

## 埋込み工法における掘削抵抗に関する評価 (Evaluation on Excavation Resistance in Bored Pile Method)

吉田 光<sup>1</sup>, 石田昇平<sup>2</sup>, 山崎友也<sup>3</sup>, 可児幸彦<sup>4</sup>

- 1 大建設計・hikaru@daiken-sekkei.co.jp
- 2 大建設計
- 3 日本コンクリート工業
- 4 エイトン

### 概 要

近年のPC杭の施工法は、埋込み工法が主流となっている。従来の打込み工法のように、施工時に支持力の確認ができないため、杭の施工の際に掘削する地層の確認が一層重要となっている。地層の確認は、一般的にオーガ駆動装置の電流値や積算電流値の変化、杭打機の振動、オーガモータの音の変化等により総合的に判断している。電流値と標準貫入試験のN値との関係は、地層の固さなどの変化傾向を調べるための目安となっているが定量的な関係は明確ではない。電流値は掘削径、土質、オーガモータ、ロッド周辺の地盤の抵抗、掘削液等の影響を受けるため、単純に評価することは難しいが、電流値や積分電流値から地層を把握することが施工管理において重要と考えた。本稿では、掘削径や土質、掘削液注入量などの違いによる電流値や積分電流値を比較検討した。総合型管理装置に示された帳票の電流値や積分電流値のみから判断するのではなく、掘削液の注入の影響を加味し、総合的判断が必要であると考察した。

キーワード：支持層、掘削抵抗、電流値、掘削液

### 1. はじめに

今回、名古屋市内の工事現場で統合型管理装置を使用した埋込み工法の施工を行った。埋込み工法では、打込み工法のように打込みの際に杭の貫入量やリバウンド量を記録して、その値から支持力を推定するような手立てがない。現在の埋込み工法の施工管理は、設計で想定した支持層の到達をもって杭先端支持力を確認することと、合わせて、支持層到達までの各地層を確認して、周面摩擦力を推定している。具体的には、掘削する際のオーガ駆動装置の負荷電流値や積分電流値の変化とボーリング柱状図の地質やN値のデータとを対比させて地層の再確認をしている。換言すれば、数少ないボーリングデータに杭施工本数分だけのデータを補完しながら設計杭支持力を再確認していることになる。

電流値・積分電流値は土質、掘削径、ロッド周面の地盤抵抗、オーガモータの回転（高速回転／低速回転）及び掘削液注入量等の影響を受けていると考えられる。その中で、掘削液の注入量が電流値・積分電流値の値に最も大きな影響を与えていると考え、積分電流値と掘削液注入量の相関性に着目し分析を行った。

### 2. 統合型管理装置の概要

統合型管理装置とは、掘削時のオーガ駆動装置の負荷電流値、積分電流値、時間、注入量（根固め液、杭周充填液）及び拡大ヘッドの深度の計測値を一元的に統合処理する装置である。電流値・積分電流値の計測は処女地盤を掘削した時のみ計測される。杭の施工の際、オペレーターは杭打機の運転席に取り付けられた統合管理装置のモニター画面を確認しながら操作をする。また、杭工事管理者も確認ができるように杭打機の外周部にもモニターが取り付けられている。計測したデータは電子的に記録が可能である。統合型管理装置の計測画面を図1に示す。



図1 統合型管理装置の計測画面（左：支持層、右：数値）

### 3. 地盤概要

工事現場は、愛知県名古屋市の名古屋城の東へ約500mの所に位置している。名古屋市の地盤は、西部の沖積平野域、中央部の洪積台地域、東部の洪積・第三紀丘陵域に分かれている。現場は沖積平野域にあり、南側は熱田台地に接している。

地盤構成は地表面からGL-7.70mまでN値=2~4程度の沖積層(B,As1,Ac,As2)、GL-11.40mまでN値=15~29程度の鳥居松礫層(D5)、GL-19.60mまで熱田層上部となっているが、N値=28~40程度の砂層(D3u-sg)とN値=8~9のシルト層(D3us)の互層となっている。GL-19.60mより深はN値=35~60程度の海部・弥富累層(Dm)となっている。

