

54. 深礎全断面掘削機の開発

中部電力㈱：須田 悟
㈱熊谷組：*三村 友男

1. はじめに

山岳地に建設する送電線鉄塔や橋梁などの基礎、急傾斜地における地滑り抑止杭などには経済的に有利な深礎基礎が多く採用されているが、掘削工事など施工の大部分が狭隘な円形立坑内での有人作業であり、作業環境も大変厳しいものとなっている。その3Kイメージに加え、近年の労働人口の減少と高齢化などから労働力の確保は益々厳しくなる状況にあり、深礎基礎工事の機械化・自動化による作業環境改善、安全性向上、省人化、工期短縮およびコストダウンが重要な課題となっている。

このような状況を踏まえ、地上のオペレータ1名の監視操作により坑内無人で全断面を掘削しながら、同時に連続排土を行う深礎全断面掘削機を開発した。本掘削機は、掘削からコンクリート打設までを対象とした深礎基礎坑内無人化工法の開発の一環として、中部電力、熊谷組、トーエネック、中電工事、大豊建設、白石が共同開発したものである。

本報告では、深礎全断面掘削機の概要と試作機による現場実証施工および本掘削機を中心とする深礎基礎坑内無人化工法の概要について紹介する。



写真-1 掘削機本体

2. 深礎全断面掘削機の概要

2.1 特長

本システムは以下のような特長を有している。

- ① 地上のオペレータ1名の監視操作により、掘削から排土までを坑内無人で行うことができる。
- ② 普通土砂から一軸圧縮強度 $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 級の中硬岩までの幅広い地盤に対して全断面を能率良く掘削できる。
- ③ バキューム吸引式の空気輸送により、掘削しながら連続して排土を行う。
- ④ グリッパと最外周カッタの部品交換のみで容易に掘削径の変更ができる。
- ⑤ 山岳地の現場搬入を容易にするために、各装置の分割単体質量を 2.0t 以下としている。また、掘削機本体の現地組立解体は、各1日程度で行うことができる。

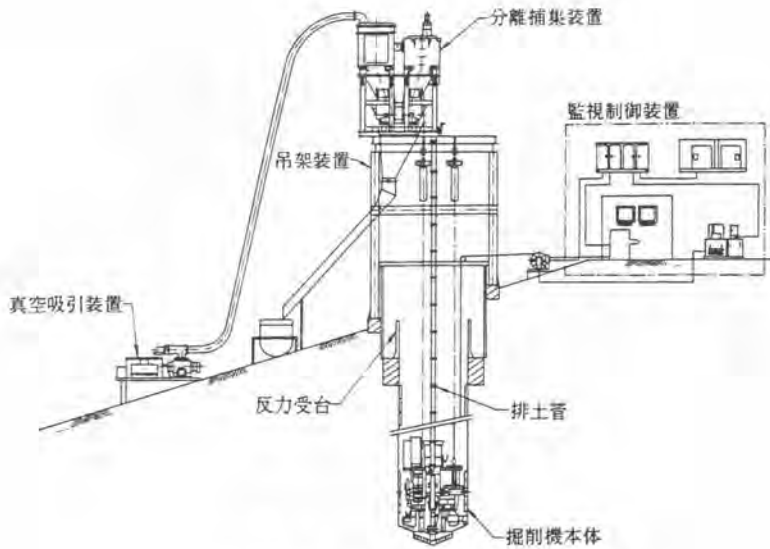


図-1 全体システム概要図

2.2 システムの構成および機能

図-1に全体システム概要図を示す。本システムは掘削機本体、バキューム排土装置、監視制御装置、吊架装置および反力受台から構成される。

(1) 掘削機本体

図-2に掘削機本体構造図を示す。本掘削機は、掘削坑壁にグリッパを押し付けて本体を固定し、推進用のシフトジャッキによりカッタ部を押し出して掘削を行う。シフトジャッキストローク分の掘削終了後、グリッパを緩めてシフトジャッキを縮める操作により本体が下降する。この繰り返しにより、1シフト50cmづつ掘進する。

