モデル地盤であり、表層の傾斜3%、N値5程度の砂地盤としている。

ここでは細粒分含有率 F_c を5、10、20%の3種類の異なる地盤モデルを初期地盤として、それぞれをサンドコンパクションパイルにより杭間隔6m、加振時間20秒及び加振力600Nの条件で改良した場合について解析した。図11は改良前、後の地盤のせん断弾性係数の鉛直分布を図示したもので、初期地盤の剛性が2~4倍程度まで高められている。また細粒分含有率の少ない地盤ほど改良の効果が大きいことがわかる。図12は、上記の地盤の液化化解析の後、360個の要素分割で「FLOW」による側方流動解析を行い、地表面における側方流動変位分布の結果を図示したものである。無対策地盤では最大で10m以上の側方流動変位が得られるのに対して、SCP改良を行った地盤では、初期地盤の細粒分含有率によりその改良の度合いが異なるものの、細粒分含有率5%の場合で最大1m以下に低下するなど、SCP改良による側方流動防止の効果が示されている。

5. パイプラインの解析結果と考察

図10の実地盤モデルの中にパイプラインが水平に埋設されているものとし、これが上記のような側方流動変位を受ける場合のパイプラインの応答を解析した。解析に用いたパイプラインモデルの諸元として表1に示すものを標準値として用いた。またパイプラインの総延長距離100m、1管体長5m、埋設深さ2mとした。パイプラインの継手はS形の耐震継手とし、図13(a),(b)はそれぞれ継手の伸縮ばね及び回転ばね特性を表している。

図12のSCP改良地盤の側方流動変位の最大値をパイプラインへの入力変位として用いることとし、その分布形を図14のような台形分布とした。パイプラインの解析は荷重増分法に基づいており、上記の入力変位を100個に分割して用いた。図15(a),(b)及び(c)はそれぞれパイプラインの軸直角方向変位、継ぎ手回転角

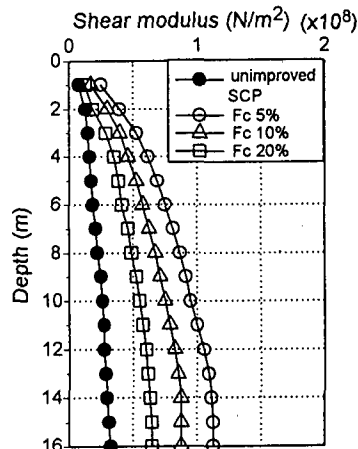


図11 改良後のせん断弾性係数

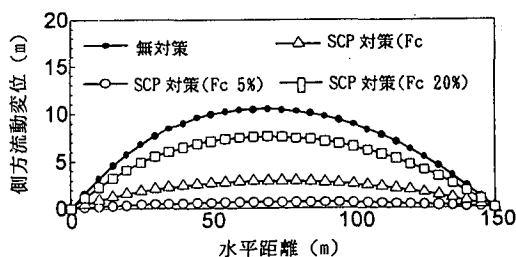


図12 実地盤モデルにおける側方流動変位分布

表1 パイプラインモデルの諸元

Physical items	Values (unit)
Nominal diameter	500 (mm)
Outside diameter	528 (mm)
Thickness	9.5 (mm)
Total length	100 (m)
Young's modulus	1.57×10^{11} (N/m ²)
Specific gravity	7.15

