

深礎杭孔内無人化配筋システム

岐阜大学 国際会員 ○沢田和秀 原 隆史
 中日本高速道路株式会社 正会員 藤野友裕 谷本泰雄
 エイト工業株式会社 辻 八郎

1. はじめに

山岳橋梁の建設に用いられる深礎杭の施工では、狭小な孔内における鉄筋組立作業の合理化と環境向上が課題となっている。深礎工法では、鋼製のライナープレート（土留め壁）で地山の崩落を防護しながら縦孔を掘削しなければならない。従来の施工では、所定の深さの掘り下げが完了するたびに孔内に作業員が入り、最下部に人力でライナープレートを組み立てる。硬岩地山については、取り扱いの難しいダイナマイトも使用しなければならない。この作業を繰り返すことで、安定基礎の深さまで掘削が進行するが、粉塵の充満する劣悪で危険な閉鎖空間内での作業となる。また、ライナープレートを組み立てる作業の間は掘削作業を中断しなければならないため、作業効率の低下を招く。そこで筆者らは、劣悪な環境での孔内作業をなくすために、孔内作業完全無人化を目指した深礎杭施工システムを開発し、建設現場で施工試験を実施した¹⁾。ここでは、孔内作業完全無人化システムを1つの技術として、ライナープレートの圧入と引拔を行うための当該システムの杭頭ジャッキを活用し、杭頭部孔外で鉄筋を組立て孔内に設置する新しい無人化配筋システムも開発している。本稿では、孔内無人化配筋システムの詳細と実施予定の試験施工の計画について述べる。

2. 孔内作業完全無人化を目指した深礎杭施工システム

2.1 深礎杭施工システム概要

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、人力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め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の実現へ向け期待されている。

表-1 対象深礎杭システムの特徴

作業項目	特徴
掘削	孔外遠隔操作による無人化掘削
土砂搬出	バキューム装置による土砂搬出
土留	分割型土留の孔外での組立て・解体
土留圧入	孔外圧入装置による土留の圧入設置
鉄筋組立	杭頭組立・孔外圧入装置による挿入
コンクリート打設	土留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
土留引抜き	孔外引抜き装置による土留の引抜き

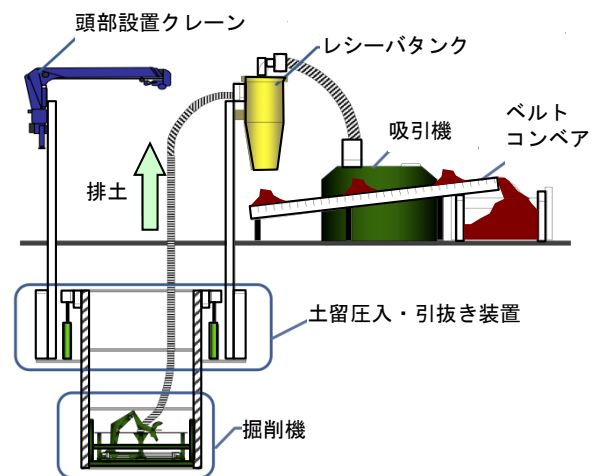


図-1 深礎杭掘削システム概要

Unmanned arrangement work of reinforced frame for deep pile foundation: K., Sawada, T., Hara(Gifu University), T., Fujino, Y., Tanimoto(Central Nippon Expressway Co., Ltd.) and H., Tsuji(Eight Kogyo Co., Ltd.)

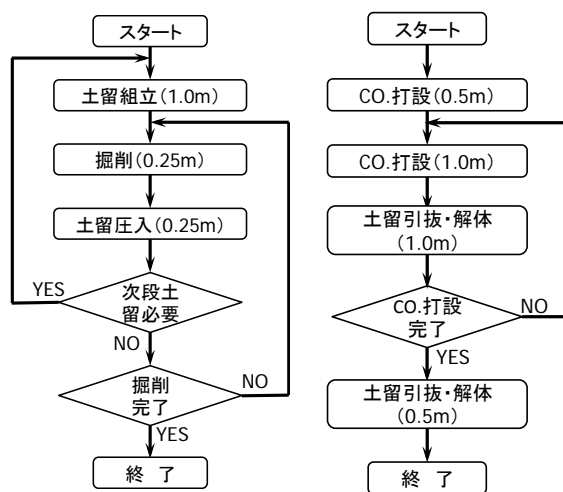
表-1 に示す特徴のうち、既に実用化レベルにある無人化掘削機、バキューム土砂搬出システム、および孔外でのライナープレート組立解体を可能とするライナープレートの圧入・引抜きシステムについて、実際の深礎杭に試験的に適用し、その実用性について検証した¹⁾。これらの工程は、図-1 にある、土留圧入・引抜き装置があって始めて成り立つものであり、本報告もそれを活用して、コンクリート打設のための配筋を効率よく行うものである。また、対象システムは、オールケーシング杭と同様にコンクリート打設に伴いライナープレートを引抜くため、コンクリートの地山空隙への充填が可能となる観点から、周面摩擦の設計上への反映も期待し得るものである。