カッタ部は、中央カッタと外周カッタに分割され、両カッタが互いに逆方向に回転しながら全断面を掘削する。この回転機構は、グリッパに作用する掘削トルク反力の低減を図ったものである。また、カッタ部は中央カッタが外周カッタに先行して掘削する2段構造で、掘削面に傾斜を設けた形状としたことにより、掘削された土砂（ズリ）はカッタ回転に伴って中央カッタの中心付近に掻き寄せられる。このズリ溜り部に排土管先端を配置することにより、掘削しながら連続してズリの吸引、排土を可能にしている。

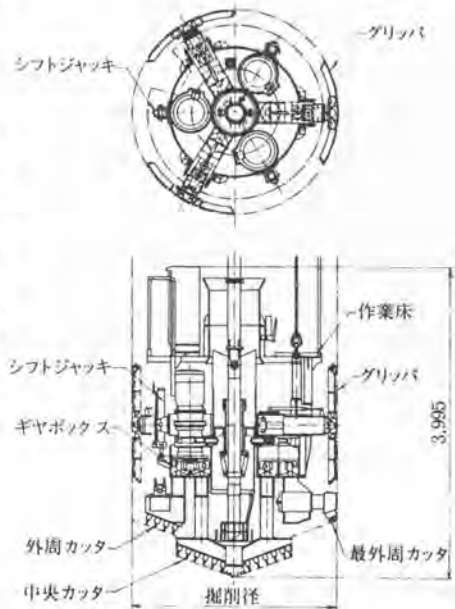


図-2 掘削機本体構造図

カッタビットは、両方向回転対応の切削型ビットで、普通土砂から中硬岩までの幅広い地盤に対して掘削が可能である。ビットの取付けは、現地でのビット交換が容易なピン脱着式として

いる。
掘削完了後、仮土留の設置された坑内から掘削機本体を一体撤去・回収するため、最外周カッタは地上の監視操作盤での遠隔操作により縮径することができる。

掘削径の変更は、呼径φ2.65mからφ3.35mまでの4種類に対して、グリッパと最外周カッタの部品をアタッチメント的に交換するだけで容易に行うことができる。表-1に掘削機の主要性能、表-2に主要仕様を示す。

(2) バキューム排土装置

バキューム排土装置は、真空吸引装置、分離捕集装置、連続排土機および排土管から構成される。中央カッタのズリ溜り部に掻き寄せられたズリは、真空吸引装置の発生する気流により吸引され、排土管を通して地上の分離捕集装置まで空気輸送される。分離捕集装置は、粗大粒子を捕集するレシーバと、粉塵を捕集するフィルタ装置から成り、気流からズリおよび粉塵を分離、捕集する。捕集されたズリおよび粉塵は、連続排土機により気流の気密性を保ちながら機外に排出される。また、排土管先端は常にズリと一定の間隔を保つように、ズリの集まり状況に応じて上下させることができる。

(3) 監視制御装置

掘削機およびバキューム排土装置の運転操作は、1名のオペレータにより地上の監視操作盤において、掘削地盤、排土管先端のズリの吸い込み状況およびシュート排出口の状況をモニターテレビにより監視しながら坑内無人で行う。

(4) 吊架装置

吊架装置は、掘削開始時における段掘部内への掘削機本体の吊り降ろしおよび掘削完了後の坑内からの一体撤去・回収を行うもので、チェーンブロック(5t)3台を装備している。また、鉄筋工事における鉄筋かこの沈設も本装置を使用して行う。

(5) 反力受台

反力受台は、鋼製の円筒形で段掘部内の掘削位置に設置される。この内壁面にグリッパを押し付け

表-1 掘削機の主要性能

項目		性能
掘削径	呼称φ2.65m	φ2.50m +0~0.15m
	呼称φ2.85m	φ2.70m +0~0.15m
	呼称φ3.15m	φ3.00m +0~0.15m
	呼称φ3.35m	φ3.20m +0~0.15m
掘削地盤		普通土砂~中硬岩 (一軸圧縮強度50N/mm ² 程度まで)
掘削深さ		35m以下(標準)
分割単体質量		2.0t以下
総質量		約12t(掘削機本体のみ)
掘削速度(参考値)		砂 礫 60cm/h 軟岩 50cm/h 中硬岩 30cm/h

