

# アースドリル工法の軸部掘削時における掘削データの計測

目時龍之介\* 小川敦\* 中里太亮\*\* 青木浩幸\*\* 荒俣稔\*\*\* 森利弘\*\*\*\*

アースドリル工法（場所打ちコンクリート杭）の施工過程における支持層確認は、掘削時に採取した土砂を目視観察し、事前のボーリング調査結果（土質柱状図、土質標本等）と対比して行うことが基本となっている。この目視による確認に加え、支持層確認をより確実にするために掘削抵抗を利用することを見据えて、実現場においてアースドリル工法の軸部掘削時における掘削データ（掘削深度と時間、回転トルク、回転数）の計測方法および掘削抵抗の指標について検討を行った。

キーワード：場所打ちコンクリート杭、アースドリル工法、施工管理、支持層確認、掘削抵抗

## 1. はじめに

2013年に端を発した杭の支持層未達問題や既製杭工事での施工データ流用問題の発覚以降、杭工事における支持層確認に対する信頼が失われつつある。2016年に国土交通省より発せられた告示468号により既製杭の施工はより定量的な管理が求められることとなった。この流れは近い将来、場所打ちコンクリート杭の施工にも求められてくると考えられており、現在様々な研究<sup>1)</sup>が行われている。

場所打ちコンクリート杭のうち、建築で利用されることが多いアースドリル工法の施工過程における支持層確認は、JASS4（杭・地業および基礎工事）<sup>2)</sup>において、目視による掘削土と地盤調査試料とを比較した上で、掘削時間や掘削抵抗などを考慮し、総合的に行うとしている。その際、目視による確認に加え、確認項目として①掘削深度、掘削土量、バケットの回転抵抗の変化、②支持層と想定される地盤での掘削時間、③掘削機の音や振動の変化の3点を参考にするとしている。しかし文献<sup>3)</sup>によれば、掘削土の目視による確認は、支持層とその直上部の土質変化が小さい地盤では、掘削土の観察により支持層を確認することが困難な場合があること、また②および③の掘削機の音や振動、掘削速度などは、硬さの変化が緩やかな地盤では明瞭な変化が表れないこと、地盤の掘削状況が掘削機の操作法にも依存するため、再現性・客観性の面で問題が残されていると指摘されている。一方、ボーリング調査は通常20m以上の間隔で実施することが多く<sup>4)</sup>、すべての杭位置では行われなため支持層に不陸や傾斜がみられた場合、その把握は困難である。

文献1)に示した既往の研究では、回転トルクを利用する方法が示しているが、判定は難しいこと、支持層確認専用の装置を新たに導入する必要があるなど課題が多く、比較的安価に施工したい土工・基礎工事の工期および工費を圧迫する可能性がある。

そこでアースドリル工法の支持層確認方法として、従来から行われている掘削土と土質サンプルの目視での確認に加え、確認項目①のバケットの回転抵抗の変化の利用を見据え、従来の施工フローを変えずに軸部掘削時に得られた掘削データから、掘削抵抗の新たな指標を算出し、ボーリング調査結果のN値との比較を行うことで支持層確認の一助となる手法を確立することを目的とした。本報では、掘削データの計測方法、分析手順および掘削抵抗の指標とN値との比較を行った結果について報告する。

## 2. 計測概要

### 2.1 計測項目

Table 1に計測内容を示す。計測間隔を0.02秒とし、掘削深度はエンコーダの値を用いて計測を行った。回転トルクは施工機の油圧計から得られた値であり、回転数は後述する回転数検出装置を用いて計測を行った。

Table 1 計測内容一覧

計測間隔(秒)	0.02
掘削深度(m)	エンコーダによる値
回転トルク(kN・m)	油圧計による値
回転数(1/min)	回転数検出装置による値(近接スイッチからの距離を電圧で出力し、回転数に換算)

### 2.2 計測現場

Table 2に計測を行った現場の概要を示す。検討対象の杭は、各現場において近傍にてボーリング調査が行われた杭で、その範囲は約4m~8mとし、各杭の杭径は1.2、

\* 技術本部 技術研究所 基盤技術研究室  
 \*\* 建築事業本部 建築技術統括部 建築構造技術部  
 \*\*\* 建築事業本部 建築技術統括部 建築生産技術部  
 \*\*\*\* 技術本部 技術研究所 技術ソリューション室

