

液状化地盤の沈下を受けるパイプラインの挙動と対策

八代工業高等専門学校 正 員 湊田邦彦
熊本大学工学部 正 員 秋吉 卓
熊本大学工学部 小野清吾

1. まえがき 液状化に伴う地盤流動^{1),2)}に対する管路破損メカニズムについては、管体及び継手の破壊状態までを解明し、その合理的かつ有効な対策手法を確立するまでには到っていないと考えられる。本研究では、著者らが開発している自重解析による側方流動変位解析手法³⁾を、地盤沈下量解析に適用し、これと管路の解析手法⁴⁾及びSCP工法のシミュレーション手法⁵⁾とを結合して、対策工法が地盤沈下量及び地中管路応答に与える効果について検討する。

2. 解析手法の概要 本研究では、前報³⁾で示した、側方流動変位を液状化に伴う地盤の剛性の低減に起因したせん断変形と考え²⁾、外力として各節点にポテンシャルヘッド（位置水頭）を与える2次元FEM解析プログラム「FLOW」³⁾を、地盤沈下量解析へ適用する。次に、地盤沈下を受ける管路の応答解析は修正伝達マトリックス法に基づく解析プログラム「PIPE」を用いて行う⁴⁾。一方、著者らは、SCPの打設締固め過程をシミュレートするプログラム「WAP3」⁵⁾及び2次元有効応力解析プログラム「NUW2」⁶⁾を用いて、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。ここでは、上記の側方流動解析プログラム「FLOW」と管路応答解析プログラム「PIPE」に「WAP3」及び「NUW2」とを組み合わせて、SCP改良地盤における液状化解析、沈下量解析を経て管路の応答を解析する。ただし、液状化時の沈下量解析では、対象地盤の初期剛性を、前報³⁾と同様、液状化解析後の最大過剰間隙水圧比に応じて低減させて、「FLOW」による沈下解析を行うものとする。

3. 沈下解析及び管路の応答解析 解析に用いた地盤モデルは剛な基盤層の上にN値3～10程度の軟らかい表層地盤とし、図1のようなせん断弾性係数の鉛直分布の異なる3つのモデルとした。この3つのモデル地盤に対してSCP地盤改良を行った場合のせん断弾性係数の分布も併せて図示している。各モデル地盤において表-1に示すような厚さの異なる5つの場合を想定し、無対策及びSCP改良した場合について解析を行った。このとき入力加速度としてEL Centro強震記録（1940, NS成分）を用い、震度5強を想定して、その最大加速度を250galに調整して用いた。SCP改良は、1ブロック5m幅の多連ブロック施工とし、その施工条件として表-2に示すようなものとした。

以上のようなモデルとその諸量を用いた沈下解析により得られた地盤変位を入力として管路の応答を解析した。管路は地表面から深さ2mの位置に埋設されているものとし、これを弾性床上のはりとして地盤沈下量が地盤ばねを介して入力するときの管路の応答について検討した。ただし解析では、管路の1端部は沈下のない構造物に固定されているものとして沈下量を0とし、それ以外の部分では一様な沈下量を入力として与えた。

管路の解析に用いる地盤ばね及び継手ばね特性は文献4)と同様の関係を用いた。ここでは文献7)の等価剛性に基づいて完全液状化時の地盤ばね標準値 $k_0=291.8\text{kN/m}^2$ を用いている。解析に用いた管路の諸量は表-3に示す。

図-2は図-1及び表-1の各地盤モデルに対して沈下解析を行い、最大沈下量をプロットしたものである。黒塗り及び空白印はそれぞれ無対策及びSCP対策の場合の結果である。Model1の無対策地盤で液状化層の厚さが最も厚い場合に最大約1.2mの沈下量が生じるのに対して、SCP対策を行った場

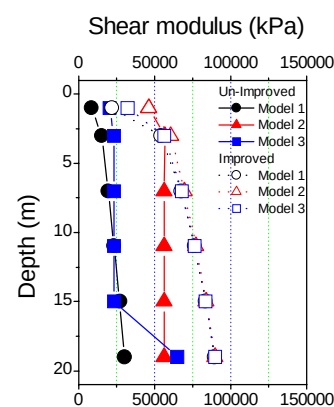


図-1 地盤モデル

表-1 地盤の層厚

Case	1	2	3	4	5
Top soil	3m	3m	3m	3m	3m
Surface layer	16m	14m	12m	10m	8m

表-2 SCP工法の施工条件

Term	Conditions
Array	Rectangular
Space of piles (m)	2.0
Compacting force(kN)	591.9
Radius of sand pile (m)	0.7
Frequency (Hz)	9.3
Compacting time per 1 stage (sec)	150

合には、これらは0.1m以下に抑制されている。

図- 3は、Model1の地盤沈下を受ける S 型継手管路の変位及び曲げモーメント分布の一例を示したものであり、実線及び点線はそれぞれSCP対策及び無対策の場合を示している。無対策地盤では最大約2.5mの管路変位と固定端に大きな曲げモーメントが生じているが、SCP対策によってこれらの応答が軽減されることがわかる。

