

常時微動観測を用いた SCP 工法による地盤改良の評価法に関する基礎的研究

東京ソイルリサーチ 正 会 員 ○矢部 有紀¹⁾
 飛島建設 松本 泰孝
 飛島建設 那仁満都拉
 芝浦工業大学大学院 学生会員 水上 一輝
 ジオアナリシス研究所 凌 魁群

芝浦工業大学 正 会 員 紺野 克昭
 飛島建設 正 会 員 池田 隆明
 芝浦工業大学大学院 学生会員 品川航太郎
 芝浦工業大学大学院 学生会員 高橋 英臣
¹⁾ 研究当時芝浦工業大学大学院

1.はじめに

地盤改良工法の一つであるサンドコンパクションパイル (以下 SCP) 工法は、緩い砂質地盤内に砂等を圧入し、砂杭を造成することで周辺地盤を締め固める工法である。SCP 工法による地盤改良の評価は、事実上大部分が調査ボーリングによる N 値により検討されている。しかし調査ボーリングは高コストであり、地盤の不均一性等により効果を適正に評価できていない場合や局所的な評価をしている懸念があると考えられる。一方、常時微動観測は広がりを持った地盤の影響を受ける表面波を観測しているため、これを SCP 工法による地盤改良の評価に用いれば、大局的な評価ができる可能性がある。また、常時微動観測は簡便かつ低コストに地盤の調査ができる。

本研究は、常時微動観測を用いて SCP 工法による地盤改良を評価する指標を確立するための基礎的研究であり、SCP 工法による地盤の変化を、常時微動観測より検討することを目的とする。対象地盤は東京国際空港 (羽田空港) 東側整備地区であり、地盤改良の前後で常時微動観測を行った。図 1 に東京国際空港と対象地盤の位置関係を示す。



図 1 東京国際空港と対象地盤の位置関係 (写真: 東京空港整備事務所 提供)

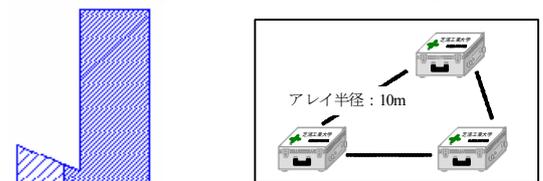


図 2 三角形アレイ観測の加速度計配置図

2.常時微動観測と解析

(1) 観測概要

観測は図 2 のように、携帯型加速度計 3 台を使用する 3 成分同時三角形アレイ観測を、アレイ半径 10m とし 660 秒間行った。サンプリング周波数は 200Hz、ローパスフィルタは 50Hz とした。

図 3 に対象範囲と観測地点を示す。便宜上、改良短辺方向 (空港ターミナル (陸) 側) を NS 方向としている。置換率の異なる 2 ラインを選択し、各ライン上でアレイ観測を 4 箇所ずつ、計 8 箇所行った。なお、置換率は A ラインにおいて 13.3%、B ラインにおいて 17.1%である。また、両ラインとも陸側からアレイ 1, 2, 3, 4 とし、砂杭がある領域で 3 箇所、ない領域で 1 箇所観測を行った。砂杭のない領域の観測点 (アレイ 1) は、砂杭のある領域の観測点 (アレイ 2) から約 30 m 離れている。

(2) 地盤改良前後の H/V スペクトルの比較

地盤改良の前後で H/V スペクトルを各々求め、両者を比較する。図 4 に B ラインのアレイ 3 (地震計 B) での H/V スペクトルを比較したものを示す。図より、両方向ともに改良後の H/V スペクトルの値の方が小さくなるのがわかる。各アレイにおいても同様の傾向があり、特に NS/UD で周期 1.0s 前後以下、EW/UD で周期 0.4s 前後以下が小さくなるが、砂杭のない領域では前後の差は小さかった。このように、地表面で短周期側に変化が現れるのは、砂杭の深さが 24m と比較的浅いところを改良しているためと考える。また砂杭のない領域においては、改良による影響はあるが、地盤そのものの変化は小さいといえる。