1. 3, 1. 6, 2. 5m の 4 種類で、支持層は  $N$  値 50 以上の砂礫層、細砂層または固結シルト層であった。

Table 2 計測現場概要一覧

計測場所	A	B	C	D	E	F
支持層深度	約25m	約18m	約26m	約30m	約26m	約42m
支持層	細砂 ( $N$ 値50以上)	砂礫 ( $N$ 値50以上)	細砂 ( $N$ 値50以上)	固結シルト ( $N$ 値50以上)	細砂 ( $N$ 値50以上)	細砂 ( $N$ 値50以上)

### 2. 3 計測方法と計測機器

Fig. 1 に回転数の計測方法、Photo. 1 に実際に計測に用いたケリードライブと回転数検出装置の写真を示す。ケリードライブとは掘削バケットに回転力を加える装置であり、回転数検出装置はケリードライブに回転数検出用のセンサディスク（歯数 60 枚、6 度毎）を取り付け、近接スイッチからの距離を電圧で出力し回転数に換算した。

Eq. 1 に回転数  $N_c$  の計算式を示す。回転数検出装置からの信号により 1 分間に通過した歯車の数を、電圧が変動する回転数  $k$  とすることで算出した。

#### ケリードライブ

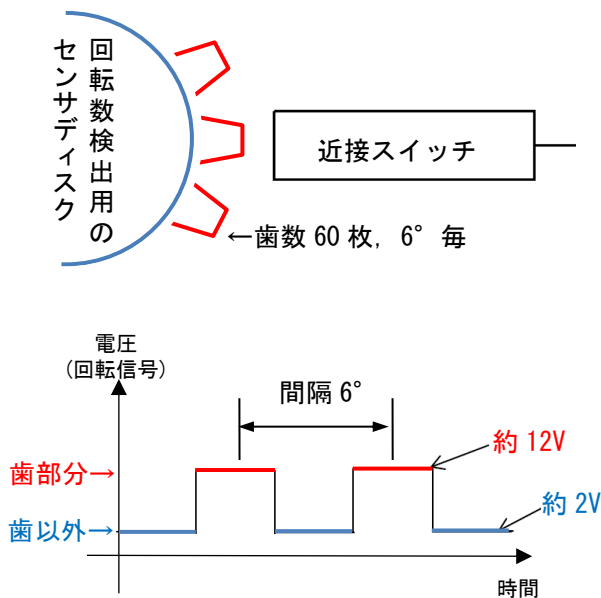


Fig. 1 回転数の計測方法



Photo. 1 ケリードライブと回転数計測装置

$$\text{回転数 } N_c = k \times 6 / 360 \quad (1/\text{min}) \quad \dots \text{Eq. 1}$$

$k$  : 1 分間に電圧が約 10V 増加した回数

Fig. 2 に計測機器を示す。施工機運転席背面にターミナルボックスを設置し、BNC ケーブルを介してデータロガー（DRA-162B）またはポータブル計測器（DH-14A）を用いて計測を行った。A, B 現場ではデータロガーを用いた計測を行い、C, D, E, F 現場ではポータブル計測器で計測を行った。

