

チャンバー内攪拌シミュレーションへの MPS 解析の適用性

清水建設（株）土木技術本部

正会員 高梨和光 ○小瀧伸也

清水建設（株）技術研究所

正会員 杉山博一

清水建設（株）外環大泉シールド作業所

正会員 原 忠 前田俊宏

東日本高速道路（株）関東支社東京外環工事事務所

佐々木博明 塚田裕史

1. はじめに

土圧シールドのチャンバー内掘削土の塑性流動性状態を解析で検討する場合、個別要素法(DEM)や有限体積法(FVM)が試みられてきた。本研究では、実際の泥土を攪拌した実験¹⁾の再現解析を粒子法^{2),3),4)}(Moving Particle Semi-implicit Method; 以降 MPS 法と記す)により行い、解析と実験の土圧変動を比較し、チャンバー内攪拌シミュレーションへの MPS 法の適用性を検討した。

2. 解析モデルと解析条件

解析にはプロメテック・ソフトウェア（株）の MPS 法”Particleworks®”を用いた。図-1 に実験で用いた攪拌実験装置を再現した解析モデルを示す。土槽の内径は 66cm、高さは 25cm で、土槽中央部には回転体があり、半径 20cm の位置に攪拌棒が設置され、攪拌棒直下と、それを中心に半径方向に 5cm ずつ離して計 4 つの土圧計を設置した。

表-1 に解析ケースと地盤パラメータ、表-2 に解析条件を示す。地盤をビンガム流体としてモデル化し、降伏値と塑性粘度については、実験で得られた値を設定した。ビンガム流体には流動時では粘塑性流体、不動時は高粘性流体として扱う bi-viscosity モデルを採用した。土槽と回転アームと攪拌棒はポリゴン壁でモデル化し、回転アームの回転軸に回転速度を設定した。なお、実験では攪拌棒の離隔や回転速度を数種類変えたが、解析では離隔を 2cm (固定)、回転速度を 4rpm および 8rpm と設定した。

3. 解析結果と実験結果の比較

表-3 に解析と実験の土圧変動の比較を示す。攪拌棒の回転速度が 8rpm のケースについては、C-c15 のみ示しており、A-s20 と B-c30 については割愛した。また、攪拌棒の回転速度が 4rpm のケースの土圧計-2 の解析については、解析結果も実験と同じ 0.1 秒ごとにプロットし、再現時間を 30 秒で打ち切った。

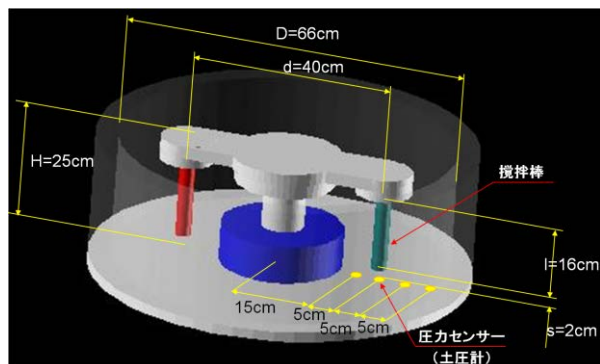


図-1 解析モデル

表-1 解析用地盤パラメータ

ケース	降伏値 (Pa)	塑性粘度 (Pa・s)	対応する実験ケース
A-s20	500	5	S20
B-c30	1000	10	C30
C-c15	1500	15	C15

表-2 解析条件

計算方法	陰解法
流体モデル	ビンガム流体
構造モデル	ポリゴン壁 (固定、移動)
粒子サイズ r	1 (cm)
粒子数 n	71894 (個)
時間刻み Δt	0.0005 (s)
再現時間 t	60 (s) (一部 30 (s))
重力加速度 g	9.8 (m/s ²)
密度 ρ	2000 (kg/m ³)
降伏値 τ	500~1500 (Pa)
塑性粘度 η	5~15 (Pa・s)
降伏点パラメータ p_{τ}	0.0001
回転速度 (攪拌棒)	4~8 (rpm)

キーワード 土圧シールド、塑性流動性、攪拌、MPS 解析

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設(株)土木技術本部 TEL: 03-3561-3892

表-3 土圧変動の比較

ケース	土圧計-1 (R=15cm)	土圧計-2 (R=20cm;直下)	土圧計-3 (R=25cm)	土圧計-4 (R=30cm)
A-s20 4rpm				
B-c30 4rpm				
C-c15 4rpm				
C-c15 8rpm				

土圧変動の結果を比較したところ、いずれのケースも土圧変動の幅が概ね一致しており、0.1秒ごとにプロットすることにより細かな土圧変動も再現できることが確認できた。

4. MPS法による攪拌状況の可視化

図-2, 3にMPS法による圧力分布(単位: Pa)の解析結果(ケース B-c30, 4rpm)を示す。攪拌棒周辺だけでなく、土槽の底面や側面にも圧力が広がる攪拌時の挙動が確認できた。

5. まとめ

- 1)実験での攪拌条件と泥土の粘性特性を入力値とした再現解析を実施し、土槽の底面に作用する土圧変動を実験値と比較したところ、ほぼ再現していることが確認できた。
- 2)MPS法による圧力分布を3次元的に可視化することで、圧力が攪拌棒周辺だけでなく、土槽の底面や側面にも広がり、攪拌時の挙動を表現できることが確認できた。
- 3)今後、物性の寸法効果等を検討し、実物大のチャンバー内掘削土の塑性流動性状態を評価する手法として、本MPS法を適用していきたいと考える。

参考文献：

- 1)中谷篤史他:攪拌条件を考慮したチャンバー内塑性流動性評価方法(その1),年次講演会,土木学会,2015(投稿中)
- 2)越塚誠一:粒子法,丸善出版,2005
- 3)Koshizuka.S and Y.Oka(1966):Moving particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid, J. Nucl. Sci. Engng. Vol 123,pp421-434
- 4)高梨和光他,:多段安定化 MPS法による津波波力に関する研究,海岸工学論文集,Vol54,pp251-255,2007

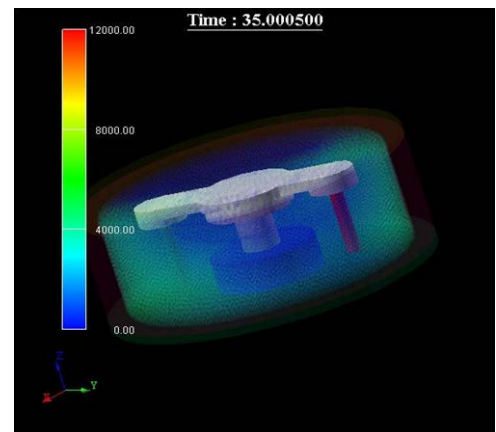


図-2 圧力分布状況 (35秒後)

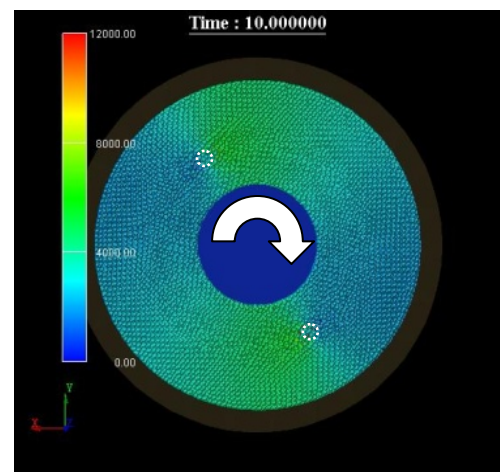


図-3 底面における圧力分布 (10秒後)