

# 深礎杭無人化施工システムの開発

原 隆史\* / 沢田 和秀\*\* / 八嶋 厚\*\*\* / 川井田 実\*\*\*\* / 藤野 友裕\*\*\*\*\*  
 谷本 泰雄\*\*\*\*\* / 辻 八郎\*\*\*\*\* / 岩田 悟\*\*\*\*\* / 石田 剛\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

これまで小口径深礎杭は、主に山岳部へ橋梁を建設する際の橋脚・橋台基礎として多く用いられてきた。しかしながら、孔内の作業環境が狭小であり、掘削と人力によるライナープレート設置の効率性、土砂搬出の際の安全性、鉄筋組立の効率性、およびライナープレートを埋殺しとする経済性などの観点で課題も多い。また、近年の建設作業員の高齢化に伴い、深礎杭施工に関わる若年技術者の減少も潜在的な課題として保有している。これに対し、表-1の特徴を有する図-1に示す孔内作業完全無人化を目指した深礎杭システムの開発が進められており、先の課題を克服して効率的で経済的な小口径深礎杭施工の実現へ向け期待されている。

そこで、表-1に示す特徴のうち、既に実用化レベルにある無人化掘削機、バキューム土砂搬出システム、および孔外でのライナープレート組立解体を可能とするライナープレートの圧入・引抜きシステムについて、実際の深礎杭に試験的に適用し、その実用性について検証した。また、対象システムは、オールケーシング杭と同様にコンクリート打設に伴いライナープレートを引抜くため、コンクリートの地山空隙への充填が可能となる観点から、周面摩擦の設計上への反映も期待し得るものであ

表-1 対象深礎杭システムの特徴

作業項目	特 徴	レベル
掘 削	孔外遠隔操作による無人化掘削	実用化
土砂搬出	バキューム装置による土砂搬出	実用化
土 留 め	分割型土留めの孔外での組立・解体	実用化
土留め圧入	孔外圧入装置による土留めの圧入設置	実用化
鉄筋組立	杭頭組立・孔外圧入装置による挿入	開発中
コンクリート打設	土留め先端パイプレーターによる孔内無人化コンクリート打設	開発中
土留め引抜き	孔外引抜き装置による土留めの引抜き	実用化

る。このため本開発では、周面摩擦の設計への適用性について、解析と現場での確認の両面から検討している。

本文では、深礎杭システムと試験施工の概要を示すとともに、今回対象とした各システムの実現場での適用性について、その検証結果と課題について報告する。

## 2 試験対象施工システムの概要

### 2.1 掘削機と土砂搬出システム

掘削は、図-2に示す旋回可能な円形フレームの掘削機を最下端の土留め材へ装着し、オペレーターが写真-1に示すモニターを見ながら行う。掘削機には、図-2に示すように、2本のアームと礫や岩塊をバキューム可能な大きさに破碎するクラッシャー機能付き排土受台、およびバキュームホースで構成される。2本のアームには、A：30kgのブレーカー付バケット(0.025m<sup>3</sup>)、B：ジャイアントブレーカー(195kg)、C：削孔機(2.3m<sup>3</sup>/min)、D：圧砕機(カッター部2,300kN)などのアタッチメントを現場の状況に応じて装着する。標準的な掘削

