

31. 自動化深礎工法

～SH-SHINSO 工法～の開発

(株)白石：*藤田 宏一・太田 和男
木村 明弘

1. はじめに

深礎工法は、急峻な山岳地における橋梁や送電線鉄塔などの基礎の他に、地滑り抑止工としても用いられている。この工法は主として簡便な道具による人力作業であるため、急峻な施工場所に対応しやすい一方、狭い坑内作業は苦渋かつ劣悪な環境となっている。近年、掘削作業の一部において機械化もなされているが、まだまだ人力に依存しており、安全性や労働環境に対して課題が多い。さらに労働者の不足や高齢化と相俟って深礎工法の機械化を進めることが重要になってきている。

今回開発した自動化深礎工法は、機械を小型化することにより急峻な山岳地での適用を可能にし、また掘削・土留めなどの一連の坑内作業を無人化および自動化することで坑内の苦渋作業を克服している。さらに作業の安全性を格段に高めることにより、従来工法における課題を解決したものである。

2. 開発の目標および達成のための方策

SH-SHINSO 工法開発の基本方針は、「坑内での人力作業の排除」とした。この基本方針に基づいて従来工法における作業状態を把握し、開発の目標および具体的方策を設定した。

表-1に、現状と開発目標および具体的方策を示す。

表-1 現状と開発目標および具体的方策

開発項目	現 状	開 発 目 標	具 体 的 方 策
準 搬 入 路	林道規定に準拠した工事用道路	同 左	分割可能とし、簡便に組立可能な機械とする。 最大分割重量をトラック運搬可能な重量とする。
備 施工ヤード	フーチング施工範囲内に収める	同 左	
工 機械の搬入	11tトラックでの運搬	同 左	
掘 削 径	直径2.5m以上	同 左	ブレーカ、バックホウなどを装備した小型の掘削機械を、地上からの遠隔操作・自動運転する施工システムの開発
掘 削 深 さ	機械併用人力掘削で深度20m程度まで	30m程度まで機械掘削可能とする	
排 土 作 業 効 率	土質に応じた段取り替えが多く作業効率が悪い	軟岩程度まで機械掘削可能とする	
土 留 め 工	ライナープレートの坑内組立作業	坑内人力作業の排除	ライナープレートに代わるライニング材料の採用
鉄 筋 工	坑内での鉄筋組立作業		地上作業可能な鉄筋組立装置の開発
コンクリート工	坑内でのコンクリート締固め作業		①地上からの締固め方法 ②締固め不要材料の採用
昇 降 設 備	梯子による	快適で安全な昇降設備による管理	ゴンドラなど、安全な昇降設備の採用

3. SH-SHINSO工法の概要

3.1 施工設備の概要

施工設備は、掘削・排土設備と型枠設備によって構成されている。

3.1.1 掘削・排土設備

掘削・排土設備の概要を図-1に示す。掘削は、軌条レール上を自走する門型架台から昇降装置により坑内に吊り下げられた掘削機械により地盤の掘削と坑壁の整形を行う。この掘削機械は油圧ブレーカとバックホウから成り、全周旋回が可能な旋回フレームに取り付けられている。掘削反力は、上下2段に配置した油圧作動のグリッパによりライニングされた坑壁で受ける構造となっている。また掘削機械は自動計測による位置決め機能を備えている。

バックホウにより掘削を行い、坑底中央部に集土する。バックホウは深礎の直径に応じて、所定の範囲のみを掘削できるようになっている。

バックホウで掘削できない硬質地盤は、油圧ブレーカを用いる。この砕岩作業は長時間の打撃作業であり、かつ底面地盤を均等に破碎する目的からプログラム化された自動運転としており、設定した間隔、所定ストロークで砕岩できるようになっている。

排土は、排土用クレーンにより専用の油圧クラムシェルバケットを昇降させ、バックホウで坑底中央部に集積した土砂を坑外に排出する。

掘削・排土作業は、掘削機械のオペレータと排土用クレーンのオペレータの2名のみで行い、掘削状況は、坑内の掘削機械に取り付けたテレビカメラにより常時撮影されている。2名のオペレータは地上の遠隔操作室および排土用クレーンに設置したモニタに撮り出される映像を見ながら地上遠隔操作を行っている。

