

28. 全断面深礎掘削機の開発

(株)サンテック：波里 正典
 千歳電気工業(株)：草川 延浩
 日立電線(株)：平井 幹男
 (株)ヒメノ：相澤 和夫
 日立建機(株)：村岡 正、関 一秀

1. 緒言

近年の架空送電線は、輸送電力の大容量化に伴い大規模化され、社会環境への配慮から、その立地条件は急峻な山岳地が多くなっている。そして、このような送電用鉄塔においては、深礎基礎が多く採用されている。

しかし、本工事は、重機の搬入及び効率的な稼動が困難な立地条件である為、ほとんどの場合は作業員が深く、狭隘な孔内に入って人力掘削を行っている。

一方、労働力の確保は、労働人口の減少及び3Kイメージなどから困難化しており、本工事の省人化、作業環境改善、安全性向上が非常に重要な課題となってきた。

このような状況の下、鉄塔施工業者の(株)ヒメノ殿、(株)サンテック殿、千歳電気工業(株)殿、日立電線(株)殿と共同で、深礎基礎の孔内無人化掘削を実現し、且つこのような立地条件でも使用できる、分解型の全断面深礎掘削機FD3500(Foundation Drillの略)を開発し、実用化したので以下に報告する。

2. 装置の概要

(1) 必要仕様

送電用鉄塔の深礎基礎工事現場に、装置を導入し受け入れていただくには、深礎基礎の掘削が可能である以外に、その工事現場固有に要求される仕様を満たす必要がある。このような要求仕様と、本装置開発にあたってのそれぞれの対応方針を表1にまとめた。

表1 要求仕様と対応方針

| 項目 | 要求仕様 | 対応方針 |
|--------|------------------------------------|---|
| 基本仕様 | ・基礎径 $\phi 3.3 \sim 3.5 \text{ m}$ | ・孔壁保護を考慮し、掘削径3.1~3.8m |
| | ・最大掘削深さ 30m | ・同左 |
| 搬入組立方法 | ・索道又はヘリコプタ輸送可能 | ・2.3tf分解型 |
| | ・36tf・mジブクレーンで組立可能 | ・索道運搬可能な分解サイズ |
| 設置地盤対応 | ・最小限の切取、盛土で設置可能 | ・設置スペース5.5m \square |
| | ・斜面への設置可能 | ・最大30°まで |
| 安全性配慮 | ・掘削時、孔内無人化 | ・地上からの遠隔操作方式 |
| | ・孔壁保護等での作業員の入孔を配慮 | ・専用の入孔用コンドラを装備 |
| 掘削土質対応 | ・N値300程度の中硬岩まで掘削可能 | ・掘削具に超硬チップを採用 |
| | ・含水等の影響のない確実な掘削と排土 | ・アースドリルバケットに掘削土砂を取り込みこれを孔外に持ち上げて排土する方式 |
| 操作性 | ・ショベル等汎用建設機械並みの操作性 | ・新工法の採用 |
| 経済性 | ・現状に対する施工積算が同等以下 | ・全体質量40tf以下 ・施工期間を現状に対し2/3以下に短縮化 ・作業に必要な人員を4人以下に省人化 ・掘削に水を使用せず、付帯設備を低減 |

(2) 掘削工法

本装置は、表1に示した操作性、経済性の要求仕様を満たすために、図1にその概略の施工手順を示す新工法を採用している。

この工法は、

- ① あらかじめ基礎径よりも小さな径の先進孔を掘削し、この先進孔にガイドロッドを挿入し、
- ② このガイドロッドに基礎孔掘削機を設置し、
- ③ ガイドロッドに沿って基礎孔を掘削する

もので、

- ・ 容易な操作で精度の良い基礎孔鉛直度を確保する ($1/300$ 以下、 30m で $\pm 10\text{cm}$)
- ・ 施工速度に大きな影響を与える掘削機の昇降動作を高速化する

等の特徴を持つものである。

また、この工法を採用しているため、本全断面深礎掘削機は、

- ・ 先進孔を掘削しガイドロッドを挿入する先進孔掘削機
 - ・ ガイドロッドに沿って基礎孔を掘削する基礎孔掘削機
- の2種の掘削機から構成されている。

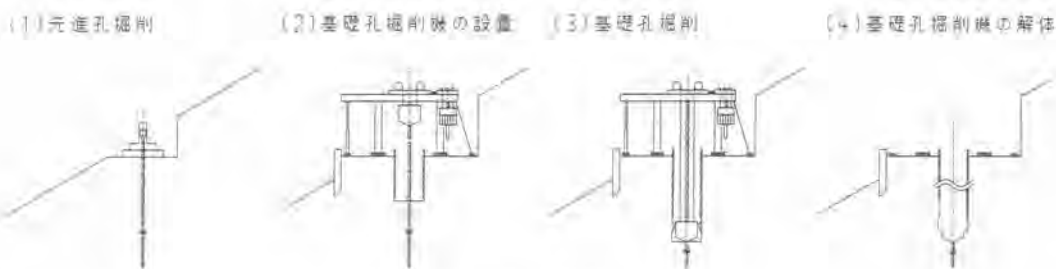


図1 施工手順

(3) 先進孔掘削機

先進孔を掘削しガイドロッドを挿入する、先進孔掘削機の概要を図2に、仕様を表2に示す。この装置は、ボーリングマシン、ハンマ、ビット、インナーロッド、ガイドロッド等から構成されており、

