

地盤掘削安定液中の砂分管理に資する粒子法に基づく砂分沈降過程の可視的再現

芝浦工業大学大学院 (現 鴻池組)

(正) 浅野博哉

芝浦工業大学大学院 ○ (学) Shakya Sudip ・ (学) 中尾晃揮 ・ (正) 稲積真哉

大林組 (正) 森下智貴 ・ (正) 三浦俊彦 ・ (一) 和知康晴 ・ (一) 渡辺和博

1. はじめに

場所打ちコンクリート杭施工において、安定液は掘削中に掘削孔に充填され、造壁性を発揮することで掘削孔壁を保護し、コンクリート打設時には置換流体として機能する。安定液は不純物として混在する砂分を土砂分離機や沈砂層などで除去しながら可能な限り循環利用される(図-1)が、その過程で土砂の混入や基本材料の損失が生じ、安定液の性状は施工の進行に伴い変化する。杭の品質を確保するため、実施工において安定液は比重、粘性、造壁性、砂分が管理されることになる¹⁾。特に、高い砂分率は打設するコンクリートの充填不良の原因となる。そのため、コンクリートの打設時における安定液との置換および砂分を除去する際において、孔内に満たされている安定液中に存在する砂粒子の沈降挙動を把握することが必要である²⁾。しかしながら、現場にて孔内に存在する安定液中の砂粒子の挙動を直接目視により細部まで確認することは困難である。そこで、本研究では地盤掘削安定液中の砂粒子の沈降過程の挙動に対して、粒子法によるモデル化手法を検討の上、掘削安定液中の砂分沈降過程の可視的再現を試みた。

2. MPS-CAE 解析の概要

MPS (Moving particle Simulation) とは、粒子法の一つであり、計算点をととも移動する粒子として連続体を離散化し、流体の流れを粒子自体の挙動で表すことのできる非圧縮性流れの解析手法であり、基本的な支配方程式は式(1)に示す連続の式、および式(2)に示す非圧縮性ナビエ・ストークス方程式である^{3),4)}。

$$\frac{D\rho}{Dt}=0$$

(1)

$$\frac{D\vec{u}}{Dt}=-\frac{\nabla P}{\rho}+\nu\nabla^2\vec{u}+\vec{g}$$

(2)

ここで、 $\frac{D}{Dt}$ はラグランジュ微分を表し、 ρ は密度、 $\vec{u}$ は速度、 P は圧力、 ν は動粘性係数、 $\vec{g}$ は重力である。

さらに、本研究では CAE (Computer Aided Engineering) 技術を活用することにより、事象の再現をすることで視覚的に評価する。

3. 解析対象・条件

本研究では、実現場における安定液中における砂粒子の沈降現象を模擬した円筒カラム試験を解析対象モデルの参考とした。図-2 に示すような円筒カラム (高さ 120 cm・内径 15 cm) に高さ 110cm までの安定液と砂粒子が混在している状態を初期状態とした。なお、安定液試料に 75~150 μm の砂粒子を 10 g/L 添加し、均一化している。

本研究では、安定液と安定液内に混在している 75 μm および 150 μm の砂粒子を粒子法による円筒カラム試験のモデル化を検討した上、MPS-CAE 解析により地盤掘削安定液中における砂分沈降過程を可視的に再現し、当該解析と試験結果ならびにストークスの沈降式による理論値について比較・評価する。なお、解析対象とする砂粒子の粒径は、円筒カラム試験で用いた砂粒子が 75~150 μm の範囲の粒径であることから、75 μm 、ならびに 150 μm とした。安定液中における 75 μm 砂粒子の沈降過程モデルに関する解析パラメータを表-1 に、安定液中における 150 μm 砂粒子の沈降過程モ