掘削設備および排土設備の主要な仕様は表-2に示すとおりである。

表-2 掘削設備および排土設備の主要仕様

1) 掘削設備		地上設備	
掘削機械		門型架台	寸法：幅4m、長さ4m、高さ7.5m
バックホウ	かき寄せ量：0.04 m ³	昇降装置	吊り能力：10 tonf×2台
ブレーカ	突き出し力：1.6 tonf 起伏力：7.0 tonf	揚程	26 m
旋回装置	旋回速度：2 rpm 旋回範囲：0~360°	油圧ユニット	巻上速度：1.4 m/min. ポンプ能力：18.5KW×67ℓ/min.×140kgf/cm ² タンク容量：200ℓ
掘削機械の合計重量 = 約 10 tonf		地上設備の合計重量 = 約 10 tonf	
掘削設備の総重量 = 約 20 tonf			
2) 排土設備		油圧クラムシェルバケット：0.25m ³ 、重量：約 2.5 tonf	

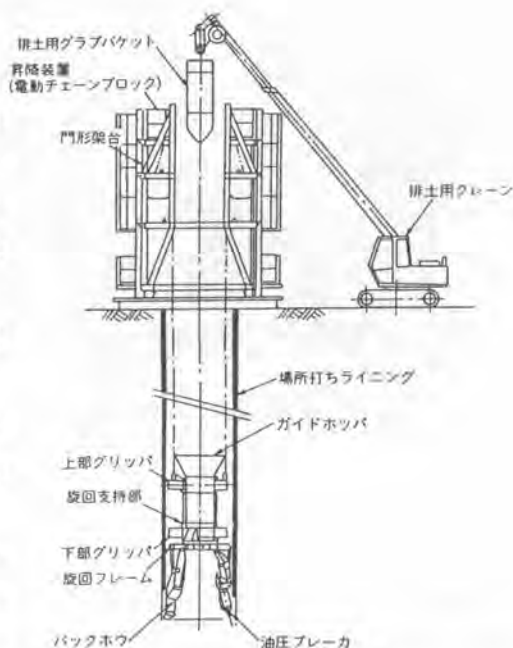


図-1 掘削・排土設備の概要

掘削設備の全景を写真-1に、また掘削機械による掘削状況を写真-2に示す。

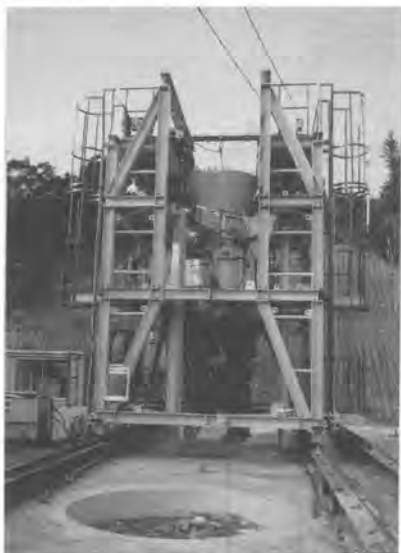


写真-1 掘削設備の全景



写真-2 掘削機械による掘削状況

3.1.2 型枠設備

型枠設備の概要を図-2に示す。型枠設備は地上架台と、地上架台から昇降装置により吊り下げられた型枠装置から成っている。型枠装置は6枚に分割された面板、面板を伸縮する油圧装置、モルタル打ち込み用注入ポートおよびそれらを支持する架台から構成されており、地上遠隔操作により型枠の組立・脱型を行う機能を備えている。また型枠装置は自動計測による位置決め機能を備えており、所定の位置に型枠を設置できる。

地上のプラントで現場練りされたライニング材は、地上遠隔操作により型枠に取り付けられている注入ポートを開閉し、地山と型枠の間に注入される。型枠装置は、ライニング材の硬化後に地上遠隔操作により脱型して地上に吊り上げられる。

