

# 地中管路の液状化時大変形防止のための 対策工法の効果

秋吉 卓<sup>1</sup>・湊田邦彦<sup>2</sup>・高畑浩二<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 熊本大学教授 工学部環境システム工学科 (〒860 熊本市黒髪 2-39-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 八代工業高等専門学校助教授 土木建築工学科 (〒866 八代市平山新町 2627)

<sup>3</sup>工修 日本舗道(株) 中部支店掛川出張所 (静岡県掛川市細田 280-1)

液状化時の地盤の側方流動変位を弾性体の非線形なせん断変形より算定する解析プログラム「FLOW」として改良し、これを、著者らが開発したサンドコンパクションパイル(SCP)の打設締固め過程シミュレーションプログラム「WAP3」及び2次元有効応力解析プログラム「NUW2」と結合して、SCPによる改良地盤の側方流動解析を行った。さらに、この側方流動変位を入力として管路の軸方向応答について解析した。砂槽の振動台加振による模型実験結果との比較より、提案する側方流動解析手法の妥当性を確認した。またモデル地盤の液状化解析、地盤改良、側方流動解析及び管路軸方向応答の数値計算の結果、SCP工法が地盤の側方流動及び地中管路の応答を抑制する効果等を明らかとした。

**Key Words :** *buried pipeline, liquefaction, lateral flow, effective stress analysis, ground improvement*

## 1. まえがき

液状化時の地盤変状による地中管路の被害例は数多いが、地盤変状の管路破損メカニズムには不明な点もあり、その有効な対策手法が確立されるまでには到っていない。本研究では、前報と同様<sup>1)</sup>、液状化防止工法として効果が高いと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非線形なせん断変形より算定する手法として前報を改良し、これと管路の解析手法とを結合して、対策工法が側方流動及び地中管路の応答抑制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<sup>1)</sup>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、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解析手法を改良し、バイリニア型の非線形なせん断変形よりこれを算出

する解析プログラム「FLOW」として新たに開発した。次に、側方流動変位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」を用いて行うものとした<sup>2)</sup>。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」<sup>3)</sup>及び2次元液状化解析プログラム「NUW2」<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>。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とNUW2とを組み込み、SCP改良地盤における液状化解析及び側方流動解析を経て管路の応答を解析する、図1のような解析フローとする。ただし、液状化時の側方流動変位の解析では、対象地盤の初期剛性を、前報<sup>1)</sup>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による側方流動解析を行うものとする。このせん断弾性係数の低減率と過剰間隙水圧比との関係を図2に示す。図中、(1)、(2)はそれぞれバイリニア型特性の降伏前及び降伏後のせん断弾性係数の低減率を示している。

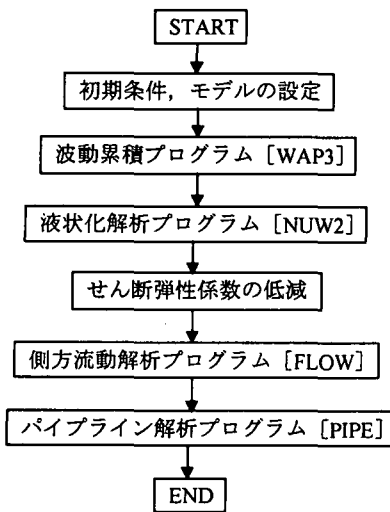


図1 SCP改良地盤中パイプラインの解析フロー

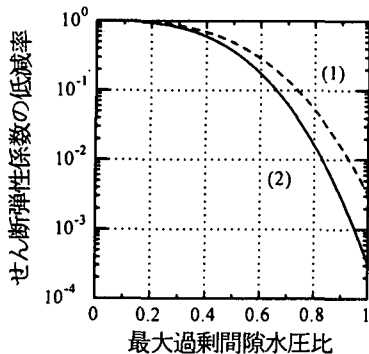


図2 せん断弾性係数の低減率

### 3. 側方流動実験

図3のような長さ 3000mm、幅 500mm、高さ 1000mm の砂槽中に、水平な基盤層とその上に地表面勾配 5%の飽和砂層を作成し、これを振動台上で砂槽の長手方向に最大加速度 200gal、振動数 5Hz で正弦加振し、側方流動実験を行った。実験は無対策の場合と、サンドコンパクションパイル (SCP) 工法及びシートパイル工法により対策を行った場合について実施した。図3は実験の概要図である。

