

## 37. 深礎工事機械化施工システム (弁慶工法)

三井建設㈱：\*魚住 雅孝・伊藤 達男

### 1. はじめに

深礎杭は、山岳地かつ傾斜地の橋梁基礎、電力鉄塔の基礎や傾斜面の地滑り抑止杭として、現在も全国で相当数が施工されている。一般的に平地部の基礎杭は大型機械投入が可能で、ベノト杭をはじめとする種々の機械施工が主流となっている。それに比べて山岳部に建設する構造物の基礎杭は、急峻な現場での施工条件や適用しにくい杭径等の設計条件や、また一工事場所が小規模でそれが数カ所に分かれ広範囲に点在することが多い。そのため、機械の搬入・搬出及び移設が困難で大型機械が持ち込めず、未だに従来工法である簡易な設備やハンド機械等を用いての、人力掘削主体による深礎杭工法に頼らざるをえない状況である。それ故、作業効率が悪く、その上、小口径の坑内への人の入昇降や資機材の搬入搬出による墜落、飛来落下物の危険、狭い坑内での振動工具の取扱い作業、また粉塵・騒音の中での作業等の有害な作業環境の中での作業が伴い易く、深礎杭の掘削作業は3K作業の最たるものとなっており、作業効率の向上、安全施工の確立と作業環境の改善整備が特に求められていると言える。

そこで作業効率の向上と、そして従来からの工法で安全衛生の確保の上で問題となっている粉塵・振動・騒音等の労働環境の改善、危険苦渋作業の排除を目的として、更には特殊作業員の不足、労働者の高齢化等の問題にも対応するための深礎工事のトータルの機械化施工システム（弁慶工法）として開発、実施工を行ったのでその概要を紹介する。

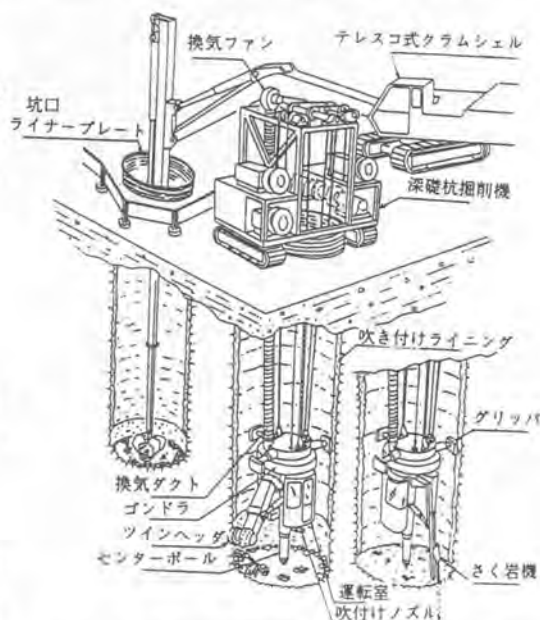
### 2. 深礎工事機械化施工システム（弁慶工法）の概要

本システムは、従来からの深礎杭工法で人力に頼っていた作業の中でも、特に作業効率が悪く、且つ危険・苦渋作業でもありと考えられる下記の工種、

- すなわち、
- ① 岩盤・転石層の穿孔作業
  - ② 発破後の当り取り作業
  - ③ 人力組立によるライナープレートの土留作業
  - ④ 坑内に作業員が入っての直接人力組立・建込みを行う鉄筋作業

を機械化したものである。

そして、掘削時の排土作業には、従来から広く普及し高能率で安全性の高いテレスコ式クラムセル掘削機を採用し、新規開発の掘削機（弁慶300）及



図一1 深礎工事機械化施工システム概要図

及び鉄筋組立・建込装置と組み合わせて、より高い作業の効率化と安全性を追求した機械化施工システムとした。

これにより、

- (a) 急峻な現地地形と比較的小規模な施工数量に対応できる。
- (b) 特殊技能を必要としない。
- (c) 設備の軽便化と作業性、経済性、高効率化を図った。
- (d) 作業の安全性をより高めた機械化工法。