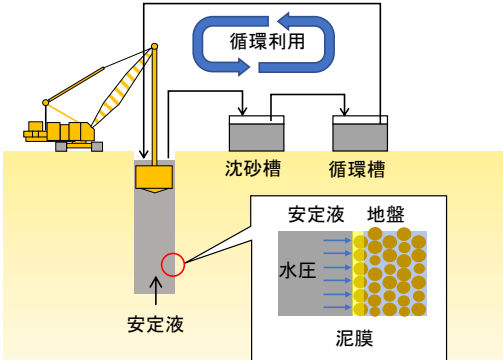


図-1 安定液の良液置換

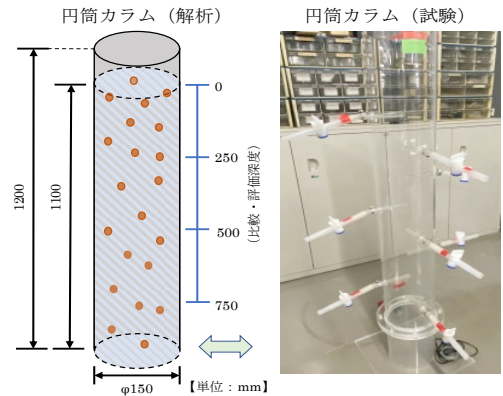


図-2 円筒カラムを模擬した解析モデル

表-1 安定液および 75 μm 砂粒子に関する解析パラメータ

	安定液	砂粒子
密度 (kg/m ³)	1075	1822
流体モデル	ビンガム流体	
降伏値 (N/m ²)	0.0038	0.0038
塑性粘度 (Pa・s)	134.368	0.0249

表-2 安定液および 150 μm 砂粒子に関する解析パラメータ

	安定液	砂粒子
密度 (kg/m ³)	1075	1822
流体モデル	ビンガム流体	
降伏値 (N/m ²)	0.0038	0.0038
塑性粘度 (Pa・s)	33.592	0.0249

キーワード：掘削安定液；砂分沈降過程；粒子法
連絡先：〒135-8548 東京都江東区豊洲 3 丁目 7-5 (TEL：03-5859-8360；FAX：03-5859-5881)

デルに関する解析パラメータを表-2 に示す。なお、両者の MPS での粒子間距離および初期時間刻みは解析における解析時間や計算負荷の兼ね合いから 8 mm, 1×10^{-3} s とした。ここで、粒子間距離とは実際の粒径ではなく、MPS 法の解析における計算点を表している。そのため、再現しようとする粒径と粒子法での粒子間距離の違いにより、実際の想定される沈降速度に乖離が生じる。そこで、本研究ではその乖離を抑えるためにストークスの沈降式により実際の沈降速度と解析結果として想定される沈降速度が一致するように流体場である安定液の粘度を補正している。ここで、沈降速度の補正に関する計算式・過程は文字数の関係上省略する。

4. 解析結果・考察

図-3 および図-4 は、それぞれ安定液内における 75 μm ならびに 150 μm 砂粒子の沈降過程の様子を時系列縦断面で捉えている。ここで両者の時系列はそれぞれ 0.25 時間間隔、0.1 時間間隔で表示しており、砂粒子がカラム底部に完全に収束するまでの様子を捉えている。なお、両者は砂粒子の沈降過程を視覚的に評価するため、安定液粒子を透明加工した上で砂粒子のみを表示しており、赤色の粒子が砂粒子に該当する。図-3 より、75 μm 砂粒子がカラム底部に完全に収束するのは約 1.82 時間を要し、図-4 より、150 μm 砂粒子がカラム底部に完全に収束するのは約 0.37 時間を要していることが分かる。また、沈降過程の様子においては、視覚的にはほぼ一定の速度で沈降していることが見てとれる。水平方向の挙動に関しては、鉛直方向にのみ沈降しているのではなく、僅かながら水平方向に揺れるような三次元的な沈降している挙動が見られた。これは互いの砂粒子もしくは砂粒子と安定液粒子の衝突や粒子の配列置換による影響だと考えられる。

また、液面から 250 mm, 500 mm, および 750 mm も各深度(図-2 参照)における沈降開始からの時間と砂粒子濃度について、MPS-CAE 解析結果による解析値(75 μm 砂粒子)と対応する条件で実施した実験値、ストークスの沈降式による計算値(理論値)を比較したものを図-5 に示す。

図-5 より、解析結果とストークスの沈降式による計算値を比較すると、厳密には合致しないものの、時間オーダーならびに沈降速度、全体的な濃度推移の傾向に関してよく一致することができた。両者の多少の乖離が生じているのは、ストークスの沈降式が一次元的な沈降速度を計算するのに対して、MPS 法による解析は周りの粒子との衝突や粒子の配列置換、それにより生じる流れによる干渉などを受け、三次元的に沈降していることが原因であると考えられる。

