

報文

# 小口径深礎杭 孔内無人化施工システムの開発

原 隆史\*1 沢田 和秀\*2 八嶋 厚\*3 荻谷 敬三\*4 宮澤 敏孝\*5 杉山 裕一\*6 辻 八郎\*7 大高 範寛\*8

## 1 はじめに

山岳部における道路橋基礎や送電線の鉄塔基礎などでは、大型建設機械の山岳部への搬入が困難なことから、わが国では人力施工に依存する比率の高い小口径の深礎杭（特に $\phi 2.5 \sim 3.5\text{m}$ ）が多く用いられている。しかしながら、小口径深礎杭が今後とも山岳部の土木構造物にはなくてはならない基礎構造物であるにもかかわらず、その施工は旧態依然とした危険で劣悪な環境下で行われている。写真-1に径が3.0mの深礎杭の深さ30mの位置から上を見上げた写真を示すが、人力施工に依存する深礎杭では、作業員がこの空間で作業を行っている。すなわち、この孔内に作業員が入った状態で掘削、土砂搬出、土留めの搬入・設置（あるいは吹付けコンクリート）、鉄筋組立用の足場の搬入・組立・解体・搬出、鉄筋の搬入・組立、およびコンクリートの締固めなどを行っており、ほぼすべてが吊荷下での危険な作業である。また、孔壁を吹付けコンクリートで土留めすることにより、深礎杭でも設計上周面摩擦を考慮することができるが、この空間での吹付けコンクリート作業は最も劣悪な土木作業のひとつであると考えられる。さらには、このような作業環境に関連して若年技術者の減少が加速しており、今後とも山岳部の土木構造物に欠かせない深礎杭の施工の将来の担い手を失いつつあるといった課題も抱えている。

そこで我々の研究グループは、上述の課題に対応するため、10年ほど前から「深礎杭孔内に作業員を入れない深礎杭の施工システム」を開発してきた<sup>1)~5)</sup>。本システムは、すでに高速自動車国道の2つの現場で試験施工を実施し、深礎杭孔内に作業員を入れずに深礎杭を施工できるこ



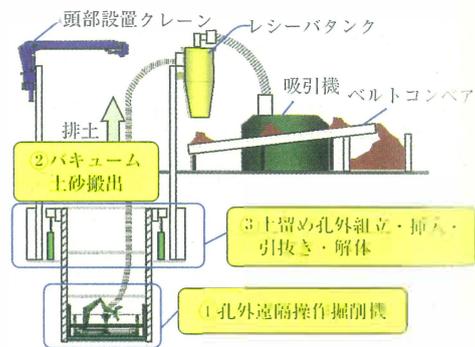
写真-1 小口径深礎杭の作業空間

とを確認するとともに、現在も国交省の研究助成のもと、さらなる効率化と省力化の観点から改善研究を継続している。

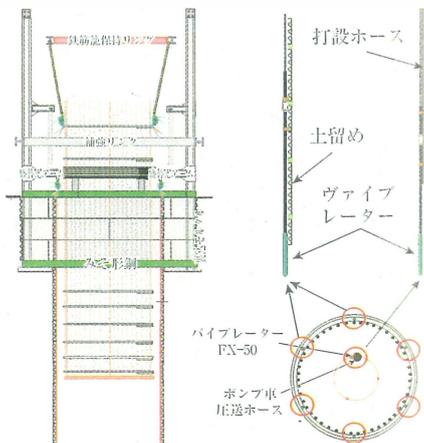
本文では、これまで開発してきた「深礎杭孔内に作業員を入れない深礎杭の施工システム」の概要と試験施工で確認した実用性、現在実施している改善研究の状況について報告する。