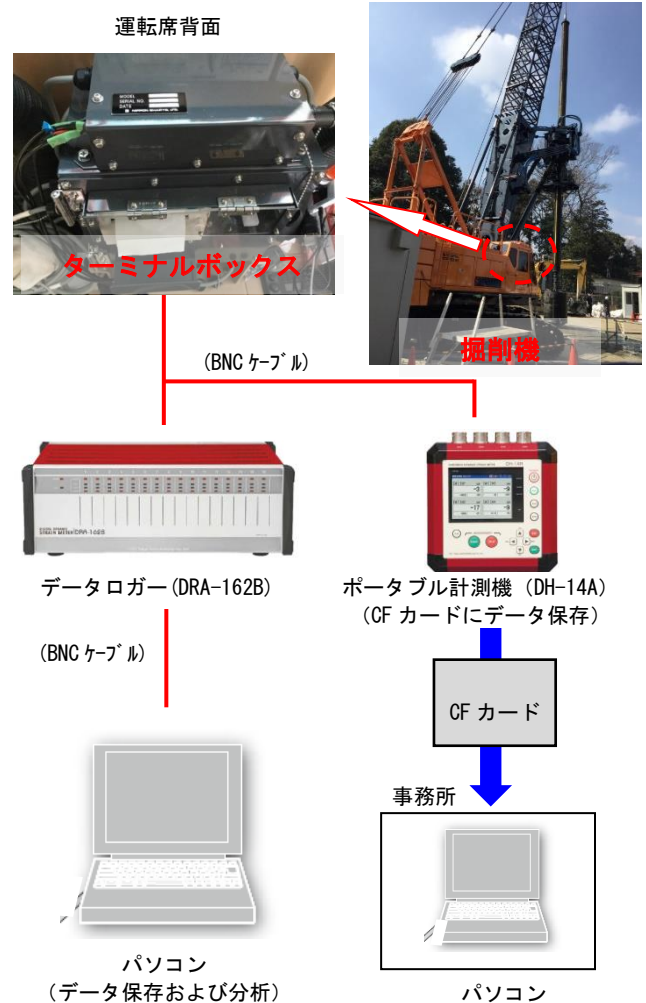


Fig. 2 計測機器

### 3. 検討方法

#### 3. 1 検討手順

掘削抵抗として計測した回転トルク値から回転エネルギー  $e(i)$  および回転トルクの積算値  $s(i)$  を算出し、ボーリング調査によって得られた  $N$  値との比較を行った。

Fig. 3~5 に掘削データの分析手順を示す。Fig. 3 は 1 本の杭における掘削バケットの時間-深度関係であり、Fig. 4 は軸部掘削における 1 サイクルのバケット深度と時間の関係として孔底の掘削部分を拡大して示す。1 回の掘削サイクルを図中①掘削バケットを孔底まで下ろす②孔底の掘削③掘削した土砂の取り出しの 3 つで表す。前

掘削サイクルで記録した深度を超えた点が掘削開始点、今掘削サイクルで記録した最も深い点を掘削終了点とした。Fig.5に回転エネルギー $e(i)$ 、回転トルクの積算値 $s(i)$ の算出の模式図を示す。各掘削サイクルにて得られた $e(i)$ 、 $s(i)$ を、計測した深度でそれぞれプロットした。

以下に分析手順を示す。

- 1) 0.02secで計測したデータから0.2sec間隔でデータを取り出す。
- 2) 取り出した0.2sec間隔のデータを対象に、1サイクル分のデータ毎に、有効データを決定する (Fig.4) 。有効データについては「3.2 有効データの決定方法」に示す。
- 3) 各掘削サイクルの有効データから回転エネルギー $e(i)$  または回転トルクの積算値 $s(i)$ を算出する (Fig.5) 。 $e(i)$ 、 $s(i)$ については「3.3 回転エネルギー $e(i)$ および回転トルクの積算値 $s(i)$ の算出」に算定方法を示す。
- 4) 回転エネルギー $e(i)$ 、回転トルクの積算値 $s(i)$ 、回転トルク値を、土質区分および標準貫入試験結果の $N$ 値と比較を行う。

### 3.2 有効データの決定方法

Fig.4に示した1サイクルの掘削長 $L_0$ を用いて、有効データを決定する。掘削抵抗は計測データから地山の掘削に有効なデータのみを取り出して算定した。回転エネルギー $e(i)$ および回転トルクの積算値 $s(i)$ の算出においては以下を考慮した有効データを用いて検討を行った。

- 1) 1サイクル掘削する際の掘削開始点 (新規深度) から掘削終了点 (最大深度) までの長さを1サイクルの掘削長 $L_0$  (m) とした。
- 2) 掘削開始点深度下の長さ $L_0/4$ のデータは、直前の掘削工程において直上の地盤が掘削されたことによる応力開放の影響が考えられるため除外した。
- 3) 掘削終了点深度上の長さ $L_0/4$ のデータでは、当該サイクルの掘削終了調整など、地山の掘削と無関係な影響が含まれるため除外した。
- 4) 有効データは、掘削長 $L_0$ から上下に長さ $L_0/4$ のデータを取り除いた中間部 $L_0/2$ とした。

### 3.3 回転エネルギー $e(i)$ および回転トルクの積算値 $s(i)$ の算出

Eq.2, 3に回転エネルギー $e(i)$ および回転トルクの積算値 $s(i)$ の計算式を示す。回転エネルギー $e(i)$ は回転数が考慮されており、回転トルク値と回転角の積をデータ数で積分し掘削深度1mあたりに換算した値であり、Eq.2で表される。

$$e(i) = \sum_{x=1}^n T(x) \cdot \theta(x) / L \quad (\text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{rad} / \text{m}) \quad \dots \text{Eq.2}$$