- ・ 掘削に水を使用しない様に、エアを用いたダウンザホールハンマ方式
- ・ 施工時間短縮を図るため、先進孔掘削とガイドロッド挿入を同時施工する2重管掘り方式により掘削を行うものである。

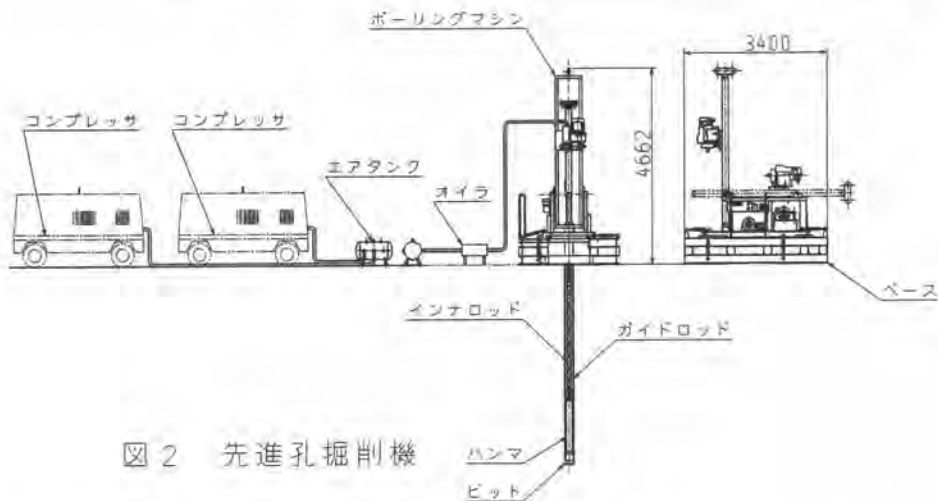
(4) 基礎孔掘削機

ガイドロッドに沿って基礎孔を掘削する、基礎孔掘削機の概要を図3に、仕様を表3に示す。この装置は、櫓装置、走行装置、掘削機、ゴンドラから構成され、

- ・ 全体質量を低減するために、掘削反力は基礎孔壁にグリッパを押し付けてとる

表2 先進孔掘削機仕様

| 装置 | 概要 | 仕様 |
|----------|-------------------------------------|--|
| ボーリングマシン | ダウンザホールハンマ | ・電動機容量 15.2 kW ・重量 1.9 tf |
| ハンマ | エアにより往復運動し、ビットを打撃 | ・使用エア圧 10.5 kgf/cm ² ・使用エア量 16.4 m ³ /min |
| ビット | 先端の超硬ビットで地盤を掘削 施工時拡径し、終了時回収のため縮径 | ・掘削径 231 mm ・回収径 176 mm |
| インナロッド | ロッド内部からハンマにエアを供給 | ・外径 140 mm ・長さ 3 m ・材質 API 規格 |
| ガイドロッド | 掘削と同時に地盤に挿入 | ・外径 216 mm ・長さ 3 m ・材質 API 規格 |



- ・ グリッパは90° 毎に4本配置し、孔壁の一部が崩壊しても掘削反力がとれる様に、対向する2本のみでも使用できる
- ・ 基礎孔はライナープレート等の孔壁保護により、掘削機が昇降する際の径が、掘削径に対し小さくなるため、外周カッタは拡径方式
- ・ 泥土でも確実な排土が可能なアースドリルバケット方式等の特徴をもち、
 - ① 走行装置上に設置されたウィンチにより、ガイドロッドに沿って掘削機を入孔、着底させ、
 - ② グリッパを孔壁に押し付け、拡径カッタを伸ばし、
 - ③ 推力を与えながら、アースドリルバケット、固定カッタ、拡径カッタを回転させることにより、掘削を行い、
 - ④ 掘削終了後、掘削機をウィンチにより孔外に持ち上げ、
 - ⑤ 走行装置により、掘削機を排土位置に移動し、
 - ⑥ アースドリルバケットを開放することにより、排土を行う
 といった一連の動作で掘削を行うものである。

