環境に配慮した低振動低騒音式地盤改良工法 (KS-EGG 工法)[†]

木村 大介* 黒崎 雅史**

Ground Improvement Construction Method of Low Vibration and Noise Type (KS-EGG Method of Construction) Considering Environment

by

Daisuke KIMURA* and Masashi KUROSAKI**

Recently, the process of ground improvement has been expanded. Although the sand compaction pile method is the most commonly used ground improvement method, it has some drawbacks, such as the large vibration and noise during use in construction. Thus, our company developed the KS-EGG method that can render the sand compaction pile method quieter without the use of a vibratory hammer. The machine for the KS-EGG method consists of a casing pipe with an installed leaning head. To compact and to enlarge the piling materials are carried out by rotating the leaning head and moving the casing pipe up and down. The mechanism of this method is to compact the ground by pressing the pile materials to the horizontal direction using the leaning head. The levels of vibration and noise of this method are lower than those of the commonly used sand compaction pile method, and recycled materials, such as glass sands and crushed stones, can be efficiently used as piling materials. Thus, this is a new environmentally friendly method. It has also been proved by tests that the ground strength after improvement is as good as that obtained by the sand compaction pile method. The KS-EGG method was successfully carried out ten times between April 2001 and March 2003. In this report, we describe this new construction method.

Key words: Ground improvement, Sand compaction pile, Low vibration, Low noise, Recycled materials

1 はじめに

サンドコンパクションパイル工法 (以下 SCP 工法と示す) は、我が国では 1956 年に実用化され、施工方法が確立されたのは 1960 年である。この工法は大口径の締め固められた砂杭を軟弱地盤中に造成し、地盤を改良する工法である。SCP 工法には以下の特徴がある。

- (1) 砂杭自体が大きなせん断抵抗力を有する。
- (2) 排水効果を発揮して粘性土の圧密による粘着力の増加を促進する。

- (3) 砂地盤の締め固めによる密度増大能力を有する。

(1)(2) の特徴により、支持力の増大とすべり破壊の防止、側方変位の抑制など地盤の安定を図る効果がある。また (3) は液状化防止効果であり、改良地盤は新潟地震以来、幾多の大規模地震を経験しているが、液状化を起こした例は皆無とされている。地盤改良工法の原理には、置換、圧密排水、締め固め、固結、補強などがあるが、SCP 工法は圧密排水、締め固めおよび補強の複数の原理を併せ持つ。そのため、砂質土、粘性土、有機質土などほとんど全ての土質に適應でき、信頼性、経済性から最も採用される工法である。^{1), 2)}

多くの施工実績を有している SCP 工法であるが問題もある。この工法では一般的に振動や衝撃の動的エネルギーを用いるため、施工中の振動・騒音が大きい。そのため市街地や工場隣接区域での採用が困難となるのが現状で

ある。このような現状に対し、我々はバイブロハンマーなどの振動荷重を用いず低振動かつ低騒音で締め固め砂杭を造成することの出来る KS-EGG 工法を開発した。本報告ではこの新工法を紹介する。

2 KS-EGG (エッグ) 工法

2・1 KS-EGG 工法とは

EGG は Ecological Gentle Geo-improvement の頭文字をとっており、環境に優しい地盤改良を意味している。また、後述するケーシングパイプ先端に装備した卵 (Egg) 形のヘッドも連想させている。本工法は、油圧駆動式の掘削機をベースマシン (三点支持式角リード) とした低振動低騒音式のサンド (又はグラベル) パイル打設機を用いる。本工法の全景を Fig. 1 に示し、機械構成を Fig. 2 に示す。ケーシングパイプ先端には偏芯した

Fig. 1. Complete view of KS-EGG.

† 原稿受理 平成 15 年 4 月 9 日 Received Apr. 9, 2003

* 正会員 国土総合建設(株)技術本部 〒108-8432 東京都港区海岸, Japan Industrial Land Development Co., Ltd., Minato-ku, Tokyo, 108-8432

** 国土総合建設(株)技術本部 〒108-8432 東京都港区海岸, Japan Industrial Land Development Co., Ltd., Minato-ku, Tokyo, 108-8432

Fig. 2. Component of machine.

Fig. 3. Drilling concept diagram.

Fig. 4. Process of construction.