### 4. 杭仕様及び敷地の柱状図

施工法は、プレボーリング拡大根固め工法に分類されるHyper-MEGA工法である。

表1 地層分類

地層	土質区分	深度 (IFLより)	N 値
粘性土層	砂混りシルト層	4.02m~7.92m	2~3
	砂混り粘土層	11.62m~12.02m	-
	砂混り粘土層	13.32m~15.92m	8~14
砂質土層	シルト混り砂層	7.92m~8.62m	15
	礫混り砂層	12.02m~13.32m	28
	礫混り砂層	15.92m~19.82m	32~40
砂礫層	砂礫層	8.62m~11.62m	15~37
	砂礫層	19.82m~21.45m	57~60

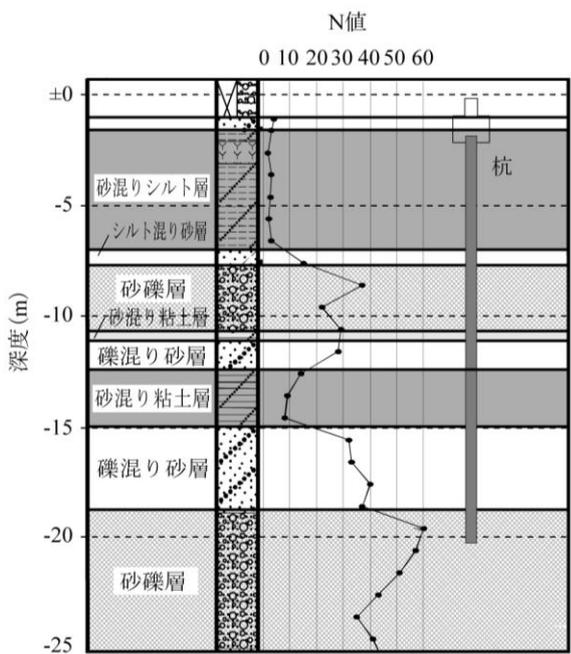


図2 ボーリング柱状図

表2 杭仕様

杭径	杭種 (上-中-下杭)	杭長	本数
500φ	SC-PHC-節杭 PHC	18m	4
700φ	SC-PHC-節杭 PHC	18m	7
800φ	SC-PHC-節杭 PHC	18m	7

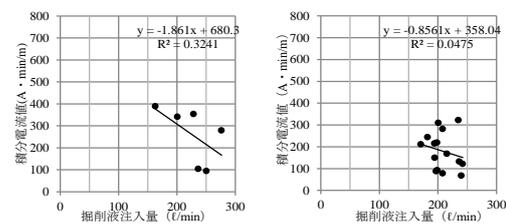
### 5. 掘削液注入量と積分電流値の散布図

土質の締固り具合は、掘削する時間にも影響するため、電流値と掘削時間の積である積分電流値と掘削液注入量との関係に着目した。

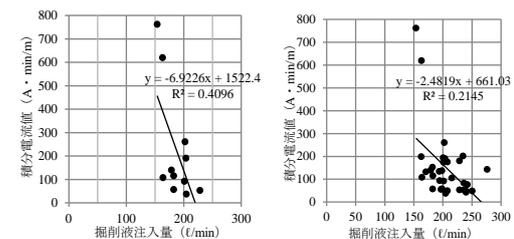
掘削液注入量と積分電流値の散布図は、本杭で計測した18本分とし、標準貫入試験を基に土質を粘性土層、砂質土層、砂礫層に分け、土質毎とした。積分電流値、掘削液注入量の値は、地層間の平均値とした。