## 2 開発システムの概要

開発システムは、以下に示す5つのシステムから構成される。図-1にその概要を示す。



(a) 掘削と土留めの設置・撤去



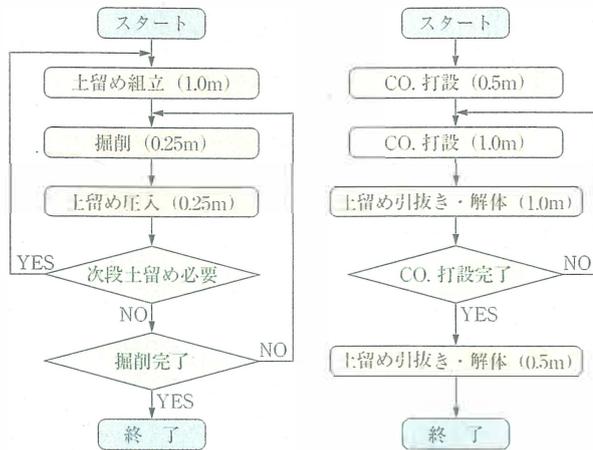
(b) 孔外鉄筋かご組立・挿入 (c) コンクリート締固め

図-1 小口径深礎杭孔内無人化施工システムの概要

- \* 1 HARA Takashi 富山大学 大学院 理工学研究部 教授
- \* 2 SAWADA Kazuhide 岐阜大学 インフラマネジメント技術研究センター 教授
- \* 3 YASHIMA Atsushi 同 上 工学部 社会基盤工学科 教授
- \* 4 KARIYA Keizō 同 上 インフラマネジメント技術研究センター 客員教授
- \* 5 MIYAZAWA Toshitaka 中日本高速道路(株) 環境・技術管理部 チームリーダー
- \* 6 SUGIYAMA Yūichi 同 上 技師
- \* 7 TSUJI Hachirō エイト工業(株) 代表取締役社長
- \* 8 ŌTAKA Norihiro 日鐵住金建材(株) 土木商品開発部 グループ長

- 富山市五福3190
- 岐阜市柳戸1-1
- 同 上
- 同 上
- 名古屋市中区錦2-18-19
- 同 上
- 岐阜市宇佐2-10-15
- 東京都江東区木2-17-12

- ① 深礎杭孔外からの遠隔操作掘削機：土留め先端部に深礎杭孔外から遠隔操作が可能な掘削機を取り付けて掘削する。
- ② バキュームによる土砂搬出：掘削した土砂はクラッシャー付き排土受台からバキュームにより孔外へ搬出



(a) 土留め組立・挿入 (b) 土留め引抜き・解体

図-2 土留め組立・挿入および引抜き・解体の手順

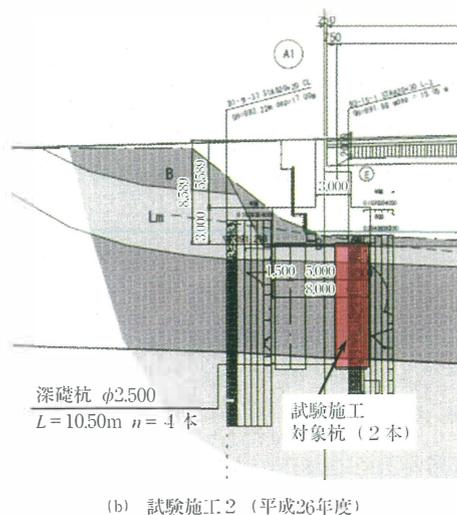
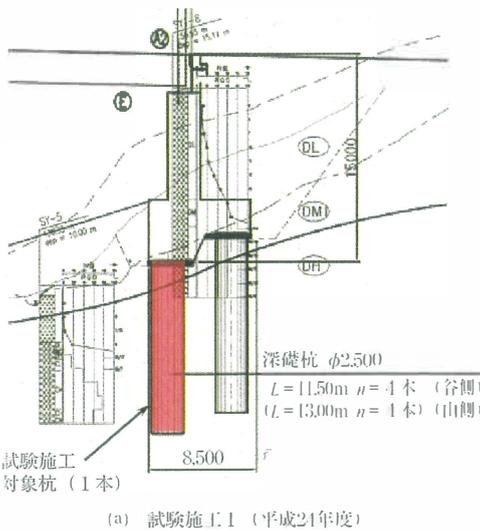