$e(i)$  : 掘削深度1mあたりの回転エネルギー

$T(x)$  : 回転トルク値 (kN・m)

$n$  : 1サイクルのデータ数

$L$  : 1サイクルの有効掘削深度 (m)  $L=L_0/2$

$\theta(x)$  : 計測間隔 $\Delta t$ でバケットが回転した角度(rad)

ここでは、 $\Delta t=0.2$ (s)

回転トルクの積算値 $s(i)$ は掘削時間が考慮されており、回転トルク値を計測時間で積分し、掘削深度1mあたりに換算した値でありEq.3で表される。

$$s(i) = \sum_{x=1}^n T(x) \cdot \Delta t / L \quad (\text{kN} \cdot \text{m} \cdot \text{sec} / \text{m}) \quad \dots \text{Eq.3}$$

$s(i)$  : 掘削深度1mあたりの回転トルクの積算値

ここでは、 $\Delta t=0.2$ (s)

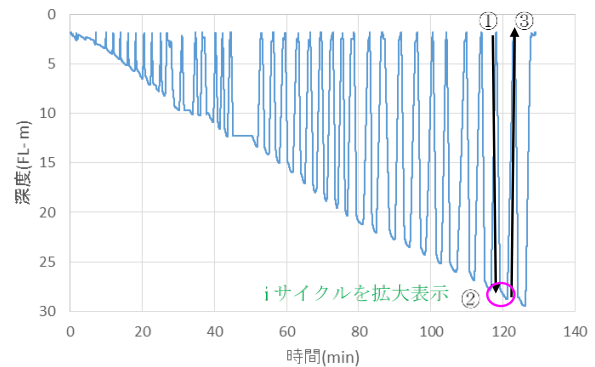


Fig.3 掘削バケットの時間と深度の関係

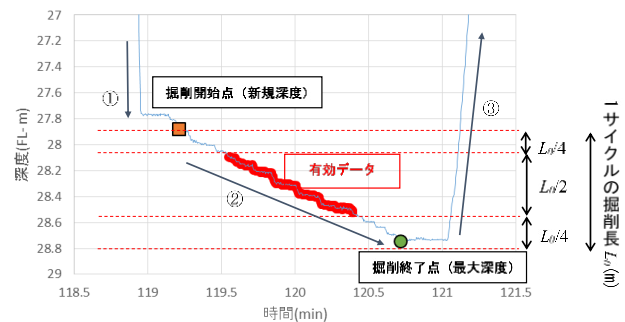


Fig.4 軸部掘削時における1サイクルのバケット深度と時間の関係

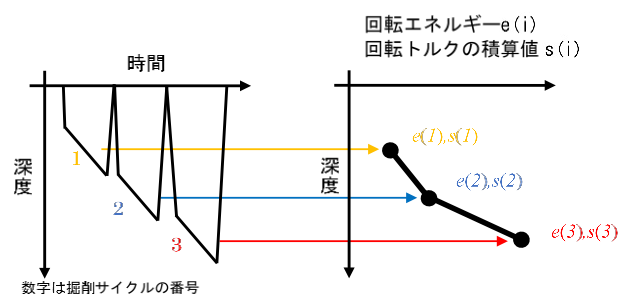


Fig.5 回転エネルギー $e(i)$ と回転トルクの積算値 $s(i)$ の算出の模式図

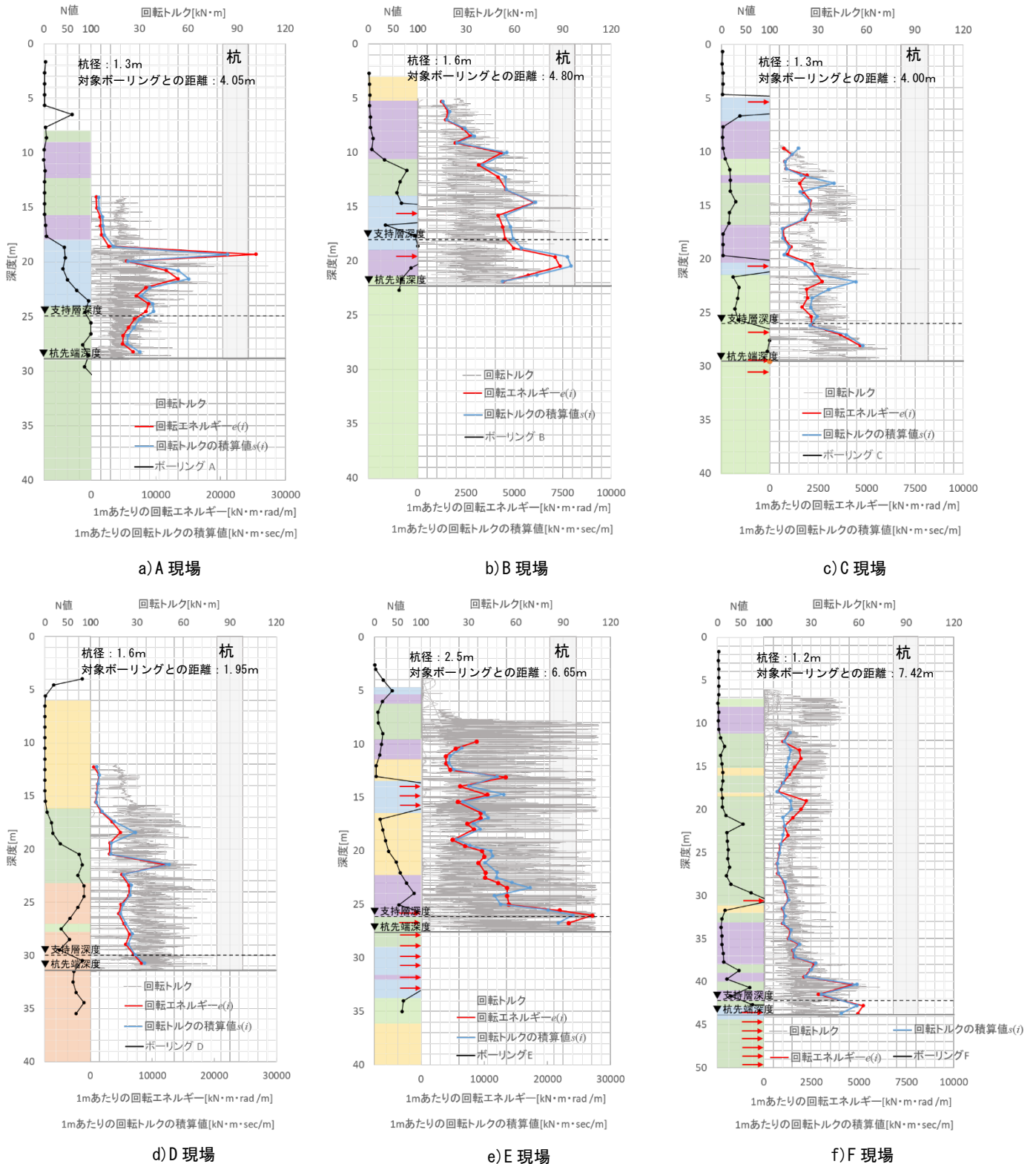
