超音波照射された擬塑性流体中の落下球実験

丹羽 英人

# １．緒言

擬塑性流体は，非Newton流体である．せん断速度が大きくなるほど粘度が低くなる．代表例として，泥やポリマー，血液などが挙げられる．擬塑性流体を工業的に扱うには，流体中を運動する気泡や剛体に対する周囲流体の粘度分布，流動構造から影響を明らかにする必要がある．これらに関して，重力，浮力によって沈降，浮上する運動が系統的に調査されている[1-3]．また，擬塑性を用いて気泡の膨張収縮による上昇速度の高速化や粒子の機械振動による沈降速度の高速化が調査された[4-5]．また，岩室[6]は擬塑性流体中を重力落下する球に超音波を照射し，流体物性，物体形状，超音波強度および周波数を変化させることにより，高速化のメカニズムを調査した．しかし，調査された流体物性の範囲は限れられており，落下物体の密度も一定であった．そこで本研究は，流体物性，落下物体の密度をより大きく変化させた．これにより，超音波照射による高速化における，擬塑性による粘性による影響と弾性による影響を明らかにすることを目的とした．

# ２．実験方法および流体粘度測定

実験装置の概略図をFig.1に示す．装置は主に矩形アクリル水槽，吸引パッド，真空ポンプ，超音波振動子にて構成される．擬塑性流体として異なる質量濃度のPAA溶液を用いた．作成した溶液の粘度特性を計測するため，粘度計を用いてせん断粘度特性を得た．その結果をFig.2に示す．試験溶液はせん断速度が増加すると粘度が低下する擬塑性を示す．Power Lowモデルを用いて，係数，を得た．ハイドロフォンを用いて超音波照射時の溶液中における圧力場振幅を計測した．これにより，平均圧力振幅 を得る．擬塑性流体中の落下球に対する超音波照射による影響を調べるため，球落下実験を10分ごとに行った．また，超音波照射なし，超音波照射ありを交互に行い，落下速度に対する超音波照射の影響を明らかにした．先行研究[6]により，超音波照射による落下球の高速化に対して，音響境界層内の粘度低下、音響境界層厚さが支配的であることが示唆されている．先行研究を拡張し，落下球の終端速度，音響境界層における代表粘度，落下球による球周囲の粘度，音響境界層を，流体速度，落下球の半径，音速，流体密度を用いて次式で表す．

，，，．

ロゴ が含まれている画像

自動的に生成された説明 ダイアグラム

低い精度で自動的に生成された説明

Fig.1 Experimental setup.　　　　　Fig.2 Viscosity versus shear rate.

# ３．実験結果および考察

　Fig.3に実験結果を粘度比，音響境界層を用いて整理した結果を示す．PAA濃度が高く，終端速度が遅いほどグラフ右側に描画されている．粘度が非常に小さいPAA 0.2wt.%以下では高速化は見られなかった．PAA濃度が上昇すると粘性が増加し，擬塑性がより強くなるため高速化が顕著にみられた．一方で，PAA 0.7wt.%以下とそれ以上の2つのグループに分類することができる．ある一定の濃度を超えると超音波照射による高速化が抑制された．これは，試験流体が粘性だけでなく，弾性的な特徴を持つためだと考えられる．

概略図 が含まれている画像

自動的に生成された説明ダイアグラム

低い精度で自動的に生成された説明弾性と粘性の関係性を評価する指標として，貯蔵弾性率*G*’と損失弾性率*G*’’の大小関係が挙げられる．Fig.5にレオメータを用いてこれらと応力の関係性の計測を行った結果を示す．Fig.4に貯蔵弾性率と損失弾性率の大小関係が入れ替わる点の応力をとして，球の落下による応力 との比と高速化の関係性を示した結果を示す．応力比 が1より小さくなると高速化が小さくなっており，高速化が弾性によって抑制されたことが分かった．

Fig.3 Relation between viscosity ratio and speed ratio.

Fig.5 Relationship between stress and storage

Fig.4 Relation between stress ratio and speed ratio. modulus *G*’, loss modulus *G*’’.

# 参考文献

[1] M.Ohta *et al*., J. Non-Newton. Fluid Mech. **132**, pp.100–107 (2005).

[2] L.Zhang *et al*., J. Non-newton. Fluid Mech. **165,** pp. 555–567 (2010).

[3] M.Arigo and H.Gareth, Rheologica Acta **37.4**, pp.307-327, 1998.

[4] S.Iwata *et al*., J. Non-newton. Fluid Mech. **151**, pp.30-37, 2008.

[5] S.Wildenberg *et al*., Scientific reports **9.1**, pp.1-8 2019.

[6] 岩室秀, 修士論文, 大阪大学, 2020.