2.2 ライナープレートの組立/解体

本システムによる深礎杭では、転用が可能となる専用のライナープレートを開発中だが、試験施工では図-2 に示すように、既存のライナープレート（土留材）上下2枚を一つとして（高さ 1.0m）外側に平面プレートを接着し、土留の外側から組立・解体が可能となるように加工して用いた。ライナープレートの組立・解体は、図-2 示すように、杭頭上部に設置したクレーンにより土留材を運搬し、土留材外側の作業スペースで行う。



図-2 ライナープレートの組立て



(a) 掘削と土留圧入 (b) コンクリート打設と土留引抜

図-3 土留圧入と引抜作業フロー

2.3 掘削と土留圧入・コンクリート打設と土留引抜

掘削と土留圧入は、最初の1段目の土留（1.0m）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、杭頭部の土留の組立を先行させ、掘削に応じて図-2 に示すジャッキにより順次土留を圧入する。ここで、1回あ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程度の掘削と土留圧入を標準と考えている。この際、土留先端は切羽から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の引抜きは、打設開始時点をスタートとすると、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を引抜く。なお、図-2 に示すジャッキの配置は、圧入時のものであり、引抜時はジャッキを逆方向に反転して用いる。

3. 鉄筋組み込み

3.1 深礎杭における配筋の概要

現場の写真を用いて、従来の工法による、小口径深礎における鉄筋組み立てを説明する。従来工法での深礎杭の鉄筋組は、深礎掘削がすべて終了したあと、図-4 に示すように、孔内に足場（孔内作業ステージ）を

組みつつ配筋する。このとき、深礎坑の孔壁は、土留（ライナープレート）によってすべて覆われている状態で作業が行われる。図-5は、孔壁がライナープレートで覆われている状態で、孔内作業ステージ上で、段取筋を配置するための取付筋（ステー）をライナープレートに設置している様子である。図-6は、作業ステージ上で段取筋（鉛直に配置された鉄筋）を配置した状態で、深礎の最深部から、作業ステージを組みながら、ステーの取り付け、段取筋の配置を実施し、順次杭頭部まで作業を進める。次に、図-7のように、孔外で成形されたフープ筋を運搬し、段取筋に結束する。作業ステージ用の足場板やフープ筋等の運搬は、クレーン等によってつり込むが、作業員が孔内で受け取るため、危険を伴う。また、フープ筋は、水平に配筋することで設計通りの配筋となるが、作業員を中心として目視で近距離から鉄筋の結束位置を決定するため、孔内で水平を確保することは難しい。図-8は、フープ筋設置後に、最深部で主筋を配筋している様子である。孔内に作業ステージが設置されている状態で、主筋を建込む狭所作業である。従来工法での配筋の場合、作業ステージを設置しなければ、鉄筋を配置することはできない。