図-3 小口径深礎杭孔内無人化施工システムの試験施工

- ③ 深礎杭頭孔外における土留め組立・挿入・引抜き・解体：ライナープレートを改良した土留めを杭頭孔外で組み立て、掘削に応じてジャッキにより挿入する。また、コンクリート打設に伴い順次引き抜き杭頭孔外で解体・撤去する (図-2参照)。
- ④ 深礎杭頭孔外における鉄筋かご組立・挿入システム：杭頭孔外でジャッキにより鉄筋かごの一部を保持するとともに上下させ鉄筋かごを組み立て、ジャッキにより杭孔内に挿入セットする。
- ⑤ 孔内無人化コンクリート締め固めシステム：土留め先端と打設ホースにヴァイブレーターを配置し、コンクリート打設面上昇とともに土留めを引き抜きながらコンクリートを杭孔内に充填すると同時に締め固める。このようなシステムにより、99%深礎杭孔内に作業員を入れずに深礎杭を構築する。

### 3 試験施工の概要

開発システムの実用性は、すでに高速自動車国道における2回の試験施工により、作業員を孔内に入れずに深礎杭を構築することができることを確認している。試験施工では、図-3に示すとおり、いずれもφ2.5mの橋台の深礎杭基礎の1本(平成24年度、杭長11.5m)、および2本(平成26年度、杭長10.5m)で実施しており、表-1に示すように、2回の試験施工を通じて各システムの実用性について確認した。これらのうち、平成24年度に実施した試験施工1はすでに本誌(平成25年8月号<sup>1)</sup>)で報告しているため、ここでは平成26年に実施した試験施工2の概要について報告する。

#### 3.1 土留めの組立・挿入および引抜き・解体

試験施工1では5分割の土留めを用いたが、杭頭での組立・解体とも20分要した。これに対し試験施工2では、写真-2に示すように、新たに製作した12分割の土留めを孔外の作業スペースで一度組み立て、改めて2分割として杭頭で組み立て、あるいは解体することとした。これは、図-2(b)に示すように、杭頭での土留めの解体時

表-1 各試験施工での実用性確認

実用性確認対象システム	①	②	③	④	⑤
試験施工1 (平成24年度)	○	○	○		
試験施工2 (平成26年度)			●	○	○

凡例：○ (実施項目) ● (改良実施項目)



(a) 2分割土留め

(b) 杭頭組立・解体

写真-2 杭頭での土留めの組立・解体状況

間がコンクリート打設のクリティカルパスとなり、20分の解体時間では7.5時間で打設できる杭の長さには18mにとどまるため、解体時間の短縮を目指したものであった。しかしながら、4本のジャッキの間を通した2分割土留めの組立・解体は意外に時間を要し、大幅な時間短縮とはならず、今後の課題とされた。

### 3.2 杭頭での鉄筋かごの組立・挿入

鉄筋かごは、**図-4**に示すように、搬入可能なクレーンで吊れる最低限の鉄筋かごを深礎杭頭部で一度保持し、ジャッキで上昇させながらフープ筋を設置、最後に残りの主筋を配置して鉄筋かごを下降させながら連結する。2ロッド目以降は主筋の機械式継手を用いつつ上記の作業を繰り返すことにより組み立て、最終的に鉄筋かごを孔内のスライドレールに沿って挿入させて鉄筋の配置が完了する。試験施工2で本システムを用いており、4本のジャッキのストローク伸縮速度の精度の問題から鉄筋かごが傾斜するなどして難儀したが、それでもシングル筋の鉄筋かごとはいえシステムの準備などを含め3日からずらずに鉄筋の配置を完了することができた。この速度は孔内に作業員を入れて組み立てるのとはほぼ同じであり、今後ジャッキ精度の向上により組立速度は確実に短縮することから、本システムは十分に実用的であると考えられた。