図4は地表面における側方流動変位実験結果の分布図であり、(a)はSCP対策、(b)はシートパイル対策を行った場合で、記号は実験結果を、各線は解析結果を示している。両図とも三角印及び実線は無対策の場合を、四角印・丸印及び破線・点線は対策を行った場合の結果を示している。図より、本研究で提案する解析手法による結果は実験結果とほぼ対応していること、対策工法を行った場合、側方流動変位を抑制していることなどがわかる。

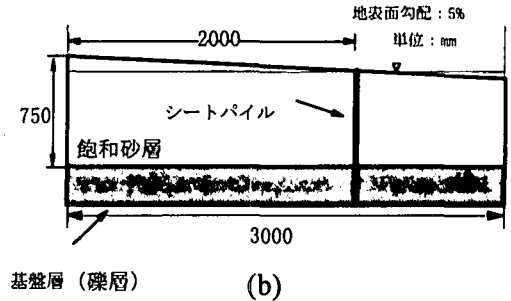
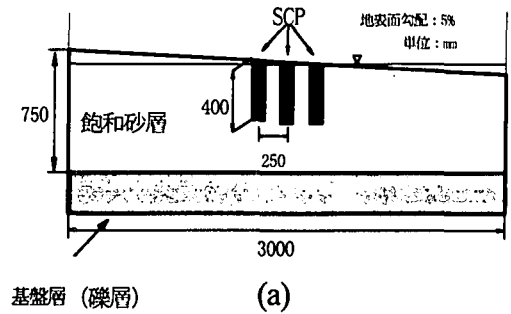


図3 模型実験の概要図

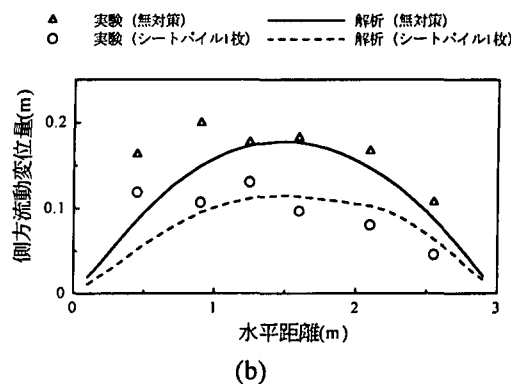
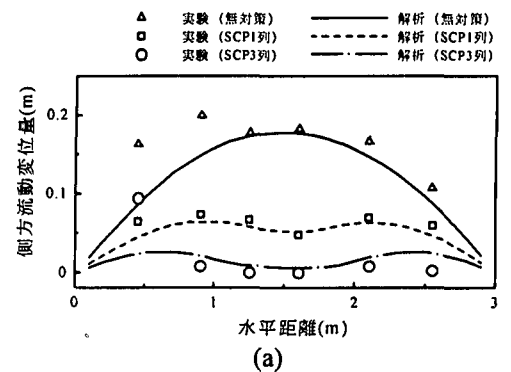


図4 側方流動変位の実験結果との比較

### 4. 側方流動解析及び管路の応答解析

図5は解析に用いた地盤モデルの概略図である。傾斜した基盤層の上にN値7程度の軟らかい表層地盤を考え、その厚さの異なる4つのモデル地盤を想定し、無対策及びSCP改良した場合について解析す

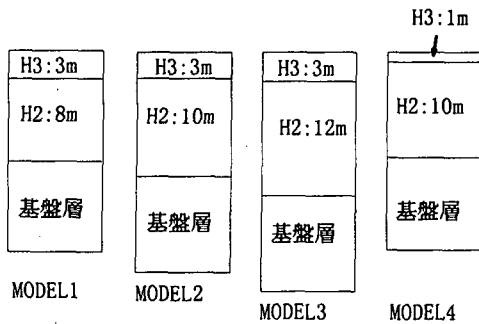
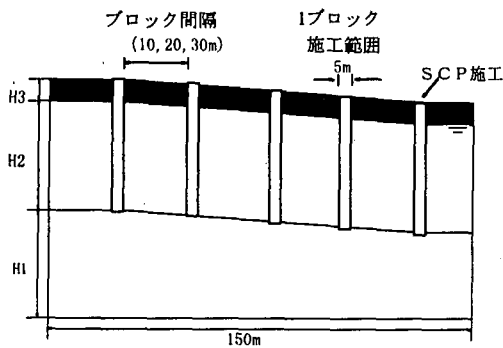


