特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

建設発生土を有効利用した静的締固め砂杭工法の現場適用事例

火力発電所におけるリソイル Pro 工法の適用事例

永　石　雅　大・冨　田　晃　弘・朝　妻　　涼

カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが加速する中，静的締固め砂杭工法においても環境負荷低減を目的として，建設発生土の利用を進めてきた。しかし，従来技術では，改質によるコスト増大や施工能率低下が課題であった。本稿では，これらの課題を解決するため，建設発生土を改質せず施工可能な新たな材料供給システムの開発について述べる。新システムは材料の通過性を向上させ，細粒分含有率および含水比が 30%程度までの砂質土が適用可能になる。適用事例では，従来の施工設備では施工能率低下が懸念される建設発生土を用いても従来と同等の施工能率と改良品質を確認した。

キーワード：液状化対策，密度増大工法，低振動・低騒音，建設発生土

1. はじめに

液状化対策工法として多くの実績を有する静的締固め砂杭工法は，地盤中によく締まった砂杭を造成することで，周辺地盤の密度を増加させる工法である。その中詰め材料には，一般的に良質な砂や砕石を使用するため，中詰め材料を採取地で掘削し，施工箇所まで運搬する。さらに，施工で発生した盛り上り土[1]も建設発生土として運搬処分されており，これらの過程で CO_2 排出などの環境負荷が生じていた。そこで，静的締固め砂杭工法の新たな材料供給システムを開発[2]した（**図―1**）。

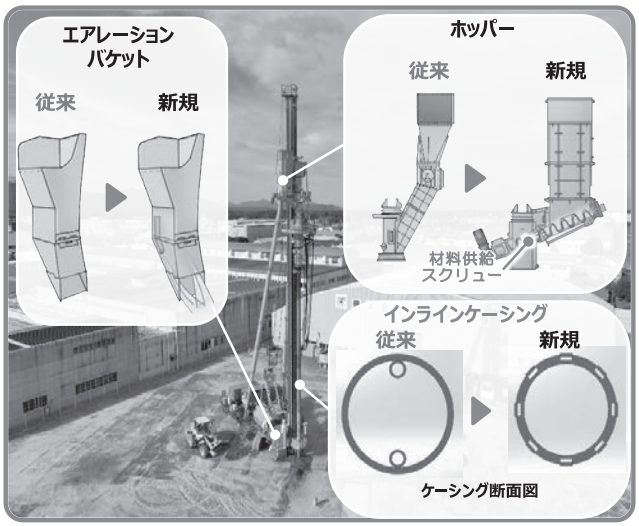
本技術により，建設発生土を有効活用することで，搬入・搬出する工事車両の台数を削減し，自然砂の採取量も減少することで環境負荷低減効果が期待できる（**図―2**）。

本報は，新たな材料供給システムの特徴と，現場での適用事例について報告する。なお，本報における建設発生土とは，現場内で発生した静的締固め砂杭工法の施工に伴う盛り上り土や，掘削土を主な対象としている。

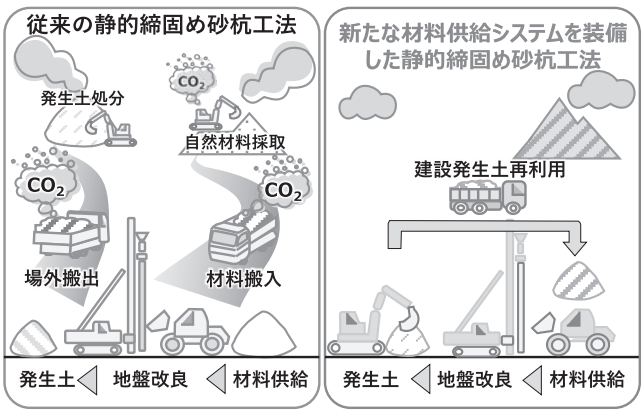
2. 技術概要

(1) 開発の背景

静的締固め砂杭工法の施工工程では，中詰め材料を施工機械の昇降バケットに投入し，ホッパー，ケーシングパイプを通過して地盤内へと運搬する。このとき，中詰め材料の含水比や細粒分含有率が高くなるほど通過性が悪くなり，施工性の低下等に繋がる。建設