型枠装置の主要仕様は表-3に示すとおりである。また型枠設備の全景を写真-3に、型枠装置の坑内吊り下ろし状況を写真-4にそれぞれ示す。

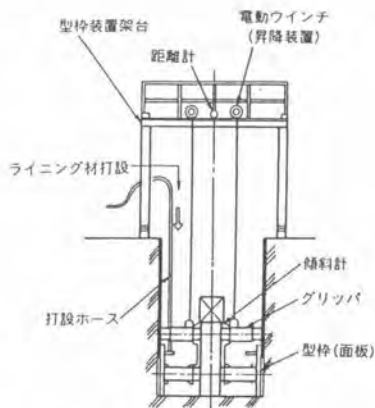


図-2 型枠設備の概要

表-3 型枠装置の主要仕様

形 式	: $\phi 2.5 \sim \phi 3.0 \text{m}$
型枠装置重量	: 約 6.0 tonf



写真-3 型枠設備の全景

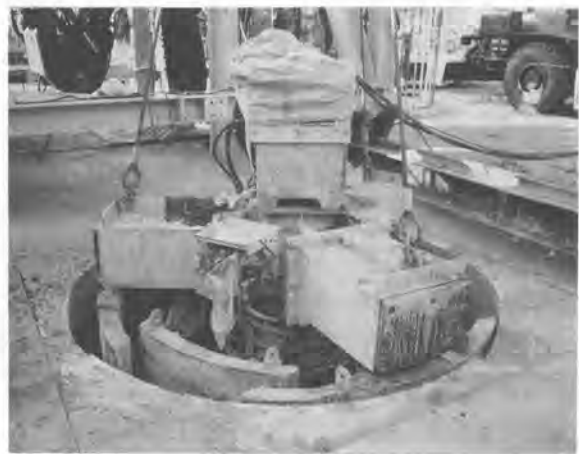


写真-4 型枠装置の坑内吊り下ろし状況

3.2 設計・施工上の特徴

小口径の深礎杭基礎は人力主体の施工で、最近では油圧クラムシェルバケットなどの機械を併用している。また一部では遠隔操作式の深礎工事機械なども開発されている。

以下には従来工法との比較をしながら、本工法の特徴を示す。

① 掘削工 従来の機械併用人力掘削では深さ20m程度までが限度で、それ以深は人力施工である。1サイクルの掘削深さはライナープレートの寸法から0.5mであり、坑壁面の整形はすべて人力である。本工法は深さ30m程度までの機械掘削を地上遠隔操作および自動化しており、1サイクルの掘削深さは1.0mを標準としている。また坑壁面の整形も遠隔操作によっている。さらに実施工の結果から、従来工法で4人程度必要であった掘削作業員が2名で済んでいる。

なお本工法での掘削対象地盤は、普通土砂から軟岩までとしており、従来より発破を必要とする硬岩の場合は従来工法と同様に人力作業と割り切っている。

② 排土工 従来工法では油圧クラムシェルバケットや自動リフトなどを用いている。本工法では、バックホウにより坑底中央部に集土された土砂を、地上よりの遠隔操作による専用の油圧クラムシェルバケットを用いた排土方法としている。

③ 土留め工 従来工法ではライナープレートによる土留めとしており、坑内での組立ては人力作業である。このライナープレートによる土留め方法は、過度の余堀りを余儀なくされ、また数多くのボルト接合であることから、苦渋な作業となっている。

本工法はライナープレートに代わり、地上よりの遠隔操作による場所打ちライニングを採用しており、坑内作業の無人化を達成している。実施工で用いたライニング材は、ハンドリングタイムが約30分、打ち込み開始から2時間後の一軸圧縮強度が40kgf/cm²程度、静的フロー値が300程度の超速硬性と超流動性を兼ね備えたものを開発した。

本方法は、1サイクルの掘削終了後ただちに場所打ちライニングによる土留めを行うため、従来工法

に比べて周辺地盤の緩みを抑えることができる。また流動性のある材料であるため、周辺地盤との一体化が図られており、裏込めグラウトの必要もない。

地山とライニング材との一体化を確認するため、リング状のライニング材における鉛直載荷試験を行った。その結果、大きな周面摩擦力が得られた。写真-5は、ライニングの仕上がり状況を示したものである。

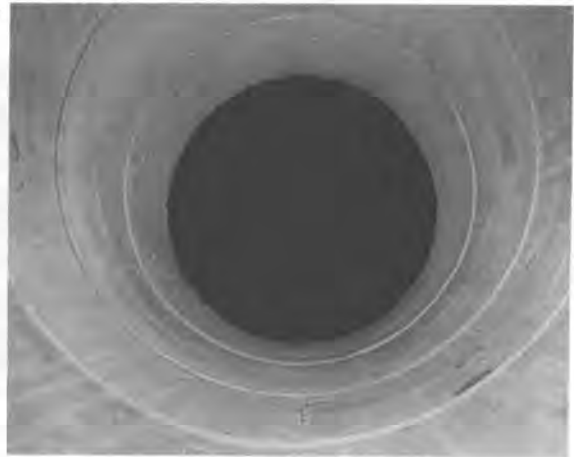


写真-5 ライニングの仕上がり状況

④ 杭本体の構築 深礎工法における機械化・自動化の推進の一環として、本工法では、杭本体の鉄筋工およびコンクリート工についても、従来の坑内人力作業を排除するための材料・装置類の開発を行い、省力化・安全性の向上を図っている。

