

正循環掘削杭の土粒子挙動に関する模型実験と数値解析

J R 東日本 正会員 ○加藤精亮 正会員 渡邊明之
正会員 佐伯和浩 正会員 中出千博

1. はじめに

線路内の狭隘箇所かつ低空頭での場所打ち杭の施工方法では、施工機械が小さいBH工法などの正循環掘削杭が高い施工性を有する。しかし、正循環掘削杭は一般的に安定液の管理がされていない。そのため、杭孔壁にマッドケーキが付着しやすく、杭先端にスライムが溜まりやすいため、鉄道土木では本設構造物として採用されていない。

通常、正循環掘削方式では、掘削土を安定液に浮上させて地上部まで持ち上げるため、ベントナイトを多く混入させ、安定液の濃度を高くして掘削(=排泥)する。しかし、品質を向上させるために低濃度の安定液とすると、排泥効率が低下することが予想されるため、ベントナイトの代わりにポリマー(CMC)を使用して、粘性を維持し、安定液の流量を調整することで、排泥効果を検証した。

本稿では、直径390mmの縮小模型を用いて、安定液の送水量、ポリマーの混入量(CMC濃度)の関係を把握した。また、数値解析を実施し、実験の土粒子の挙動と比較検討した。

2. 模型実験の概要

模型実験は、直径390mmのアクリル水槽の下方より鉛直上向きに安定液を供給する。アクリル水槽の下部に整流装置を設け、流速分布が一様となるようにした。実験で使用した装置の概要を図1に示す。実験で使用した模擬土粒子は、球体で比重2.5のガラスビーズである。ガラスビーズが直径1mmと2mmのものを使用し、水槽の上方からガラスビーズが相互に影響しない程度の量を投入した。試験は、各CMC濃度、ガラスビーズ径のシリーズで、安定液の送水量を20ケース程度変化させて、各ケースでガラスビーズの移動速度を計測した。粒子の移動速度は、水槽の上端から0.5mの位置で、ビデオにより撮影し、その映像から土粒子の速度を計測した。試験ケースを表1に示す。

3. 数値解析の概要

数値解析は液体、固体各相の運動方程式を有限差分法によって定式化し、体系をメッシュで分割して解く、混相流解析手法を用いた。解析体系は、模型実験と同様直径390mm、高さ2.0mの円柱供試体をR-Z座標系で計算した。解析体系概要図を図2に示す。計算メッシュは、半径方向は流路断面積を等区分する4メッシュとし、鉛直方向は、0.2m×20メッシュとした。下部の境界条件は、断面一様に液体の流入速度を与え、上部の境界条件は、大気圧境界条件、自由流出条件とした。初期条件は、実験と同様、水槽の上端から0.5mの位置に体積率5%の粒子を配置し、解析開始とともに、流体条件に依存して粒子が沈降もしくは上昇する。解析ケースは、模型実験の caseA- -0, caseA- -2,

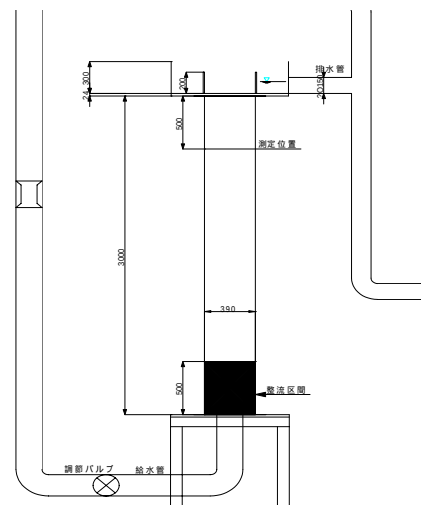


図1 試験装置概要図

表1 試験ケース一覧

ケース	粒径 (mm)	CMC濃度 (%)	動粘性係数 (m^2/s)	送水量 (l/s)
caseA- -0	1	0	1.00×10^{-6}	0 ~ 25
caseA- -2		0.2	7.65×10^{-6}	0 ~ 10
caseA- -5		0.5	30.75×10^{-6}	0 ~ 5
caseA- -0	2	0	1.00×10^{-6}	0 ~ 36
caseA- -2		0.2	7.65×10^{-6}	0 ~ 20
caseA- -5		0.5	30.75×10^{-6}	0 ~ 10

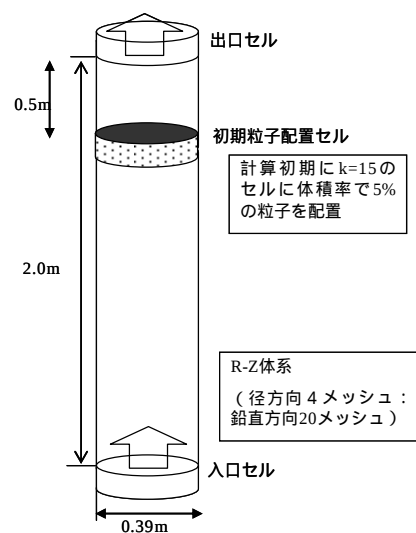


図2 解析体系概要図

キーワード 鉄道、場所打ち杭、正循環掘削、模型実験、数値解析

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-479 J R 東日本 研究開発センター フロンティア・ヒールズ研究所 TEL 048-651-2552

caseA- -0 , caseA- -2 で , 安定液の送水量を変えた 3 ~ 5 ケース程度実施した .