表3 基礎孔掘削機仕様

| 装置 | 概要 | 仕様 |
|--------|---|--|
| 橋装置 | 掘削機を吊り下げた走行装置及び Gondra 用の設置架台。ガイドロッド保持及びバケット蓋閉じ用の押付装置が付属。 | ・設置面積 約5.5m ² 斜面設置対応可 ・質量 約15tf |
| 走行装置 | 掘削機の昇降、排土のための水平移動を行う装置で、上部に油圧ユニット、ウィンチ等を搭載。 | ・油圧ユニット 135ps ・ウィンチ 10.7tf × 2台 ・質量 約8tf |
| 掘削機 | 孔壁で掘削反力をとり、推力を与えながら回転して掘削する。 φ2.4mまでを、アースドリルバケットにてφ2.9mまでを、固定カッタ(3ヶ所装備)にてそれ以上を、拡張カッタ(3ヶ所装備)にて掘削する。 | ・グリップパカ 最大30tf(可変) × 4本 ・推進力 最大7.5tf(可変) × 4本 ・推進ストローク 300mm ・回転トルク 最大20tf・m ・回転数 最大5rpm ・バケット容量 約3m ³ ・質量 約15tf |
| Gondra | 孔壁保護等で作業員が入孔するための専用 Gondra。作業床として労働基準局の認可を取得したもの。 | ・積載荷重 500kgf ・質量 約2tf |

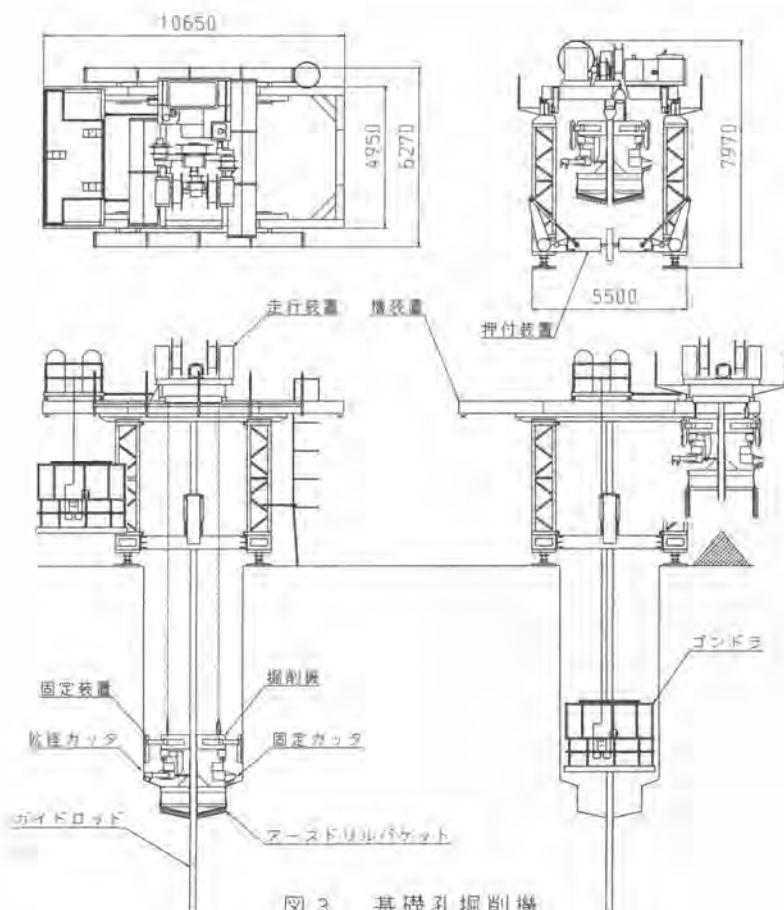


図3 基礎孔掘削機

3. 施工結果

これまでに表4に示す様に、試験工事を含め3現場で5本の基礎孔の施工を行なった。この際の施工進捗状況と柱状図の関係（試験施工時）を図4に、その際の基礎孔掘削機の移動写真を図5に示す。

表4 施工内容

| 施工名称 | 施工場所 | 施工期間 | 掘削径 | 基礎径 | 基礎深さ | 孔壁保護 |
|-----------------------|---------|----------------|------------------|----------------|------------|------------------------|
| 試験工事 | 茨城県北茨城市 | H8/4~ | φ3.55m | φ3.5m | 10m | ライナープレート |
| | | H8/6 | φ3.55m | φ3.5m | 20m | ライナープレート |
| 東京電力(株)殿 南いわき幹線5工区 | 栃木県黒羽町 | H8/9~ H8/11 | φ3.3m | φ3.0m | 20m | ライナープレート+ コンクリート裏込め |
| 東京電力(株)殿 南いわき幹線4工区 | 福島県棚倉町 | H9/1~ H9/5 | φ3.65m φ3.65m | φ3.5m φ3.5m | 30m 20m | ライナープレート+ コンクリート裏込め |