図―1　新たな材料供給システム



図―2　環境負荷低減効果の概念図

発生土は，一般的にSCP工法で利用する中詰め材料と比べ，含水比や細粒分含有率が高い場合が多く，中詰め材料として直接利用することが困難であった。静的締固め砂杭工法において，含水比および細粒分含有率が30％程度までの建設発生土を石灰で改質して使用した事例[3]はあるが，通常の静的締固め砂杭工法に比べ，改質によるコストの増加や，施工能率の低下といった課題があった。これらの課題を解決するため，「新たな材料供給システム」を開発した。

(2) 新たな材料供給システム

新たな材料供給システムによって材料の通過性が向上し，建設発生土を改質せず施工可能な材料の範囲が拡大した。中詰め材料としての適用目安を**図**―3に示す。従来工法では，細粒分含有率および含水比が15％程度であったものが，30％以下の材料まで改質せず適用が可能となった。

(a) エアレーションバケット

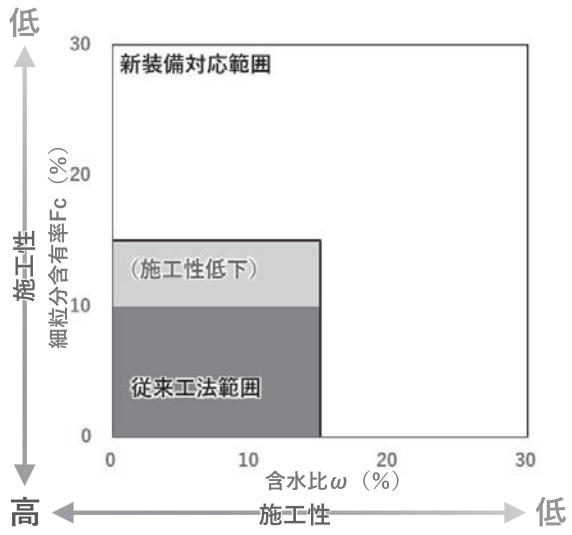
エアレーションバケットは，バケットの底面部を二重構造とし，その隙間からエアーを噴射する。エアーの噴射により材料の落下を補助し，スムーズな材料投入を可能にした。また，二重構造で段差を設けることによって土塊が壊れやすい構造にした。さらに，バケットのフレームをエアータンクとして活用することでエアー量を確保した（**図**―4）。

(b) スクリューホッパー

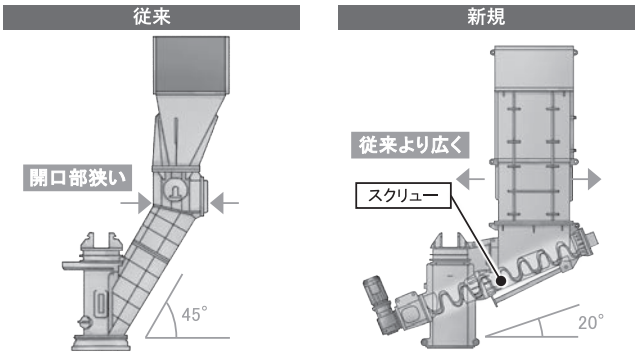
スクリューホッパーは，シュート部分の傾斜を45度から20度程度に緩やかにすることで，開口部を大きく確保し，閉塞するリスクを最小限に抑えた。また，シュート部分ではスクリューを使用しているため，材料を強制的にケーシング内に送り込むことができる（**図**―5）。

(c) インラインケーシング

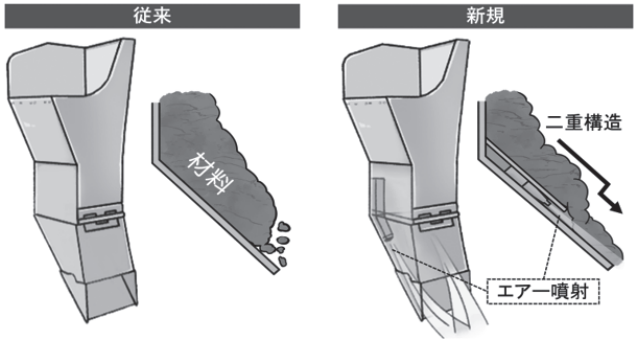
従来のケーシングパイプ（以下，ケーシング）では，管内に貫入補助や材料抜け補助のためにエアー配管が2箇所設置されており，細粒分含有率の高い材料が通過する際に，エアー配管周りに材料が付着し，施工性が低下する恐れがあった。新たなケーシングは，エアー配管を管の厚みの中に設置することで，ケーシング内の段差をなくし，材料の通過しやすい形状とした。また，エアー配管数を8箇所に増設し，施工時の補助エアーをコントロールすることで施工性が向上した（**図**―6）。



