

ポータブル貫入試験機のカイゼン

(株) 東設土木コンサルタント ○惣塚 潤一 植田 成二

1. はじめに

全地連「技術フォーラム 2017」旭川で、送電鉄塔を対象とした山岳地用軽量N値測定器(ポータブル貫入試験機)の開発を発表した。その際、①硬質部が出現した場合、支持層の層厚をどのように確認するのか、②クローラで運搬できない場合、どのように運搬するのか、という質問を受け今後の課題とした。

今回の発表は、上記課題をカイゼンした結果を発表する。その間に、同手法は、特許第 6619235 号『軽量地盤調査機及びこれを用いた地盤調査方法』を取得した。

2. 開発機器のカイゼン

(1) 既往機器の試験方法

既往機器は回転削孔機能を有さないため、連続的に標準貫入試験を実施する。このため、サンプラー周囲摩擦力ははたらき、実際より大きなN値となる。この対策として貫入試験毎に先端にテーパ形刃先を付けた専用拡孔バレル(φ56mm-66mm-76mm)により拡孔し、周囲摩擦を除去して掘進する(図-1)。

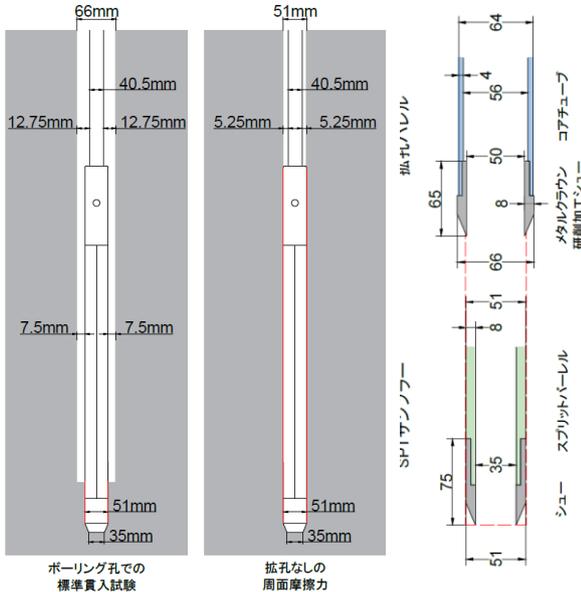


図-1 サンプラーの周囲摩擦と拡孔バレル

(2) 支持層の層厚を確認するためのカイゼン

硬質部を削孔するためには、打撃削孔では困難なため、回転削孔機能を有する必要がある。ボーリング削孔ツールの使用を前提にコアカッターの搭載を採用した。コアカッターの動力はモーターであるため、簡易に運べるサイズの発電機が必要となる。検討した結果、必要電力2.7kWを満たすには、1.8kWの小型発電機2台を並列運転(3.6kW相当)して削孔可能となった。また、ケーシング削孔するため、作業高さ1mを確保し、削孔と標準貫入試験を同一鉛直線を実施可能な簡易足場を制作した(写真

1)。同カイゼンにより写真-2に示す地質試料を採取することが可能となった。これにより、従前の打撃削孔から回転削孔と打撃削孔の両者の機能を有することになり、ボーリング調査と同様にN値50以上、層厚5m確認が可能になった。しかし、機能追加により、コアカッター資材、ケーシング類やダブルコアチューブなどの削孔ツール、足場材等の資材が追加となり機材総重量は0.5t(運搬車0.2t含む)から1.3tと増加した。



写真-1 コアカッター搭載型ポータブル貫入試験機全景

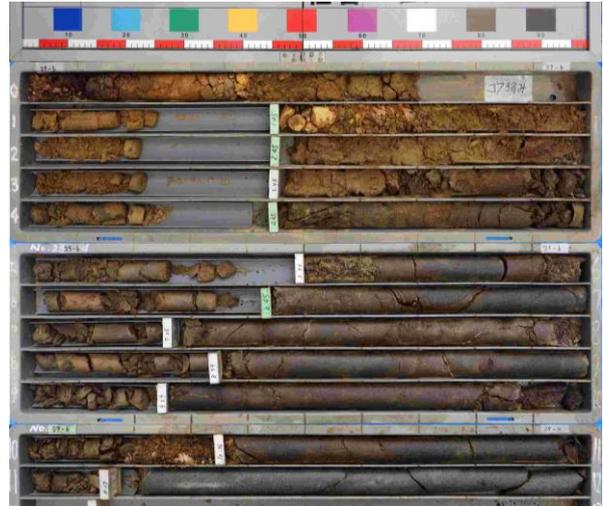


写真-2 地質試料採取状況

(3) 運搬方法のカイゼン

①ヘリ運搬

長距離モノレール運搬のコスト低減策としてヘリによる資材運搬を検討した。ボーリング資材2.1tに対してポータブル貫入試験機重量は1.3tである。内訳は、調査機本体0.2t、コアカッター0.2t、仮設材0.2t、削孔ツール0.3t、雑資材0.2t、運搬車0.2tである。最大積載量1tのヘリで2回の運搬で対応できるよう荷造りを運搬車、調査機材、削孔ツールの3梱包にできるよう工夫を行った(写真-3)。また、1日の物輸で複数地点を運搬することで、飛行日数の低減を図り、コスト低減を図った。