表-2 掘削機の主要仕様

項目		仕様
掘削機本体	カッタ回転数	中央カッタ 4.7r/min 外周カッタ 3.3r/min
	カッタトルク	中央カッタ 55.9kN・m 外周カッタ 79.4kN・m (ΣT=135.3kN・m)
	電動機	18.5kW×4p 220V×60Hz 3台
シフトジャッキ		78.5kN×550mm 3本 駆推力 235.5kN 伸長速度(最大) 5.6cm/min
	グリッパジャッキ	240kN×300mm 3本
油圧ユニット	シフト系	油圧ポンプ 0.28L/min×3口×15.7MPa 電動機 0.4kW×4p 220V×60Hz 1台
	グリッパ系	油圧ポンプ 6.4L/min×3口×15.7MPa 電動機 7.5kW×4p 220V×60Hz 1台
バキューム排土装置	真空吸引装置	エンジン 空冷ディーゼルエンジン 76kW 2,300/min 真空ポンプ 250A ループブロウ 理論処理能力 98kN/h
	分離捕集装置	電動機 1.5kW×4p 220V×60Hz 1台 払い落とし方式 パルスエア方式 必要空気量 360NL/min×0.5MPa(G)
	連続排土機	電動機 0.75kW×4p 220V×60Hz 2台 最大排土量 0.3m ³ /min

て掘削機本体を固定し、段掘部からの掘削を開始する。



写真－2 掘削状況



写真－3 監視操作状況

3. 現場実証施工

普通土砂から中硬岩までの模擬地盤を構築して、試作機による掘削性能試験を行った後、現場実証施工を以下の送電線鉄塔建設現場において、掘削地盤をかえて3現場実施した。その結果を表－3に示す。

工事名：中部電力500kv愛岐幹線新設工事

第7工区No.120号 φ2.6m AD脚〔94.4〕

第9工区No.154号 φ2.8m D脚〔94.9〕

第3工区No.23号 φ2.6m C脚〔94.12〕

平均日進量では、1.7～2.5m/dの比較的良好な結果が得られたものの、純掘削速度の値からみると、ロスタイムを減少させることなどにより、さらに施工サイクルの向上が可能と言える。

今回の開発では、これらの試作機による掘削性能試験および現場実証施工において明らかになった改善すべき点についての改良検討を実施し、実用機的设计製作に反映させている。



写真－4 施工状況

表－3 現場実証施工結果

	砂 礫	軟 岩		中硬岩
岩 種	まさ土	強風化花崗岩	強風化チャート	チャート
岩 級	D	D～CL	D～CL	CL
換算N値	30	100～貫入不能	100～180	貫入不能
純掘削速度 (m/h)	2.4	1.7	1.3	1.1
平均日進量 (m/d)	1.9	2.5	1.8	1.7

4. 深礎基礎坑内無人化工法

4.1 工法の概要

本工法は、深礎基礎工事における掘削からコンクリート打設までの総合的な坑内無人化を図ったもので、深礎全断面掘削機の開発を軸として、仮土留の省略、鉄筋かご沈設工法および深礎用自己充填コンクリートの各要素技術を開発、総合化したものである。図-3に本工法の施工ステップを示す。

以下に、各要素技術の概要を示す。

(1) 仮土留の省略

仮土留は、坑壁崩壊の防止および坑内作業員の保護対策として設置されるが、本工法では坑内における有人作業が全く不要となるため、坑壁が自立する場合には仮土留を省略することが可能であり、コストダウンおよび工期短縮を図ることができる。実施への対応としては、地質調査結果からの仮土留省略の判定基準、坑壁崩壊のレベルに応じた対策フローチャートを作成した。

(2) 鉄筋かご沈設工法

本工法は、主鉄筋にカブラ接続のネジ節鉄筋を用い、掘削位置の直上で鉄筋かごの組立および沈設を行うものである。鉄筋かごの沈設は、掘削機に使用した吊架装置により行う。

鉄筋かごは、外側3ヶ所に取付けられたエアバッグを所定の沈設位置で加圧することによって位置決めを行い、必要かぶりを確保する。エアバッグは、鉄筋かご据え付け後、脱気して回収される。

(3) 深礎用自己充填コンクリート

現在、締固め不要コンクリートとして高流動化コンクリートが実用化されているが、高性能減水剤と特殊な粉体を添加するため、一般のプラントでの製造が難しいことやコスト高などの問題があった。