掘削・拡張ヘッドを装備している。貫入時には、拡張ヘッドに取り付けられた掘削ビットがケーシングパイプの回転に伴って貫入を補助し、掘削ビットでほぐした原地盤土は傾斜した空間部分に持ち上げられる。そして拡張ヘッドの回転に伴い空間部分が減少し、原地盤土は側壁に押しつけられる (Fig. 3 参照)。また材料供給後は逆回転で再貫入を行い、掘削ビット底面で材料を締め、上方に上がった材料は貫入時と同様に側方に締められる。本工法は、この新しい締めめ方法を基に、大トルクを発生させる油圧のロータリードライブおよびウインチを装備することによりパイプロハンマーを必要とせず、低振動低騒音施工を実現し、市街地など隣接構造物が存在する区域においても施工を可能にした地盤改良方法である。

2.2 施工フロー

本施工は、準備工・機械搬入組立および調整・位置出し・SCP 造成・改良効果確認・機械解体搬出の流れで行われる。Fig. 4 に施工フロー図を示す。従来の振動式 SCP 工法と同様の施工フローとなるが、組立解体時に行うリーダーの立ち上げおよび倒し作業を、本体に装備された油圧シリンダーにより行うことができるため、クレーンの使用回数を減らすことができる。また、ケーシングセット時には必要に応じてリーダーの傾きを修正する自動修正機能を装備しており、鉛直で品質の良い杭を造成することが可能である。

2.3 造成手順

本工法の打設は、打設機械の移動・打設機本体の据付・ケーシングパイプの貫入・引き抜き打ち戻しによる杭造成・打設機械の移動という一連の工程を繰り返して、所要の締めめ杭を造成する。造杭手順は次の通りであり、Fig. 5 に打設工程図を示す。なお、4)～6)については Fig. 2 を参照されたい。

- (1) ケーシングパイプを打設位置の杭芯にセットする。なお打設位置の地盤高については、打設日毎に測定し、その結果を使用する。(Fig. 5 ①)
- (2) リーダーの傾斜を確認し、必要ならば修正する。
- (3) 貫入に伴うケーシングパイプへの地盤土侵入を防ぐためのポイント砂を投入する。次にケーシングパイプおよび掘削・拡張ヘッドを油圧ロータリードライブにより回転させ、地盤に貫入させる。(Fig. 5 ②)

Fig. 5. Installation cycle diagram.

(4) この時、ヘッド先端ではケーシングパイプの回転と共に削孔ビットが回転し、ビットによりかく乱されたヘッド先端部の地盤土を上部に押し上げる。

(5) 削孔ビットにより押し上げられた掘削土は拡張ヘッドと孔壁との間にできる空隙(自由空間)に移動する。

(6) 自由空間に移動した掘削土は、拡張ヘッドの回転に伴い側壁に押しつけられ締固められる。

(7) 掘削貫入終了時に、ケーシングパイプ内部にパイル材を充填する。

(8) ケーシングパイプを逆回転させながら任意の長さを引き抜き、砂を排出する。(Fig. 5 ③)

(9) ケーシングパイプを再度貫入する (Fig. 5 ④)。

(10) 上記 4)～9)の行程が繰り返され、パイル材が側方に押しつけられ締固められると共に、ヘッド直下のパイル材は再貫入時に押しつけられることで杭造成が行われる。(Fig. 5 ⑤～⑦)

以上、本工法は掘削ビットにより自由空間に押し上げられたパイル材を拡張ヘッドにより側方に押しつけ、拡張および締固めを行う造成理論である。

3 環境，品質

3・1 振動騒音レベル

本工法は動的エネルギーを用いず静的に締固め砂杭を造成する工法であり、振動騒音の低減を可能としている。Fig. 6に振動式 SCP 工法と比較した振動レベルを示す。本体から 10 m 離れた地点での振動レベルは、振動式 SCP 工法で 75dB であるのに対し、本工法では 45dB と非常に低く、現場においてもほとんど体感することはない。また騒音レベルを Fig. 7 に示す。同様に本体から 10m 離れた地点での騒音レベルは、振動式 SCP 工法で 83dB、それに対し本工法では 76dB と低減されていることが分かる。なお、両図に示す暗振動、暗騒音は参考値として「H13 鍋田道路改良工事」のものを示した。つまり、本工法は従来の振動式 SCP 工法に比べ振動騒音共に低減されており、環境に配慮された工法と言える。

3・2 杭芯・杭間強度

粘性土地盤における杭芯 N 値を Fig. 8 に、砂質土地盤における杭間 N 値を Fig. 9 に示し、両図には振動式 SCP 工法の N 値も併せて示す。なお、Fig. 8 は「H13 鍋田道路改良工事」、Fig. 9 は「美保 (12) 燃料施設新設

Fig. 6. Level of vibration.