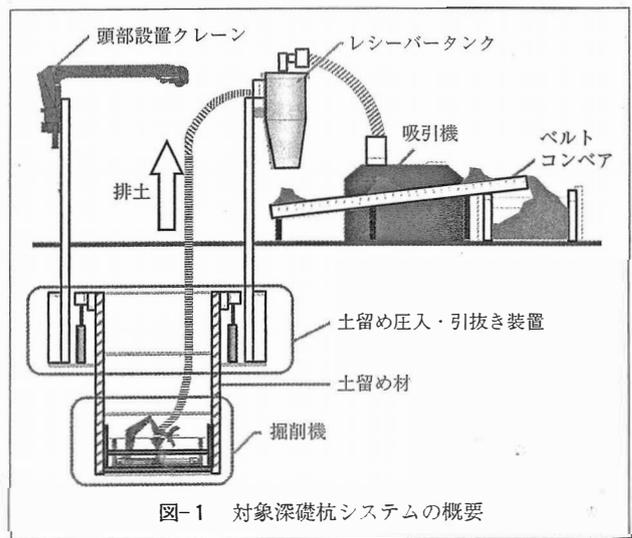


図-1 対象深礎杭システムの概要

\*HARA Takashi 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 特任教授  
 \*\*SAWADA Kazuhide 同 上 流域圏科学研究センター 准教授  
 \*\*\*YASHIMA Atsushi 同 上 理事 副学長  
 \*\*\*\*KAWAIDA Minoru 中日本高速道路(株) 環境・技術部 チームリーダー  
 \*\*\*\*\*FUJINO Tomohiro 同 上 名古屋支社 環境・技術管理部 サブリーダー  
 \*\*\*\*\*TANIMOTO Yasuo 同 上 名古屋支社 環境・技術管理部 技師  
 \*\*\*\*\*TSUJI Hachirō エイト工業(株) 代表取締役社長  
 \*\*\*\*\*IWATA Satoru 同 上 施工部 部長  
 \*\*\*\*\*ISHIDA Tsuyoshi 同 上 技術部 部長

岐阜市柳戸1-1  
 同 上  
 同 上  
 名古屋市中区錦2-18-19  
 同 上  
 同 上  
 岐阜市宇佐2-10-15  
 同 上  
 同 上

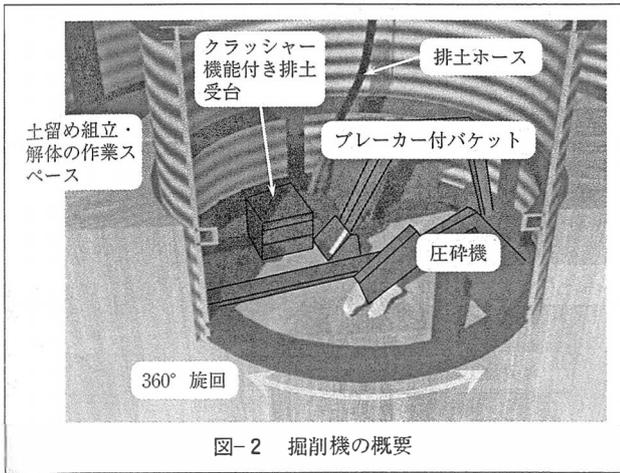


図-2 掘削機の概要

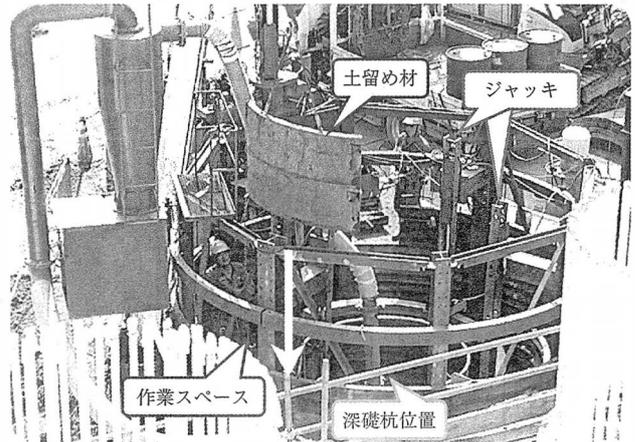


写真-2 土留め材の組立状況

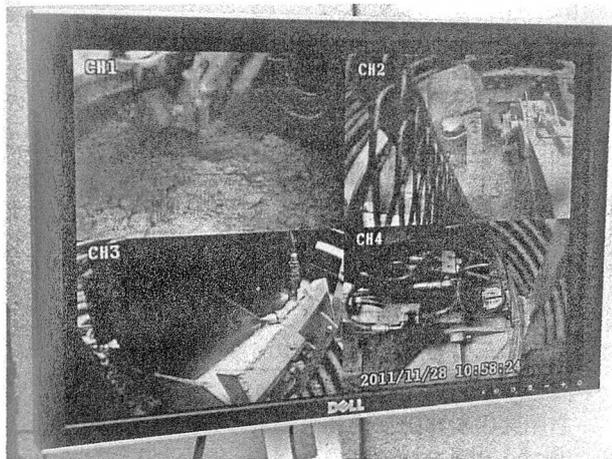


写真-1 掘削用モニター

ではAとBを装着し、一般土と300mm程度までの礫はバケツで直接クラッシャーへ投入し、大きな礫は一度ジャイアントブレイカーで小割りしてから投入する。参考として、図-2ではAとDを装着したイメージを示している。

