

サンドコンパクションパイル工法の施工条件の最適化について

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
 熊本大学工学部 学生員 ○大村知寛

1. はじめに 都市域の拡張につれて臨海部の開発が進められる機会が多いが、そのような地域では地震の際に液状化する可能性が高く、事前の液状化予測によって何らかの対策が必要になることが多い。その液状化対策の中で施工実績の高い工法がサンドコンパクションパイル (SCP) 工法であるが、この SCP 工法は施工時に振動・騒音を伴うため市街地などでの施工が困難となる場合がある。そこで本研究では、SCP 工法を取り上げ、周辺地盤に与える影響を考慮した最適な施工条件を見出す設計手法について検討する。

2. 解析手法の概要 液状化の解析には、著者らが開発した SCP 工法の締固め過程をシミュレートするプログラム WAP3¹⁾ 及び 1 次元地震応答解析プログラム SHAKE²⁾ を使用し、周辺地盤に与える影響については、SCP 工法打設時の振動および騒音が考えられるが、今回は地表面に生じる振動についてのみ検討する。ここでは、図 1 のように施工条件をモンテカルロ法により多数抽出し、WAP3 により地盤改良のシミュレーションを行い、SHAKE により改良地盤の液状化指数(P_L)を算出する。さらに、液状化の可能性が極めて低い液状化指数の上限 $P_L=5$ までの範囲で、施工時に発生する振動レベルを考慮した最適な施工条件の組合せについて検討する。

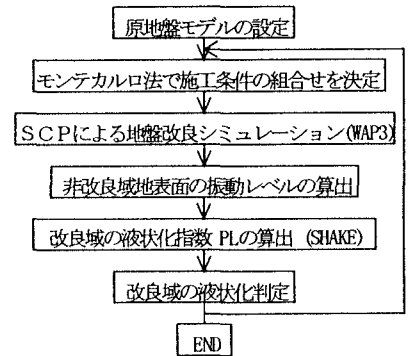


図1. SCPによる地盤改良解析フロー

3. 振動レベル算出方法 非改良域の物性は現地盤のまま変化しないとすると、SCP 打設点から地表面に到達する地盤変位 (P 波) は弾性波動論を用いると次式のようにになる。

$$u = A_1 \cdot h_1^{(2)}(k_L r) e^{i\omega t}$$

ただし、 $h_1^{(2)}$ は、第2種1次のハンケル関数、 r は距離、 A_1 は未定乗数、 k_L は縦波の波数、 ω は振動数である。このとき、SCP 打設時に地表面に伝わる加速度振幅 A は、地表面に生じる地盤変位振幅 u_0 、SCP 打設時の振動数 ω を用いて $A = -\omega^2 \cdot u_0$ より求め、各 SCP から地表面観測点への到達波動は同位相として、それらの振幅を加算したものを振動加速度レベル VAL (Vibration Acceleration Level) として次式で定義する³⁾。

$$VAL = 20 \cdot \log(A/A_0) \quad (\text{dB})$$

ただし、 $A_0: 10^{-3} \text{cm/sec}^2$ (基準加速度の実効値) で、この VAL は一般に振動感覚の基準として用いられている。

4. 解析結果 本解析では与えられた地盤条件のもとで、最適な施工条件を見出すため、設計パラメータとして SCP の加振振動数 (10, 20, 30Hz)、加振時間 (30~180sec)、圧入率 F_v についてモンテカルロ法により、

