正循環掘削杭工法における排泥機能に関する一考察

JR東日本 正会員 渡辺康夫, JR東日本 正会員 太田正彦 JR東日本 正会員 加藤精亮, 日本工営(株) 正会員 池永 均

1.はじめに

鉄道駅の人工地盤の基礎杭工事やホーム改良工事など、狭隘かつ施工時間に制約の ある杭の施工には、施工機械が小さく施工時間が短い施工方法が選定される。従来の 代表的な杭工法としては、正循環掘削方式のBH工法や逆循環掘削方式のTBH工法が ある。正循環掘削方式(図1)は、杭孔中心のロットから安定液を供給し掘削ビット先 端から注出される機構で、掘削土は安定液と共に上昇し、流水断面の大きい杭孔から 排出されるため逆循環方式に比べ排泥効率が落ちる。そのためベントナイトをベース に安定液の比重の増加により排泥効率向上を図ることから孔壁にマッドケーキが厚 く付着し、周面摩擦力の低下に帰結する。

正循環掘削方式のメリットを活かし狭隘箇所の本体杭への適用を図るために、排泥 機能の向上と適切な泥水管理方法の確立を要する。ここでは、正循環掘削杭工法の掘 削時の排泥機能に関して検討したのでここに報告する。



2.正循環掘削杭の排泥機構

図1 正循環杭の概要

杭孔中の安定液の流れは、先端付近では激しい旋回流に伴う複雑な流体運動が形成されるが、掘削が進行するほ ど上方の流れは安定し、ほぼ一様流に近い上向き方向の流れ場となる。掘削土の排出にはこの領域を通過して土粒 子を浮上させることが最も厳しい条件となる。一様流中の土粒子の浮上は、静止流体中の沈降現象に置き換えるこ とができ、土粒子に作用する浮力と抗力が支配的因子と考えられる。そこで、式(1)および式(2)に示す簡易的な沈降 速度式を基本に排泥機構の考察を行う。

$$wo = \sqrt{\frac{2A_3}{A_2C_D}}\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd_s} \quad (1) \quad C_D = \frac{a}{R_{e^*}} + \frac{b}{\sqrt{R_{e^*}}} + C_{D\infty} \quad (2)$$

ここに、wo:沈降速度(m/s)、A₃,A₂:形状係数(球を仮定し、A₂=π/4、A₃=π/6) C_D:効力係数、σ:砂粒子の比重、ρ:水の比重、g:重力 加速度(9.806m/s²) ds:砂粒子径(ここでは2.0mm) Re^{*}:粒子レイノルズ数(wo・ds/v) v:動粘性係数(m²/s) C_D:高レイノル ズ数領域の抗力係数

周囲に土砂が混入した場合の沈降速度(w_{sh})は、周囲に土砂のない場合の沈降速度(wo)を基準にRichardsonら(1961)による式(3)を用いて補正する。式(3)を使用して計算するにはnを評価する必要があるが、対象とする粒子レイノルズ数の領域ではa=--1、b=5が得られている。

$$\frac{w_{sh}}{w_o} = \left(1 - C_v\right)^n \qquad (3) \qquad n = a\log(\operatorname{Re}_*) + b \qquad (4)$$

ここに、w_{sh}:周囲に土砂が混入した場合の単粒子の沈降速度(m/s)、wo:周囲に土砂が混入しない場合の単粒子の沈降速度(m/s)で前項(1) 式により算定、Cv:周囲の体積濃度、a,b:定数

3.安定液中の粒子の沈降

正循環掘削杭工法の安定液は、一般に排泥効率向上のためベントナイトを混入し比重増大を図るが、その添加量 抑制のためCMCやポリマーを併用することとなる。安定液にCMCを添加した場合の土粒子の沈降速度の評価のため 単粒のガラスビーズを使用して沈降試験を行い、沈下挙動を確認し式(1),(2)から求まる算定式との比較を行った。 沈降速度woは上昇流を与えた模擬孔上端よりガラスビーズを投入し、模型外側からビデオカメラにより撮影した沈 降距離Lと沈降時間の計測値から算定した(図2)。沈降試験結果と算定式から求まる沈降速度を表1に示す。これより

キーワード:場所打ち杭 正循環杭 粒子沈降

連絡先:〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-479 JR東日本研究開発センター 電話048-651-2552



計算値はほぼ実験値と同じ値となり、安定液の動粘性係数に 応じて沈降速度woの算定が可能なことが判った。また現場で は計測が容易なファンネル粘性での管理のため、動粘性係数と の相関を求めたところ、ほぼ線形近似が可能であることが判った(図

4. 削孔時の排泥能力

3)。

杭の削孔時には地山から粘土分や細粒分が供給されるため、一般 に排泥効率は配合時の安定液に比べ大きくなる。粘土分増加の沈降 速度への影響を把握するため、カオリン粘土を周囲流体に見立てた 簡易沈降実験を行った。試験方法は0,0.07,0.13,0.2%の濃度に調合し た泥水をメスシリンダー(φ5cm)に満たし、1mmと2mmのガラスビー ズを投入し、沈降速度wahを求めた。図4に泥水の体積濃度と粘土混 入前の沈降速度比(w_{sh}/wo)との関係を示す(wo:粘土混入前の沈 降速度)。粘土混入に伴うビーズの沈降速度に及ぼす影響は著しく実 施工時には粘土分混入は体積濃度の増加の他に粘性増加の影響を及 ぼすことが想定される。その一方で、排泥効率は増加することが想 定される。



表1 沈降速度の算定

1mm

沈降速度(m/sec)

2mm

動粘性係数

CMC

次に沈降速度に及ぼす細粒分の増加の影響を把握するため、図2(2)に示す実規模実験を行った。ここでは均等に細粒分が分散 した安定液中の状態の再現および沈降粒子の杭孔模型外側からの追跡が困難であるため、浮遊粒子(ガラスビーズ1mm)群と上 昇流が釣り合う状態の上昇流速を泥水中の沈降速度Wshと見なした。なお、ガラスビーズ群の体積濃度Cvについては杭孔模型 中の水の体積Vwと投入したガラスビーズの体積Vgを予め計算で求めておき、次式により算定した。

Cv = Vg / Vw式(5) ここに、Vg: 投入したガラスビーズの体積(m³)、Vw: 杭孔模型中の水の体積(m³) 体積濃度と沈降速度の関係を図5に示す。図中、プロットがCMCの各濃度における沈降速度の試験結果、実線と破線が式(3) で求められた各濃度の沈降速度の関係をそれぞれ示している。均等な粒子の分散状況を適切に判断することが難しいため、計測 方法の誤差の関係で算定値と試験値に若干の差異が見られるが、傾向としては式(3)により評価ができるものと考えている。 5.まとめ

流体の運動方程式を利用して、正循環杭の排泥機能について評価を試みた。これまでの試みで傾向の把握はできたが、算定さ れた沈降速度を実杭規模で適用するためには安定液の供給量を数倍に増加させることが必要となる。なお実現場で行った粒子浮 上実験では、算定値の1/6程度でガラスビーズの浮上を確認している。今後は、実現場の現象を解明し、正循環掘削杭工法の 品質管理につなげて行きたいと考えている。