土砂の搬出は、クラッシャーで破碎された礫と土砂を図-1で示したようにバキュームで吸引し、孔外に設置されたベルトコンベアに排出される。バキュームによる吸引は7m<sup>3</sup>/sの吸引機を用いて行われ、事前の吸引試験によれば、径100mm程度の礫を30mの高さまで吸引することが可能なことを確認している。

## 2.2 土留め材・組立/解体

本システムによる深礎杭では、土留め材の転用が可能となる専用の土留め材を別途開発中だが、試験施工では写真-2に示す既存のライナープレート上下2枚を1つとして(高さ1.0m)外側にプレートを接着し、土留めの外側から組立・解体が可能ないように加工して用いた。

土留め材の組立・解体は、図-1と写真-3に示すように、杭頭上部に設置したクレーンにより土留め材を運搬し、図-2と写真-2に示す土留め材外側の作業スペースで行う。

## 2.3 掘削と土留め圧入・コンクリート打設と土留め引抜き

掘削と土留め圧入は、最初の1段目の土留め(1.0m)

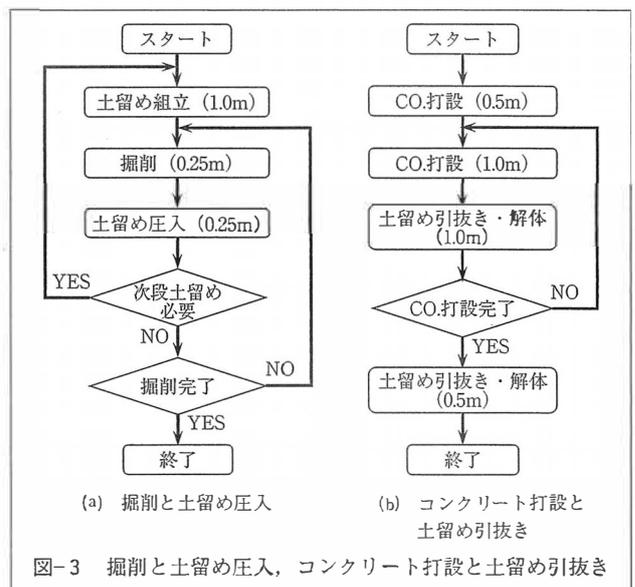


図-3 掘削と土留め圧入、コンクリート打設と土留め引抜き

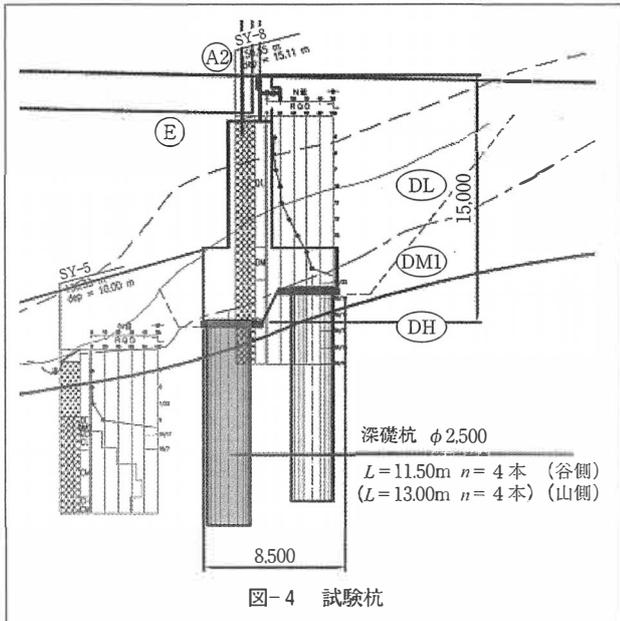
を地上から施工し、ここへ掘削機を取付けた時点スタートとすると、図-3(a)のフローに示すとおり、杭頭部の土留めの組立を先行させ、順次掘削に応じて写真-2に示すジャッキにより順次土留めを圧入する。ここで、1回当たりの掘削深さは周辺地山の安定度によって異なるが、0.25m程度の掘削と土留め圧入を標準と考えている。この際、土留め先端は掘削底面から0.1m浮かせた状態で次の掘削へ移行するため、最大0.35mの余掘りを行うこととなる。