### 3.3 コンクリート締固め

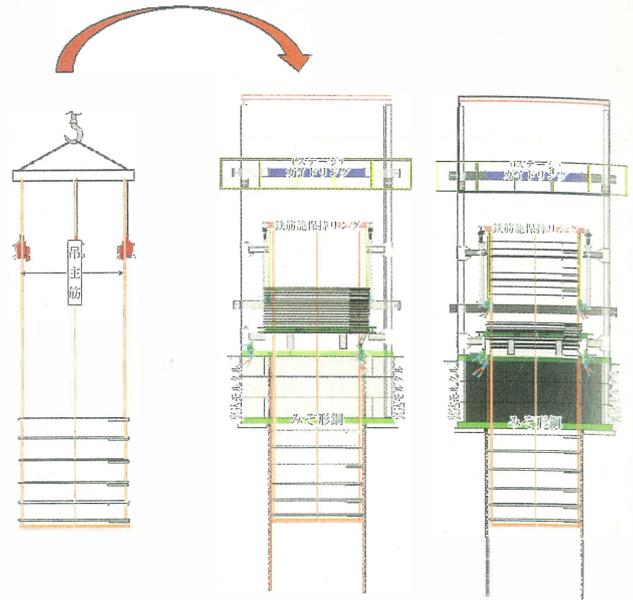
当該システムのコンクリート打設に伴って土留めを引き抜く特徴を活用し、**図-1(c)**に示したとおり、土留め先端に6本、打設ホースに1本取り付け付けたヴァイブレーターにより、コンクリート打設時に作業員が孔内に入らないコンクリートの孔内充填と締固めに対する試験施工を行った。その結果、あえて悪い写真を**写真-3**に示すが、この写真で土留め周辺が泡立っている状況から分かるのとおり、油断しているとヴァイブレーターをかけすぎてしまうほど、その実用性を確認した。

## 4 現在実施中の改善研究

これまで述べてきたとおり、2度の試験施工を通じて開発システムの実用性を確認してきたが、残された課題も少なくはなく、現在はさらなる効率化と省力化を目指して、国交省の研究助成のもと、これらの課題について以下の改良を実施中である。ここでは、これらの概要と工場実験の結果について報告する。

### 4.1 杭頭での土留めの組立・解体時間の短縮

これまでの試験施工では、4本ジャッキを用いた5分割土留めと2分割土留めの実用性を確認したが、いずれも組立・解体時間は20分程度を要し、さらなる短縮が課題となった。そこで改善研究では、**図-5**に示すように3本のジャッキを用いた3分割土留めと土留めの組立・解体をスムーズに行える特殊な接合ボルト（改善研究ではせん断プレートと呼称）を開発した。せん断プレートの詳細は紙面の都合上割愛するが、開発システムの工場における組立・解体実験によれば、組立は約17分（16分48秒）要したが、解体は約12分（11分27秒）で行うことができた。このことは、1日の作業で30mを超える杭の