写真-3 ヘリ運搬状況

②ドローン運搬

長距離モノレール運搬のコストの低減策としてドローンによる資材運搬を検討した。ドローンの最大積載量は50kgであるため、全ての資材を50kg以下に分解できるよう改良を加えた。特に、ポータブル貫入試験機本体は、75kg以上の重量のため、油圧ユニットやプーリーを取り外し可能に改良し、さらに取付ネジの規格も統一し作業の効率化を図った。運搬に際しては、1梱包の重量を測定し最大積載量を超過しないような荷造りルールを確立した。これにより運搬機0.2tを除く1.1tの資材を1日のフライトで運搬が可能となった(写真-4)。また、モノレールやヘリと比較して荷吊り場および荷降ろし場の作業範囲を小さく設定できることから、上記運搬手法より伐採費や補償費、申請作業の低減が可能となった。



写真-4 ドローン運搬状況

(4)不攪乱試料採取の追加カイゼン

回転削孔機能を有したことにより、力学試験実施に向けた試料採取方法の追加カイゼンが可能となった。コアカッターの回転数は低速で300rpm、高速で700rpmであるため、不攪乱試料を採取するには回転が速く試料を乱す懸念があった。回転数を低減するために、①電圧を制御して回転数を低減する、②減速装置を取付けて回転数を低減する2案を提案・検討した。結果、電圧を制御して回転数を低減した場合、トルクも減衰することが判明し①案は不適とした。減速装置については、ギアの大きさに比例して回転を低減できること、ギアの大きさにより接続機器の小型化が製作可能なことから、②案の減速装置を採用した(図-2)。

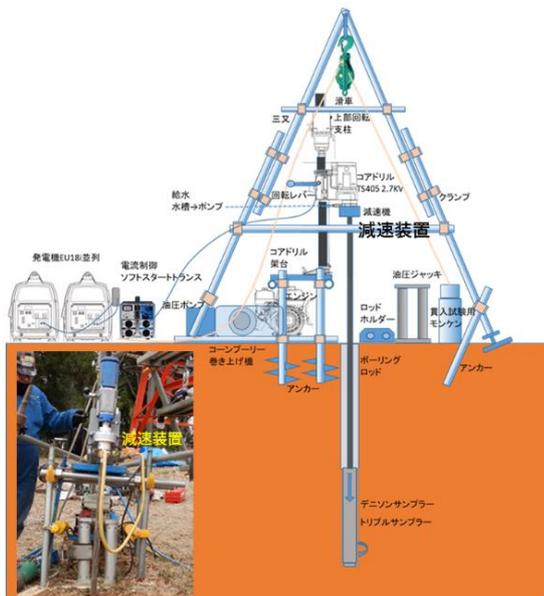


図-2 不攪乱試料採取概念図

減速装置を採用したことにより、コアカッター回転数を300⇒75rpm、トルクを86.3⇒344.2N・mにカイゼンし、ボーリングマシン回転数60~100rpm、トルク470.7N・m性能に近づけることができ、礫混じり土砂を対象とした不攪乱試料採取が可能となった。今後は、礫混じり土砂以外の土質で適用可能であるか試験を行う。

3. 開発機による実績と性能

(1)調査実績

回転機能を有するポータブル貫入試験機は2020年度の導入以降、約4年間で鉄塔調査主体に167孔、削孔長2200mの調査実績を有する。また、運搬に関してはヘリ運搬2現場、ドローン運搬3現場の実績である。

(2)カイゼンした開発機器の性能

①調査深度

調査深度は、コアチューブおよびケーシングを回転させる能力、すなわち回転トルクによるが、現況では20m程度である。地盤条件により異なるが、最大で25mの実績である。

②N値精度

ボーリングと同様にJIS A 1219 : 2023規格で実施可能である。

③支持層(N値50以上)の確認深度

回転削孔機能を有したことから、支持層(N値50以上)を5m以上確認可能である。

4. 運搬のコスト比較・安全性

モノレール運搬費、ヘリ運搬費、ドローン運搬費を比較すると、モノレール仮設長が概ね300mを超える条件で、ヘリ運搬とドローン運搬が安価となる。近年急速に普及しているドローン運搬の安全性については、航空法の準拠、機体の耐久性向上、有視界操縦、操作技術の向上、ヘリと同様の荷造りなど墜落・落下災害防止に留意し、導入以来無災害で運行しており安全性は高い。

5. おわりに

開発機器のカイゼンにより、支持層の層厚確認、運搬方法の多様化が可能となった。また、動力をモーター仕様に変更すると閉塞環境化(深礎基礎の底面)で鉄塔基礎の床付け検査も可能となった(写真-5)。



写真-5 鉄塔基礎床付け検査状況

今後は、調査深度のさらなる深度化を図り、送電鉄塔以外の山岳構造物(陸上風力発電基礎および周辺設備など)に対しても適用範囲を拡げ、社会資本整備に貢献したいと考える。

以上