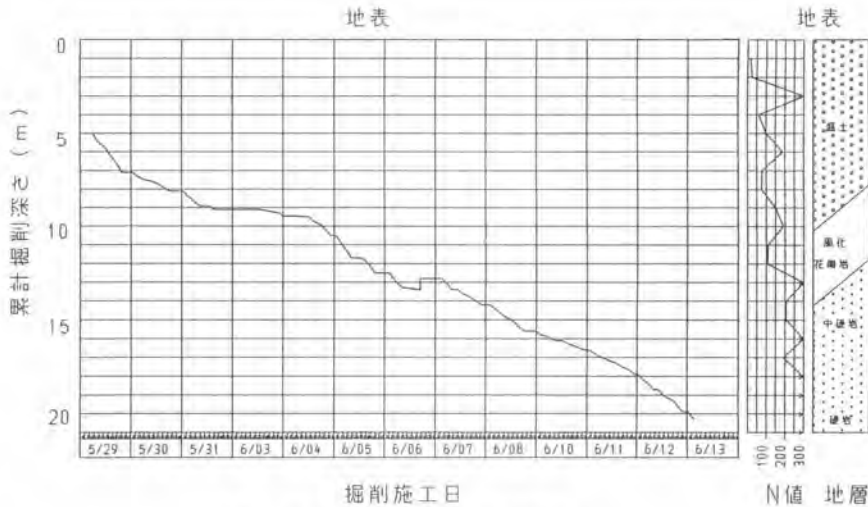


図4 施工進捗状況と柱状図



図5 稼動状況

これらの施工の際に、

- ① 孔壁保護にコンクリートの裏込めを行う場合、基礎孔掘削機が定置式であるため、コンクリートが硬化するまで装置が移動出来ず、施工速度が著しく低下する。
- ② 36tfジブクレーンで基礎孔掘削機を組み立てる場合、装置自体が大きいため、作業半径が大きくなる部位の組立が困難である。

等の様々な問題点が発生したが、一方では、

- ③ 施工速度は、図4に見られる様に、地盤の硬さよりも硬い地盤が斜めに出現したなどの地盤の形状への依存性が高いため、ガイドロッドに沿って掘削する本工法の有効性が確認できた。
- ④ 全ての施工で基礎孔の掘削に成功し、施工期間、必要人員など当初の要求仕様をほぼ達成する、表5に示す様な施工結果を得ることができた。
- 等の成果が得られた。

表5 施工結果

| 項目 | 結果 | 備考 |
|-------|--|--------|
| 先進孔掘削 | 施工時間 平均1.5日 | 段取りを含む |
| | 鉛直度 1/360~1/600(30mで8~5cm) | |
| 基礎孔掘削 | 掘削地盤強度 1軸圧縮強度で最大288kgf/cm ² | |
| | 掘削速度 平均1.84m/日 | 排土を含む |
| | 組立時間 平均4日 | 作業員4人 |

4. 結果

(1) 結論

- ① 山岳地における送電用鉄塔の深礎基礎工事に適用可能な2.3tf分解型の全断面深礎掘削機FD3500を開発し、実用化した。
- ② アースドリルバケット方式の採用により、泥土~中硬岩まで幅広い土質の基礎孔が、確実に掘削・排土可能であることが分かった。
- ③ 新工法の採用により、容易な操作で、品質の良い基礎孔が掘削できることが分かった。
- ④ 従来比約2倍の掘削速度を実現し、また組立、段取りを含めた施工期間も2/3程度に短縮でき、経済性についても要求仕様を満足しうる目処を得た。

(2) 今後の課題

本装置は、山岳地における送電用鉄塔の深礎基礎を対象として開発を行ったものであるが、同様の深礎基礎は、地滑り集水井及び山岳橋梁等の分野においても多数施工されている。現在、これらの分野への本装置の適用を図るため、また、今回実工事に投入した際に発生した問題点、および使用していただいた方々からの御意見をもとにした改良を行うために、以下に示す対応を行っている。

- ① 2脚掘り及び分解組立を行わない現場移動対応のため、また組立性向上のため、定置式をクローラタイプの自走式に変更。
- ② 全体質量を40tfから35tf程度に低減。
- ③ φ2.5m程度の小掘削径対応機、φ4.5~6m程度の大掘削径対応機へのシリーズ化。
- ④ 掘削速度の高速化(2m以上/日)

5. おわりに

本装置は今後、より多くの実績を重ね、そこで発生した問題点を改良していくことにより、深礎基礎工事全般に導入いただける装置としていきたいと考えている。最後に、本開発に御協力いただいた関係者の方々、実工事投入に御協力いただいた東京電力(株)関係者の方々に厚く御礼を申し上げ、この報文の締めくくりとさせていただきます。