コンクリート打設と土留めの引抜きは、打設開始時点スタートとすると、図-3(b)のフローに示すとおり、コンクリート打設を先行させ、土留めの先端を絶えず0.5m以上コンクリートへ貫入させた状態で、コンクリートの打設に応じて土留めを引抜く。なお、写真-2に示すジャッキの配置は圧入時のものであり、引抜き時はジャッキを逆方向に反転して用いる。

## 3. 試験施工での適用性検証

### 3.1 現場概要

試験施工は、第二東名高速道路設楽原パーキングエリア工事における矢畑川橋上り線A2橋台の1本の深礎杭



( $\phi$ 2.5m,  $l$ =11.5m)に対し実施した。図-4でグレーになっている谷側の杭が試験杭である。設計過程における橋台位置の変更から、ジャストポイントでの柱状図はないが、参考として周辺の柱状図を断面に重ねたものを図-4に示す。この結果によれば、山側から谷側へ向けて地層が傾斜していることは容易に想定できる。実際に掘削した状況によれば、杭頭から径300~1,000mm程度の転石を多く含むまき土が5m強強さき、その後一軸圧縮強度が100~150MPaの亀裂の少ない硬岩が続く地盤であった。

### 3.2 深礎杭システムの配置

深礎杭システムの配置を写真-3に示す。

掘削は、掘削機操作室よりオペレーターがモニターを見ながら行う。深礎の施工箇所は中央部に施工する深礎があり、その周囲には土留め材の組立・解体を行う幅1.0mのスペースを配置した。また、土留めの圧入・引抜き装置の配置とともに、装置の頭部に設置型のクレーンを配置し、土留め材の運搬と後述する転石処理に活用した。なお、輻輳する現場であったため、騒音を発する吸引機は防音装置を施したうえ、深礎施工箇所から20m以上離れた位置に設置している。

### 3.3 掘削機と土砂搬出システムの実用性

杭頭から5m強までの径300~1,000mm程度の転石を多く含むまき土の掘削について、作業員3名編成で実施した結果を図-5に示す。掘削開始当初は戸惑って掘削速度は伸びなかったが、慣れるにつれ0.75m/7hrの掘進速度を確認することができた。これに対し、標準歩掛(A工法：人力掘削・機械排土)によれば、7人編成(特殊運転手含む)で1.3m/日とされており、対象システムの0.75m/7hrの掘進速度は決して早いものではない。しかしながら、対象システムが3人編成で施工が可能なること、掘削は基本的にオペレーターが1人で行うため、状況に応じて4人編成で2本の杭を施工することも可能なこと、さらには土留めの組立を孔外で行うことで、途中で作業を止めずに連続した掘削が可能なることを考慮すれば、