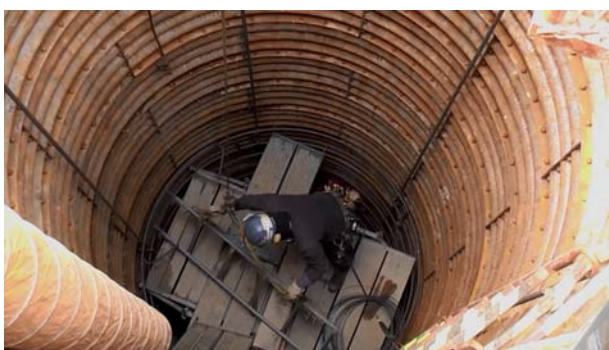


図-4 足場（孔内作業ステージ）の設置



図-5 段取筋用の取付ステーの設置

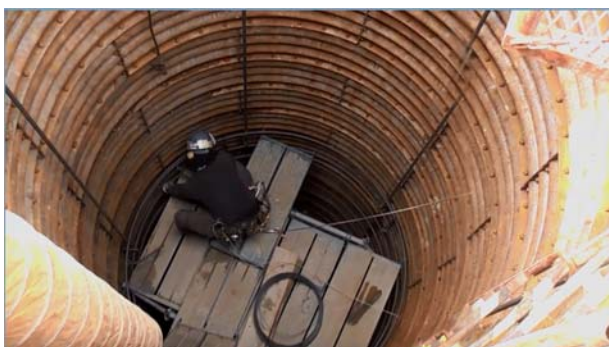


図-6 段取筋の建込み



図-7 フープ筋の運搬



図-8 深礎最深部での主筋の建込み



図-9 深礎最深部での主筋の建込み（近景）

3.2 孔内無人化配筋システム

孔内無人化配筋システムは、第2章で示した孔内作業完全無人化深礎杭施工システムにおける、土留圧入・引抜き装置を利用する。土留圧入・引抜き装置は、図-1 および図-2 に示すように、深礎の直径より一回り大きい径の鉄骨フレームとライナープレートの圧入と引抜きを行う油圧ジャッキで構成され、掘削箇所に設置される。平成24年度に実施した試験施工では、深礎径は2.5m、土留圧入・引抜き装置は直径4.5mであった。

孔内作業無人化深礎杭施工システムの概念図を用いて、深礎杭の孔内無人化配筋システムの工程を説明する。図-10 は、掘削が終了し、鉄筋を建て込む準備が完了した状態である。第3章の1節で説明した、従来工法での配筋を開始する直前とほぼ同じ状態である。ここで、従来工法と異なるのは、土留圧入と引抜き装置が設置されている杭頭部の掘削径が大きい（直径4.5m）ことである。土留圧入・引抜き装置には、油圧ジャッキが整備されており、今回提案する配筋システムは、孔外で鉄筋籠を形成し、土留圧入・引抜き用の油圧ジャッキを利用して鉄筋籠を孔内に挿入する。杭頭部の径の大きい掘削部は、土留圧入・引抜きの安定性および作業スペースとして重要である。

杭頭孔外で鉄筋籠を組み立てるために、図-11 に示す作業ステージを設置する。本工法では、作業ステージの他、鉄筋を孔外で組み立てて挿入するために、「鉄筋籠底面プレート（図-12）」、「鉄筋籠保持リング（図なし）」、「鉄筋つり込みリング（図-13）」、「盛替えリング（図なし）」をこれまでに開発してきた無人化施工システムとは別途新規に作成する。「鉄筋籠底面プレート」と「鉄筋籠保持リング」は、鉄筋籠が形成された状態を保持することで、鉄筋籠が孔内に挿入されるときに重要な構成部品となり、「盛替えリング」は鉄筋籠の位置調整に重要である。