という要求を可能とした。

### 3. 深礎杭施工機による掘削・土留め

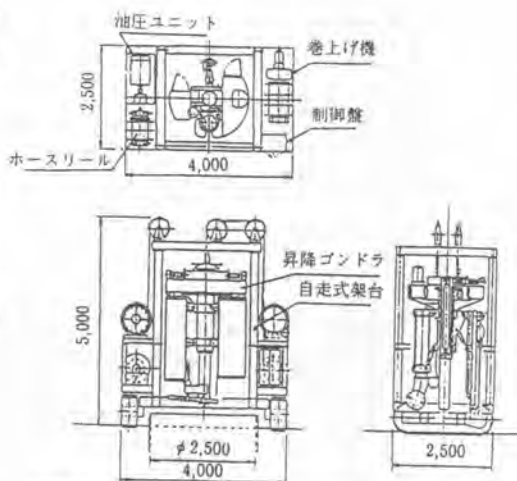
#### 3.1 深礎杭施工機（弁慶300）の構造

弁慶300の掘削概要図を、図-1に示す。

クローラ式走行架台から吊り下げた昇降ゴンドラに、削岩機、ツインヘッド及び吹付けノズルを複合的に装備し、運転者はゴンドラに搭乗して坑底にさがり、ゴンドラ運転室内より遠隔操作により、ゴンドラ本体に装備した各種掘削機械を作動させ掘削作業を行うものである。装備した機械による作業は、各々従来は人力に頼っていた部分である。

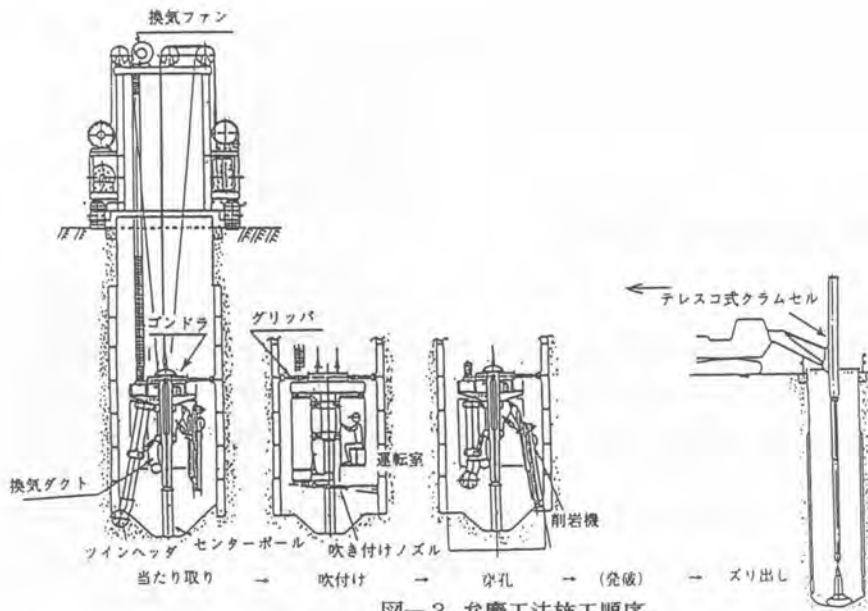
- ① 削岩機による作業：岩盤層及び転石層に対して発破のための穿孔作業を、従来人力穿孔に頼っていたところを機械穿孔で行う。
- ② ツインヘッドによる作業：土層部～軟岩層の掘削から岩盤層の発破後の当たり取り修正掘削、コーナー部掘削及びクラム排土作業のためのズリの中央部へのかき寄せ作業は、従来のハンドブレーカやスコップによる人力作業によっていたものを、回転カッタ（ツインヘッド）で全て行う。
- ③ 吹付けノズルによる作業：人力組立によるライナープレート覆工作業に替わる土留工として、モルタルによる吹付けライニングを行う。