図- 4は、図- 2の地盤沈下量を入力として、S 型継手管路の、管路変位、継手回転角及び曲げモーメントの最大値を地盤モデルの液状化層厚に対して図示したもので、記号は図- 2と同じである。地盤モデル1では、無対策の場合、管路変位は最大2m以上、継手回転角は許容値の5度以上となり破損の可能性もあるが、SCP改良の場合には、沈下量そのものが抑制されて両応答とも軽減されることが示されている。

4. まとめ 本研究では、SCP改良地盤における地盤沈下解析と、地盤沈下に対する管路の解析より、地盤改良が沈下防止および管路応答に及ぼす効果について検討した。数値解析の結果、SCP地盤改良が沈下変位及び管路の応答低減に効果的であることを示した。

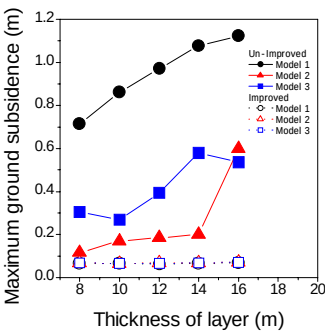


図- 2 最大地盤沈下量

表- 3 パイプラインモデルの諸元

Physical items	Values(unit)
Material of segment	Ductile cast iron
Nominal diameter	500 (mm)
Thickness	9.5 (mm)
Total length	100 (m)
Buried depth	2 (m)
Young modulus	1.57×10^8 (kN/m ²)
Specific gravity	7.15
Tensile strength	3.92×10^5 (kN/m ²)
Bending strength	5.59×10^5 (kN/m ²)
Allowable joint expansion	50 (mm)
Allowable joint rot. angle	5 (degree)

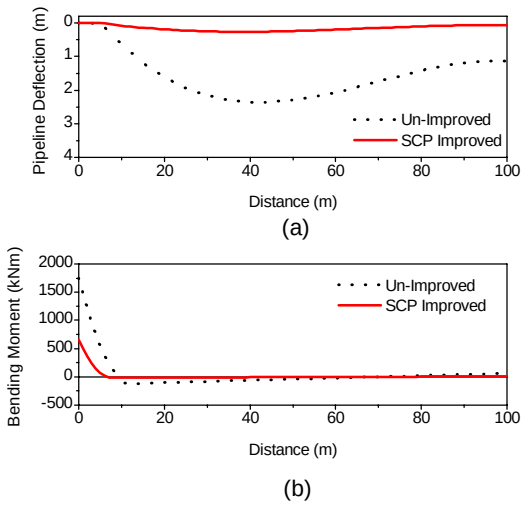


図- 3 管路変位と曲げモーメントの分布

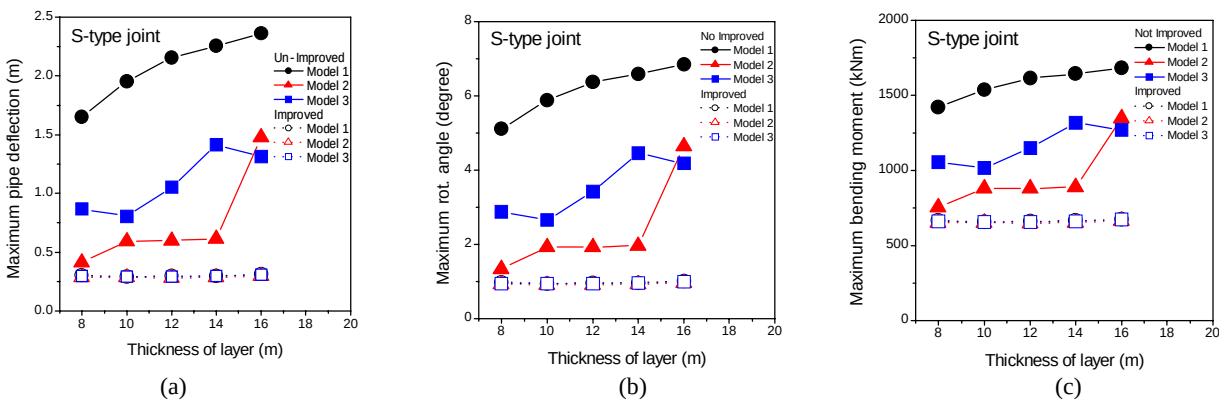


図- 4 管路最大変位、最大継手回転角、最大曲げモーメントと液状化層厚との関係

参考文献 1) Hamada, M. et al.: Association for the Development of Earthquake Prediction, pp1-87, 1986. 2) Yasuda, S. et al.: *Soils and Foundations*, JSSMFE, 32, 1, pp149-160, 1992. 3) 秋吉 卓他: 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1509-1514, 1998. 4) Fuchida, K. and Wang, L.R.L.: *Technical Report*, ODU, 1993. 5) Akiyosi, T. et al.: *Proc. of 9JEES*, pp.949-954, 1994. 6) Akiyosi, T. et al.: *Int. J. Soil Dynamics and Earthquake Engg.*, Vol.12, No5, pp.299-307, 1993. 7) 秋吉 卓他: 土木構造・材料論文集, 第5号, pp.39-46, 1990.