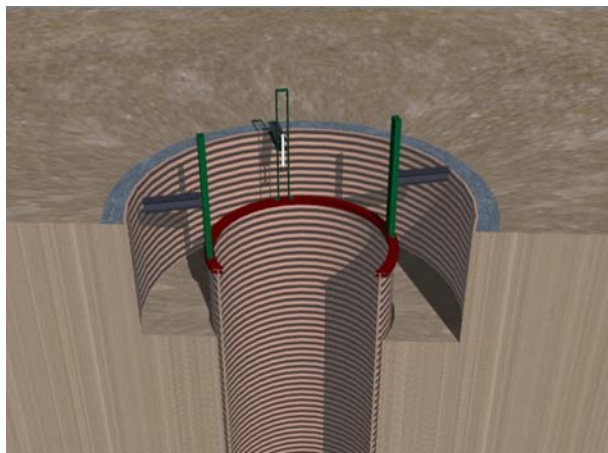


図-10 鉄筋建込み前の状態

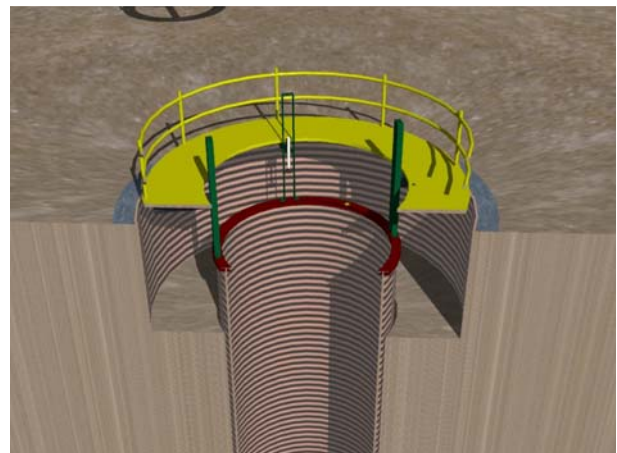


図-11 鉄筋組み立て用作業ステージ設置

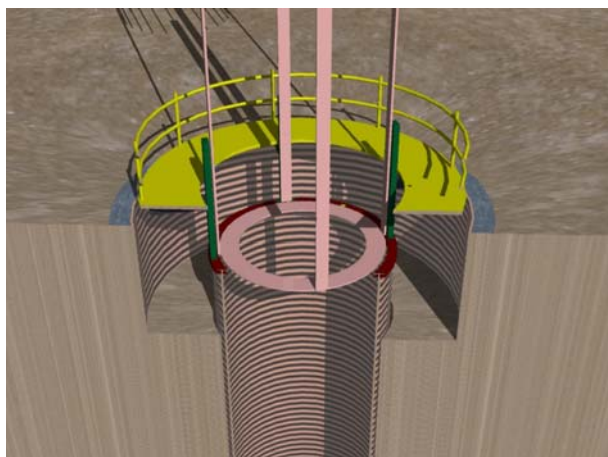


図-12 鉄筋籠底面プレート

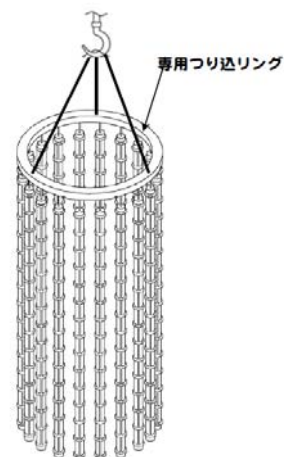


図-13 主筋を設置したつり込みリング

作業ステージでは、主筋にフープ筋を結束する作業を行う。次に、外部クレーン等であまり専用リングを用いて、主筋を深礎坑直上につり下げ（図-14）、その状態で所定の段数のフープ筋を主筋に結束する（図-15、図-16）。つり込みリングで、主筋をつり上げるときは、外部クレーンの容量に応じて、主筋の数を調整する。所定の主筋数に満たない場合は、「鉄筋籠底面プレート」に主筋を設置した後、追加で結束することができる。鉄筋籠の形成について、従来工法では、鉄筋籠の中心からフープ筋が水平に結束されているか確認していた。一方、本工法では、つり込みリングで主筋を鉛直に下げた状態でフープ筋を結束するため、作業員が鉄筋籠の外部からフープ筋結束の水平具合を確認できる。そのため、設計通りの鉄筋籠を形成しやすく、強固な鉄筋籠ができる。

所定のフープ筋を結束した後、油圧ジャッキによって鉄筋保持リングを下降する。ここで、盛替えリングによって鉄筋籠全体の位置を保持し、鉄筋籠保持リングを鉄筋籠から解除して油圧ジャッキの盛替え（位置の調整）を行う。再度鉄筋籠保持リングで鉄筋籠を保持し、盛替えリングを鉄筋籠から解除して、鉄筋籠保持リングで鉄筋籠を持ち上げ、盛替えリングを取り付けていた箇所のフープ筋を配置する。このように、鉄筋籠を保持しながらフープ筋を結束し、鉄筋籠が形成された高さ分を油圧ジャッキで下降させる。この手順を繰り返し、鉄筋籠を形成しながら降下させる（図-15～図-17）。

土留圧入・引抜き装置を用いて、鉄筋籠を孔外で形成しながら孔内に挿入、設置できる。第3章で紹介したとおり、従来工法による鉄筋配置では、孔内作業が多く、しかも足場部材や鉄筋の運搬に直下作業が伴う。