これらの各作業を、ゴンドラの運転室より有視の遠隔操作にて各機械を作動させ、所定の深度で360度旋回しながら効率的に作業を行うものである。更に当たり取りや削孔作業時の反力については、ゴンドラの自重を受けているセンターボールが大半負担し、グリッパーおよび覆工面への負担を小さくしてい



自 走 式 架 台	定 行 部	走行速度 接地圧	10 m/min 1.5 kg/cm <sup>2</sup>
	巻 上 げ 部	吊り荷重 巻上げ距離 昇降速度 原動機 ワイヤーロープ	6,000 kg 35 m 10 m/min 22kW相当油圧モータ φ24mm×2本
	原 動 部	吐出量 定格圧力 電動機	60 ℓ/min 210 kg/cm <sup>2</sup> 30 kW
	付 帯 機 器	簡易ウィンチ 電機ケーブル用巻取り器 油圧ホース用巻取り器 エアホース用巻取り器	100kg×25m φ29mm×25m 3/4 B×25m 3/4 B×25m
	自走式架台機軸総重量		12.5 t
昇 降 ゴ ン ド ラ	掘 削 部	ドラム計×総幅 ドラム切削力 原動機	φ450×650mm 1,680 kg 13kW相当油圧モータ
	削 孔 部	フィード長 エキスパンション長 ロッド径×長さ	1,350mm 1,000mm φ22×1,700mm
	吹 付 け 部	ノズル揺動回転数 適応ノズル径 吹付け距離	60rpm 1 1/4 × 2" 800×1,000mm
	旋 回 部	旋回回転数	3.3rpm
ラ グ リ ッ パ ー	センターボール	伸縮ストローク	350mm
	センターボール	伸縮ストローク	1,200mm
昇降ゴンドラ機軸総重量		9.5 t	

図-2 弁慶300主要仕様



図一3 弁慶工法施工順序

る。またテレスコ式クラムセルによる排土中は、深礎杭施工機（弁慶300）は隣の杭の排土作業を行い、杭2本をペアで施工することにより、効率を高めた作業を行うことができる。これで、火薬を用いた発破作業を必要とする場合の装薬作業を除いて、深礎杭坑内の人力作業を完全に排除し、安全な機械化施工を可能とした。弁慶300の寸法及び基本仕様を図一2に、また施工順序を図一3に示す。

### 3.2 弁慶300の特徴

弁慶300の機械的特徴は次の通りである。

#### ① 搬入・組立が容易である：

弁慶300は、急勾配小曲線半径の工事用道路（林道規定の有効幅員4m、勾配16%）の走行を想定し、かつ11トトラックに積み込める荷姿を考えた3分割のユニットである。現場付近までは11トトラックで搬送し、組立後、施工現場までは自走して移動する。組立は、作業員で容易に出来るもので1日で組立可能としている。

#### ② 安全な自走による現場進入が出来る：

動力源の可搬式発電機を、走行時に搭載固定し



写真一1 急勾配工事用道路よりの進入



写真一2 施工ヤード内作業状況

斜路走行時の走行安定装置としており、急勾配道路を安全に走行して現場進入ができる。実際現場において、急勾配小曲線半径の幅員4m工事用道路（勾配28%、約16度）を安全に自走して施工ヤードに進入した。（写真-1参照）

③ 施工現場占有面積が小さくてすむ：

施工ヤードにおいては、当弁慶300（幅×奥行×高さ＝2.5m×4m×5m）とテレスコピック式クラムセルの2台のみの配置で済み、発電機、コンプレッサ、吹付材供給装置等は現場状況に応じて適当な位置に配置することができるので、急傾斜地の最小限の施工ヤードで安全で効率的な作業が可能である。また狭いヤード上でも、当弁慶300は煩雑な移動が容易にでき、かつ施工中の杭真上での方向転換が可能である。かつ、弁慶300の占める占有面積が小さくかつ移動性に優れているので、段差フーチングの深礎杭基礎の施工も可能である。（写真-2参照）