従来より行われている鉄筋組立作業は、掘削終了した坑内において坑底から順次人力によって組み立てており、狭隘な空間での苦渋な作業となっている。本工法では、写真-6に示すように掘削設備の地上架台を利用した掘削坑口位置での鉄筋かごの縦組み作業としており、坑内での鉄筋組立作業を排除している。またクレーンを常時必要とせず、安全に能率よく施工できる。

杭本体のコンクリート打ち込み作業においては、従来工法では掘削坑内に設置した仮設の中間足場からのパイプレタによる締め固め作業を伴っている。本工法では、①パイプレタの地上遠隔操作による締め固め方法、②締め固め不要な配合のコンクリートの採用、の2通りの方法を考慮しているが、今回の実施工では、締め固め不要なコンクリートを採用した。写真-7に杭本体コンクリートの打ち込み状況を示す。



写真-6 鉄筋かごの組立・吊り下ろし状況



写真-7 コンクリートの打ち込み状況

3.3 開発の成果

今回開発したSH-SHINSO工法は、機械併用人力掘削や他の掘削機械などの従来工法と比べて、以下に示す成果が得られた。

- ① 労働環境・安全性の向上 従来工法のうち機械併用人力掘削の場合は、主としてクラムシェルバケットなどで排土を行い、坑壁の整形・土留めは人力で行っている。また他の掘削機械についても、掘削・排土については今回の機械と同様の自動化が行われているが、土留めについては人力作業によるライナープレートの設置が行われている。今回開発したSH-SHINSO工法は、掘削・排土・土留めの一連の作業を機械化・自動化することができ、従来工法と比べ労働環境、安全性を大きく改善することができている。
- ② 施工能率の改善 本工法における施工能率は、粘土混じり礫地盤において2サイクル/日、すなわち2.0~2.4m/日であり、機械併用人力掘削の従来工法と比べ、施工速度は1.2~1.3倍程度に向上する結果が得られた。また自立性のある地盤では、1サイクルの施工長を伸ばすことで、工程短縮が図られることを確認した。さらに施工人員は2名であり、従来工法が4名程度必要としていることから、省人化が達成された。
- ③ 地盤との密着性の向上 今回採用した場所打ちライニングによる土留めは、従来工法において懸念されている地盤の緩みを抑える効果のあることが確認できた。また従来設計方法で無視している周面摩擦力も、載荷試験で大きな周面摩擦力が得られた。

4. 今後の展開

今回開発した機械により、労働環境、安全性は飛躍的に向上し、また施工能率は若干向上した。施工自体が不慣れであったことを考慮すると、今後の施工能率はさらに向上すると考えられる。また場所打ちライニングの土留めにより周辺地盤との密着性が高まり、かなりの周面摩擦が期待できることから、設計法の見直しを図ることにより従来工法より杭長を短くすることが可能である。さらにライニング厚さを杭本体の断面の一部として評価できれば、掘削径の縮小化を図ることができるものと思われる。

以上のことをさらに検討することにより、今回の工法の更なる発展も期待でき、深礎杭の施工に対して大きく貢献できるものと思われる。

参考文献

- 1) 垂水祐二、藤田宏一、大森了、中井栄：深礎工事の自動化、基礎工、1994.3、(株)総合土木研究所
- 2) 木村明弘、太田和男、藤田宏一：SH-SHINSO工法、建設機械、1994.12、日本工業出版(株)
- 3) 川口正之、大塚研二、木村明弘：深礎杭の機械施工、土木施工、1995.4、(株)山海堂
- 4) 湯川保之、川口正之、大塚研二：深礎杭の機械化施工—孔内無人化施工—、土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集、1995.5、(社)土木学会四国支部
- 5) 藤田宏一、木村明弘：自動化深礎工法の開発、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集 第6部、1995.9、(社)土木学会