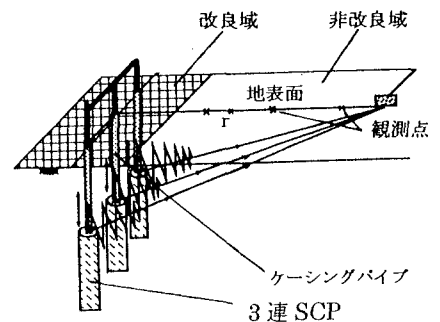


図2. SCPの連接打設に伴う振動の累積

全部で 500 回シミュレートした。解析の対象とする原地盤モデルは図 3 であり、均一な砂質地盤で初期 N 値は地表面から深部にかけて三角形分布とした。細粒含有率 (F_c) は、一率 10% で、液状化抵抗 (F_L) は全体的に 1 より小さい極めて液状化しやすい地盤を採用している。図 4 は、この地盤モデルにモンテカルロ法で選択した施工条件により振動締固めを行い、圧入率 F_v と 1 ステージ当たりの加振回数 N_N との関係を図示したものである。図中の破線はそれぞれ液状化指数 $P_L=5, 15$ の境界線を表しており、 $P_L=5$ の境界線が本解析で提案する液状化防止のための最適施工限界線である。これを用いることで、1 つのパラメーターから他のパラメーターが順次決定されることになる。例えば、 $P_L=5$ 付近の 2 つの施工条件①圧入率 0.3 (杭間 1.1m)、加振回数 1000 回 (1 ステージ当たりの加振時間 100s、振動数 10Hz) と②圧入率 0.2 (杭間 1.35m)、加振回数 2000 回 (1 ステージ当たりの加振時間 200s、振動数 10Hz) の施工条件について考慮する。これを深度 15(m)、面積 100m² の範囲で施工すると、SCP の本数がそれぞれ①約 80 本、②約 55 本必要となり①の方が約 25 本多い。しかし、加振時間については施工全てにかかる時間が 5 連同時締固めの場合①が約 400 時間、②が約 550 時間と②の方が約 150 時間多くかかる。これらの差と SCP1 本にかかる費用、単位時間当たりにかかる費用を用いることで①と②との工事全体の費用が予測でき、より経済的な施工条件を選ぶことができる。図 5 は図 4 の結果をもとには施工条件を杭間 2.0(m)、振動数 9.3Hz、加振時間 100(s) と一定にしたときの SCP の打設振動と周辺の影響について解析した結果である。プロットは、SCP をそれぞれ 1 連 (□)、3 連 (○)、5 連 (●) 同時に締固めた場合に発生する振動レベルを表しており、大体破線のような傾向にある。実線は振動規制値 75dB を表している。図より、5 連の場合は約 20m まで、3 連では約 13m まで、1 連では約 3m までが振動の法的規制値の範囲に入ることが分かる。したがって、振動規制をクリアする振源距離と同時打設本数の条件を満たし、かつ圧入率の液状化指数 $PL<5$ での条件を満たす事で最適な施工条件を決定することになる。

5. まとめ 本研究では、シミュレーションを行い、地盤振動との関係から最適施工条件を逆解析する考え方について提案した。今後は、実施工例との検証を増やし、環境を考慮したより現実的な設計手法を確立したい。

【参考文献】

- 1) Akiyoshi, T. *et al*, "Simulation of sand compaction pile method", Proc. 9JES, 949-954, 1994.
- 2) Schnable, P. B., Lysmer, J. & Seed, H. B., "SHAKE. A computer Program for earthquake response analysis of horizontally layered sites", Report No. EERC 72-12, EERC, US. Berkeley, 1972.
- 3) 櫛田 裕：騒音・振動の予測を含む環境アセスメント、基礎工 Vol. 16, No. 10, pp. 52-57, 1988. 10.

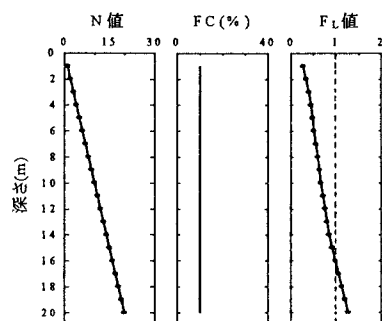


図 3 原地盤モデル

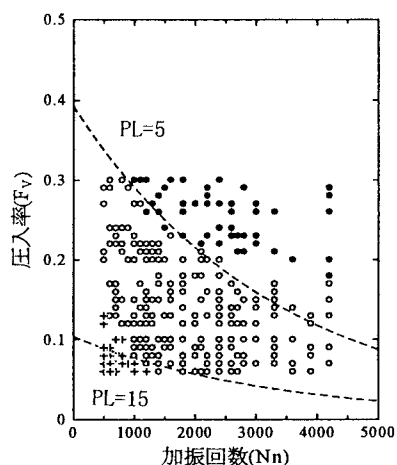


図 4. 圧入率と加振回数との関係

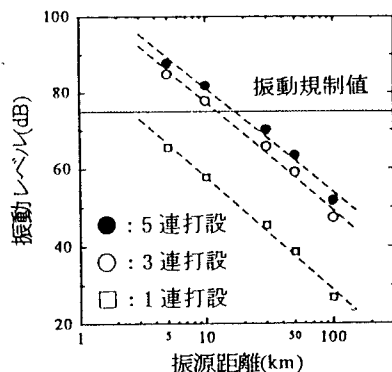


図 5. 振動レベルと距離との関係