なお、1FL-4.02mまでは盛土や腐植土があるため、分析から除外した。さらに、オーガの回転速度は、高速回転と低速回転の切り替えが可能であり、地盤が硬い時にはトルクのある低速回転で掘削するなど、掘削状況によって使い分けをしている。今回の杭の施工においても、高速回転による掘削と低速回転による掘削とが混在していた。高速回転と低速回転では電流値の値が異なるため、分析には不相当であると考え、データ数の多い高速回転のみのデータを採用した。以上のデータから作成した散布図より相関関係を計る回帰直線を求め、相関係数を求めた。また、杭径に係わらず比較を行う試みとして、杭径による積分電流値の違いの補正は、掘削する回転エネルギーが掘削径の2乗に比例すると仮定し、掘削面積の比で換算し地層別と全地層の積分電流値と掘削液注入量の相関係数も求めた。積分電流値と掘削液注入量の関係図を図3~図6に、相関係数と相関関係を表3に、相関係数のまとめを表4に示す。

#### 1) 粘性土層



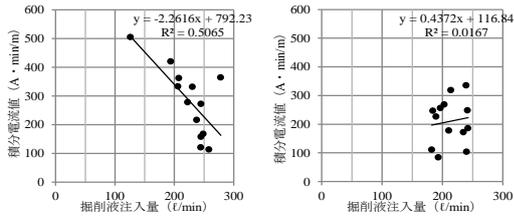
(a) φ800 相関係数=0.569 (b) φ700 相関係数=0.218



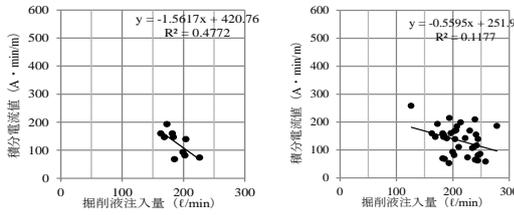
(c) φ500 相関係数=0.640 (d) 全杭径 相関係数=0.463

図3 積分電流値と掘削液注入量の関係図

2) 砂質土層



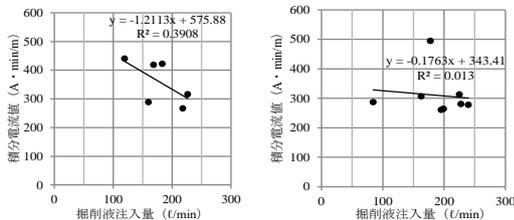
(a) φ800 相関係数=-0.712 (b) φ700 相関係数=-0.129



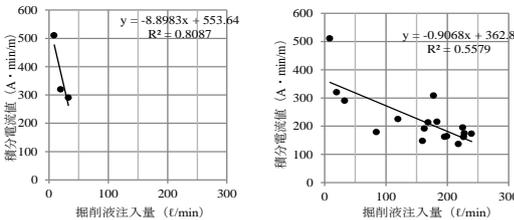
(c) φ500 相関係数=-0.691 (d) 全杭径 相関係数=-0.343

図4 積分電流値と掘削液注入量の関係図

3) 砂礫層



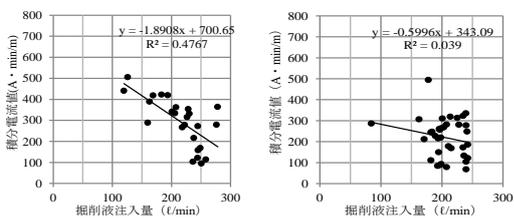
(a) φ800 相関係数=-0.625 (b) φ700 相関係数=-0.114



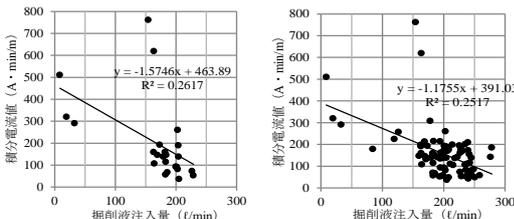
(c) φ500 相関係数=-0.899 (d) 全杭径 相関係数=-0.747