図5 解析に用いる地盤モデル

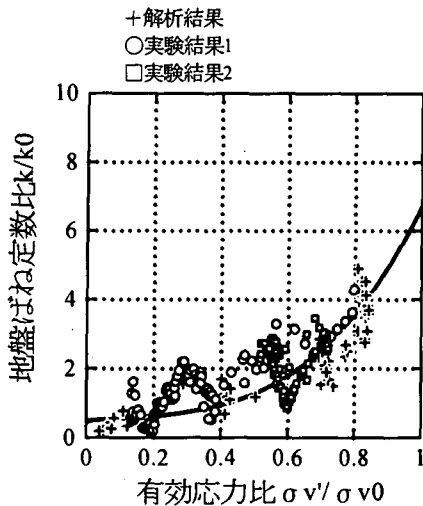


図6 地盤ばね定数比と有効応力比との関係

る。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 に調整して用いている。SCP 改良は、1 ブロック 5m 幅の多連ブロックとして行うものとし、図 1 の解析フローに従って側方流動解析を行い、得られた地盤変位を入力として管路の応答を解析した。ただし、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、これを弾性床上的のりとみなして、側方流動変位を地盤ばねを介して入力するときの管路軸方向の応答について検討する。

表1 SCPの施工条件

項目	施工条件
配置	正方形
砂杭間隔 (m)	2.0
置換率	0.1
起振力 (kN)	591.9
杭径 (m)	0.4
振動数 (Hz)	9.3
加振時間 (sec)	100

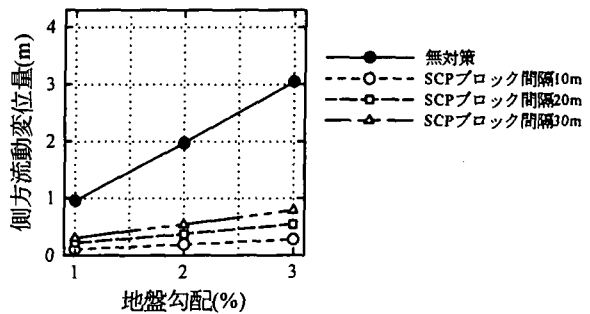


図7 側方流動変位と地盤勾配との関係

管路の解析に用いる地盤ばね及び継手ばねの特性は文献 1), 2) と同様とするが、地盤ばねは、有効応力比に対して図 6 のような関係とした。これは、文献 2) で用いている完全液状化時の地盤ばねの標準値を基準として液状化前の初期の地盤ばね定数  $k_0$  とし、これに対する液状化中の地盤ばね定数  $k$  との比として実験より算定したものである。この液状化中の地盤ばねは、文献 6) に示した等価係数による地盤剛性評価手法を用いて、図 3 に示した実験中に計測した結果より求めている。一方、液状化の対策としてここでは SCP 工法を取り上げるが、その施工条件としては表 1 に示すようなものとした。

図 7 は地盤勾配と側方流動変位との関係であり、●印は無対策の場合、○、□及び△印はそれぞれ SCP ブロック間隔 10、20 及び 30m で対策を行った場合の結果である。SCP 対策を行うと無対策地盤に比べて側方流動変位を約 3 分の 1 以下に低下できることがわかる。

図 8 は、管路の軸方向変位、軸応力及び継手伸縮量の一例を地盤勾配に対して示したものであり、(a)、(b) はそれぞれ S 型、GM 型継手の管路の結果である。図 5 の地盤モデルの内、モデル 2 と 4 において、無

対策及びSCPをブロック間隔30mで多連ブロックとして施工する場合の結果を示している。各図とも、SCPを多連ブロック施工することにより管路の軸方向変位、軸応力及び継手伸縮量の各応答を十分に抑制し得ることを示しており、ブロック間隔が30mと広い場合でもSCP対策の効果がかなり期待できる。

最後に図9は、図5の4つの各地盤モデルに対して、管路の継手伸縮量と最大地盤変位量との関係を示したものである。モデル1,2,3の場合は、管路は最上層の非液化化層に埋設されており地盤ばねが液化化地盤のそれより大きいため、継手伸縮量の最大値はモデル4の場合より大きくなっている。図より、継手伸縮量は側方流動変位と概ね比例関係にあり、側方流動変位の最大値から継手伸縮量最大値を推定できる可能性がある。同図には地盤改良を行った場合の結果も含まれているが、このような解析結果を蓄積することにより、継手伸縮量を許容値内に抑制するための地盤改良の条件を推定することも可能と考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、SCP改良地盤における側方流動解析と側方流動変位に対する管路の解析より、地盤改良が側方流動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地盤改良が側方流動変位及び管路の応答低減に効果的であることを示すとともに、管路の応答量を許容値内に抑制するための地盤改良条件を推定することの可能性について示唆した。

