

碎石地盤改良エコジオ工法

三重大学 酒井 俊典
 (株)尾鍋組 尾鍋 哲也・大石 新之介

1. はじめに

液状化対策のための工法として、サンドコンパクションパイル工法、深層混合処理工法、ディープウエル工法、グラベルドレーン工法など種々の工法が提案され、液状化対策に対する適用性が示されている⁽¹⁾。これらのうちサンドコンパクションパイル工法は、緩い砂地盤内に砂等の材料を圧入して周辺地盤を締固める工法で、地盤の締固め効果により均質に間隙比を減少させ、せん断抵抗等を増大させることで液状化抵抗を増大させる効果を有する工法である。また、グラベルドレーン工法は、地盤内に高い透水性の碎石等を柱状あるいは壁状に打設することで、地震時の過剰間隙水圧上昇速度を低下させるとともに、その消散速度を高める効果を有する工法である。サンドコンパクションパイル工法やグラベルドレーン工法の施工にあたっては、掘削した孔壁の崩壊を防止するためケーシングパイプ（中空管）が使用される。これらの地盤改良にあたっては、ケーシングパイプ内に砂あるいは碎石を投入することで行われるが、投入する材料をケーシングパイプ上端まで昇降させる必要があるため、使用する改良機が大型となり、広い施工面積が必要な大規模な工事を対象としている。また、サンドコンパクションパイル工法においては、締固め時の振動による周辺への配慮も必要である。

これに対し、狭小な場所での施工が可能な小型の地盤改良機を使用し、所定の断面を有する連続した碎石改良体を地盤内に構築できるよう、ケーシングパイプを用いて施工を行う小型碎石地盤改良機（エコジオ工法）の開発を行った⁽²⁾⁽³⁾。エコジオ工法は、小型ではあるものの、サンドコンパクションパイル工法やグラベルドレーン工法と同様、ケーシングパイプを用いて地盤掘削を行う工法であるため、均質な碎石改良体を地盤内に構築することが可能である。また、碎石を使用するため地盤の支持力増加とあわせ、グラベルドレーン工法と同様な透水性改良効果も期待できると考えられる。地盤改良機の小型化にあたっては、ケーシングパイプの一部をゴム扉とし、このゴム扉により碎石を定位から自由にケーシングパイプ内に連続投入できる機構を採用している。

2. エコジオ工法の概要

写真1にエコジオ工法の装置外観を示す。本工法は、狭小地での施工を考え8tf級の地盤改良機に装着して使用し、掘削深度は最大5mとなっている。本装置は、写真2に示す内部が空洞のオーガー機能を有するケーシングパイプを用い、これを右回転させて所定の位置まで地盤を掘削しながら地盤内にケーシングパイプを挿入する。このケーシングパイプの一部は、写真

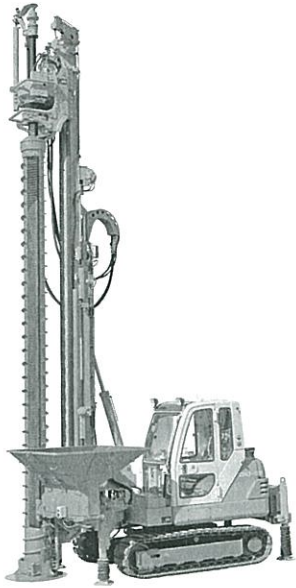


写真1 エコジオ工法の装置外観

3に示すようにゴム扉となっており、このゴム扉を介して所定の位置にあるホッパーからケーシングパイプ内に碎石を連続投入することが可能である。掘削後の地盤内の碎石改良体の構築は、ケーシングパイプを上昇させながら先端のスクリーを回転させて掘削孔に碎石を排出させるとともに、層厚10cm毎に先端ヘッドを左回転させて所定のトルク以上を与えることで碎石の締固めを行い、これにより所定の断面を有する連続した碎石改良体の構築が可能となっている。構築した碎石改良体は写真4に示すように、土砂の混入がない碎石のみの連続した碎石改良体となっている。なお、本装置のケーシングパイプの外径は32cmで、このケーシングパイプ外周には幅4cmの外部スクリーが取り付けられており、構築される碎石改良体の直径は42cmである。