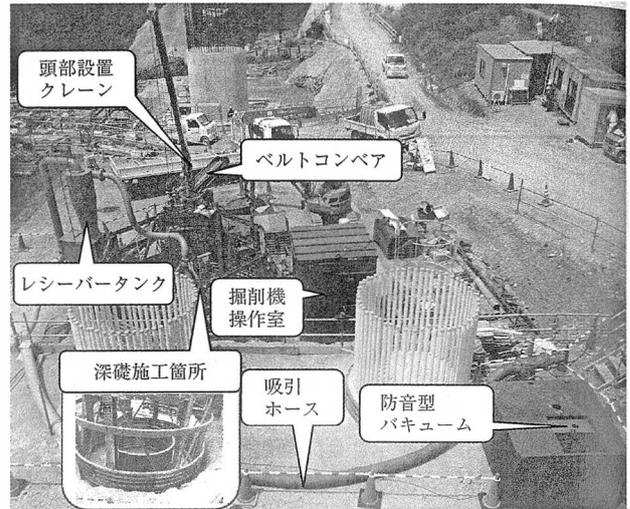


写真-3 深礎杭システムの配置

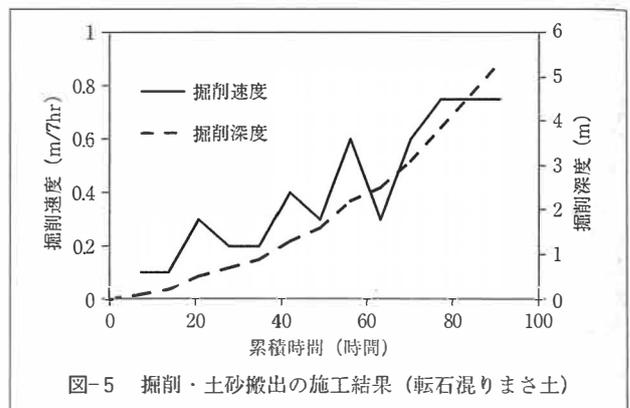
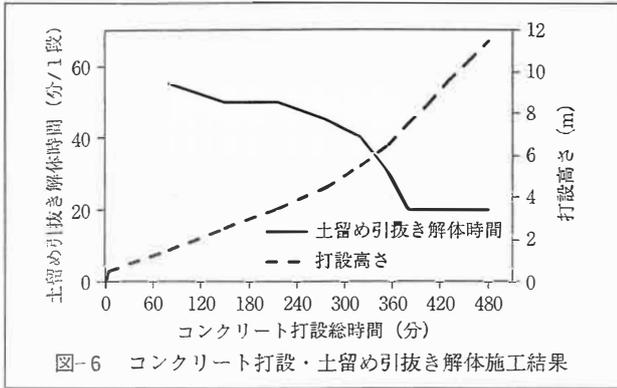


図-5 掘削・土砂搬出の施工結果(転石混りまき土)

0.75m/7hrの掘進速度は十分に実用的なものであると考えている。また、ここでの実績によれば、崖錐や岩でも亀裂が多ければ同様の速度での施工が可能と考えている。

なお、掘削機のサブアームに取り付けたジャイアントブレイカーによる転石の小割りにおいて、径300mm強程度までは問題なく破碎することができたが、周囲がやわらかいまき土であったため、転石が逃げてそれ以上に小割りするのが困難で時間を要した。この点については、頭部設置クレーンを用いた転石ホッパーにより排出することにより、掘削速度を落とすことなく処理することができた。転石ホッパーの活用も、孔内に人がいないからできることであり、今後対象システムに標準装備する予定である。

杭頭から5m強程度まで順調に掘削できた一方、それ以深から露出した一軸圧縮強度が100~150MPaの亀裂の少ない硬岩の掘削では、掘削機のみで最後まで掘削できたものの、施工途中における機械の改良の試行錯誤も含め、掘削速度が0.05~0.15m/7hrと多大な時間を要した。参考として、隣接する杭では発破を用いて従来工法により掘削していたが、それでも掘削速度は0.2~0.25m/7hrであり、それほど掘削が困難な岩であったといえる。今後、対象システムを用いてこのような岩へ深く挿入する場合には、硬岩専用の掘削機の開発や非火薬破砕剤を活用した併用掘削など、その対応策について検討



する必要があると考えている。

バキューム装置による土砂搬出については、終始スムーズに行うことができた。騒音防止の関係で吸引機を深礎施工箇所から20m以上離れた位置に設置したが、その影響もなく、現場への実用性を確認することができた。