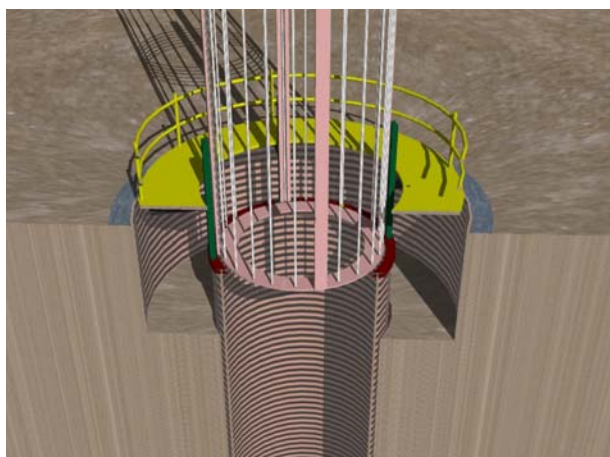


図-14 鉄筋籠底面プレートに主筋設置

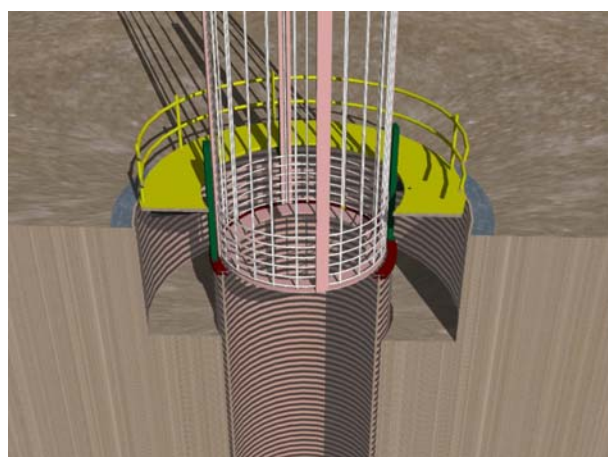


図-15 フープ筋結束後順次降下

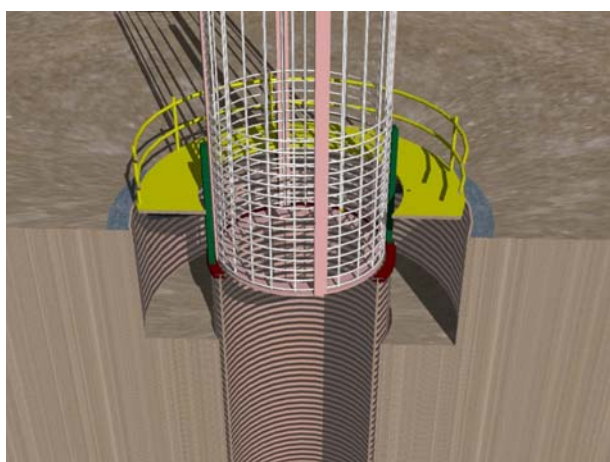


図-16 鉄筋籠を保持してフープ筋を結束

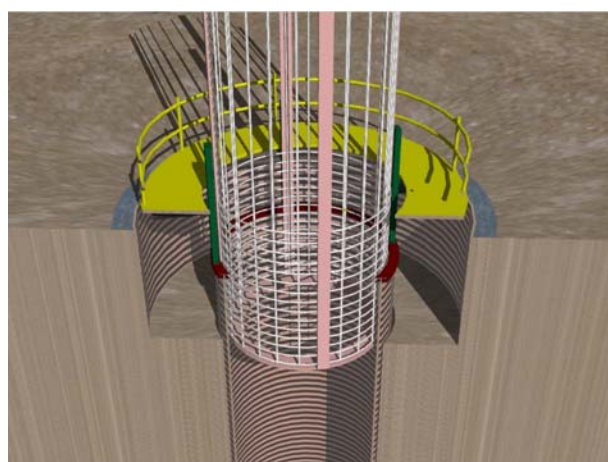


図-17 フープ筋結束後順次降下

一方、ここで提案した工法では、孔壁がライナープレートで保護されている状態であっても、孔内作業は一切発生しない。狭小空間での作業がなくなるため、作業者の安全性を確保するだけでなく、作業効率が大幅に向上する。

最終的な深礎杭の工程として、鉄筋が配置された後、土留圧入・引抜き装置を使ってライナープレート全体を引き抜きつつ、コンクリートを打設する。掘削をしながらのライナープレート圧入とコンクリートを打設しながらのライナープレート引抜き作業については、原らの報告¹⁾に詳しいが、ライナープレートを埋め殺しせず再利用できるというメリットが大きい。また、従来工法による深礎杭は、地中に残置するライナープレートと掘削した孔壁との隙間にモルタルを充填するが、本提案工法では、ライナープレートを引抜きながらコンクリートを打設するため、杭と孔壁は直接接触する。そのため、従来工法では考慮されない接触面における周面摩擦を期待することが可能と考えられる。周面摩擦を設計に考慮するには、孔壁がゆるんでない状態でなければならないが、孔壁が所定の摩擦力を発揮することが確認できれば、杭長を短くすることも可能となるため、深礎設計の最適化に大きく貢献できる。

4.おわりに

劣悪な環境での孔内作業をなくすために開発した、孔内作業完全無人化深礎杭施工システムを1つの技術として、システムの油圧ジャッキを活用し、孔外で鉄筋籠を組立て孔内に設置する新しい無人化配筋システムを提案した。現在は、今年度中に実施する予定の試験施工の準備段階であるため、従来工法と提案工法における配筋作業の差異を考察した。試験施工の実施では、安全性・時間短縮・杭の周面摩擦の評価について詳細に調査し、検討する。本工法の利点が検証されれば、深礎掘削の合理化と効率化が図られるだけでなく、最も重要な作業員の安全が担保できる。

参考文献

- 1) 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, 深礎杭無人化施工システムの開発, 基礎工, VOL.41, NO.8, pp.98-101, 2013.