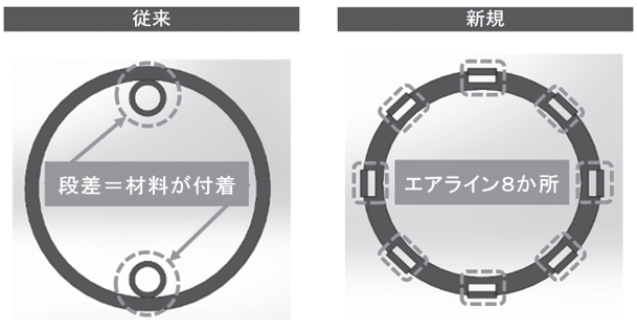
図―3　材料の適用目安（細粒分含有率と含水比）



図―5　ホッパー設備模式図



図―4　バケット設備模式図



図―6　ケーシング設備断面模式図

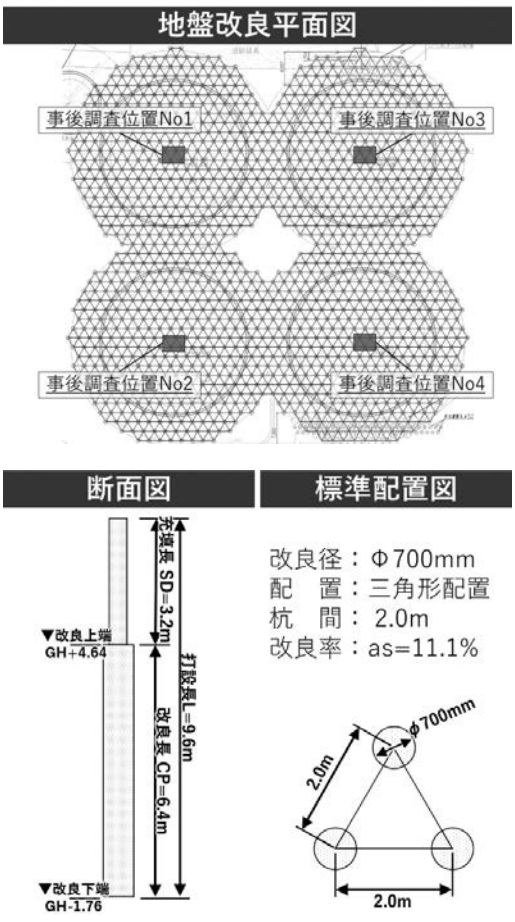
3. 工事概要

本工事は，火力発電所の給水処理設備の更新に伴う，給水タンク基礎の液状化対策および支持力対策を目的とした地盤改良工事である。地盤改良工事概要を**表―1**，地盤改良の平面および標準配置図を**図―7**に示す。

当該地では，現地の建築工事や，地盤改良のための作業ヤード造成に伴い，多量の建設発生土が発生することが予想された。そこで，これらの建設発生土を利用可能な新たな材料供給システムを装備した静的締固め砂杭工法の適用に至った。

表―1　地盤改良工事概要

施工者	鹿島建設㈱
地盤改良	㈱不動テトラ
対策目的	給水タンク基礎地盤の液状化対策 および支持力対策 （改良目標 N 値：15 以上）
地盤改良 仕様	充填長：ϕ400 mm，3.2 m 改良長：ϕ700 mm，6.4 m 数　量：n = 1,291 本 配　置：△×2.0 m（改良率 as = 11.1％）



図―7　締固め砂杭工法の地盤改良標準配置図

4. 地盤改良の施工状況

(1) 現地土の物性値

本工事で使用した建設発生土の分類を**図―8**に示す。締固め砂杭工法はϕ400 mm のケーシングから中詰め材料を排出する構造上，粒径の大きな材料は使用に適さない。これまでの施工実績から，適用可能な最大粒径はおおよそ 40 mm 程度とされている。建設発生土のうち，現場掘削土と仮置き土については，事前にスケルトンバケットを装備したバックホウにて植物の根や解体ガラ等の分級作業を実施した。分級作業状況と分級ガラを**写真―1**に示す。