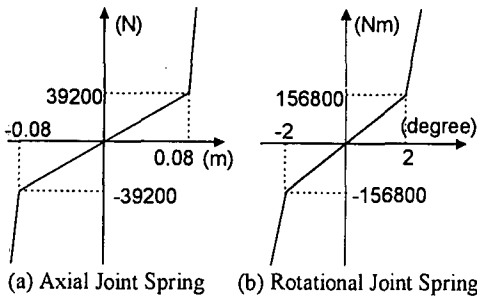


図13 S型継手ばね特性

及び曲げモーメントの応答分布を示したもので、図12の未改良地盤、SCP改良地盤（細粒分含有率5%、10%）の3ケースの

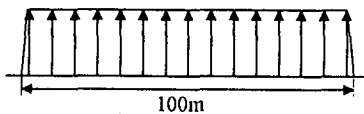
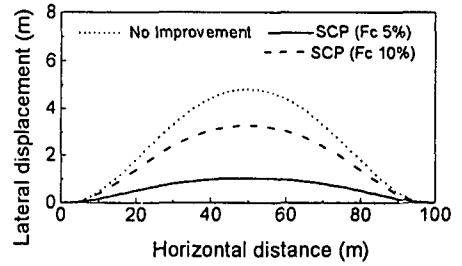


図14 入力地盤変位の分布形

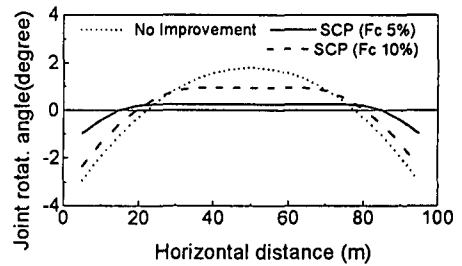
それぞれ10.38m、0.655m及び2.87mの入力変位に対する結果である。図15(a)の未改良地盤中のパイプラインの最大変位は約5mにも達しているが、SCP改良地盤においてはパイ

プラインの最大変位は、細粒分含有率5%の場合で約1m程度にまで低下している。図12及び図15の結果は、SCPの地盤改良を砂杭間隔6m、締め固め加振時間20秒の条件で行った場合のものであり、実際の現場で行われている砂杭間隔2m以下、締め固め加振時間100秒以上の条件よりも改良程度が低いものであることから、通常のSCP改良の条件であれば、側方流動変位を1m以下に低減することも十分可能と考えられる。一方、図15(b)、(c)のそれぞれ継手回転角、曲げモーメントの最大値は、SCP改良地盤中のパイプラインの場合、未改良地盤中のパイプラインの結果の約1/8以下にまで低減している。以上の結果は、SCPによる地盤改良が、液状化に対するパイプラインの対策工法として有効であることを表しているといえる。

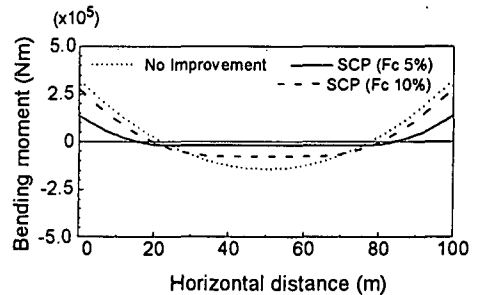
6. まとめ 側方流動に対するSCP地盤改良の効果を検討するため、側方流動解析プログラムFLOWにWAP3及びNUW2を組み込んだ、SCP改良地盤の側方流動解析手法を提案した。模型実験との比較及び実地盤モデルの解析の結果、SCP地盤改良が側方流動防止に効果的であることや解析手法の妥当性などを明らかにした。またSCP地盤改良が側方流動に対するパイプラインの応答を低く抑えることも明らかにした。



(a)



(b)



(c)

図15 パイプラインの応答分布

参考文献 1)浜田ほか, 土木学会論文集, 376-III-6, pp.211-220, 1986. 2)Yasuda,S. et al, Soils and Foundations, 32-1, pp.149-160,1992. 3)Akiyoshi,T. et al, Proc. 9JEES, pp.949-954, 1994. 4)Akiyoshi,T. et al, Soil Dynamics and Earthquake Engg., Vol.12, No.5, pp.299-307, 1993. 5)Akiyoshi,T. et al, Proc. 9JEES, pp.955-960, 1994. 6)Kiku,H. et al, Proc. 9JEES, pp.871-876, 1994. 7)Fuchida,K. et al. Tec. Rep. ODU, 1993.