

画像処理によるスラリーの流動範囲自動測定手法の開発と検証

東京大学 大学院

学生会員 ○田中 俊成

東京大学 生産技術研究所

フェロー会員 岸 利治

1. はじめに

美しく、耐久性のあるコンクリート構造物を作るためには、打設作業時のフレッシュコンクリートの流動性把握が重要であることから、その構成材料であるセメントペーストやモルタルの流動性に関する研究が多く行われている。ところで、回転粘度計は、二重円筒間の試料を回転によりせん断し、粘度を測定するための機器であるが、Roussel²⁾は、MRIで可視化された円筒間の速度分布形状に着目することで、チキソトロピー性や降伏値の存在などのサスペンションの流動性を議論している。また、筆者らは、既報³⁾において、蛍光粒子によって円筒間の流動を可視化する実験を行い、円筒間の流動範囲の時間変化が、石灰石微粉末ペーストのせん断応力や凝集構造の非定常な変化を表現する有効な指標となり得ることを確認している。既報においては、流動範囲は動画から直接確認する手法を用いた(以後、直接法)。本研究では、この流動範囲を撮影された流動場の画像から、画像処理と数値計算によって自動的に判定する手法を考案した。そして、既報において直接法で測定した流動範囲の結果と比較し、手法の有効性を検討した。

2. スラリーの流動の可視化

セメントペーストと同様に凝集性の粉体であり、水和による影響を無視できる石灰石微粉末のペーストを

使用し、検討を行った。水粉体比(W/P)を25%とし、ナフタレンスルホン酸系の高性能 AE 減水剤を粉体質量比で0.8%添加した。使用した水は水道水である。さらに、流動場を観察する際のトレーサー粒子として、赤色蛍光粉末を粉体質量比で0.05%添加した。T社の共軸二重円筒回転粘度計を使用し、ローターの半径は8.4mm、外円筒の半径は17.6mm、ローターと外円筒間のGapサイズは9.2mmである。試料の流動表面の様子を上からビデオカメラで撮影した。図1に撮影した流動表面の一例を示す。図1中にはローター中心位置とローターの外縁位置も示している。赤色に見える領域が試料であり、試料中で白色に見えるのが、蛍光粒子である。

3. 流動範囲の測定

3. 1 既存の手法

スラリーの流動範囲を測定するにあたり、既報³⁾では、蛍光粒子の動きを動画の中で追跡し、蛍光粒子が動き出したあるいは止まった時間を記録することで、流動範囲の経時変化を測定した(直接法)。この手法は、画像を直接確認するものであるため、時間がかかる。また、流動先端部分に蛍光粒子が存在しない場合、流動/不動の判定が行えない。

また、異なる手法として、PIV(粒子画像流速測定法)ソフトウェアを使用し、画像解析を行う手法もあるが、

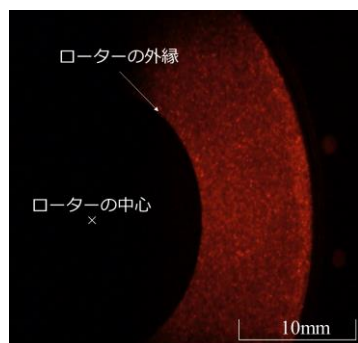


図1 円筒間試料の可視化

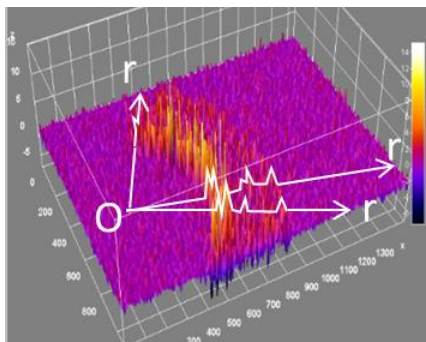


図2 時間差のある2画像の輝度差分布(直交座標系)