④ 安全な掘削作業ができる：

ゴンドラ内での遠隔操作による機械掘削作業であるので、苦渋な人力重作業や、粉塵・振動・騒音等の有害環境下の作業から解放される。

⑤ 防塵された運転室内での快適な作業ができる：

運転室には換気ダクトが接続されており、常時新鮮な空気が送り込まれ室内は外部より若干昇圧された状態であり、有害な外気や粉塵の侵入を防ぐことが出来るので酸欠等の危険を防止できる。また、坑内はゴンドラの降下に合わせて換気ダクトが伸張しゴンドラ底部より吹き出すことにより換気し視界の確保等を図っている。

⑥ 安全に坑内への入昇降ができる：

従来工法では、タラップや梯子等による人の昇降が必ず伴うため、墜落や物の飛来、落下による災害の危険が高かったが、ゴンドラによる入昇降であり墜落、落下物等の危険がなく安全性が著しく高くなった。

⑦ 弁慶300は、労働基準局の「橋型・電動・旋回無軌道式ゴンドラ（可搬式）」で製造検査を受け、設置届を済ませている。移動式クレーンと同様の扱いを受けるので、どこの現場でも使用可能である。

### 3.3 施工実績

弁慶での施工実績として、平成5年6月より東海北陸自動車道西乙原工事に於いて道路橋橋台の深礎杭基礎を施工した。工事規模は、次の通りである。

貝付橋橋台A2	径 φ 2.5m、長さ 20.0m、18.5m、16.0m、15.5m、	計 4 本
赤谷橋橋台A1	径 φ 2.5m、長さ 14.0m、14.0m、12.5m、12.5m、	計 4 本
合計	8 本、総延長 123m	

地質は、貝付橋は、杭天より-7mまでは、レキ混り粘土、粘土混り角レキのチャートで、-7m以深は亀裂の多い斑れい岩で、赤谷橋は、チャート主体の粘土混り砂レキで、転石が全体にわたって介在していた。貝付橋橋台の深礎杭基礎の杭心位置の測量、坑口部をライナープレート6段及び巻立コンクリートを施工した後、GL-3m以下から本弁慶300で掘削を開始した。



写真-3 弁慶とテレスコラムとの組み合わせ掘削



写真-4 坑内降下したゴンドラによる作業状況

施工パターンは、吹付け厚10cm、1サイクル当たり掘削長さは0.5m~1.0mである。

写真-3、写真-4に施工状況を示す。

掘削開始して、当初の作業割合は、本機械による当たり取り作業が全体の18.8%、吹付けが26.0%、休止が25.5%の状態であった。その中で故障・修理による休止の大半は、吹き付けノズルの交換であった。

吹付けを行うたびにノズルの詰まりを生じ、取付け・取外しやホースの準備にかかる時間等が多かった。狭い坑内での吹付けは、ノズル吹出圧の管理、最適ノズル運動、吹付けホース引き回し、吹付け供給装置の運転者との連絡等、習熟に時間を要した。そのため、当初は平均0.7m/日という掘削能率であったが、機械そのものは致命的なトラブルもなくテストや改良を加えながら稼働した。最終的な施工能力は、貝付橋において1m/日程度、赤谷橋において2m/日程度であった。

続いて翌年の平成6年6月において磐越自動車道東山工事の橋台深礎杭基礎施工で、弁慶300でφ2.5m×10m杭を4本掘削した。掘削・土留工については、西乙原工事の経験を踏まえ部分改造能力アップをはかり、地質が崖錐および流紋岩（一軸圧縮強度1000kgf/cm<sup>2</sup>）においての能率は、最大日進2.8m/日、平均1.65m/日であった。いずれの工事においても土留め工として、ライナープレート覆工作業に替わるモルタルによる吹付けライニング覆工を採用したことにより地山と密着した引き抜き耐力に優れた高品質の基礎杭ができる長所がある。（写真-5参照）