## 4. 検討結果

Fig.6に各現場のボーリング調査結果および杭姿図、回転トルク値、1mあたりの回転エネルギー $e(i)$ 、1mあたりの

回転トルクの積算値  $s(i)$  の計測結果を示す。計測データは表層ケーシング建込み後のデータのみとした。なお、支持層深度と杭先端深度は設計上の深度を示す。

A 現場では深度 19m 付近のシルト層から地層が変化する  $N$  値が 50 近い砂礫層で回転トルク値が急激に増加し、 $e(i)$ 、 $s(i)$  はともに最大値を示した。その後、下部の細砂層

を含め緩やかに減少する傾向が見られたが、砂礫層上のシルト層の掘削抵抗と比較すると砂礫層以深では掘削抵抗が増加している。なお、アースドリル工法においては掘削バケットの関係上、粒径の大きい礫層の掘削で困難な場合があり<sup>5)</sup>、砂礫層上部においては回転トルク値が急増した可能性が考えられる。



色分け	地盤種別
Green	砂
Yellow	礫
Purple	シルト
Orange	粘土
Light Green	固結シルト

Fig. 6 計測データとボーリング調査結果の比較

B 現場では深度 10m 付近の細砂層で回転トルク値は増加し、以深では  $e(i)$ ,  $s(i)$  ともに  $N$  値の分布と対応して徐々に増加する傾向が見られた。

C 現場では、深度 13m 付近の細砂層で回転トルク値は増加し、以深の 18m 付近のシルト層では回転トルク値,  $e(i)$ ,  $s(i)$  ともに一旦減少するが、26m 付近の  $N$  値 50 以上の細砂層で急増した。