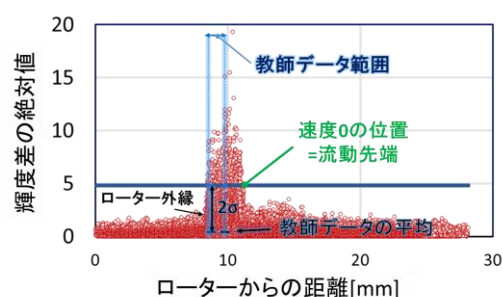


図3 円座標系で表示した輝度差分布と流動範囲の決定方法

キーワード スラリー系材料、流動可視化、回転粘度計、画像処理、流動範囲

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6394

E-mail : shtanaka@iis.u-tokyo.ac.jp

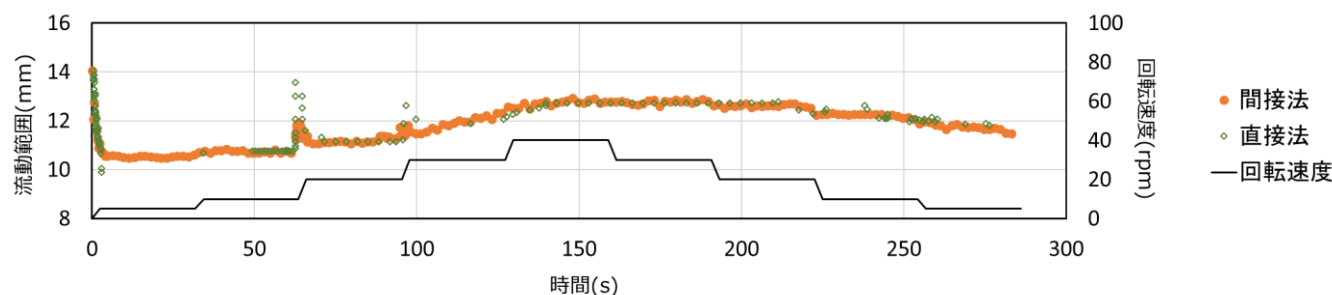


図4 回転速度の設定、および間接法と直接法による流動範囲の測定結果

ソフトウェアが安価ではないため、本研究では次項に示す手法を検討した。

3. 2 提案手法の概要

図1のような写真は、各座標位置に、対応する輝度値を有する画像データに変換可能である。図2には、時間差のある二枚の画像データを減算し、直交座標系で表示した分布（輝度差分布）を示す。図3は、図2の分布を、ローター中心からの円座標系分布に変換し、絶対値を取ったものである。二枚の画像で同じ座標に着目したとき、その座標が流動範囲にあるならば、輝度差はゼロにはならず、不動領域では輝度差はゼロになると考えた。実際に、輝度差分布（図2、図3）と元の画像（図1）を比較したところ、流動領域では輝度差が大きくばらついており、不動領域では、輝度差がゼロに近い値を取ることを確認できた。また、不動領域においても、画像ノイズの影響で輝度差は厳密にゼロにならず、ゼロ付近でばらついていた。さらに、画像との比較から、図3中で輝度差が大きくばらついている山の斜面部分に流動先端が存在することを確認した。

本提案手法では、この情報から以下のような方法で流動先端を特定する。図3中の山の斜面を横切るような閾値を設定し、山の麓側から見て初めて閾値を跨いだ位置を流動先端として算出する。閾値を次のように設定したとき、常に山の斜面を横切るような値となった。元の画像から、8.4 mm～9.5 mmの範囲は常に流動していることを確認したため、この範囲に含まれる輝度差データを教師データとし、平均 μ と標準偏差 σ を求め、 $\mu+2\sigma$ を閾値とした。

この手法（以後、間接法）において、教師データ範囲の設定を最初に行った後、閾値や流動先端は数値計算で一意に決まるため、画像データの読み込みから流動先端算出まで自動的に行うことができ、作業時間の短縮が見込まれる。本研究では、画像データの読み込みには、Image J を、数値計算には EXCEL を使用した。

4. 結果とまとめ

提案手法の有効性を検討するため、回転粘度計で図4のような段階的な回転速度を与えた際の流動範囲を間接法と直接法で測定した。図4中にその結果を示す。提案する間接法による測定結果は、直接法の測定結果と概ね良好に一致しているが、直接法で観察された65秒、95秒付近の値のジャンプについては間接法では十分に測定できていない。一方、直接法では183測定点を10時間程度で、間接法では、865測定点を1.6時間程度で測定でき、1点あたりの測定時間としては、間接法が直接法の1/30程度であった。また、観察可能な蛍光粒子に限られるため、測定点は断続的になっているが、間接法の場合、最大で画像枚数分だけ点を取得可能である。

本研究で開発した間接法は、直接法と比較し、高速かつ、連続的に流動範囲を測定可能であることから、流動範囲変化の全体傾向をとらえるのに適した手法と言えるが、各測定点の精度には注意が必要である。

5. 謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP16H02354 の助成を受けたものである。また、本研究で用いた石灰石微粉末は菱光石灰工業株式会社に提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 金城賢作, 山田義智, 富山潤: セメントペーストのレオロジー特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集 / 日本コンクリート工学協会 編, Vol.29, No.2, pp. 31-36, 2007.
- 2) Roussel N., Le Roy R., Coussot P.: Thixotropy modelling at local and macroscopic scales, J.Non Newtonian Fluid Mech., Vol.117, No.2, pp. 85-95, Feb.2004.
- 3) 田中俊成, 岸利治: 回転粘度計内部の流動速度分布とせん断応力の同時測定およびその考察, 第45回土木学会関東支部技術発表会概要集, 2018