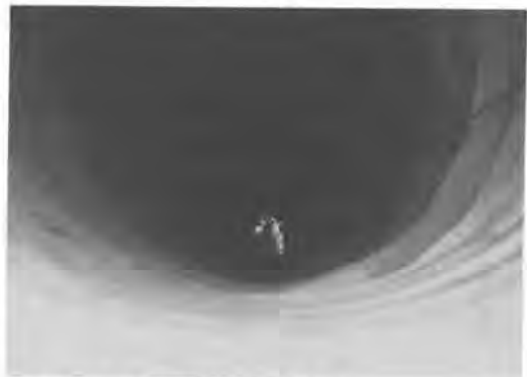


写真-5 吹き付け土留め状態

#### 4. 鉄筋組立・建込装置による鉄筋の建て込み

深礎工用鉄筋組立・建て込み装置は、鉄筋組立フレーム、鉄筋吊り込み装置から構成され、地上においての作業で鉄筋工の一連の組立及び建て込みの作業ができるものである。（写真-6）

この深礎杭鉄筋組立・建て込み装置を、平成6年6月の磐越高速自動車道東山工事の橋脚の橋台深礎杭

基礎工事の鉄筋組立作業に導入し、順調に稼働した。

この鉄筋組立・建て込み装置は、地上において、且つ杭の真上において、鉄筋組立作業と併行して、順次組み上がった鉄筋籠を降下させながら建て込むもので、作業員が坑内に入らずに、すべて地上作業で施工できる。

山岳部における深礎杭基礎工事の鉄筋組立作業においては、一般に大型クレーンを現場に入れることができず鉄筋籠として一体化して吊り込むことができず、小型クレーンを用いて鉄筋を少量ずつ深礎坑内につり込み作業員が坑内で簡易吊り足場によって人力により1本1本建て込み組み立てていくのが一般的で、深礎杭工事一連の工種の中で最も危険な作業であった。本装置により、狭い坑内への人の出入りに伴う墜落の危険や鉄筋・資材の煩雑な搬入搬出による飛来落下物の危険、人力主体の苦渋重作業等の作業環境の改善と安全施工を達成した。

本装置の特長は次の様である。

- ①地上で全ての作業が行え、安全な作業環境である。
- ②組立ながら建て込みを行える。深礎杭穴直上での組立作業であるので余分な敷地を要しない。
- ③ゲージ板で鉄筋ピッチが決められるので、鉄筋をセットしていただくだけで正確な鉄筋籠が組立てられる。
- ④長尺主筋が使用できるので、ジョイント個所が少なく作業効率があがる。
- ⑤装置構造がシンプルで複雑な作業を必要としない。
- ⑥装置の移動、主筋の吊り込みは、小型クレーンで可能。

## 6. おわりに

弁慶工法は、致命的なトラブルもなく、テストや改良を加えながら施工を継続し、深礎杭の掘削を完了した。ゴンドラ内に運転員が搭乗しての目視での遠隔操作による作業であるので、当たり取り部の凹凸の確認、吹き付けモルタルの付着状況把握等を、ゴンドラ運転室内より十分に確認する事ができる。

従来工法に比較して、効率化を図り且つ省力化、苦渋作業の排除、特に安全作業の面では十分目的を達成する事ができた。

また、次工程の鉄筋建て込みの機械化においても、狭い現場においても搬入可能な小型のクレーンを用いて、坑内に作業員が入ることなく、地上の軽作業で鉄筋建て込みができ、安全性において目的を達成する事が出来た。将来的にはコンクリート打設をも含めて総合的な深礎杭基礎の安全施工の機械化に更に取り組んで行きたいと考えている。



写真-6 鉄筋組立・建て込み装置