分級後の中詰め材料の土質試験結果を**表―2**，**図―9**に示し，施工目安となる現地土の含水比と細粒分含有率



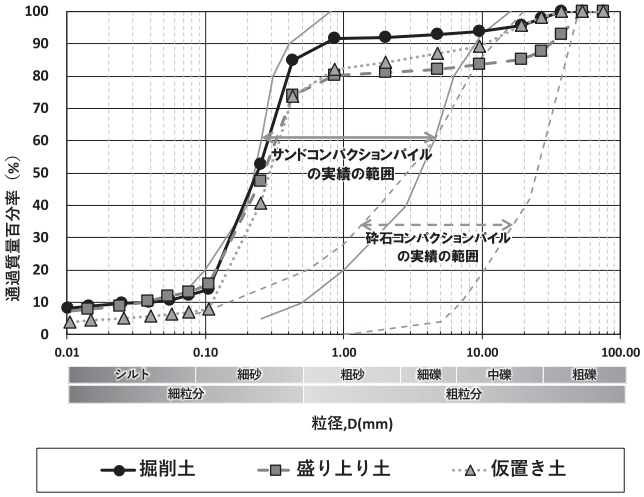
図―8　建設発生土の種類と利用手順



写真―1　建設発生土の分級状況

表―2　分級後現地土の物性値

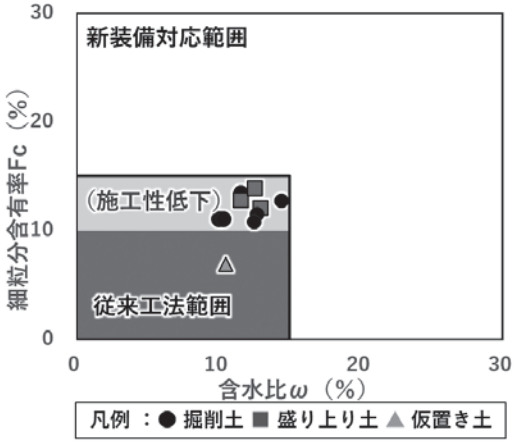
項目	掘削土	盛り上り土	仮置き土
土粒子密度 ρ_s（g/cm³）	2.643	2.650	2.677
含水比 w（％）	11.1	12.2	10.5
細粒分含有率 Fc（％）	13.7	13.4	6.9
ρ_{dmax}（g/cm³）	1.683	1.742	1.681
w_{opt}（％）	14.4	13.6	16.4



図―９　分級後建設発生土の粒径加積曲線



写真―２　地盤改良施工状況



図―１０　材料の施工目安（細粒分含有率と含水比）



写真―３　出来形径確認状況

の関係を**図―10**に示す。仮置き土以外の現地土については，細粒分含有がやや高く従来の静的締固め砂杭工法の設備では施工能率の低下が懸念される物性であった。

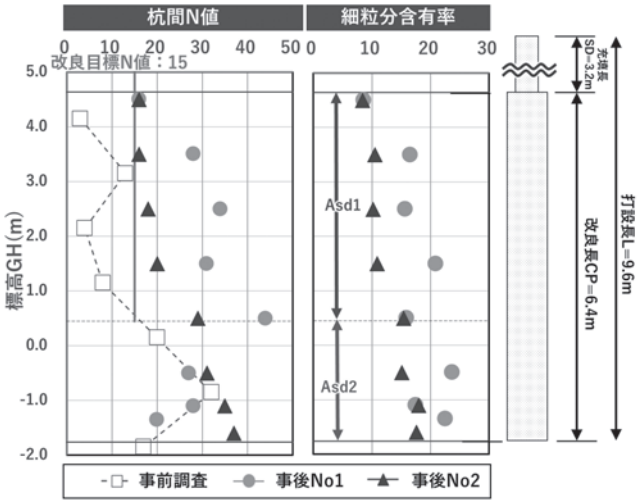
(2) 施工設備と施工性

本工事では，地盤改良施工機２台で工事を実施した。現場の施工状況を**写真―２**に示す。

１台目は，ケーシング設備のみを変更し，２台目は，すべての設備を新たな材料供給システムに変更した。施工の結果，いずれの施工機も従来の静的締固め砂杭工法の設備では施工能率の低下が懸念される材料を使用しても，計画通りの施工能率で工事を実施することができた。