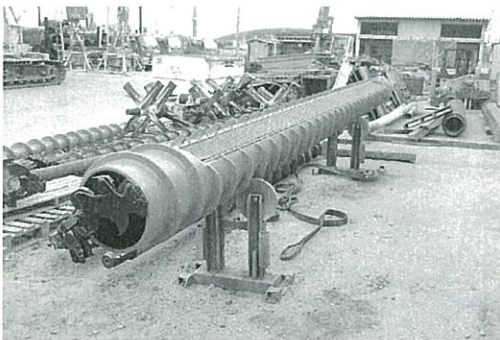


写真2 オーガー機能を有するケーシングパイプ

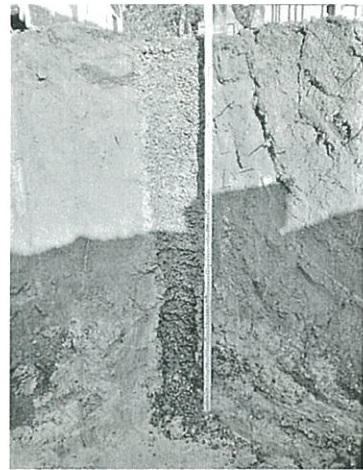
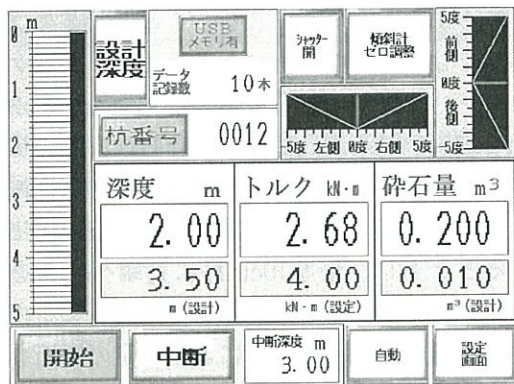


写真4 地盤内の碎石改良体の構築状況



写真3 ケーシングパイプの碎石投入用ゴム扉

構築された碎石改良体は、碎石改良体の締固め密度等の不均質性がその特性に大きく影響を及ぼすため、本工法では締固め深度、碎石投入量、締固めトルクなどの管理項目を、施工機に搭載した管理装置によりモニタリングならびに常時記録を行いながら施工できるようになっている。第1図に施工機に搭載した管理装置の出力画面を示す。本管理装置にはアラーム装置を



第1図 管理装置の出力画面

搭載し、締固め層厚や締固めトルクなどの品質管理項目の達成をオペレータにアラームで知らせ、属人性を排した一定性能の砕石改良体の構築が可能となっている。また、品質管理項目の達成を管理装置が判断し、自動的に施工を行う機能も有している。

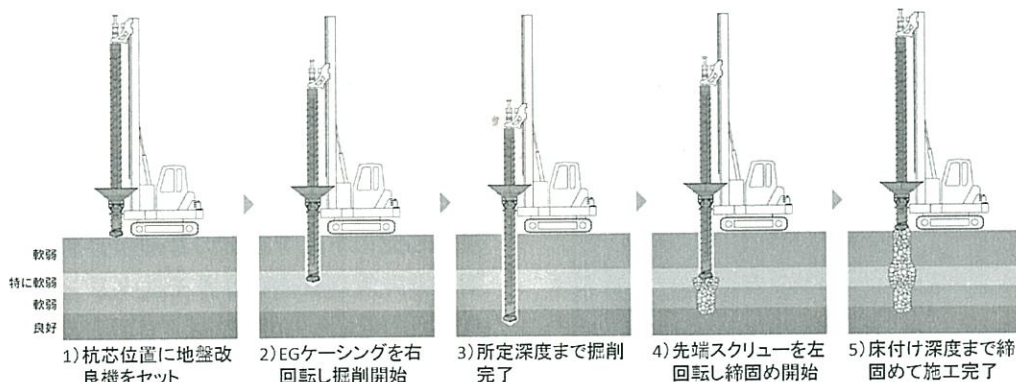
エコジオ工法による砕石改良体の施工手順を第2図に示す。まず、本工法で施工を行う前に、ホッパーからケーシングパイプへ投入する砕石量のキャリブレーションを行う。キャリブレーションにあたっては、容量が既知のモールド内にホッパーから砕石を投入し、モールドの砕石量と管理装置の示す投入量が等しくなるように補正を行う。エコジオ工法の施工は、

- 1) 掘削時の地表面の緩みを防ぐため砕石改良体施工位置に支持板を杭芯位置にあわせて設置し、地盤改良機をこの位置にセット

- 2) ゴム扉を有するケーシングパイプ (EGケーシング) を右回転させて掘削を開始。
- 3) 所定の深度まで掘削する。EGケーシングのゴム扉を開け、砕石投入のためホッパーからのシュートをセットして、ケーシングパイプ内に砕石を投入する。
- 4) ケーシングパイプ内に投入された砕石を、先端スクリューにより左回転で排出させながら、層厚10cm毎に3kN・m以上の締固めトルクとなるまで締固めを行う。
- 5) 床付け深度まで、所定の層圧および締固めトルクで施工を行い、均質で連続的な砕石改良体を構築する。