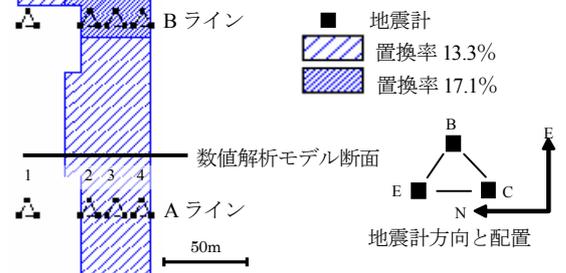


図 3 観測対象範囲と観測地点

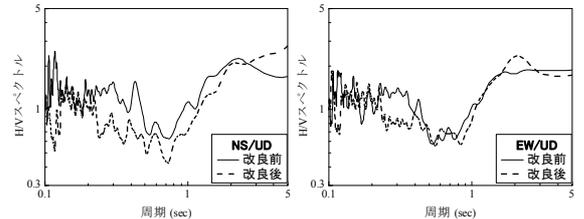


図 4 微動観測による H/V スペクトルの比較 (B ライン アレイ 3 (地震計 B))

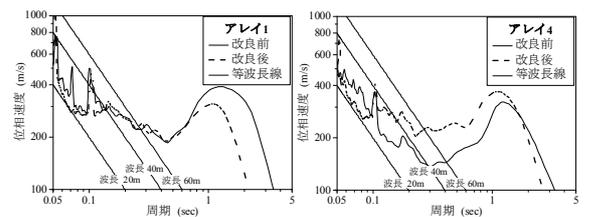


図 5 微動観測による位相速度の比較 (B ライン アレイ 1 アレイ 4)

キーワード 常時微動観測, SCP 工法, H/V スペクトル, レイリー波の位相速度

連絡先 〒135-8548 江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学工学部土木工学科 地震防災研究室 TEL 03-5859-8357

(3) 地盤改良前後の位相速度の比較

微動アレイ観測記録に空間自己相関法を用い、地盤改良の前後でレイリー波の位相速度を各々推定し、両者を比較する。図5にBラインのアレイ1と4での位相速度と周期の関係を比較したものを示す。砂杭のないアレイ1では分散曲線が落ち込むまでほぼ変化は見られないが、砂杭のあるアレイ4では改良後の位相速度が速くなるのがわかる。両ラインにおいても杭の有無により同様の結果を得た。

3.数値解析による検討

常時微動観測から得た解析結果の妥当性を検討するため、モデルを用い数値解析を行った。

(1) 地盤モデル

改良前後の地盤モデルを作成し、地震応答解析プログラム (Soil Plus Dynamic) を用いて、有限要素法による全応力での2次元線形動的解析を行う。図6に改良後の解析断面のモデル (メッシュ分割図) を、図7に改良部分を拡大したものを示す。数値解析で用いた物性値は表1の通りである。1層から4層の値はボーリングデータや既存の地盤調査結果、一般的な経験式等を参考に設定した。また、特に改良後の地盤における砂杭とその周辺地盤の値は本研究の結果も用い設定したものである。なお、改良前のモデルは、砂杭とその周辺地盤をもとの層の物性値にしたものである。既存の地盤調査結果より、S波速度 540m/s の層を基盤とし、基盤以浅を解析領域とした。

以上のモデルに地表面で加振し、時刻歴応答解析を行う。

(2) 地盤改良前後のH/Vスペクトルの比較

地盤改良前後のモデルでH/Vスペクトルを各々求め、両者を比較する。図8に改良後のH/Vスペクトルを改良前のH/Vスペクトルで除したものを示す。(a),(b)はそれぞれ砂杭のある範囲のものとなない範囲のものである。なお、モデル原点を0mとしている。砂杭のある範囲で周期0.9s以下、ない範囲で周期0.7s以下で1.0以下になっていることがわかる。これは、微動観測記録から得たH/Vスペクトルの前後比較の結果と類似しているといえる。また、短周期側では値が大きく変動しており、微動観測から得た結果とは異なる。これはモデルのメッシュサイズにより、短周期域では適切に解析されなかったためと考える。

(3) 地盤改良前後の位相速度の比較

空間自己相関法を用い、地盤改良前後のモデルでレイリー波の位相速度を各々推定し、両者を比較する。図9(a),(b)にそれぞれ砂杭のある範囲のものとなない範囲のものを示す。砂杭のある範囲では、改良後の位相速度が速くなっており、砂杭のない範囲では改良前後での変化はほぼないことがわかる。これは、微動観測記録から推定した位相速度の前後比較の結果と類似している。また、砂杭のある領域から離れるほど前後の差が小さくなることも見て取れる。