図5 積分電流値と掘削液注入量の関係図

4) 全地層



(a) φ800 相関係数=-0.690 (b) φ700 相関係数=-0.197



(c) φ500 相関係数=-0.512 (d) 全杭径 相関係数=-0.502

図6 積分電流値と掘削液注入量の関係図

表3 相関係数と相関関係

相関係数 r	相関関係
0.0~0.2 のとき	ほとんど相関関係がない
0.2~0.4 のとき	やや相関関係がある
0.4~0.7 のとき	かなり相関関係がある
0.7~1.0 のとき	強い相関関係がある

表4 相関係数のまとめ

地層	杭径			
	全ての杭	φ800	φ700	φ500
全地層	0.502	0.690	0.197	0.512
粘性土層	0.463	0.569	0.218	0.640
砂質土層	0.343	0.712	0.129	0.691
砂礫層	0.747	0.625	0.114	0.899

全ての杭の積分電流値は、積分電流値=積分電流値/(掘削断面積/基準掘削断面積)にて換算している。

6. 掘削液注入量と積分電流値の相関関係

粘性土層における相関係数は、φ800が0.569、φ700が0.218、φ500が0.640、全ての杭は0.463であった。φ800とφ500の積分電流値と掘削液注入の相関関係は「かなり相関関係がある」という結果であった。

砂質土層における相関係数は、φ800が0.712、φ700が0.129、φ500が0.691、全ての杭は0.343であった。φ800とφ500の積分電流値と掘削液注入の相関関係は「かなり相関関係がある」～「強い相関関係がある」という結果であった。

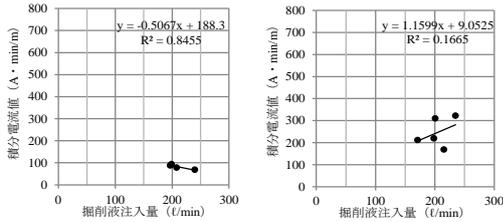
砂礫層における相関係数は、φ800が0.625、φ700が0.114、φ500が0.899、全ての杭は0.747であった。φ800とφ500の積分電流値と掘削液注入の相関関係は「かなり相関関係がある」～「強い相関関係がある」という結果であった。

全地層における相関係数は、φ800が0.690、φ700が0.197、φ500が0.512、全ての杭は0.502であった。φ800とφ500の積分電流値と掘削液注入の相関関係は「かなり相関関係がある」という結果であった。

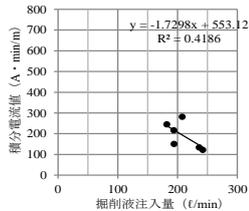
全ての杭の積分電流値と掘削液注入の相関関係は、「やや相関関係がある」～「強い相関関係がある」であった。

相関関係の結果が、一般的に考えられる傾向とは異なっていたφ700について各層毎の積分電流値と掘削液注入量の散布図を図7～図9に示す。粘性土層は3層あったが、その内の1FL-11.62m～-12.02mの砂混り粘土層において、砂質土層は3層あったが、その内の1FL-7.92m～-8.62mのシルト混り砂層と1FL-12.02m～-13.32mの礫混り砂層において直線回帰式の第1項がプラスとなり、掘削液注入量が増えるほど積分電流値が大きくなる傾向を示していた。プロット数が4～5点と少なかったことが要因として挙げられる。

1) 粘性土層



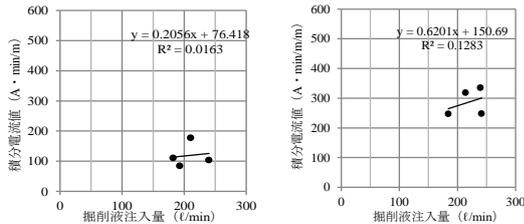
(a) 1FL-4.02m～7.92m の砂混りシルト層  
(b) 1FL-11.62m～12.02m の砂混り粘土層