写真5 非排土タイプのエコジオ工法



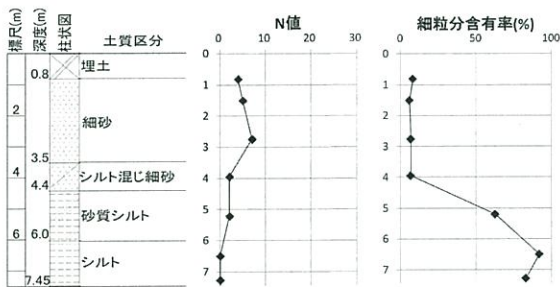
第2図 エコジオ工法の施工手順

なお、本工法には写真5に示す外部スクリーが無く、掘削時に地盤内の土砂がほとんど排出されずに施工が行える非排土タイプのケーシングパイプも存在する。

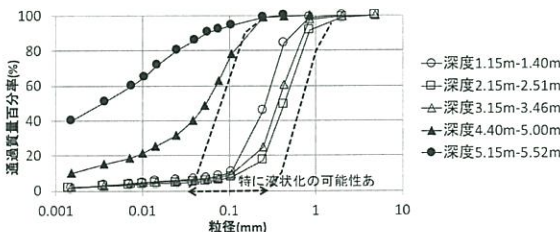
3. 液状化地盤での透水性改良効果の検証結果⁽⁴⁾

東日本大震災で実際に液状化被害が確認された千葉県内の地盤を対象に砕石改良体の透水性改良効果の検証を行った。第3図に現地のボーリング柱状図、N値、細粒分含有率を示す。現地は近隣の河川から浚渫された砂を利用して沼の埋立てが行われた場所で、ボーリング結果より、地盤は地表面から0.8mまでは埋土、4.4mまでは細砂およびシルト混じり細砂、それ以深は砂質シルト、シルトとなっている。第4図は各深度における粒度試験結果を示したものである。GL-4.4mより上位では、均等係数が小さく粒度試験結果より「特に液状化の可能性あり」の範囲に入る地盤となっているため、本地点でのエコジオ工法による砕石地盤改良体の施工深度はこの層を対象に4mとした。砕石改良

体の配置にあたっては、液状化対策工設計・施工マニュアル⁽⁵⁾に基づき算定し、1.18m間隔を採用した。また、グラベルドレーン工法においては、砕石が目詰まりせず所定の透水係数を保持できるよう $D_{G15}/D_{S85} < 9$ (D_{G15} : 砕石15%粒径、 D_{S85} : 周辺地盤の85%粒径)を満足する砕石の採用が求められている⁽⁵⁾。このため、従来のエコジオ工法で使用する粒径30~20mm(砕石30-20)に加え、粒径20~5mm(砕石20-05)での施工も行った。写真6に施工状況を、第5図に砕石改良体の施工位置を示す。配置は砕石30-20、砕石20-05とも1.18mの正方形配置で、施工本数はそれぞれ16本ずつとなっている。砕石改良体施工による改良効果の検証は、図中に示す原地盤および砕石改良体間にそれぞれ3ヶ所のボーリング孔を施工し、各孔に内径5.1cm