### 3.4 土留めの孔外での組立・圧入装置の実用性

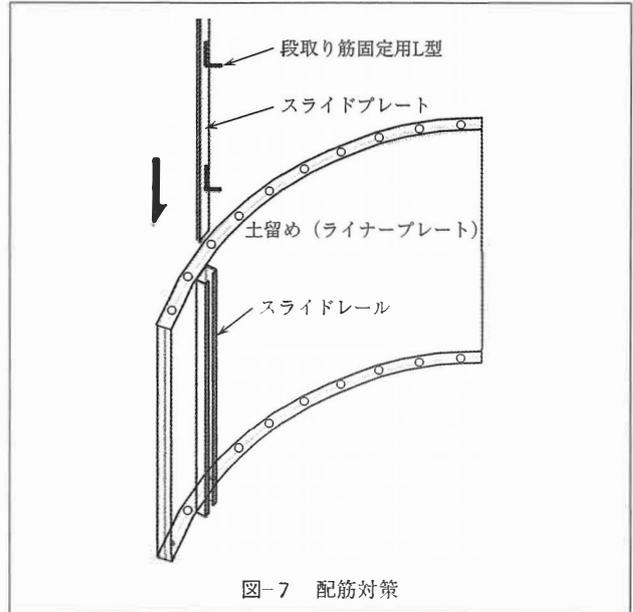
図-1と写真-3に示す頭部設置クレーンの活用により、土留めの組立をスムーズに行うことができ、土留め組立に1段(1.0m)当たり20分以下、圧入は0.25mが1分以下の施工速度を確認することができた。この速度は、土留めの組立を掘削作業を止めることなく実施できるもので、掘削の連続作業の実現という観点でその実用性を確認した。

### 3.5 土留めの引抜き装置、孔外での解体の実用性

コンクリート打設は従来工法により実施したので、打設そのものは試験施工の対象外だが、本システムではオールケーシング杭のように、コンクリートの打設に伴い土留めを引抜き孔外で解体を行うため、この際の作業性が試験施工の対象である。コンクリート打設とともに各段(1.0m/段)の土留めの引抜き・解体の施工結果を図-6に示す。この結果から分かるとおり、最初は慣れずに時間を要したが、慣れるにつれ1段当たり20分で引抜き・解体が可能で、コンクリート打設を含め25分/mの施工速度を確認することができ、本システムについても現場への実用性は高いと考えられた。なお、ジャッキのストロークが短く、引抜き時と解体後のジャッキの盛替えに5~7分程度の時間を要した。今後、この点を改良することにより、さらに迅速にコンクリート打設を行えるものと考えている。

### 3.6 その他

今回の試験施工では、配筋は従来工法で実施したため試験の対象外である。しかしながら、通常の配筋では段取り筋を最初に土留めに溶接するのに対し、本システムではコンクリート打設時に土留めを引き抜くため、このための配慮が必要とされた。この点については、図-7に示すように、土留めの内側にスライドラールを取り付け、この中に段取り筋を溶接するためのプレートを挿入し、これを用いて段取り筋を固定することとした。これ



により、コンクリート打設時に段取り筋を固定したプレートを残した土留めの引抜きが可能となる。ここでの対応は、計画当初プレートとスライドラールが競って鉄筋が共上がりすることが懸念されたが、問題なく実施できることを試験施工で確認した。

このことは、土留めの孔外組立・圧入と引抜き・孔外解体のシステムを単独でも通常の深礎杭に活用できることを確認することができた。

## 4. まとめ

今回の試験施工では、対象とする深礎杭無人化施工システムの掘削・土砂搬出システム、土留めの孔外組立・解体および圧入・引抜きシステムについて、実現場への実用性について検証を行った。この結果、いずれのシステムも現行深礎杭施工の課題改善に貢献するものであり、その実用性は高いものと考えられた。ただし、亀裂の少ない硬岩に深く根入れする場合には、機械の改良や破砕剤との併用について検討する必要があることも確認した。

また、紙面の都合上、今回は掲載できなかったが、土留めの引抜きによるコンクリートの地山空隙への充填が可能なることから、当該杭の周面摩擦力を設計に適用できることを解析と現場での表面波探査から確認している。

今後は、さらなる試験施工を通じて、合理的な小口径深礎杭の完全無人化施工を実現していきたい。

なお、現在開発中の孔内に作業員が入らない鉄筋組立・挿入やコンクリート打設のためのシステムも含め、本システムは孔内完全無人化施工を目指したものであるが、本システムを構成するそれぞれのシステムを個別に従来工法へ適用することも可能である。このため、現在小口径深礎杭が抱える安全性や経済性に係わる各課題について、実用化可能なものから適用した従来深礎杭の合理化についても検討していきたい。