一方で、実験結果に関しては解析結果とストークスの沈降式による計算値とを比較すると、解析結果と計算結果の濃度は段階的に減少し沈降速度がほぼ一定であることに対し、実験結果は緩やかに漸近的に減少していることがわかる。これは、実験で用いた砂粒子の粒径が 75~150 μm オーダーでの複数粒径、ならびに粒形が単純な球形ではないのに対して、解析上においては 75 μm の単一粒径、ならびに完全な球形として計算されることが両者の砂濃度推移結果における乖離に起因していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、地盤掘削安定液中の砂分管理に資する粒子法に基づく砂分、特に 75 μm ・150 μm 砂粒子の沈降過程の可視的再現を試み、掘削安定液中における砂粒子の沈降挙動の時間変化を定性的(視覚的)に評価することができた。さらに円筒カラム試験による試験結果と解析結果、ならびにストークスの沈降式による理論値を定量的な比較を試みたものの、試験結果との高精度の再現性に関しては課題を残す結果であった。

今後、円筒カラム試験で考えられる室内試験等を用いた安定液中の砂粒子の沈降挙動の実現象に対して、当該解析による再現精度をより向上させた上、現場施工を想定した諸条件を加味した解析の実施を予定している。それより、地盤掘削安定液中の砂分管理に関する注意点等の考察へ展開予定である。

参考文献 1) 森下ら：安定液の自動測定技術の開発、大林組技術研究所報, No83, 2019. 2) 大塚ら：泥水工法の問題点とその考察、清水建設研究所報, 第 6 号, 1965. 3) 越塚誠一：粒子法(計算力学レクチャーシリーズ), 丸善, 2005. 4) W, G, Hoover: 粒子法による力学-連続体シミュレーションへの展開-, 森北出版, 2008.

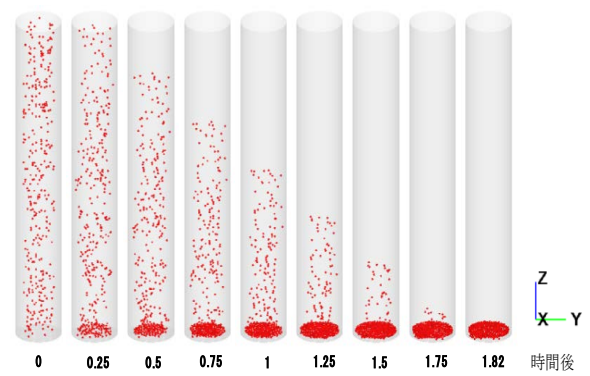


図-3 安定液中 75 μm 砂粒子沈降の経時挙動

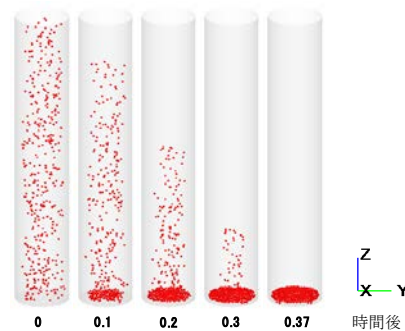


図-4 安定液中 150 μm 砂粒子沈降の経時挙動

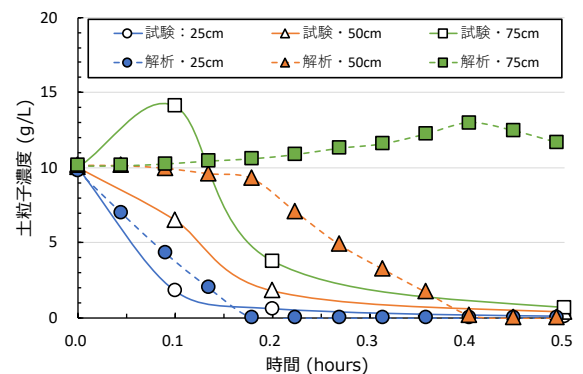


図-5 本解析とカラム試験ならび計算値の濃度比較