Fig. 7. Level of noise.

Fig. 8. N value of the piles in cohesive soil.

Fig. 9. N value of sandy soil after construction.

土木その他工事」における調査データである。粘性土地盤の杭芯平均 N 値は振動式 SCP で 19 に対し本工法では 18。また、砂地盤の杭間平均 N 値は、原地盤の平均 N 値が 15 と高めであるため増加 N 値は少ないものの、振動式 SCP で 22 に対し本工法で 25、と共に同程度の強度増加が認められ、本工法が従来の振動式 SCP 工法と同等の改良効果を発揮することが確認された。すなわち本工法は支持力・せん断強度の増加と液状化対策の両者に適応できると考えられる。

本工法では、先述のように従来の SCP 工法とはケーシングパイプ先端の形状が異なり、横方向への押しつけ効果も期待できる。しかしながら、その側方への効果は定量化されておらず、今後模型実験を行い解明していく予定である。

3・3 使用杭材

一般的に砂を杭材として使用する場合は、透水性が高く、ケーシングパイプから容易に排出させるものとし、かつ締めやすく、十分な強度が得られる細粒分（75 μ m 未満）含有量が少ない粒度分布の良い材料を使用する。原則として、「軟弱地盤対策工法」に示された Fig. 10 に示す粒度範囲の砂とする。¹⁾また、本工法では実験的にはあるが再生砕石やガラス砂を使用した実績があり、その粒度分布を Fig. 10 に併せて示した。なお、再生砕石は砂と異なり上述した砂の粒度範囲から外れる。その際に造成された杭を Fig. 11 に示す。杭径は再生砕石、ガラス砂の両材料共に予定杭径 700mm を満足する結果が得られた。また、ガラス砂で造成した杭の杭芯 N 値およ

Fig. 10. Particle size distribution.

(crushed stone) (glass sand)
Fig. 11. Pile of crushed stone and glass sand.

Fig. 12. N value of a pile (glass sand).

び改良前の原地盤 N 値を Fig. 12 に示す。平均 N 値 5 のシルト質地盤に対し、造成したガラス砂の杭は杭芯 N 値が平均 16 であり、強固になることが確認された。なお、このガラス砂は資源の有効利用として、再使用、再利用のできない空き瓶などをリサイクル工場で粉碎して角を取り除き、自然の砂と同じような形状にしたものである。また、再生砕石を用いて造成した杭についても同様に強固な杭が造成される事が確認されている。この様に本工法では、一般的に用いられる SCP 用の砂やグラベルを始め、再生砕石、ガラス砂等のリサイクル材料も使用できる。

4 工事実績

平成 15 年 3 月現在における本工法の工事実績は、強度増加 2 件、液状化防止 6 件、試験工事 2 件の計 10 件であり、施工延長は約 88,000m である。

5 おわりに

本報告では、振動騒音を低減した締め固め砂杭工法である KSEGG 工法の紹介を行った。本工法は、油圧のロータリードライブ、ウインチおよびケーシングパイプ先端に装備した拡径ヘッドを使用することにより、低振動低騒音を実現し、かつ従来の振動式 SCP 工法と同等の改良効果を発揮することのできる新工法である。本工法の特徴により市街地など隣接構造物が存在する区域においても施工を可能とし、また、再生砕石やガラス砂等のリサイクル材料も使用可能となっている。環境問題の叫ばれる中、本工法は環境に配慮した地盤改良工法であると考えられる。今後は工事実績および技術調査を重ね、施工性、経済性の検証を行っていく予定である。

参考文献

- 1) “軟弱地盤対策工法—調査・設計から施工まで—”, p.119, p.121 (1993) (社) 土質工学会。
- 2) “地盤改良効果の予測と実際”, p.147 (2000) (社) 地盤工学会。