4.結論

地盤改良施工の前後で常時微動観測を行い、SCP工法による地盤の変化を検討した。その結果、H/Vスペクトルは砂杭の周辺において、短周期側で改良後の方が小さくなること、レイリー波の位相速度は砂杭のある範囲において改良後の方が速くなるのがわかった。これらは理論値である動的解析の結果と類似していることから、SCP工法による地盤の変化と改良の効果を結び付けられる可能性を示すことができた。

謝辞 国土交通省関東地方整備局の関係各位には、測定の便宜および資料の提供を賜りました。

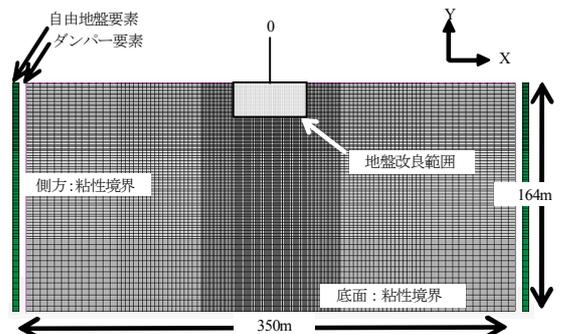


図6 改良後の解析断面のモデル (メッシュ分割図)

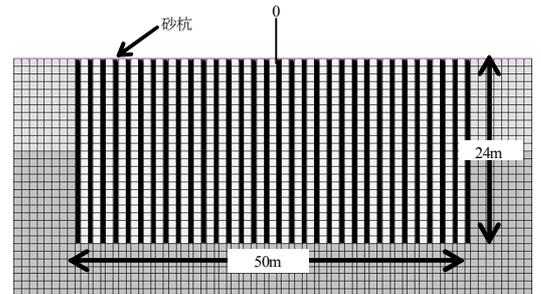
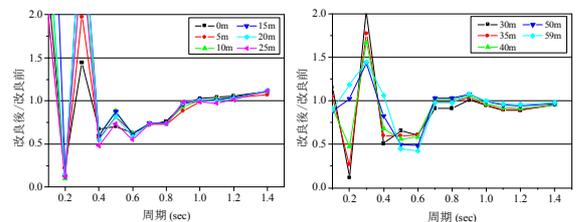


図7 改良部分のモデル (メッシュ分割図)

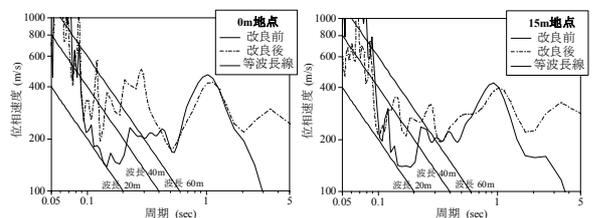
表1 数値解析で用いた物性値

	下端深度 [m]	層厚 [m]	単位体積重量 γ [kN/m ³]	S波速度 V_s [m/s]	せん断剛性 G [kN/m ²]
1層	-12	12	17.64	110	2.18×10^4
2層	-50	38	17.64	200	7.20×10^4
3層	-112	62	18.62	300	1.71×10^5
4層	-164	52	18.62	540	5.54×10^5
砂杭	-24		25.48	270	1.89×10^5
砂杭周辺	-24		24.50	270	1.82×10^5

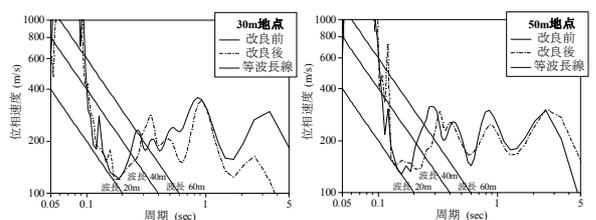


(a) 砂杭のある範囲 (b) 砂杭のない範囲

図8 数値解析によるH/Vスペクトルの比較



(a) 砂杭のある範囲



(b) 砂杭のない範囲

図9 数値解析による位相速度の比較