4. 模型実験の結果

流水中の粒子速度 w は沈降速度 w_0 (静止流体中の粒子速度) と安定液の平均断面流速 V_p (送水量/アクリル水槽の断面積) の差で表すことができる . 図3に 1mm のガラスビーズの安定液の断面流速と粒子速度の関係を示す . また , 図 4 に 2mm ガラスビーズの安定液の断面流速と粒子速度の関係を示す . 沈降速度 w_0 は式 (1) と抗力係数 C_D と粒子レイノルズ数 Re^* の関係式 (2) より求めた .

$$w_0 = \sqrt{\frac{2A_3}{A_2 C_D}} \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd_s} \quad (1)$$

$$C_D = \frac{24}{Re^*} + \frac{4}{\sqrt{Re^*}} + C_{D\infty} \quad (2)$$

A_3 : 3 次元形状係数 (球の場合 $\pi/6$) ,

A_2 : 2 次元形状係数 (球の場合 $\pi/4$)

C_D : 抗力係数 , σ : 粒子の密度 , ρ :

流体の密度

$C_{D\infty}$: 粒子の形状係数 (球の場合 0.35)

図中のプロットは実験値を , 直線

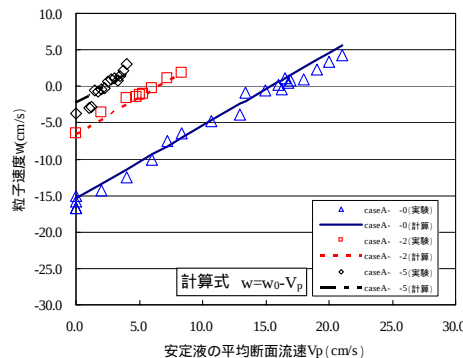


図 3 安定液の平均断面流速と粒子速度の関係 (1mm)

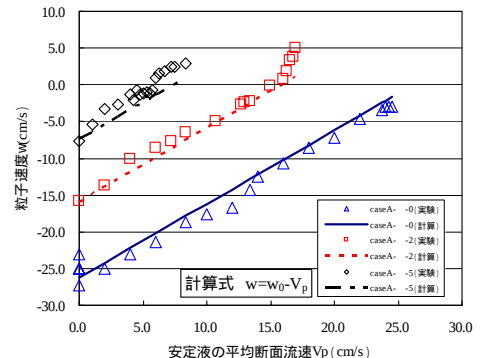


図 4 安定液の平均断面流速と粒子速度の関係 (2mm)

は (1) で求めた沈降速度とその時の平均断面流速の差で求めた計算値である . 図より , 各ケースで実験値と計算値はほぼ一致しており , 式 (1) と式 (2) で単粒子の挙動を再現できることが確認できた . また , 1mm , 2mm とともに CMC 濃度の違いによる粒子の挙動を比較すると , CMC 濃度が高く , 動粘性係数が高い安定液の方が , より小さい断面流速で粒子を浮上させていることがわかる .

5. 模型実験と数値解析の結果

数値解析では , 模型実験で求めた 1mm のガラスビーズの沈降速度と同じ値になるよう解析評価値を調整した . 図 5 に 1mm のガラスビーズの安定液の断面流速と粒子速度の関係を示す . また , 図 6 に 2mm ガラスビーズの安定液の断面流速と粒子速度の関係を示す . caseA- -0 では , 粒子速度は , 解析値より実験値の方が大きい値を示しているが , その他のケースでは , 実験値と解析値がほぼ一致することが確認できた .

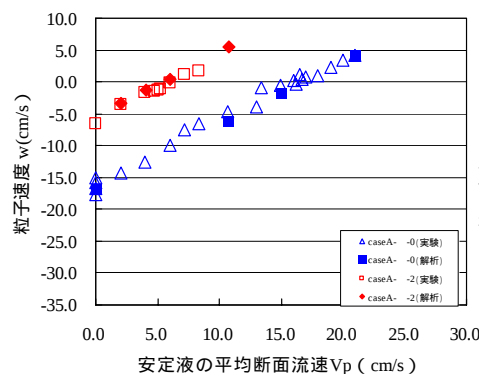


図 5 安定液の平均断面流速と粒子速度の関係 (実験値と解析値) (1mm)

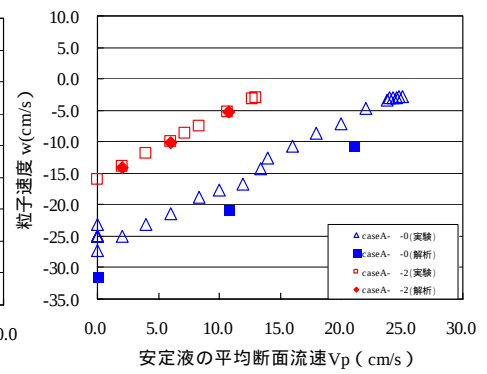


図 6 安定液の平均断面流速と粒子速度の関係 (実験値と解析値) (2mm)

6. まとめ

今回の模型実験と数値計算の結果より以下のことが確認できた .

- ・ 模型実験より粒子の挙動について , 本文中の (1) , (2) 式による計算値と実験値がほぼ一致することが確認できた .
- ・ 実験値と混相流解析手法による解析値はほぼ一致することが確認できた .
- ・ CMC 濃度が高く , 動粘性係数が高い安定液の方が , より小さい流速で粒子を浮上させることが可能である .

参考文献

- 1) 渡邊ら : 正循環掘削杭の掘削に関する模型実験 , 第 43 回地盤工学研究発表会 , 2007.7
- 2) 加藤ら : 正循環掘削杭の土粒子挙動に関する研究 , 第 43 回地盤工学研究発表会 , 2007.7