(a) クレーンで吊れる鉄筋かごの設置 (b) フープ筋設置



(c) フープ筋設置状況



(d) 残りの主筋の配置

図-4 杭頭での鉄筋かごの組立・挿入

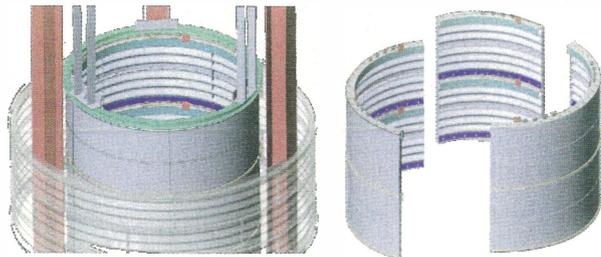


写真-3 ヴァイブレーター作動状況

コンクリート打設を行うことができるものである。

### 4.2 3本のストローク伸縮同調ジャッキシステムの開発

試験施工では杭頭での鉄筋かごの組立・挿入の実用性を確認したが、各ジャッキのストローク伸縮の同調性が



(a) 3本ジャッキ (b) 3分割土留め

図-5 3本ジャッキと3分割土留め



(a) ストローク伸縮同調ジャッキ



(b) 制御装置

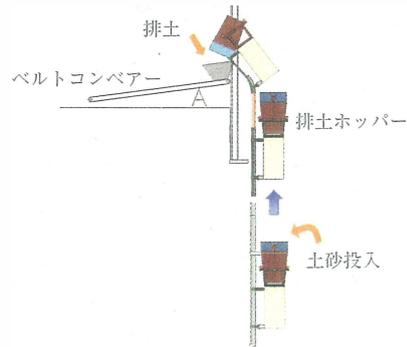
写真-4 ストローク伸縮同調ジャッキ

悪く、鉄筋かごを傾斜することなく上げ下げするのに時間を要した。そこで、ここでは写真-4に示すように3本のストロークが同調して起動するジャッキシステムを開発した。その同調性については、工場実験による土留めの上げ下げを繰り返した挙動確認により、その精度と実用性を確認した。

#### 4.3 自動排土ホッパーの開発

送電線の鉄塔基礎など、バキュームシステムを運搬することが困難な現場に対し、モノレールでの運搬が可能な図-6に示す自動排土ホッパーを開発した。工場実験で確認した作動状況は非常にスムーズで、今後の実用性を確認することができた。

なお、工場実験で実用性を確認した新たな3分割土留めの組立・挿入および引抜き・解体、3本のストローク伸縮同調ジャッキを用いた鉄筋かごの杭頭での組立・挿入については、本年11月の現場試行でも確認する予定である。



(a) 排土ホッパーによる排土



(b) 工場実験での排土ホッパーの動作状況

図-6 排土ホッパー

## 5 まとめ

ここでは、前回の報告<sup>1)</sup>(試験施工1)に引き続き、試験施工1で確認できなかったシステムの実用性を確認した試験施工2について述べた。また、2度の試験施工を通じて確認された課題について、現在国交省の助成研究で実施している改善研究の状況についても述べた。今後、ここで開発したシステムが深礎杭施工に係わる作業員の安全性と施工環境改善、しいては若年技術者減少の有効な対策となることを確信している。なお孔内無人化施工のためには、ここでのシステムをすべて活用する必要があるが、各システムを個別に現在の施工へ活用することも可能であることを最後に付け加えておく。

### 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. 99~102, 2013.
- 2) 原隆史, 沢田和秀, 藤野友裕, 谷本泰雄, 辻八郎: 深礎杭無人化施工システムの試験施工, 第23回地盤工学会中部支部 調査・設計・施工技術報告会, 2014 (平成26年度地盤工学会中部支部賞一技術賞).
- 3) 沢田和秀, 原隆史, 藤野友裕, 谷本泰雄, 辻八郎: 深礎杭無人化配筋システム, 第23回地盤工学会中部支部 調査・設計・施工技術報告会, 2014.
- 4) 沢田和秀, 八嶋厚, 原隆史, 辻八郎, 宮澤敏孝, 杉山裕一, 大高範寛: 深礎杭無人化施工システムと試験施工, 第59回地盤工学会シンポジウム, 2014.
- 5) 原隆史, 沢田和秀, 宮澤敏孝, 杉山裕一, 辻八郎, 大高範寛: 深礎杭無人化施工システムの試験施工と実用化への課題, 第24回地盤工学会中部支部 調査・設計・施工技術報告会, 2015.