## 参考文献

- 1) 湊田邦彦, 秋吉 卓, 松本英敏: 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, 第23回地震工学研究発表会講演概要, pp.345-348, 1995.
- 2) Fuchida, K. and Wang, L.R.L.: Parametric study of buried pipelines subjected to liquefied ground movements, *Technical Report, ODU*, 1993.
- 3) Akiyosi, T., Fuchida, K., Matsumoto, H., Hyodo, T. and Fang, H.L.: Simulation of sand compaction pile method, *Proc. of 9JEEES*, pp.949-954, 1994.
- 4) Akiyosi, T., Fuchida, K., Matsumoto, H., Hyodo, T. and Fang, H.L.: Liquefaction analyses of sandy ground improved by sand compaction piles, *Int. J. Soil Dynamics and Earthquake Engg.*, Vol.12, No5, pp.299-307, 1993.
- 5) Akiyosi, T., Fuchida, K., Fang, H.L., Tamaki, T. and Kato, M.: Anti-liquefaction effect of improved ground by

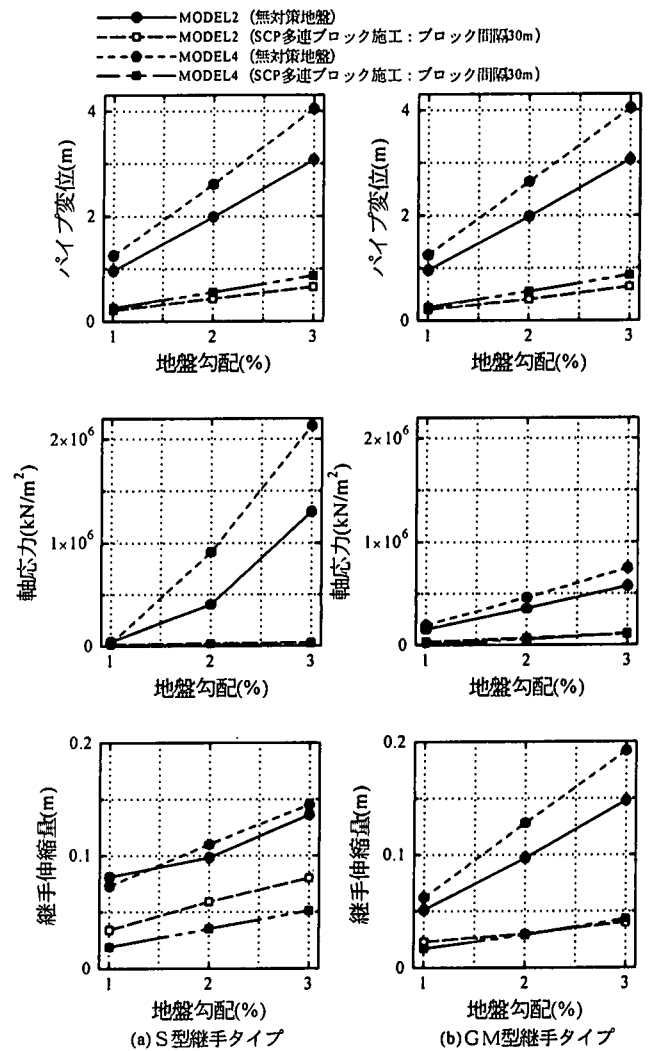


図8 地盤勾配と管路応答との関係

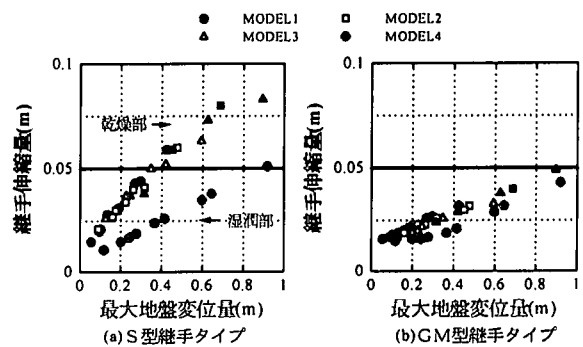


図9 側方流動変位と継手伸縮量との関係

SCP, *Proc. of 9JEEES*, pp.955-960, 1994.

- 6) 秋吉 卓, 湊田邦彦, 松本英敏: 等価係数による液化化地盤中管路の復元力特性の評価, *土木構造・材料論文集*, 第5号, pp.39-46, 1990.