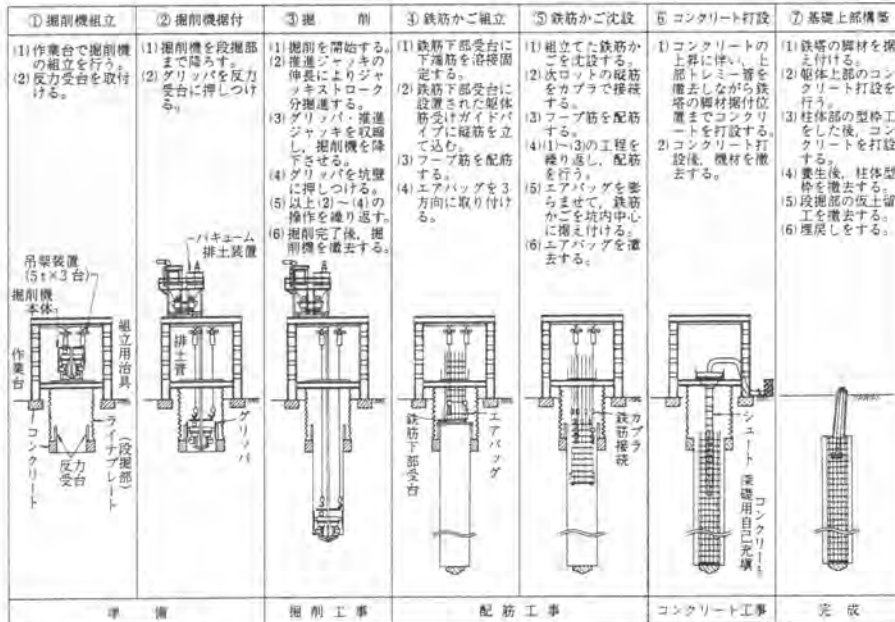


図-3 坑内無人化工法の施工ステップ

今回開発した深礎用自己充填コンクリートは、高性能減水剤と配合調整のみで所定の流動性と材料分離抵抗性を満足するもので、締固めや打継ぎ面の処理が不要であり、一般のプラントでも製造可能である。表-4にコンクリートの所要性能、表-5にコンクリート配合表を示す。

表-4 コンクリートの所要性能

項目	所要性能
呼び強度	21 N/mm ² 以上
スランプフロー	50 cm
同上保時間	指定時間
空気量	4.5 %
ブリージング率	5 %以下
塩化物量	0.3 kg/m ³

表-5 コンクリートの配合表

水・セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					混和剤添加率 (%)
		セメント	水	細骨材		粗骨材	
				粗砂	細砂		
41.6	4901	375	156	687	170	896	1.90

4.2 導入効果

坑内無人化工法は、中部電力500kv越美幹線№10号で実証施工を実施し、十分な実用性があることを確認した。この結果から、本工法の送電用深礎基礎への適用において、以下のような効果が期待できる。

- ① コストダウン：百万円/基
- ② 工期短縮：4ヶ月/基⇒3ヶ月/基
- ③ 安全性向上：坑内無人、発破等の爆発物が不要
- ④ 作業環境改善：作業の軽労働化、坑内作業⇒地上作業
- ⑤ 省人化：作業班の小数化（8人⇒5人）

4.3 工法の適用範囲

坑内無人化工法の適用範囲は、経済性および掘削機の性能の面から以下のとおりとなる。

- ① 坑壁が自立性に優れた地盤
- ② 厚い高粘土層のない地盤
- ③ 地盤強度は中硬岩（500kgf/cm²級）程度まで
- ④ 湧水は滲み水程度

5. あとがき

今回紹介した深礎全断面掘削機および坑内無人化工法は、掘削からコンクリート打設までの一連の深礎基礎工事の坑内無人化を実現した。これにより、とくに作業環境改善および安全性向上の面で大きく寄与できるものと期待している。また、本開発の第2段階として、機械の稼働率向上とオペレータの熟練度を必要としないことを目的として、掘削から排土までの全自動化の研究を実施し、基本設計までを完了している。

なお、深礎全断面掘削機は、平成8年4月から中部電力の基幹送電線建設現場に、坑内無人化工法として本格的に採用され、現在稼動中である。今後、さらに機械および工法の改良を行い、工法の適用範囲の拡大を図っていく予定である。