(3) 改良品質の事後調査結果

締固め砂杭工法の改良品質の確認項目として，砂杭の杭芯地盤では，改良後地盤を掘削し，砂杭の改良径が所定の目標値φ700 mm 以上を満足しているかを確認する。改良後の出来形径測定結果では，改良目標φ700 mm 以上となることを確認できた（**写真―３**）。



図―１１　杭間地盤の事後調査結果

改良間地盤の改良効果は，改良事後の標準貫入試験から得られる杭間Ｎ値が改良目標値（当該地の改良目標：Ｎ値 15）以上であることを確認する。

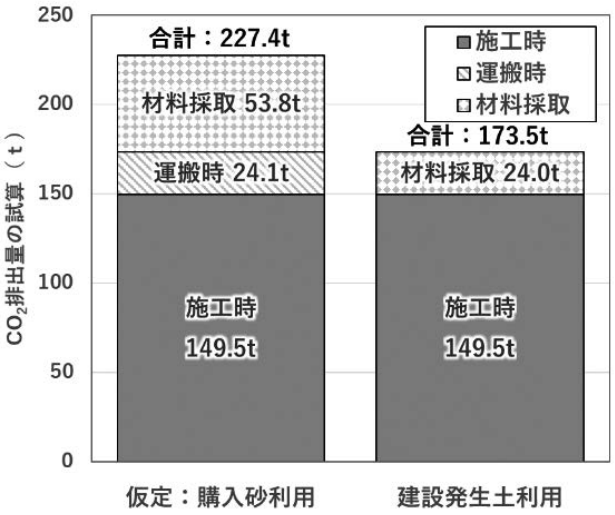
図―11に，改良前地盤のＮ値と実施済である２本

の改良後の杭間地盤 N 値を示す。いずれの杭間地盤も改良目標値 N 値 15 以上を満足した。

5. 環境負荷低減効果の試算

本工事における建設発生土の有効活用により，約 5,130 m^3 の購入砂搬入を削減（使用材料の約 99.8％）することができた。使用した建設発生土のうち，約 25％は，施工による盛り上り土であった。

本工事にて購入砂を使用したと仮定した場合，自然材採取時と運搬時，地盤改良施工時に発生する CO_2 の排出量を試算した結果，227.4 t となり，建設発生土を利用した場合の 173.5 t と比較し 23.7％の CO_2 低減効果があることを確認した。CO_2 排出量の内訳を**図―12** に示す。ここで建設発生土を利用する場合は，スケルトンバックホウによる分級作業で発生する CO_2 排出量を材料採取と分類している。



図―12 CO_2 排出量の試算結果内訳

6. おわりに

本稿では，建設発生土を締固め砂杭工法の材料として直接利用可能にした新たな材料供給システムの紹介とその適用事例について述べた。本技術により，砂材料の採掘による環境破壊防止および砂材料搬入時や建設発生土の処分に伴う運搬時の CO_2 排出量を削減することで，環境負荷の低減に貢献することが可能となる。今後は，本技術のさらなる適用範囲の拡大を目指し，より多様な条件の建設発生土への適用性についても検証を重ねていく。今後も，防災・減災および環境負荷低減技術の推進および開発に取り組んでいく所存である。

本報は，鹿島建設㈱の多大なるご支援とご協力のもと，現場適用事例を報告することができました。ここに心より感謝申し上げます。

JCMA

《参考文献》

1）打戻し施工によるサンドコンパクションパイル工法設計・施工マニュアル，（公社）地盤工学会，pp96-101，2009.
2）矢部浩史・伊藤竹史・竹内秀克・高田英典・永石雄大・冨田晃弘：建設発生土を利用した砂杭工法の開発（その 1：施工検証），第 59 回地盤工学研究発表講演集（web），24-13-2-06，2024.
3）尾形 太・橋本則之・伊藤竹史・竹内秀克・矢部浩史：リサイクル材料を用いた締固め砂杭（サンドコンパクションパイル）工法への取組み，第 14 回地盤改良シンポジウム論文集 , pp143-148, 2020.

［筆者紹介］



永石 雅大（ながいし まさひろ）
㈱不動テトラ
地盤事業本部 機械技術部
機械技術企画課
課長



冨田 晃弘（とみた あきひろ）
㈱不動テトラ
地盤事業本部 機械技術部
機械技術企画課



朝妻 涼（あさつま りょう）
㈱不動テトラ
地盤事業本部 技術部
技術企画課