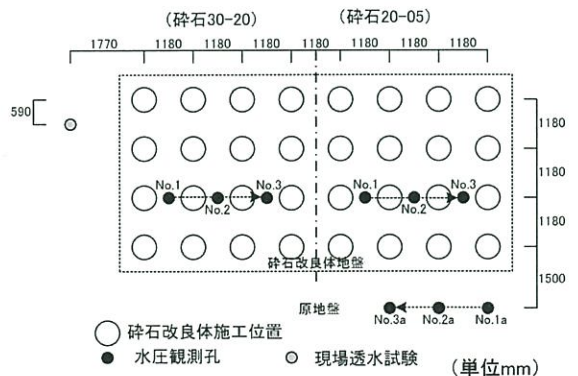
第3図 調査地点のボーリング柱状図、N値、細粒分含有率



第4図 調査地点の各深度の粒径可積曲線結果



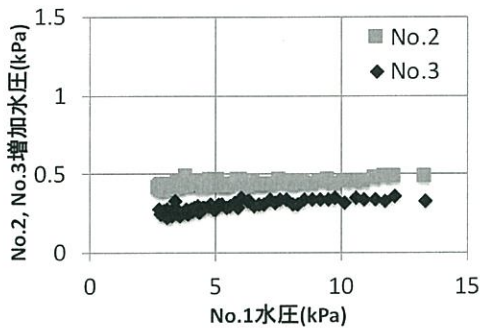
写真6 試験施工状況



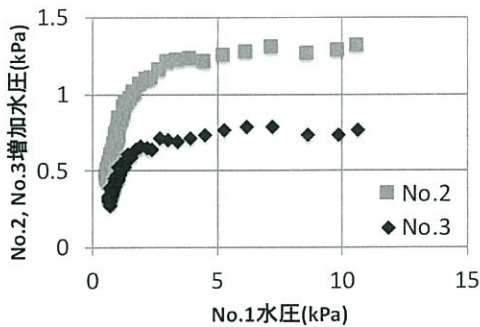
第5図 砕石改良体の施工位置

でGL-2.0~-2.2mの位置がストレーナーとなっている塩化ビニール製パイプを設置し、No.1孔に注水し水位を上昇させた時の各観測孔の水圧変化により求めた。第6図(a)~(c)は、原地盤および砕石30-20、砕石20-05におけるNo.1孔注水後のNo.2孔、No.3孔の水圧変化を示したものである。原地盤では、No.1孔に注水を行ってもNo.2孔、No.3孔の水圧変化は明瞭に認められないのに対し、砕石30-20および砕石20-05で施工

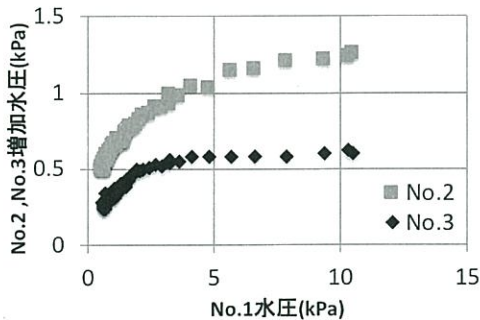
された砕石改良体地盤では、No.1孔への注水後No.2孔、No.3孔の水圧上昇が認められる。第7図は、原地盤および砕石30-20、砕石20-05においてNo.1孔に注水後の水圧変化を示したものである。注水後に平衡状態に達するまでの時間は、原地盤で100秒以上要するのに対し、砕石改良体地盤では20秒程度と短くなる。また、この水圧低下の結果を基に透水係数を推定した結果、原地盤では $9.9 \times 10^{-5} \text{m/s}$ であるのに対し、砕石改良体地盤では $3.7 \times 10^{-4} \text{m/s}$ となり、透水性改良効果が確認された。



(a) 原地盤

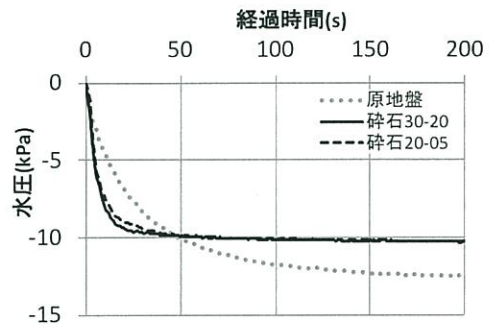


(b) 砕石30-20



(c) 砕石20-05

第6図 No.1孔注水後のNo.2、No.3孔の水圧変化



第7図 各地盤のNo.1観測孔の水圧変化

4. おわりに

砕石を用いて地盤改良を行うエコジオ工法は、8tf級の小型の地盤改良機に装着できるとともに、グラベルドレーン工法等の従来工法と同様ケーシングパイプを用いた施工により孔壁の崩壊を防ぎ、均質な砕石改良体を地盤内に構築できる特徴を有している。また、施工時には締固め深度、砕石投入量、締固めトルクなどの管理項目を、施工機に搭載した管理装置によりモニタリングならびに常時記録を行いながら施工できるとともに、アラーム機能を搭載し、締固め層厚や締固めトルクなどの品質管理項目の達成をオペレータに知らせることで、属人性を排した一定性能の砕石改良体の構築を可能としている。

従来工法と比べ小型であるものの、ケーシングパイプを用い均質な砕石改良体の構築が可能

なエコジオ工法は、グラベルドレーン工法に準じており、従来施工が難しかった狭小地においても、地盤補強、液状化対策あるいは地盤内の排水性向上などに利用できる可能性を有していると考ええる。

<参考文献>

- (1) 地盤工学会：液状化対策工法（2004）
- (2) 酒井俊典・尾鍋哲也：“新型碎石地盤改良機・エコジオの開発”、三重大学社会連携研究センター研究報告、第17号、pp.147-151（2009）
- (3) 大石新之介・濱口幸三・尾鍋哲也・酒井俊典：“エコジオ工法の施工事例と管理項目”、基礎工、45(4)、pp.67-71（2017）
- (4) 酒井俊典・尾鍋哲也・神村真・川又良一：“液状化地盤

を対象とした小型碎石地盤改良機による支持力および透水性係数改良効果の検討”、地盤工学会誌、62(6)、pp.18-21（2014）

- (5) 土木研究所他：液状化対策工設計・施工マニュアル（2009）

【筆者紹介】

酒井 俊典

三重大学 大学院 生物資源学研究科 教授

尾鍋 哲也

(株)尾鍋組 代表取締役

大石 新之介

(株)尾鍋組