D 現場では 16m 付近の細砂層から  $e(i)$ ,  $s(i)$  ともに増加し、以深では  $N$  値の分布と良く対応していることが分かる。

E 現場では  $N$  値が急増する深度 13m 付近の砂礫層から 20m 付近の粘土層まで  $e(i)$ ,  $s(i)$  の増減が激しく、以深では  $N$  値の増加と共に  $e(i)$ ,  $s(i)$  が増加し、26m 付近の  $N$  値 100 以上の細砂層で  $e(i)$ ,  $s(i)$  ともに大きく増加した。また、他現場と比較して全体的に大きな回転トルク値を示した。これは今回の計測において最も大きな杭径の影響によるものと考えられる。なお、回転トルク値では土質および  $N$  値による違いは不明瞭だが、 $e(i)$ ,  $s(i)$  ではそれらの違いによる掘削抵抗の変化が確認できる。

F 現場では 10~20m 付近の細砂層および粘土層では回転トルク値の増加と対応して  $e(i)$  は増加したのに対し  $s(i)$  はあまり変化しないところが見られた。それ以深は  $e(i)$  と  $s(i)$  は同じ傾向を示した。深度 32m 付近からのシルト層では  $N$  値に対応して  $e(i)$ ,  $s(i)$  は増加し、特に 38m 以深の細砂、シルトのおよび砂礫の互層でも  $N$  値の変化とよく対応した。

以上のように、全体として掘削抵抗の指標とした  $e(i)$  および  $s(i)$  はともに  $N$  値の分布特性と傾向が一致することが分かった。また、他の地層から砂礫層への層境では  $e(i)$ ,  $s(i)$  は急増すること、杭径が大きい E 現場では他の現場より  $e(i)$ ,  $s(i)$  はともに大きい値を示す傾向にあった。

## 5. まとめ

アースドリル工法の軸部掘削時に得られた掘削データ（掘削深度と時間、回転トルク、回転数）から有効データの取り出しを行い、掘削抵抗の指標として回転エネルギー  $e(i)$  と回転トルクの積算値  $s(i)$  を算出した。両者には大きな違いは見られず、近傍にて行われたボーリング調査結果である  $N$  値との分布傾向の比較を行い、その分布特性が類似していることを確認した。今後は、より多くの施工データを収集し、 $e(i)$ ,  $s(i)$  について杭径および地盤種類の影響、 $N$  値との直接比較についても検討を行う予定である。

## 謝辞

今回の計測にあたり、雄正工業（株）の方々には多大なるご協力をいただきました。ここに御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 宮本和徹：場所打ちコンクリート杭の支持層確認，基礎工，Vol. 45, No. 8, pp. 24~27, 2017. 8
- 2) 日本建築学会：JASS4（杭および基礎工事）3 節 場所打ちコンクリート杭工事 3.4 施工および施工管理・施工記録，p. 291, 2022. 3
- 3) 日本建設業連合会 地盤基礎専門部会：場所打ちコンクリート杭の品質管理の現状と課題 WG：場所打ちコンクリート杭の品質管理のポイント，pp. 27-28, 2017, 6
- 4) 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針 1.7 節 地盤調査の規模・数量 1. 設計のための地盤調査の規模，pp. 22-23, 2013. 5
- 5) 日本建設業連合会 地盤基礎専門部会：場所打ちコンクリート杭の品質管理の現状と課題 WG：場所打ちコンクリート杭の品質管理のポイント，pp. 29-30, 2017, 6

---

## Data measurement of shaft excavation by the earth drill method

Ryunosuke METOKI, Atsushi OGAWA, Taisuke NAKAZATO,  
Hiroyuki AOKI, Minoru ARAMOMI and Toshihiro MORI

### Abstract

Confirmation of the bearing layer in the construction process of cast-in-place concrete pile construction is basically carried out by visually observing the soil collected during excavation and comparing it with the results of preliminary boring surveys (soil column charts, soil samples, etc.). In addition to this visual confirmation, the use of excavation resistance is considered to help confirm the bearing layer. Therefore, we investigated the method for drilling data measurement (drilling depth and time, rotational torque, and rotation speed) and the index of the excavation resistance during shaft excavation using the earth drill method at the actual construction site.

Key words: cast-in-place pile, earth drill method, construction management, confirmation of the bearing layer, excavation resistance

---