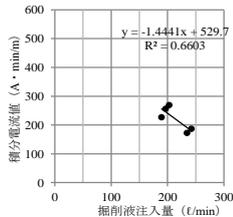
(c) 1FL-13.32m～15.92m の砂混り粘土層

図 7 φ700の積分電流値と掘削液注入量の関係図

2) 砂質土層



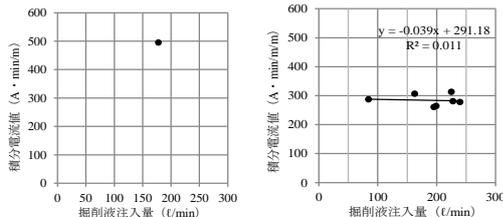
(a) 1FL-7.92m～8.62m のシルト混り砂層  
(b) 1FL-12.02m～13.32m の礫混り砂層



(c) 1FL-15.92m～19.82m の礫混り砂層

図 8 φ700の積分電流値と掘削液注入量の関係図

3) 砂礫層



(a) 1FL-8.62m～11.62m の砂礫層  
(b) 1FL-19.82m～21.45m の砂礫層

図 9 φ700の積分電流値と掘削液注入量の関係図

砂礫層では、1FL-8.62m～11.62mの砂礫層はデータが1点であったため、直線回帰式が求められず、傾向はつかめなかった。1FL-19.82m～21.45mの砂礫層は、プロット数が7点あったが、掘削液注入量の多少にかかわらず積分電流値がほぼ同じ値となっていた。積分電流値と掘削液注入量の相関関係は「ほとんど相関関係がない」という結果であった。掘削液注入量に係わらず積分電流値がほぼ同じ値となった原因としては、拡大ビットの形状の違いによる影響を考えたが、施工時に使用していた拡大ビットは杭径φ500、φ700、φ800とも同じ形状の拡大ビットを使用していた。

7. まとめ

積分電流値と掘削液注入量の相関関係を分析するに当たり、杭径の違いによる補正が必要となるため、掘削する回転エネルギーが掘削径の2乗に比例すると仮定し、積分電流値を掘削面積の比で換算し換算積分電流値として分析を行った。

φ500とφ800においては「かなり相関関係がある」～「強い相関関係がある」という結果であり、掘削液の影響により積分電流値が小さな値になることが判明した。しかし、φ700においては、粘性土層はやや相関関係があるものの、砂質土層、砂礫層においては、殆ど相関関係が見られず、各層毎の積分電流値と掘削液注入量の相関関係を分析すると粘性土層は1FL-11.62m～12.02mの砂混り粘土層において、砂質土層は1FL-7.92m～8.62mのシルト混り砂層と1FL-12.02m～13.32mの礫混り砂層において直線回帰式の第1項がプラスとなっており、掘削液注入量が増えるほど積分電流値が大きな値になっていくという傾向になる。

原因の究明はできないがサンプルデータ数が4～5であり相関関係を分析するには、決して多くないため今後、データ数を増やしていき、積分電流値と掘削液注入量の相関関係を継続して分析をしていきたい。また、施工が可能であれば、積分電流に影響する要素である掘削速度や掘削液の注入量を一定とし掘削を行い、その時の積分電流値を支持層到達確認の有効な目安とすることも考えていきたい。

参考文献

- 1) 日本建設業連合・コンクリートパイル建設技術協会：杭の施工管理における支持層到達の確認方法（既製コンクリート杭埋込み工法），2016
- 2) 堀内孝英、可児幸彦、早川尚：埋込み杭工法における支持層の確認手法の試み。第2回地盤工学シンポジウム、中部支部、pp.113-116,1990
- 3) Yoshida, H. Ishida, S. Okuda, M. Nakane, Y. and Kani, Y.: A construction management method of the bored pile foundation, proceedings of the 28<sup>th</sup> International Offshore and Polar Engineering conference, Sapporo, pp. 513-518, 2018